

DORALICE APARECIDA FAVARO SOARES

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE FECULARIA EM
CULTIVO DE *BRACHIARIA BRIZANTHA* CV MG-5 E SEU IMPACTO NO
SOLO**

MARINGÁ – PARANÁ - BRASIL

DEZEMBRO - 2009

DORALICE APARECIDA FAVARO SOARES

AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE FECULARIA EM
CULTIVO DE *BRACHIARIA BRIZANTHA* CV MG-5 E SEU IMPACTO NO
SOLO

Tese apresentada a Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

MARINGÁ – PARANÁ - BRASIL

DEZEMBRO - 2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S676a Soares, Doralice Aparecida Favaro

Avaliação da aplicação da água residuária de fecularia em cultivo de *Brachiaria brizantha* cv MG-5 e seu impacto no solo/ Doralice Aparecida Favaro Soares - Maringá: [s.n.], 2009.

90 p. : il. : color

Orientador: Prof. Dr. Altair Bertonha
Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em
Agronomia. Universidade Estadual de Maringá.

1. Reúso de efluentes. 2. Poluição do solo. 3. Movimento de íons no solo. 4. Fertirrigação. I. Bertonha, Altair II. Universidade Estadual de Maringá.

CDD 22. ed. 628.74

DORALICE APARECIDA FAVARO SOARES

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE FECULARIA EM
CULTIVO DE *Brachiaria brizantha* cv MG-5 E SEU IMPACTO NO SOLO**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, na área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

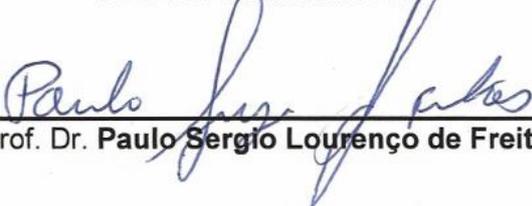
APROVADA em 17 de dezembro de 2009.



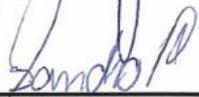
Prof.^a. Dr.^a. **Maritane Prior**



Prof. Dr. **Antonio Saraiva Muniz**



Prof. Dr. **Paulo Sergio Lourenço de Freitas**



Prof. Dr. **Sandro Rogério Lautenschlager**



Prof. Dr. **Altair Bertonha**
(Orientador)

DEDICATÓRIA

*Aos meus filhos Janaina e Luís Felipe
e ao meu esposo Paulo Fernando,
dedico este trabalho...*

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Altair Bertonha pela dedicação e orientação;

Aos Professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia (PGA UEM) pelos conhecimentos transmitidos;

Ao Sr Dorvan Westphal, que gentilmente cedeu a área e apoiou a presente pesquisa;

Ao pessoal técnico e administrativo do *Campus Arenito* (Cidade Gaúcha) pelo apoio técnico prestado para que esta pesquisa pudesse ser realizada;

Aos funcionários do CTI pelo apoio prestado;

A Alimentos Fecamid Ltda, localizada em Cidade Gaúcha-PR, por toda a infraestrutura e apoio oferecidos para a realização do experimento;

Aos alunos do curso Graduação em Agronomia e Engenharia Agrícola da UEM, pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho;

Ao funcionário Cipriano do Laboratório de Mecânica dos Solos do DEC e Dirseu e Sandra do Laboratório de Agroquímica e Meio Ambiente do DQI, pela ajuda nas análises de laboratório necessárias;

Ao Laboratório de Saneamento do DEC e ao laboratório do DEQ pelo apoio prestado nas análises químicas da água e do solo;

À minha família por todo o apoio, paciência e carinho durante toda esta jornada.

SUMÁRIO

RESUMO	X
ABSTRACT	XII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1 Perspectivas de usos da água residuária de fecularia de mandioca	5
2.2 Acidez do solo	8
2.3 Íons no solo	10
2.3.1 Cálcio e magnésio	11
2.3.2 Nitrogênio	12
2.3.3 Fósforo.....	13
2.3.4 Potássio	16
2.3.5 Alumínio.....	17
2.3.6 Cianeto	18
2.3.7 Condutividade elétrica	19
2.4 Capacidade de troca catiônica (CTC)	20
2.5 Salinidade	20
2.6 Crescimento da Brachiaria brizantha	22
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 A área experimental e a água residuária	23
3.2 Caracterização da vazão dos bocais do canhão	24
3.3 Seleção dos tratamentos	27
3.4 Classificação do solo.....	28
3.5 Período da análise.....	29
3.6 Determinação da lâmina de AR	29
3.7 Características da AR aplicada	30
3.8 Determinação da altura da planta, massa seca (MS) e massa verde (MV).....	30
3.9 Análises químicas do solo	33

3.9.1	Determinação do pH em solução centimolar de Cloreto de Cálcio CaCl ₂ 0,01M.....	34
3.9.2	Acidez Potencial - pH em solução tampão SMP (Shoemaker, McClellan, Pratt).....	35
3.9.3	Extração com KCl 1mol L ⁻¹ de cálcio, magnésio e alumínio.	35
3.9.4	Extração com solução de Mehlich 1 para fósforo, potássio e sódio	37
3.9.5	Determinação da matéria orgânica no solo	38
3.9.6	Determinação da soma de bases, *S.....	40
3.9.7	Determinação de *T ou CTC a pH 7,0	40
3.9.8	Determinação de t ou CTC efetiva.....	40
3.9.9	Determinação de *V(%)	40
3.9.10	Determinação da saturação por alumínio, *Al.....	41
3.9.11	Determinação do cianeto	41
3.10	Condutividade elétrica	41
3.11	Disponibilidade total de água no solo, DTA.....	41
3.12	Balço hídrico.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
5	CONCLUSÕES.....	64
6	REFERÊNCIAS	66
	ANEXOS	72
	ANEXO 1- ANÁLISE DO SOLO AO FINAL DO EXPERIMENTO NO PERÍODO DE VERÃO E OUTONO NAS PARCELAS DE TRATAMENTOS T0	73
	ANEXO 2- ANÁLISE DO SOLO AO FINAL DO EXPERIMENTO NO PERÍODO DE VERÃO E OUTONO NAS PARCELAS DE TRATAMENTOS T1	74
	ANEXO 3- ANÁLISE DO SOLO AO FINAL DO EXPERIMENTO NO PERÍODO DE VERÃO E OUTONO NAS PARCELAS DE TRATAMENTOS T2	75
	ANEXO 4- ANÁLISE DO SOLO AO FINAL DO EXPERIMENTO NO PERÍODO DE VERÃO E OUTONO NAS PARCELAS DE TRATAMENTOS T3	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Produção de amido de mandioca no estado do Paraná (%) , com relação à produção nacional. Fonte: Adaptado de ABAM, 2009.	5
Figura 2 -	Canhão hidráulico utilizado para aplicação de água residuária	23
Figura 3 -	Esquema da instalação do canhão	24
Figura 4 -	Medidor de vazão ultrassônico marca Dynasonics	25
Figura 5 -	Representação esquemática da colocação dos coletores ao longo do raio para a avaliação da lâmina de irrigação	26
Figura 6 -	Curva de retenção da água no solo utilizado	42
Figura 7 -	Precipitação diária de Cidade Gaúcha no período analisado (INMET, 2009)	45
Figura 8 -	ET₀ diária de Cidade Gaúcha, no período analisado	46
Figura 9 -	Estimativa da profundidade atingida pela água, para os tratamentos T0 e T1, no período de 20/11/2008 a 02/06/2009	48
Figura 10 -	Movimento dos íons K para T0, T1, T2 e T3, após 10 e 18 aplicações da AR	51
Figura 11 -	pH no perfil do solo de 0 a 100 cm após 10 e 18 aplicações da AR para T0, T1, T2 e T3	55
Figura 12 -	Níveis de potássio encontrado no solo e a condutividade elétrica para os tratamentos T0, T1, T2 e T3, para 10 e 18 aplicações de AR, ao longo do perfil do solo	62
Figura 13 -	Acidez potencial no perfil do solo de 0 a 100 cm após 10 e 18 aplicações da AR para T0, T1, T2 e T3	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Produção de amido, de raiz de mandioca e de água residuária no estado do Paraná, de 2003 a 2009. Fonte: Adaptado de *ABAM (2009), **Lamo; Menezes (1979), **Leonel; Jackey; Cereda (2009), ***Botelho; Poltronieri; Rodrigues (2009).....	6
Quadro 2 - Classificação do solo quanto à acidez e à alcalinidade (SANTOS, 2001).....	10
Quadro 3 - Fósforo extraível do solo, para solos com teor de argila entre 11 e 25%. Adaptado de Lima (2006).....	15
Quadro 4 - Níveis de alumínio no solo. Adaptado de Lima (2006).....	18
Quadro 5 - Classificação dos solos quanto à salinidade (RICHARDS, 1977).....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características da moto-bomba utilizada.....	24
Tabela 2 - Vazões obtidas para cada bocal, em função da pressão e do diâmetro do mesmo	26
Tabela 3 - Lâmina ao longo do raio molhado, com bocal de 18 mm e pressão de 4,5 Kgf cm ⁻²	27
Tabela 4 - Tratamentos para os quais o solo foi analisado até a profundidade de 100 cm	27
Tabela 5 - Composição granulométrica e características físicas e químicas do solo utilizado	28
Tabela 6 - Características químicas da água residuária da fecularia de mandioca.....	30
Tabela 7 - Características da planta, para os tratamentos T0, T1, T2 e T3, com 10 e 18 aplicações de AR.....	31
Tabela 8 - Água retida no solo estudado	42
Tabela 9 - Resultado da análise foliar nos períodos de verão e outono ...	49
Tabela 10 - Níveis de K para os tratamentos T0, T1, T2 e T3.....	52
Tabela 11 - Níveis de Ca para os tratamentos T0, T1, T2 e T3.....	53
Tabela 12 - Níveis de Mg para os tratamentos T0, T1, T2 e T3	56
Tabela 13 - Relação Ca:Mg após 10 e 18 aplicações de AR	57
Tabela 14 - Níveis de Al para os tratamentos T0, T1, T2 e T3.....	58
Tabela 15 - Acidez potencial (H+Al) para os tratamentos T0, T1, T2 e T3	58
Tabela 16 - Níveis de P para os tratamentos T0, T1, T2 e T3. P encontrado na planta em 1m ² , para cada tratamento.....	59

Tabela 17 - Razão de adsorção de sódio, RAS, e índices de saturação de cada íon (%)	61
Tabela A1 - Análise química do solo em 30/01/2009 e em 02/06/2009, respectivamente A1a e A1b para o tratamento testemunha ...	73
Tabela A2 - Análise química do solo em 30/01/2009 e em 02/06/2009, respectivamente A2a e A2b para o tratamento T1	74
Tabela A3 - Análise química do solo em 30/01/2009 e em 02/06/2009, respectivamente A3a e A3b para o tratamento T2.....	75
Tabela A4 - Análise química do solo em 30/01/2009 e em 02/06/2009, respectivamente 4a e 4b para o tratamento T3	76

RESUMO

SOARES, Doralice Aparecida Favaro, Dr. Universidade Estadual de Maringá, Dezembro de 2009. Avaliação da aplicação da água residuária de fecularia em cultivo de *Brachiaria brizantha* cv MG-5 e seu impacto no solo. Professor orientador: Dr. Altair Bertonha.

Este trabalho foi realizado em uma área com 5.000 m², situada no município de Cidade Gaúcha – PR, cujas coordenadas são 23° 22' 48" S, 52° 56' 42" W, tendo como objetivo avaliar o impacto da aplicação da água residuária de uma indústria de mandioca em Argissolo Vermelho amarelo distrófico, em uma área cultivada há dois anos com *Brachiaria brizantha* cv MG-5. A água residuária utilizada foi retirada de um sistema de tratamento e de aplicação já existente e se deu com o uso de um canhão hidráulico com vazão de 4,7 L s⁻¹, com raio molhado de 30m, onde se selecionaram três faixas de aplicação, respectivamente, T1=10mm, T2= 29,6mm e T3=36,6mm, além da testemunha localizada fora do alcance do canhão hidráulico. A área recebeu a aplicação da água residuária em dois períodos, sendo o primeiro de 20 de novembro de 2008 a 23 de janeiro de 2009 e o segundo de 26 de março de 2009 a 15 de maio de 2009. As aplicações foram semanais, com tempo de irrigação de 4 horas. Durante as aplicações, foram monitoradas a altura da planta, a DQO, o pH, a condutividade elétrica e os sólidos totais, fixos e solúveis da água residuária aplicada, em cada tratamento. Ao final de cada período foram determinadas a massa seca, a massa verde e a altura da planta, sendo realizada a análise química do tecido vegetal em cada tratamento. Foram também coletadas amostras do solo, em cada tratamento, em camadas de 20 cm até a profundidade de 100 cm, para a realização da análise química. Os resultados mostraram boa absorção de potássio pela pastagem de *Brachiaria brizantha* cv MG-5 e a absorção foi maior no período de verão do que no outono; além disso, não foi observado salinização do solo durante este período. A aplicação da água residuária aumentou os teores de cálcio, magnésio e potássio na profundidade 0 a 40 cm e reduziu os teores de alumínio. O movimento do potássio acompanhou a distribuição de água no solo e a

aplicação dos nutrientes via água proporcionou boa distribuição dos nutrientes ao longo do perfil estudado.

PALAVRAS-CHAVE: Reúso de efluentes, poluição do solo, movimento de íons no solo, fertirrigação.

ABSTRACT

SOARES, Doralice Aparecida Favaro, Dr. Universidade Estadual de Maringá, Dezembro de 2009. Cassava's wastewater application in *Brachiaria brizantha* cv MG-5 cultivation and its soil impacts assessment. Professor orientador: Dr. Altair Bertonha.

This experiment was carried out in an area of 5000 m² situated in Cidade Gaucha, Parana State, Brazil, which coordinates are 23 ° 22 '48 "N, 52 ° 56' 42" W, to evaluate the impact of the application of cassava industry wastewater in a dystrophic Ultisol at an area that has been cultivated for two years with *Brachiaria brizantha* MG-5. The wastewater used was taken out of an existing treatment and applying system by using a sprinkler system with a 4,7 L s⁻¹ flow and 30m wet radius. Three application ranges were chosen: T1=10mm, T2= 29,6mm e T3=36,6mm, beyond the control located out of the area reached by the sprinkler system. The wastewater was applied in two periods. The first one was from 11/20/2008 to 01/23/2009 and the second one was from 03/26/2009 to 05/15/2009. The applications were weekly, with four hours of duration each. The height of plant, COD, pH, electric conductivity and total, fixed and soluble solids from wastewater applied were monitored in each treatment monthly. At the end of the each period, the dry mass, the green mass and the height of the plant were determined and chemical analysis of the plant tissue were made for each treatment. It was also collected soil samples in each treatment, in layers of 20 cm to a depth of 100cm in order to do chemical analysis. The results shows that the pasture of *Brachiaria brizanta* cv MG-5 is a good potassium absorber and that in summer it is greater than in fall. There were no soil salinization observed in the study period. The levels of calcium, magnesium and potassium in the 0 to 40cm depth increased, and reduced levels of aluminum with the wastewater application. The potassium movement of the soil followed the distribution of application of water and nutrient by the water provided a good distribution of these nutrients along the profile studied.

KEY WORDS: Wastewater reuse, soil pollution, ions in the soil movement, fertirrigation.

1 INTRODUÇÃO

A população humana tem crescido de forma inexorável e, como consequência, o padrão de vida e as necessidades globais por alimentos e outros produtos de origem agrícola têm crescido também. Para atender a demanda desse crescimento, a agricultura se expande e, caso não seja feita com técnicas e tecnologias apropriadas, pode, em terras vulneráveis à degradação, provocar o aparecimento de erosões, redução da matéria orgânica e nutrientes e a salinização do solo. A tarefa a ser enfrentada é o atendimento das necessidades humanas, de modo a manter a sustentabilidade local sem prejudicar o ambiente. Como soluções dessa situação, a fim de proteger o ambiente e aliviar a pressão no sentido de utilização de áreas susceptíveis, aparecem duas alternativas: a primeira é a produção em áreas específicas, interligadas com a indústria, para maximizar o desempenho da utilização do solo, água e energia e facilitar o aporte de insumos e controle de pragas; a outra é buscar a produção compatível com o ambiente, de modo que este se mantenha mais equilibrado, como, por exemplo, na forma da policultura (HILLEL, 1998).

A fim de desenvolver e implementar estratégias para o gerenciamento sustentável dos recursos do solo e hídricos, é necessário entender as propriedades físicas e os processos que ocorrem no solo. Essas estratégias compreendem a minimização de conflitos entre a produção de alimentos, o controle da erosão, a atenuação das fontes de poluição difusa e da contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Assim, a irrigação desempenha papel ímpar no processo.

A proposta desta tese contempla fatores dessas duas vertentes de integração da agricultura ao ambiente, ou seja, aproveita o descarte da indústria de farinha de mandioca e contribui para a reposição de nutrientes básicos para o solo e plantas. Como consequência, é necessário buscar o impacto dessa incorporação, através da irrigação, no solo, na planta e ambiente hídrico.

Conforme Santana et al. (2003) e Ayers e Westcot (1994), o principal objetivo da irrigação é proporcionar à cultura a quantidade adequada de água, evitando assim a perda de rendimento causada por longos períodos de estresse hídrico durante os estádios de crescimento das culturas que são sensíveis à escassez de água. No entanto, durante as irrigações repetidas, os sais presentes na água de irrigação podem se acumular no solo, reduzindo a água disponível para as culturas e acelerar o aparecimento de uma escassez de água e a contaminação do solo por excesso de sais.

Durante muito tempo se tratou a água como um bem infinito e seu uso foi feito sem nenhum controle ou cuidado. Hoje, sabe-se que a água é um bem finito e, embora a disponibilidade de água doce na terra seja maior que a demanda humana, a sua distribuição espacial é diferente da distribuição espacial da população, a qual vive em regiões áridas ou semiáridas.

A disponibilidade da água depende do seu uso racional, uma vez que diferentes usos podem ser feitos com águas de diferentes qualidades, oriundas de diferentes fontes, preservando as águas potáveis para o consumo humano.

O uso racional da água e o reúso são estratégias para se conseguir a sustentabilidade dos recursos hídricos.

Racionalizar o uso da água significa determinar a quantidade necessária em cada aplicação e o nível de qualidade exigido para cada uso.

Para qualquer uso, sempre é necessária a determinação do consumo e dos pontos de geração de efluentes para que, baseados nessas demandas, se possa buscar novas tecnologias e processos que garantam a redução do consumo e um melhor aproveitamento do efluente gerado, possibilitando potencial atenuação da poluição ou do impacto ambiental que possa ser causado.

Dentre os diversos usos da água, a irrigação desempenha papel importante, uma vez que sua aplicação vem melhorar as condições de produtividade das áreas cultivadas.

Além da água, para a garantia da produtividade, a fertilização visa solucionar problemas que possam comprometer a qualidade e a produtividade do cultivo por falta ou excesso de nutrientes essenciais.

Dessa forma, o aproveitamento da água residuária na irrigação promove a conservação da água disponível e pode ajudar no fornecimento de nutrientes ao solo, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos, gerando um fator de economia para o produtor, bem como possibilita a preservação do meio ambiente, uma vez que deixa de ser lançada nos corpos d'água.

O uso de águas residuárias possui aspectos positivos e negativos; daí, a necessidade de pesquisas específicas para cada tipo de água residuária a ser utilizada em cada cultura a ser irrigada.

Dentre os diversos resíduos que possuem potencialidade para a aplicação na agricultura, encontra-se a água residuária proveniente de fecularias de mandioca, resultante dos processos de fabricação da farinha. Esse resíduo atua como fonte de nutrientes para as plantas quando utilizado como água de irrigação, porém a sua aplicação como fonte de água e de nutrientes para a cultura, bem como seus efeitos no solo, ainda precisam ser estudados cuidadosamente, uma vez que esse líquido contém nutrientes como potássio (K), nitrogênio (N), magnésio (Mg), fósforo (P), cálcio (Ca) e enxofre (S), podendo ser utilizado tanto na fertilização de solos e folhas, como também atuar como defensivo agrícola. Aplicações em quantidades excessivas podem causar danos tanto ao solo como à planta, pois que a presença de certos íons em excesso pode causar desequilíbrios nutritivos e a salinização do solo.

Este trabalho objetivou avaliar a possibilidade de contaminação do solo com a aplicação de água residuária (AR) de fecularia de mandioca.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A água potável é um recurso finito e essencial para manutenção da vida, do desenvolvimento e do meio ambiente.

Com a crescente urbanização do país, a produção de alimentos torna-se um desafio, exigindo, cada vez mais, áreas disponíveis para cultivo. Uma das formas mais antigas utilizadas para o aumento da produtividade é a prática de irrigação, o que exerce grande pressão sobre os recursos hídricos (MIERZWA, 2008).

O emprego das novas tecnologias disponíveis exige treinamento na área de uso e manejo, o que leva a um aumento de desempenho na produtividade agrícola.

Uma tecnologia bastante empregada em países desenvolvidos e em desenvolvimento, como Estados Unidos, Israel, Holanda, Itália, Espanha e Peru, é a fertilização via água de irrigação, chamado de fertirrigação. A introdução dessa tecnologia no Peru tem aumentado a qualidade e a quantidade da produção, principalmente em polos desenvolvidos do deserto (SANCHEZ, 2000)

A análise química do solo é a principal ferramenta para se avaliar a fertilidade do solo e, conseqüentemente, a necessidade de adubação (ORLANDO FILHO et al., 1994) e de corretivos, com vistas à melhoria de produtividade.

Os parâmetros da composição do solo como pH, os íons presentes na solução do solo, a capacidade de troca de cátions, a matéria orgânica e a granulometria, entre outros, possuem grande controle na mobilidade de metais, permitindo o movimento dos íons no solo, o que faz com que o conhecimento deles se torne importante para a verificação da suscetibilidade à poluição do solo.

A solução do solo é a água que ocupa os espaços vazios ali existentes e contém os elementos químicos indispensáveis ao desenvolvimento das

plantas. A importância de se estudar essa solução é que as plantas somente absorvem os nutrientes que estão presentes nesta solução do solo.

2.1 Perspectivas de usos da água residuária de fecularia de mandioca

No Brasil, a produção nacional anual de amidos de mandioca elevou-se de 170.000 toneladas, em 1990 para 565.000, toneladas no ano de 2008. O Paraná é o estado com o maior índice de produção de amido de mandioca do Brasil. O aumento na produção vem gerando um problema de acúmulo de água residuária nas lagoas de decantação. A utilização agrícola da água residuária pode ser uma solução, pois, além da sua aplicação no solo, tem-se também a aplicação dos elementos minerais, o que pode beneficiar a cultura que a recebe (ABAM, 2009). A Figura 1 mostra o percentual da produção de amido de mandioca no estado do Paraná, com relação à produção nacional, no período de 2003 a 2009.

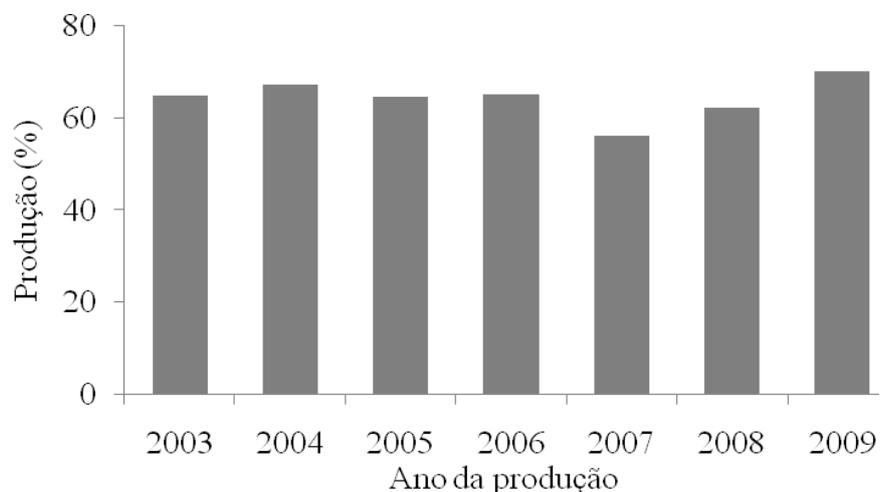


Figura 1 - Produção de amido de mandioca no estado do Paraná (%), com relação à produção nacional. Fonte: Adaptado de ABAM, 2009.

A água residuária da produção do amido provém da água de constituição da raiz, misturada às águas de lavagem das raízes, que é gerada no momento da prensagem da massa ralada para a extração da fécula. A manipueira é a água resultante da prensagem da mandioca.

O Quadro 1 mostra a produção de amido no estado do Paraná nos últimos sete anos, bem como a quantidade de raiz de mandioca processada, necessária para a produção de amido. Mostra também o volume de água residuária produzido no estado, por dia e por ano, em função do processamento da mandioca para a produção do amido.

Quadro 1 - Produção de amido, de raiz de mandioca e de água residuária no estado do Paraná, de 2003 a 2009. Fonte: Adaptado de *ABAM (2009), **Lamo; Menezes (1979), **Leonel; Jackey; Cereda (2009), ***Botelho; Poltronieri; Rodrigues (2009)

Ano	Produção de amido/ano* (1000 ton)	Produção de amido/ano* (ton)	Mandioca processada/ano** (ton)	Água residuária produzida no estado do Paraná*** (m3/ano)	Água residuária produzida no estado do Paraná*** (m3/dia)
2003	276,97	276.972,00	723.164,49	2.169.493,50	6.026,37
2004	264,52	264.522,00	690.657,96	2.071.973,90	5.755,48
2005	352,64	352.640,00	920.731,07	2.762.193,20	7.672,76
2006	372,99	372.990,91	973.866,61	2.921.599,80	8.115,56
2007	306,13	306.133,66	799.304,60	2.397.913,80	6.660,87
2008	353,94	353.944,88	924.138,07	2.772.414,20	7.701,15
2009	413,20	413.200,00	1078.851,17	3.236.553,50	8.990,43

A manipueira, por ser rica em nutrientes, como: N, P e K (SILVA, 2003), quando misturada à água de lavagem da raiz, pode ser utilizada como adubo, porém, segundo Fioretto (2001), tem um grande potencial poluente bem como o problema da toxidez, devido à presença de glicosídeo característico da mandioca (linamarina) potencialmente hidrolisável, o que justifica um estudo dos efeitos do emprego desse efluente no solo.

A mandioca gera uma série de produtos durante o processo de extração da fécula ou da farinha, como, por exemplo: os restos da cultura no campo, resíduos e subprodutos industriais. Esses produtos podem agir como contaminantes ambientais, caso não haja uma destinação adequada (SOUZA;

FIALHO, 2003). A água residuária proveniente de fecularias possui valores consideráveis de matéria orgânica (MO). Por sua vez, esta é responsável pela liberação gradativa de íons essenciais para a solução do solo, o que beneficia de forma positiva a planta. Íons, como o potássio (K^+), encontram-se livres no tecido vegetal, sendo considerado um elemento móvel no solo e de fácil absorção pelas raízes. Ao aplicar água residuária, deve-se tomar um cuidado especial com os íons hidrogênio (H^+), pois ficam facilmente retidos nas partículas do solo, prejudicando a adsorção de cátions. A realização de análises de solo frequentes colaboram positivamente no controle das aplicações, de modo que, com a elevação do pH, o íon H^+ e o alumínio (Al^{3+}) fiquem passíveis de serem trocados por cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e sódio (Na^+).

Os despejos dos resíduos líquidos de indústrias que utilizam raízes de mandioca como matéria-prima são altamente poluidores, tornando-se sério problema ambiental para os cursos d'água onde são despejados.

Por conter potássio em excesso, o uso da água residuária proveniente das fecularias deve ser cuidadosamente dosado, pois sua aplicação acima da necessidade pode causar dispersão das argilas e desequilíbrios nutricionais, bem como causar a contaminação de corpos de águas superficiais e subterrâneos devido à lixiviação de íons móveis como o potássio (K^+).

Outra questão que merece destaque é o estudo dos macro e micronutrientes e suas funções específicas na vida da planta.

As concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, sódio, cobre, manganês, molibdênio e zinco no cultivo podem variar segundo o tipo de água residuária e respectiva lâmina aplicada e, conseqüentemente influenciar na produção de biomassa.

A agricultura faz uso de diversos tipos de insumos, tais como: inseticidas, herbicidas, fungicidas, fertilizantes e irrigação, dentre outros; porém, para sua sustentabilidade, é essencial que a utilização desses insumos não comprometa a qualidade do meio ambiente (MATOS et al., 2003).

Conforme Reichardt e Timm (2004), os estudos agronômicos do sistema solo-água-planta precisam incluir considerações sobre a variabilidade espacial e temporal de atributos de solos e de plantas em condições de campo, além dos parâmetros atmosféricos.

Outro fator de variabilidade é o teor de nutrientes na água residuária. Não existem critérios para definir a dose de aplicação, de forma que o estudo dos efeitos da aplicação da água de manipueria em pastagem, com o intuito de aproveitar, reciclar e avaliar as interações nutricionais entre as variáveis efluentes, clima, solo e planta, é de grande importância.

2.2 Acidez do solo

Os ácidos são substâncias capazes de, ao dissociar-se, produzirem íons H^+ . Os ácidos fortes dissociam-se completamente, porém os ácidos fracos, como é o caso das soluções dos solos, dissociam-se muito pouco (LOPES et al., 1991).

Devido à baixa dissociação dos ácidos fracos, a concentração dos íons H^+ nas soluções aquosas também é muito baixa e de difícil representação em frações decimais; para tanto, foi introduzido o conceito de pH.

O termo pH foi introduzido, em 1909, pelo bioquímico dinamarquês Soren Peter Lauritz Sorensen, que o definiu como sendo igual ao logaritmo negativo da concentração de íons H^+ :

$$pH = -\log(H^+) \text{ ou } pH = \log\left(\frac{1}{H^+}\right)$$

Atualmente, o pH é definido como sendo a atividade dos íons H^+ em uma solução.

Os solos, devido ao seu material de origem ou ao processo de formação, podem favorecer a remoção de elementos básicos, como K, Ca, Mg, Na, etc., que o tornam naturalmente ácido, além de cultivos e adubações que também podem levar ao processo de acidez.

Na avaliação da acidez do solo, deve-se levar em conta que se divide em acidez ativa e potencial. Acidez ativa é aquela dada pela concentração de H^+ na solução do solo (ou pH). A acidez potencial é dividida em trocável e não trocável. A acidez trocável é representada pela saturação por alumínio e por bases; refere-se à soma dos íons H^+ e AL^{3+} , trocáveis, retidos na superfície dos coloides por forças eletrostáticas. Acidez não trocável refere-se ao íon H^+ de ligação covalente, associado aos coloides com carga negativa variável e aos compostos de alumínio (LOPES; GUILHERME, 2004). Também se relaciona com a acidez do solo, a disponibilidade de nutrientes como cálcio e magnésio e de micronutrientes como manganês, ferro, cobre e zinco (FREIRE et al., 2000).

Variações no pH exercem influência sobre a disponibilidade de vários nutrientes vegetais e sobre os níveis de outros elementos, que podem ser tóxicos para os vegetais superiores e para os microorganismos (BRADY, 1989).

Segundo Brady (1989), para a faixa de solos cultiváveis, em regiões úmidas, o pH deve estar entre 5 e 7 e em regiões áridas, entre 7 e 9. Para valores de pH próximos de 7 a 8, micronutrientes como ferro, manganês e zinco tornam-se indisponíveis para a planta, aumentando a disponibilidade do molibdênio. O fósforo, porém, só se encontra disponível com pH na faixa de 6,5.

O Quadro 2 mostra a classificação do solo quanto à acidez e à alcalinidade.

Quadro 2 - Classificação do solo quanto à acidez e à alcalinidade (SANTOS, 2001)

pH (H ₂ O)	Designação do solo
< 4,5	Muito ácido
4,6 a 5,5	Ácido
5,6 a 6,5	Pouco ácido
6,6 a 7,5	Neutro
7,6 a 8,5	Pouco alcalino
8,6 a 9,5	Alcalino
> 9,5	Muito Alcalino

2.3 Íons no solo

O fornecimento de nutrientes para as culturas via água de irrigação já é uma prática bastante utilizada, porém no seu uso devem ser levadas em conta tanto as doses aplicadas, como as fontes de nutrientes, tendo em vista os possíveis impactos causados tanto ao solo como ao lençol freático devido à lixiviação de sais, à alteração de pH e a possíveis desbalanços químicos que possam ocorrer. Esse fato faz do monitoramento de íons no solo um estudo de extrema importância (SANTANA et al., 2007).

Ao se fornecerem nutrientes para as culturas, via fertirrigação, utilizando-se como fonte a AR de fecularia de mandioca, uma das preocupações deve ser a contaminação do solo e do lençol freático, devido à movimentação dos íons nela presentes. Melo et al. (2006) realizaram um experimento em laboratório com colunas de solo, sendo um deles Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, comparando-o com solos mais arenosos, aplicando AR de fecularia de mandioca, onde estudaram o movimento dos íons potássio, sódio, cálcio e magnésio e concluíram que o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, de textura mais argilosa, possui capacidade de adsorção de cátions mais elevada que os demais solos, indicando maior retenção de cátions, sendo essa retenção, influenciada pela textura do solo. Melo et al.

(2006) concluíram também que a menor mobilidade dos íons nesse solo indica menor probabilidade de contaminação do lençol freático.

Os produtos químicos aplicados por meio da água de irrigação, conforme Mmolawa & Or (2000), sofrem mudanças espacial e temporal no solo, variando sua distribuição no perfil. Clothier (1984) afirma que compreender como ocorre o transporte simultâneo de água e dos solutos no solo, em duas ou três dimensões, a partir de uma fonte pontual, permite desenvolver importantes estratégias no dimensionamento, operação e manejo da aplicação desses compostos.

O transporte de solutos é vinculado ao fluxo de água no solo. A água que escoar no solo carrega solutos, o que constitui o transporte convectivo. Os solutos podem interagir com a matriz do solo (adsorção e desorção), podem precipitar-se se os limites de solubilidade forem excedidos, e podem interagir com eles próprios (BORGES JR; ANDRADE, 2008).

2.3.1 Cálcio e magnésio

Segundo Brady (1989), a acidez do solo aumenta gradualmente, conforme o cálcio e o magnésio são eliminados por lixiviação.

A prática da calagem, por sua vez, fornece cálcio e magnésio ao solo. Quando o solo recebe Ca^{2+} e Mg^{2+} , ocorre a neutralização do Al^{3+} e, conseqüentemente, a elevação do pH; com isso, reduz-se a toxidez por alumínio e aumenta a disponibilidade de fósforo e a atividade microbológica do solo (BARBOSA FILHO; SILVA, 2000; VELOSO et al., 2000). Isso se dá pelo fato de ser o alumínio trocável um dos principais componentes relacionados à acidez do solo.

Segundo Ayers e Westcot (1994), os altos níveis de magnésio trocável no solo muitas vezes causam problemas de infiltração. O exato papel do magnésio na causa desse problema não é bem conhecido, embora pesquisadores de várias áreas irrigadas tenham estudado o assunto. Atualmente existe um consenso razoável de que a ação do magnésio no solo é

mais próxima do comportamento do cálcio do que do comportamento do sódio. Na adsorção pelo solo, tem maior preferência do que o sódio e possui ligeiramente menor preferência do que o cálcio.

O excesso de Ca prejudica a absorção de Mg, e vice-versa; o mesmo ocorre com o K. O cálcio melhora a absorção do boro (B); porém quanto mais se usa cálcio, mais boro a planta demanda.

Nos solos com alto teor de magnésio, cuja relação seja $Ca:Mg < 1$, o efeito potencial do sódio pode ser ligeiramente aumentado, ou seja, um dado valor da razão de absorção de sódio (*RAS*) será ligeiramente mais prejudicial quanto à produtividade, se a relação $Ca:Mg$ for menor que 1. Quanto menor é a relação, mais prejudicial é o *RAS*. Resultados de pesquisas têm mostrado que para um dado SAR de uma água aplicada, quando a relação $Ca:Mg$ desta for menor do que 1, o solo apresentará uma porcentagem de sódio trocável maior do que o normal (AYERS; WESTCOT, 1994).

Segundo Lopes (1983), solos com teores inferiores a $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de cálcio trocável, $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de magnésio trocável e a $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva são considerados pobres.

2.3.2 Nitrogênio

O nitrogênio é um componente essencial para o processo de crescimento vegetal. Estimula o crescimento das raízes e, conseqüentemente, a captação de outros nutrientes. Dos macronutrientes, é o que exerce efeito mais rápido e pronunciado nas plantas.

O nitrogênio é pouco encontrado na forma assimilável no solo. A maior parte encontra-se na forma não assimilável, necessitando ser aplicado ao solo via fertilizantes.

A aplicação de nitrogênio no solo deve ser bastante cautelosa, tanto na forma de aplicação, na quantidade, uma vez que aplicações em excesso podem causar superestimulação de crescimento, retardar a maturidade da cultura, bem como danificar a produção de certos frutos (AYERS; WESTCOT,

1994). Já as gramíneas e as hortaliças são dependentes de nitrogênio, o que faz com que a aplicação em abundância não traga nenhum prejuízo ao seu desenvolvimento (BRADY, 1989).

O nitrogênio na forma de nitrato apresenta grande mobilidade no perfil do solo, devido à baixa energia de adsorção do NO^{3-} .

O movimento do nitrogênio no solo acompanha o movimento da água no solo, seja por escoamento superficial, seja por infiltração (AYERS; WESTCOT, 1994, SANTOS 2001).

Como o nitrogênio é praticamente absorvido apenas por fluxo de massa, a produção e a exportação desse nutriente dependem da disponibilidade de água no solo (KLIEMANN et al., 2003).

2.3.3 Fósforo

O nitrogênio, o fósforo e o potássio são os elementos mais importantes para o crescimento e a produção da cultura; porém, diferentemente do nitrogênio, o fósforo e o potássio não são supridos por fixação bioquímica e deverão provir de outras fontes que, segundo Brady (1989), podem ser fertilizantes comerciais, resíduos vegetais e, inclusive, rejeitos humanos, industriais e domésticos, dentre outros.

O fósforo contido no material de origem do solo encontra-se na forma de minerais, com predomínio dos fosfatos. Ainda que, na maioria dos solos, a quantidade de fósforo possa ser relativamente grande, os processos geoquímicos e biológicos podem transformar os fosfatos naturais em formas estáveis, fixado, combinado com outros elementos, como cálcio, ferro ou alumínio, formando compostos não assimiláveis pelas plantas, chamado fósforo lábil (GIRACCA; NUNES, 2009).

A remoção do fósforo do solo, pela cultura, é pequena, quando comparada ao nitrogênio e ao potássio, pois, quando se encontra na forma orgânica, só se torna disponível para a planta pela mineralização da matéria

orgânica. A parte do fósforo assimilável pela planta é aquela que se encontra na solução do solo (GIRACCA; NUNES, 2009; BRADY, 1989).

Por ser muito reativo, não existe fósforo em pura forma elementar. Em contato com o ar, forma fosfato PO_4^{3-} . Na água, os fosfatos são protonados para formar HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- e H_3PO_4 . PO_4^{3-} ortofosfato, a forma molecular mais simples de fosfato, forma aquosa, sob condições muito básicas ou alcalinas. HPO_4^{2-} : forma aquosa sob condições básicas ou alcalinas H_2PO_4^- : forma aquosa sob condições neutras H_3PO_4 : forma aquosa sob condições muito ácidas (GOUVEIA et al., 2007).

O fósforo é absorvido pelas plantas sob a forma de ânions H_2PO_4^- em solos ácidos e, na forma HPO_4^{2-} , seguido de PO_4^{3-} , o que mostra que o fósforo é um nutriente altamente dependente de acidez e umidade do solo (BRADY, 1989).

Embora o fósforo seja absorvido em menor quantidade do que os demais nutrientes, ele é fundamental para o desenvolvimento das raízes da planta, o que faz ser sua presença no solo indispensável para o crescimento e produção vegetal.

O fósforo é pouco móvel (BORGES; SOUZA, 2004), não sendo um nutriente facilmente sujeito a perdas por percolação; as maiores perdas ocorrem pela erosão, quando ocorrem perdas de matéria orgânica e partículas coloidais com fósforo (GOUVEIA et al., 2007).

O movimento do fósforo no solo difere conforme a textura do mesmo (GUSTAFSON, 1974). O pH do solo também tem grande influência sobre a assimilação do fósforo (ARGO; BIERNBAUM, 1996; BRADY, 1989).

Nos fertilizantes fosfatados sob a forma de fosfato solúvel em água, em contato com a solução do solo, o fósforo solubiliza, tornando-se disponível. Parte dele fica diluído na solução do solo e parte fica adsorvido ao complexo coloidal (argilas), por trocas iônicas; em solos ácidos que apresentam elevados teores de ferro e alumínio, parte do fósforo disponível é fixada, formando

compostos de ferro e alumínio, fazendo com que o fósforo se torne indisponível para as plantas.

O aumento da disponibilidade do fósforo pode ser obtido através da aplicação de calcário.

Segundo Brady (1989), mesmo sendo o fósforo pouco exigido pelas plantas, a necessidade de adubação fosfatada é grande, devido principalmente a três fatores: (a) nível relativamente reduzido de fósforo nos solos; (b) indisponibilidade desse fósforo natural; (c) acentuada fixação dos fosfatos solúveis adicionados.

Segundo Costa et al. (2009), o maior conteúdo de água favorece a difusão de fósforo no solo.

Lima (2006) afirma que as características físicas do solo influenciam no teor de fósforo disponível, ou seja, a mesma disponibilidade de fósforo pode ser considerada limitante, baixa ou muito baixa, dependendo do teor de argila do solo.

A Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC classificou o solo do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina em 6 classes, conforme o teor de argila; Lima (2006) apresenta a relação entre as faixas de teor de fósforo no solo e as classes de solo. No Quadro 3, são apresentadas as faixas de teores de P no solo para a classe 4, ou seja, solo com 11 a 25% de argila.

Quadro 3 - Fósforo extraível do solo, para solos com teor de argila entre 11 e 25%. Adaptado de Lima (2006)

Faixa de teor de P no solo	P (cmol_c dm⁻³)
Limitante	< 3,1
Muito baixo	3,1 – 6,0
Baixo	6,1 – 12
Médio	12,1 – 18
Suficiente	> 18
Alto	> 24

2.3.4 Potássio

O potássio é, geralmente, o segundo nutriente em quantidade extraída pelos vegetais, após o nitrogênio. O potássio é absorvido como K^+ e preferencialmente por difusão, assim como o fósforo.

Segundo Zanini (1991), de maneira geral, os locais de maiores concentrações de K^+ coincidem com os locais de maiores valores de umidade, evidenciando seu caminhamento por fluxo de massa, concordando com Malavolta (1980), isto é, a distribuição de potássio no solo correlaciona-se à distribuição de água no solo.

Brady (1989) afirma que grandes quantidades de potássio são perdidas por lixiviação, ao contrário do que acontece com o fósforo, por exemplo; porém, por outro lado, se o potássio estiver disponível, grande quantidade dele é removido pela planta, inclusive, quantidades que excedem as suas necessidades, uma vez que o potássio absorvido não aumenta o crescimento vegetal. A remoção de potássio pelas plantas corresponde à três ou quatro vezes a do fósforo.

Conforme Santos (2001), o potássio apresenta um comportamento intermediário entre o nitrogênio e o fósforo, pois não é tão lixiviado quanto o nitrogênio nem se fixa tanto ao solo quanto o fósforo. Assim, quando os solos contêm muitos colóides orgânicos e minerais (em particular quando nesses últimos predominam tipos de argila que favorecem a sua fixação), o potássio terá tendência de ser pouco arrastado por lixiviação; nos solos pobres em colóides, ao contrário, o potássio poderá sofrer grandes perdas por infiltração.

Quando ocorre falta de água ou outros cátions, pode haver poluição do solo por potássio, associada à salinização, uma vez que este se desloca e tende a se acumular na forma iônica na solução do solo. O excesso desse íon pode causar também dispersão das argilas e desequilíbrio nutritivo com outros cátions (MELO, 2006).

O arrastamento do potássio pelas águas superficiais ou subterrâneas será bastante provável, no entanto sua contribuição para a poluição das águas

será, de modo geral, baixa, já que, normalmente, elas já têm teores elevados desse nutriente, sendo assim, o potássio, ao contrário do nitrogênio e do fósforo, acaba por contribuir muito pouco para a eutrofização e, por outro lado, a não ser quando conduza a grandes desequilíbrios com outros elementos, não afeta a qualidade normal da água (SANTOS, 2001).

Segundo Lima (2006), quando um solo apresenta menos que $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K, a quantidade de K trocáveis na solução do solo é considerada muito baixa. De $0,3$ a $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, é considerada baixa; de $0,4$ a $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, é considerada média; de $0,8$ a $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, é considerada alta e, acima de $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, é considerada muito alta.

Conforme Fioretto (2001), a predominância do íon K^+ entre os constituintes minerais da manipueira tem implicação direta no desequilíbrio dos cátions básicos do solo, devido à saturação desse elemento e da predisposição à lixiviação de Ca^{2+} e Mg^{2+} . O excesso de potássio leva à lixiviação de Ca e Mg.

2.3.5 Alumínio

Na solução do solo, os íons Al^{3+} são facilmente absorvidos pelas plantas e possuem alta atividade; quando sofrem hidrólise, formam hidróxidos incompletos de alumínio, como $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ e $\text{Al}(\text{OH})_2^+$; porém nesta condição ainda são solúveis e tóxicos para as plantas. Essa hidrólise constitui uma fonte importante de prótons (H^+) no solo, ou seja, acidez de reserva (BITTENCOURT, 2005).

A presença de alumínio, por ser trivalente, adere facilmente à argila, provocando troca com o cálcio, diminuindo a fração de alumínio fitotóxico e aumentando o teor de cálcio na solução do solo (MIYAZAWA et al., 1992, 1996; OLIVEIRA; PAVAN, 1996).

Conforme Lima (2006), os níveis de alumínio no solo podem ser classificados conforme o Quadro 4.

O alumínio está presente na água residuária aplicada, conforme mostra a Tabela 6.

Quadro 4 - Níveis de alumínio no solo. Adaptado de Lima (2006)

Níveis de Al no solo	Al cmol _c dm ⁻³
Muito bom	< 0,3
Bom	0,3 – 0,5
Médio	0,5 – 1,0
Alto	> 1,0

2.3.6 Cianeto

O ácido cianídrico é uma substância altamente tóxica que interfere na condução do oxigênio às células do organismo.

A mandioca acumula dois glicosídeos cianogênicos nas raízes e folhas, linamarina e lotaustralina, em proporções de aproximadamente 93:7. Esses dois glicosídeos são capazes de gerar ácido cianídrico (HCN), desde que ocorra hidrólise. Quando o tecido vegetal é dilacerado, a linamarina é hidrolisada enzimaticamente (linamarase), e pode se transformar espontaneamente em HCN (CHISTÉ; COHEN, 2008).

Esses compostos apresentam-se com diferentes concentrações nas diversas partes da planta. Pela ruptura da estrutura celular da raiz, as enzimas presentes (linamarase) degradam esses compostos, liberando o ácido cianídrico (HCN), que é o princípio tóxico da mandioca.

Chisté e Cohen (2008) realizaram um trabalho com o objetivo de determinar a concentração de cianeto total presente nas farinhas de mandioca do comercializadas na cidade de Belém, PA, e concluíram que as farinhas possuem valores de dosagem do cianeto total em concentrações baixas, não sendo suficiente para causar intoxicação em consumidores frequentes do produto.

Silva et al. (2003), realizaram um trabalho junto a uma fecularia de mandioca, no município de São Mateus (ES), com o objetivo de avaliar as concentrações de vários elementos e compostos químicos no efluente industrial da uma fecularia, dentre eles, o cianeto total, a partir de amostras obtidas em alguns pontos definidos entre a saída da indústria e o reservatório final, a cada 6 meses (janeiro e julho), durante três anos. Ao final, observaram que, por maior que venha a ser a concentração dessa substância, ele se volatiliza muito facilmente, resultando na sua significativa redução em praticamente todos os monitoramentos, ausente em alguns pontos. Verificaram, ainda, que a concentração do cianeto flutua em função da época de coleta, sendo maior no início do ano e menor no período de seca (meio do ano), quando a concentração de amido é maior nas raízes.

2.3.7 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da solução do solo pode ser relacionada aos íons de concentração predominantes no mesmo, conforme mostrado por Santana et al. (2007) em um estudo realizado em condições de laboratório, que visou estimar a concentração de potássio na solução do solo a partir da condutividade elétrica e da umidade do solo.

Conforme afirma Stewart; Howell (2003), a determinação da salinidade através da condutância elétrica já foi bem estabelecida há muito tempo, o que tem mostrado que a condutividade elétrica da solução do solo é função da sua composição química. A salinidade do solo é quantificada em termos da concentração total de sais solúveis e medida pela condutividade elétrica da solução em dS m^{-1} .

Santana et al. (2007) mostraram que o modelo que melhor explicou a relação entre a condutividade elétrica da solução do solo e o potássio foi o do tipo potência, porém Vogeler et al. (1997) relatam que, para baixas concentrações iônicas, a condutividade elétrica da solução do solo se relaciona de forma linear, com a concentração de determinado sal presente na solução do solo.

Tomé Jr. (1997) diz que o excesso de sais na zona radicular prejudica a germinação, o desenvolvimento e a produtividade das plantas.

2.4 Capacidade de troca catiônica (CTC)

A capacidade de troca catiônica (CTC) é a quantidade total de cátions que um solo, ou algum de seus constituintes, pode adsorver e trocar a um pH específico, em geral pH 7,0. No solo, a CTC é devida à superfície específica e às cargas inerentes ou acidentais de coloides eletronegativos, como os minerais de argila, a sílica coloidal e o húmus.

A capacidade de troca catiônica (CTC) permite avaliar a capacidade de o solo reter e trocar íons. A troca catiônica corresponde ao processo reversível, onde os cátions ficam retidos na superfície de uma fase sólida, podendo ser substituídos por cátions pertencentes a uma fase líquida ou, até mesmo, a outra fase sólida. Os íons envolvidos na troca ligam-se à estrutura do mineral eletrostaticamente. A quantidade de íons adsorvidos é proporcional à área das partículas, tendendo a aumentar as substâncias com elevada superfície específica, como os minerais na fração argila (SHUQAIR, 2002)

2.5 Salinidade

Salinidade do solo é o termo usado para caracterizar a condição na qual os sais solúveis contidos no solo atingem níveis prejudiciais às culturas, uma vez que a acumulação excessiva desses sais no perfil do solo causa um decréscimo na produtividade agrícola, por dificultar a extração da água do solo pela planta, causar toxicidade, influenciar a permeabilidade do solo e pode vir a causar possíveis desequilíbrios nutricionais no solo (STEWART; HOWELL, 2003).

A alta salinidade do solo diminui o potencial osmótico próximo à rizosfera, dificultando o caminhamento dos íons até as raízes, o que compromete o crescimento e a distribuição das raízes assim como a absorção de água e nutrientes, comprometendo a produtividade (HILLEL, 1998;

MARSCHNER, 1995). Segundo Brady (1989), os solos salinos são aqueles que contêm uma concentração de sais neutros solúveis, em quantidades suficientes para interferir no pleno desenvolvimento da maioria dos vegetais.

A quantidade de sais adicionados ao solo, via irrigação, é proporcional à quantidade de água aplicada, ou seja, a concentração de sais no solo cresce com a lâmina de irrigação. O excesso de fertilização, o uso de água salina e a ausência de drenagem adequada são fatores que levam a situações desfavoráveis e favorecem a degradação dos solos (SILVA et al., 2008).

A salinização de um solo depende da qualidade da água usada na irrigação, do seu manejo, da existência e do nível de drenagem natural ou artificial do solo, da profundidade do lençol freático e da concentração original de sais no perfil do solo. Para o cultivo em solos salinos ou quando a água de irrigação é salina, deve-se ter especial atenção à frequência de irrigação, independente do método, bem como a localização da planta, pois quanto maior a frequência de irrigação, menor será o efeito sobre a cultura (BERNARDO, 1996; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Paganini, Souza e Bocchiglieri (2004) afirmam que a capacidade da água de conduzir uma corrente elétrica é tanto maior quanto maior for a concentração de eletrólitos, ou seja, a salinidade da água pode ser medida pela condutividade elétrica (CE), sendo relacionada de forma direta com a concentração de sais solúveis.

A classificação de salinidade do solo aceita é baseada na concentração total de sal de uma solução em equilíbrio, a partir da medida da condutividade elétrica e da concentração de íons de sódio.

A salinidade guarda forte relação com a toxicidade iônica específica e com a degradação das condições físicas que podem ocorrer no solo.

O Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (Universidade da Califórnia – Riverside) classifica os solos quanto à salinidade em função da condutividade elétrica do extrato de saturação (CE), da razão de adsorção de sódio (RAS) e do pH, conforme apresentado no Quadro 5 (RICHARDS, 1977).

Se a salinidade da água aplicada for superior a 3,0 dS m⁻¹, conforme Ayers e Westcot (1989), ela só pode ser utilizada em situações em que a cultura seja tolerante ao sal e o solo seja bastante permeável, onde altas taxas de lixiviação possam ser alcançadas.

Quadro 5 - Classificação dos solos quanto à salinidade (RICHARDS, 1977)

SOLO	CE (dS m ⁻¹)	RAS (%)	pH
Normal	<4	<13	<8,5
Salino	>4	<13	<8,5
Sódico	<4	>13	≥8,5
Salino/sódico	>4	>13	<8,5

2.6 Crescimento da *Brachiaria brizantha*

Em estudo realizado com *Brachiaria brizantha*, para se avaliar as diferenças de crescimento da mesma nas diferentes épocas do ano, Paciullo et al. (2008) verificaram que a maior taxa de crescimento das gramíneas do gênero *Bracharia*, sob condições de pleno sol, ocorreu no verão, seguida das observadas no outono e na primavera. Santos et al. (2009) avaliaram as condições de crescimento livre durante a primavera, verão e outono no semiárido mineiro da *Brachiaria brizantha* e verificaram que tanto o alongamento como o número de folhas vivas foi maior no verão do que nas demais estações do ano. Afirmam que isso se dá provavelmente devido às condições climáticas favoráveis dessa estação, principalmente a chuva. Conforme Silva (2009), de novembro a fevereiro é a época de crescimento intenso da *Brachiaria brizantha*.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho avaliou o efeito da aplicação da água residuária de indústria de mandioca (AR) no solo, cultivado com *Brachiaria brizanta* cv. MG-5, implantada em fevereiro de 2005, sob pastoreio até agosto de 2008, sem adubação de reposição. A aplicação da AR se deu em duas fases: a primeira, com 10 aplicações, durante o período de novembro de 2008 a fevereiro de 2009, sendo uma aplicação por semana, com 4 horas de duração por aplicação; a segunda, com 8 aplicações, durante o período de março a maio de 2009, também com uma aplicação por semana, com quatro horas de duração em cada aplicação.

3.1 A área experimental e a água residuária

O experimento foi conduzido em uma área com 5.000 m², situada no município de Cidade Gaúcha – PR, cujas coordenadas são 23° 22' 48" S, 52° 56' 42" W.

A aplicação da AR foi realizada com canhão hidráulico fixo, mostrado na Figura 2, elevada por um conjunto moto-bomba marca IMBIL cujas características se encontram na Tabela 1, e uma rede de tubos de PVC azul, para irrigação, com parte da tubulação de 100 mm de diâmetro, e parte de 75 mm (na área experimental) PN 80.



Figura 2 - Canhão hidráulico utilizado para aplicação de água residuária.

Tabela 1 - Características da moto-bomba utilizada

Marca	IMBIL
Potência	140 CV
Combustível	Óleo
Série	68575
Vazão	30 m ³ .h ⁻¹
Diâmetro do Rotor	209 mm
Altura manométrica	90 m.c.a.
Diâmetro de recalque	1,5" para 4"
Diâmetro de sucção	2,5"

3.2 Caracterização da vazão dos bocais do canhão

Durante a aplicação da AR, a vazão foi controlada pela manobra do registro de gaveta e pela leitura do manômetro colocados no tubo vertical que antecedia o canhão, como mostrado no esquema da Figura 3. O canhão era também equipado com vários bocais, os quais forneciam diferentes raios molhados e diferentes uniformidades da lâmina no raio.

Realizou-se então a aferição dos bocais do canhão, com o objetivo de se determinar a curva de pressão x vazão para cada bocal, para que, com essa curva, se pudesse, posteriormente, determinar a vazão de cada bocal, a partir da pressão medida no manômetro.

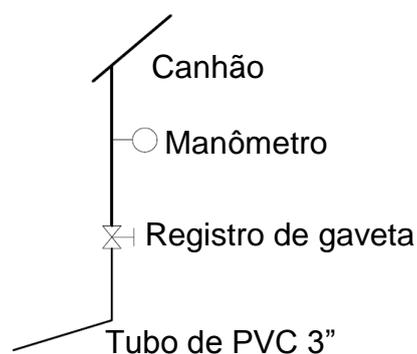


Figura 3 - Esquema da instalação do canhão.

A vazão de irrigação em cada situação foi obtida através do medidor de vazão ultrassônico marca Dynasonics, modelo DUFX1-D1, mostrado na Figura 4(a), o qual mede a velocidade do escoamento (em m s^{-1}), desde que hajam partículas em suspensão, como mostra a Figura 4(b). Com o valor da velocidade medida e o diâmetro da tubulação, determina-se a vazão.

$$Q = v.A = v.\frac{\pi.D^2}{4}$$

Onde v é a velocidade do escoamento, m s^{-1} , D é o diâmetro do tubo, m e Q é a vazão, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$.

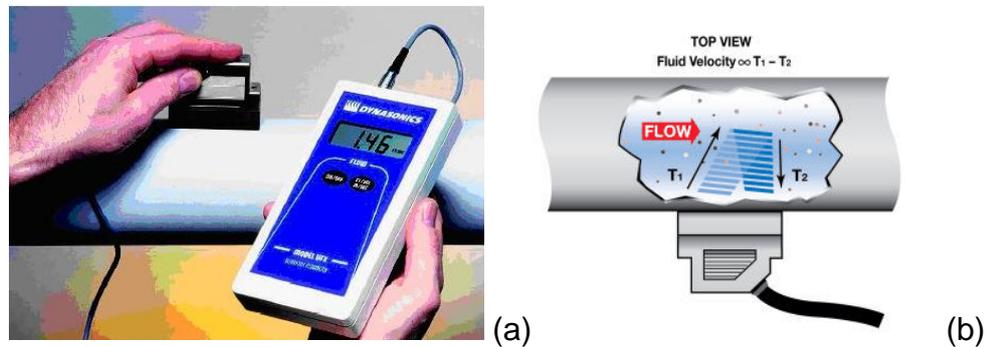


Figura 4 - Medidor de vazão ultrassônico marca Dynasonics.

Foram aferidos os bocais de 18 mm, 20 mm, 22 mm, 24 mm e 26 mm. As pressões variaram de 49 a 490 KPa. As vazões resultantes encontram-se na Tabela 2.

Para cada uma das vazões da Tabela 2, determinou-se a lâmina aplicada ao longo do raio molhado, para se verificar qual seria a vazão ideal (bocal x pressão) que fornecesse lâminas desuniformes, permitindo que os tratamentos ocorressem ao longo do raio molhado.

A avaliação da lâmina foi feita colocando-se coletores ao longo de três raios, partindo do canhão. Os coletores foram colocados distanciados 1 m um do outro para que a lâmina pudesse ser avaliada metro a metro ao longo do raio do canhão, como mostra esquematicamente a Figura 5.

Tabela 2 - Vazões obtidas para cada bocal, em função da pressão e do diâmetro do mesmo

Pressão (KPa)	Vazão (L s ⁻¹)				
	Bocal (mm)				
	18	20	22	24	26
49	1,4	1,7	2,8	3,3	4,2
98	2,0	3,0	4,1	4,6	6,7
147	2,5	3,7	5,0	5,9	8,2
196	3,0	4,5	5,7	6,8	9,5
245	3,3	5,1	6,3	7,4	10,8
294	3,6	5,8	7,1	8,0	11,6
343	4,0	6,2	7,5	8,8	
392	4,4	6,6	8,1	9,7	
441	4,7	6,9	8,6	10,3	
490	5,0	7,1	9,0		

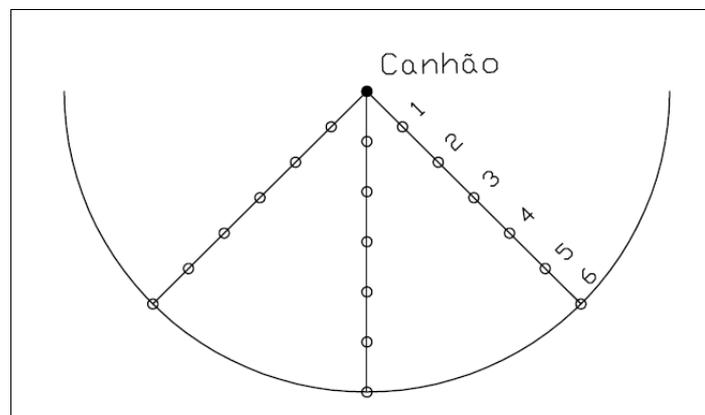


Figura 5 - Representação esquemática da colocação dos coletores ao longo do raio para a avaliação da lâmina de irrigação.

Optou-se pelo bocal de 18 mm, sujeito à pressão de 441 KPa, por ser o que forneceu a relação pressão vazão que manteve o raio de 30 m e a lâmina com uma desuniformidade tal, ao longo do raio molhado, que permitiu o estabelecimento dos tratamentos desejados. Durante o experimento, a lâmina

foi medida novamente, uma vez a cada mês, para verificação da sua manutenção.

3.3 Seleção dos tratamentos

Com o bocal de 18 mm sujeito à pressão de 441 KPa, cuja vazão total do escoamento era $4,7 \text{ L s}^{-1}$, obtiveram as lâminas, conforme mostrado na Tabela 3.

Considerando-se as lâminas médias coletadas a cada 5 metros de distância do canhão, mostradas na Tabela 3, escolheram-se os tratamentos, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 3 - Lâmina ao longo do raio molhado, com bocal de 18 mm e pressão de $4,5 \text{ Kgf cm}^{-2}$

Raio (m)	Lâmina (mm)
5	32,8
10	29,6
15	29,6
20	27,5
25	36,6
30	10

Tabela 4 - Tratamentos para os quais o solo foi analisado até a profundidade de 100 cm

Tratamento	Lâmina (mm)
T0	0
T1	10
T2	29,6
T3	36,6

Ao final de cada período, em cada um dos tratamentos, foi aberta uma trincheira de 1,0m x 1,5m, com 1,0m para coletar solo de camadas de 20 em 20 cm de profundidade.

Para os mesmos pontos, foram coletadas amostras da planta para análise da massa verde (MV), da massa seca (MS) e avaliação nutricional. Foi também medida a altura da planta a partir do solo até sua extensão total em cada um dos tratamentos, em cada período avaliado.

3.4 Classificação do solo

Para a classificação do solo, realizou-se a análise granulométrica e físico-química das amostras retiradas à profundidade de 0-20 cm, 20-40 cm e a 100 cm. A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil e as análises físico-químicas no Laboratório de Agroquímica e Meio Ambiente do Departamento de Química, ambos da Universidade Estadual de Maringá. A Tabela 5 mostra a composição granulométrica e as características físico-químicas do solo utilizado.

De acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (EMBRAPA, 1999), o solo foi caracterizado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico. A cor foi avaliada pela escala de Munsell de cores (MUNSELL, 2000).

Tabela 5 - Composição granulométrica e características físicas e químicas do solo utilizado

Horizonte	Prof. (cm)	Composição Granulométrica da Terra Fina (%)				Complexo Sortivo							%	
		Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	(cmol _c .dm ⁻³)								
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H ⁺	Al ³⁺	P	S	T	V
Ap	0-20	49,76	41,55	2,12	6,58	0,72	0,21	0,06	3,01	0,25	9,02	0,99	4,25	23,27
Bt2	100	41,82	40,39	0,89	16,9	1,04	0,11	0,00	2,01	0,20	0,88	1,15	3,36	34,19

3.5 Período da análise

O experimento ocorreu durante dois períodos de observação, sendo o primeiro predominantemente durante o verão e o segundo predominantemente durante o outono.

A área experimental teve seu dossel uniformizado através de uma roçada, pela primeira vez, no dia 12 de novembro de 2008; em 20 de novembro de 2008 iniciaram-se as aplicações de AR no solo através do canhão. Teve início então a primeira fase do experimento.

As aplicações de AR foram semanais, com 4 horas de duração por aplicação, sendo que na primeira fase foram realizadas 10 aplicações.

Ao final da primeira fase, do dia 30 de janeiro de 2009 ao dia 5 de fevereiro de 2009, foram coletadas as amostras do solo e da planta para a realização das análises químicas.

Durante o mês de fevereiro e na primeira quinzena de março de 2009, as chuvas impediram a roçada, para se dar início à segunda fase do experimento.

Na semana de 16 a 20 de março de 2009, foi realizada a nova regularização do dossel através de roçada e a limpeza da área, para se iniciar a aplicação da AR na segunda fase.

As aplicações da AR começaram em 26 de março de 2009. Foram aplicações semanais de 4 horas de duração e terminaram em 15 de maio de 2009, quando se completaram 8 semanas de aplicação.

A coleta das amostras do solo e da planta ocorreram em 1º e 2 de junho de 2009, após se completarem 10 semanas de ciclo da cultura.

3.6 Determinação da lâmina de AR

Durante o experimento, a lâmina foi medida uma vez a cada mês para a verificação da sua manutenção. Foram colocados coletores de 5 em 5 metros

ao longo de três raios, num total de 6 coletores ao longo dos 30m de cada raio. Foi determinado o volume coletado e a calculada a lâmina por aplicação (Lâm, mm):

$$Lâm(mm) = \frac{Volume\ coletado\ (L)}{Área\ da\ seção\ superficial\ do\ coletor\ (m^2)}$$

3.7 Características da AR aplicada

Foi coletada uma amostra da AR na lagoa, junto da bomba, no ponto de sucção da mesma. A amostra foi encaminhada ao Laboratório de Agroquímica e Meio Ambiente do Departamento de Química da Universidade Estadual de Maringá, onde foram realizadas as análises para a determinação das características químicas.

Os resultados das análises da AR coletada na entrada da moto-bomba de recalque estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Características químicas da água residuária da fecularia de mandioca

N	P	K	Ca	Mg	C	Cu	Fe	Mn	Zn	Al	Na	pH
mg L ⁻¹												
14	8,76	142,39	26,11	17,91	1168,8	0,023	3,67	0,30	0,12	3,02	3,1	5,9

3.8 Determinação da altura da planta, massa seca (MS) e massa verde (MV)

A planta, neste estudo, serviu como parâmetro para se verificar se aplicação da AR foi ou não prejudicial à produção e o quanto ela estaria contribuindo na redução da contaminação do solo absorvendo íons importantes quando se trata dessa contaminação.

Acompanharam dois ciclos da cultura, um de verão e outro de outono, pois, segundo Paciullo et al. (2008), Santos et al. (2009) e Silva (2009), a *Brachiaria brizantha* tem crescimento diferente nesses dois períodos.

Durante cada período, foram feitas várias medidas da altura da planta, em seu comprimento, desde o solo até a extremidade da folha. O resultado médio foi obtido fazendo-se três repetições da medida em cada tratamento e mais três repetições na testemunha. O resultado final encontra-se na Tabela 7.

Além da altura da planta, no final de cada período (30/01/2009 e 02/06/2009) foram coletadas amostras da planta para análise da massa verde e do tecido vegetal. Foram analisadas três amostras em cada tratamento e mais três amostras da testemunha. As amostras foram coletadas com tesoura de poda, numa área de 0,16m².

Após coletadas, as amostras foram pesadas, colocadas em sacos de papel e levadas a estufa com circulação de ar à temperatura de 65°C, até obterem massa constante (aproximadamente 48h). Pesou-se e registrou-se a massa seca de cada amostra. Tomaram-se os dados de massa seca (MS) e massa verde (MV) e transformou-se a unidade em Kg m⁻², sendo os resultados registrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Características da planta, para os tratamentos T0, T1, T2 e T3, com 10 e 18 aplicações de AR

Características da planta	Número de aplicações							
	10				18			
	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
MS Kg m ⁻²	0,74	1,03	2,55	1,52	0,21	0,67	1,14	0,92
MV Kg m ⁻²	2,88	5,00	14,32	7,92	0,81	3,85	6,98	5,33
Altura (cm)	63,0	141,5	150,8	135,3	53,0	87,0	120,2	107,3

MS: Massa seca; MV: massa verde; Altura: Altura da planta

Após secas, as amostras foram trituradas em moinho de facas de aço inoxidável tipo Willey até serem reduzidas a um pó fino e, após passadas por

uma peneira 20 mesh, foram armazenadas em sacos plásticos, para posterior retirada das subamostras utilizadas no preparo de estratos para as demais análises (SILVA, 2009; MALAVOLTA, 1989)

A análise química do tecido vegetal é um dos métodos utilizados para a avaliação do estado nutricional das plantas. Na avaliação do tecido vegetal, foram avaliados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn.

Para a análise química do tecido vegetal, primeiro preparou-se o extrato. A extração refere-se à fase da retirada dos elementos de compostos orgânicos ou adsorvidos a esses compostos. Os principais tipos de extração são: digestão ácida a quente, para a extração decomposição por via seca, e extração por agitação.

A digestão ácida a quente utilizada foi sulfúrica, para a extração do nitrogênio e nítrico-perclórica, para a extração de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro, manganês, zinco.

Preparo da mistura digestora: em béquer com capacidade para 1.000 ml, adicionou-se, na seguinte ordem: 175 ml de água destilada; 5,47 g de $\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ou 3,6 g de Na_2SeO_3 ; 21,39 g de Na_2SO_4 ou 48,5 g de $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; 4,0 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ e 200 ml de H_2SO_4 concentrado. Fez-se a homogeneização dos quatro primeiros reativos, para depois acrescentar cuidadosamente o ácido sulfúrico.

Para a determinação do nitrogênio, foram colocados 100mg de amostra de folhas moídas no tubo de digestão e juntados 7 mL da mistura digestora. Levou-se o tubo digestor para o bloco digestor e submeteu-se à temperatura de 350°C, partindo-se da temperatura ambiente e aumentando-se 50°C a cada 30 minutos, até atingir 350°C, permanecendo assim até completar a digestão, caracterizada pela obtenção de um líquido incolor ou levemente esverdeado.

A obtenção do teor de nitrogênio se obtém fazendo-se a transformação do nitrogênio amoniacal $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ em amônia (NH_3), a qual é fixada pelo ácido bórico e posteriormente titulada com, H_2SO_4 , até nova formação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, na presença de indicador de ácido/base.

Para a determinação do fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro, manganês, zinco, foram passados 500 mg de material seco e moído para tubo de digestão, adicionados 6 ml de uma mistura de HNO₃ e HClO₄ na proporção de 2:1 e levou-se para bloco digestor, aumentando gradativamente a temperatura até atingir 160°C, permanecendo nessa temperatura até o volume ser reduzido à metade (cerca de 40 minutos). A temperatura foi aumentada para 210°C, onde permaneceu até serem obtidos fumos brancos de HClO₄ e o extrato apresentar-se incolor (cerca de 20 minutos). Quando esfriou, o extrato foi transferido para balão volumétrico de 50 ml, com porções de água deionizada. Foi completado o volume dos balões volumétricos com água deionizada.

O teor de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco foi obtido através de espectrofotômetro de absorção atômica marca Varian, modelo Spectra A.A-10 plus, com chama.

As rotinas utilizados nas análises químicas do tecido vegetal seguiram os procedimentos propostos por Silva (2009) e Malavolta et al. (1989). Os resultados da análise foliar encontram-se no Quadro 15.

3.9 Análises químicas do solo

As análises químicas do solo foram realizadas com 10 e 18 aplicações da AR, por serem os dois resultados de final de cada ciclo da cultura (período de colheita, por descrever dois ciclos inteiros). Nas duas situações obtiveram-se os dados até a profundidade de 1,0m.

As análises químicas são indispensáveis na orientação quanto à indicação de quantidades e tipos de nutrientes necessários ao solo e na identificação de barreiras químicas.

Os diversos índices da composição do solo, como pH, granulometria, mineralogia, a capacidade de troca de cátions e matéria orgânica, possuem grande controle na mobilidade de metais, permitindo o movimento dos íons no solo.

Para a análise do solo, depois de selecionados os tratamentos, o tempo de aplicação da AR e a duração de cada fase, ao final do período estabelecido, foram abertas trincheiras, uma em cada tratamento, com área de $1,5\text{m}^2$ ($1\text{m} \times 1,5\text{m}$) e com 1,0m de profundidade.

Em cada trincheira, aberta para cada tratamento, foram coletadas amostras de solo cotendo 1Kg cada uma, nas profundidades 0-20cm, 20 a 40 cm, 40 a 60 cm, 60 a 80 cm e 80 a 100 cm.

Além disso, com um trado holandês, foram coletadas mais três amostras em cada tratamento, nas profundidades 0-20 e 20-40cm, para compor a média do resultado dos valores para a superfície.

As amostras coletadas ao final de 10 e 18 aplicações foram encaminhadas para o Laboratório de Agroquímica e Meio Ambiente do Departamento de Química da Universidade Estadual de Maringá, onde foram determinados os teores de P, C, $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, Al^{3+} , $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ .

Ao chegar ao laboratório, as amostras de solo foram colocadas em pratos descartáveis, espalhadas, destorroadas e deixadas em local ventilado para secar ao ar. Depois de secas, foram passadas através de peneiras de 2 mm e acondicionadas em saquinhos de plástico identificados e denominada de terra fina seca ao ar (TFSA).

Deu-se início à análise química do solo, com o seguinte procedimento:

3.9.1 Determinação do pH em solução centimolar de Cloreto de Cálcio CaCl_2 0,01M

- Transferiram-se 10 cm^3 de TFSA para um béquer de 50 ml;
- adicionaram-se 25 ml da solução de CaCl_2 0,01M com uma proveta;
- deixou-se em repouso durante 15 min e agitou-se em agitador horizontal circular por 10 min;
- deixou-se em repouso cerca de 30 min. e procedeu-se à leitura no potenciômetro, devidamente calibrado (RAIJ; QUAGGIO, 1983; SILVA, 2009).

3.9.2 Acidez Potencial - pH em solução tampão SMP (Shoemaker, McClean, Pratt)

- Foram adicionados 5,0 ml da solução tampão SMP à suspensão em que foi determinado o pH em CaCl_2 0,01M e agitou-se por 15 min;

- deixou-se em repouso por 1 hora e, após calibrar o aparelho com as soluções tampões a pH 4,0 e 7,0 procedeu-se a leitura no potenciômetro (RAIJ; QUAGGIO, 1983; SILVA, 2009).

Os valores obtidos com a leitura no potenciômetro foram convertidos para os valores de acidez potencial, através da equação proposta por Pavan et al. (1996), para solos do estado do Paraná.

$$\text{Ln}(H^+ + Al^{3+}) = 6,068 - 0,744 \text{ pH}_{SMP}$$

$$H^+ + Al^{3+} = e^{(6,068 - 0,744 \text{ pH}_{SMP})}$$

3.9.3 Extração com KCl 1 mol L⁻¹ de cálcio, magnésio e alumínio.

A solução de KCl é um sal neutro e capaz de extrair os cátions ligados eletrostaticamente aos coloides do solo (íons trocáveis). O Ca^{2+} e Mg^{2+} e o Al^{3+} trocáveis são extraídos por KCl mol L⁻¹, titulando-se numa fração do extrato, o alumínio com NaOH, 0,025 mol L⁻¹ na presença de fenolftaleína a 1% como indicador. Em outra fração do extrato, determina-se o $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e uma terceira fração é utilizada para a determinação do Ca^{2+} .

Extração com KCl 1 mol L⁻¹

Mediram-se 10 mL de cada amostra de TFSA (Terra Fina Seca ao Ar), transferida para erlenmeyer 125 mL, com adição em cada uma delas 100 mL de KCl 1 mol L⁻¹. Agitou-se em uma mesa agitadora horizontal durante 10 min deixando as amostras repousarem por uma noite (SILVA, 2009).

Determinação de Al³⁺

Com uma pipeta, tomou-se uma alíquota de 25 mL do extrato (solo + KCl 1 mol L⁻¹) e transferiu-se para erlenmeyer 125 mL, adicionando-se 3 gotas

de fenolftaleína 1%. Titulou-se com NaOH 0,025 mol L⁻¹. A viragem se deu do incolor para o róseo e anotou-se o volume gasto de NaOH (em ml).

O teor de Al³⁺ existente na amostra é dado pela igualdade:

$$\frac{cmol_c}{dm^3} Al^{3+} = (mL de NaOH 0,025 mol L^{-1}) gastos na titulação$$

Determinação de Ca²⁺ +Mg²⁺

Tomou-se uma alíquota de 25 mL do extrato (solo + KCl mol L⁻¹) e transferiu-se para erlenmeyer 125 mL, adicionando-se 5 gotas de Trietanolamina e 4 ml do coquetel para cálcio, utilizando-se pipeta com pera. Imediatamente antes da titulação, adicionou-se uma pitada de CALCON 1% e titulou-se com ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) 0,0125 mol L⁻¹, a viragem se deu do róseo para o azul puro e anotou-se o volume de EDTA gasto. O teor de Ca²⁺ +Mg²⁺ é dado por:

$$\frac{cmol_c}{dm^3} (Ca^{2+} + Mg^{2+}) = (mL de EDTA 0,125 mol L^{-1}) gastos na titulação$$

Determinação de Ca²⁺

Foram pipetados 25 mL do extrato para erlenmeyer 125 mL e adicionados 3 mL de KOH a 100 g L⁻¹ e 30 mg de ácido ascórbico. Titulou-se com solução de EDTA 0,0125 mol L⁻¹. A mudança se deu do vermelho intenso para o azul intenso. Anotou-se o volume de EDTA gasto na titulação. O teor de cálcio é dado por (SILVA, 2009).

$$\frac{cmol_c}{dm^3} (Ca^{2+}) = (mL de EDTA 0,125 mol L^{-1}) gastos na titulação$$

O teor de magnésio é dado por:

$$\frac{cmol_c}{dm^3} (Mg^{2+}) = \frac{cmol_c}{dm^3} (Ca^{2+} + Mg^{2+}) - \frac{cmol_c}{dm^3} (Ca^{2+})$$

3.9.4 Extração com solução de Mehlich 1 para fósforo, potássio e sódio

A solução extratora de Mehlich 1 é constituída por uma mistura de HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,125 mol L⁻¹. O emprego dessa solução como extratora de fósforo, potássio e sódio do solo baseia-se na solubilização desses elementos pelo efeito do pH, entre 2 e 3, sendo o papel do cloro, Cl⁻, o de restringir o processo de readsorção dos fosfatos recém-extraídos (SILVA, 2009).

Extração com Mehlich 1

Aoós medir 10 mL de cada amostra de TFSA (Terra Fina Seca ao Ar), fez-se a transferência para erlenmeyer 125 mL, adicionando em cada uma delas 100 mL da solução extratora Mehlich 1. Agitou-se em uma mesa agitadora horizontal durante 5 min, e deixaram-se as amostras repousarem por uma noite (SILVA, 2009).

Determinação de P

A determinação do fósforo extraído foi feita através de espectrofotômetro por meio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico, produzido pela redução do molibdato com o ácido ascórbico.

Foram pipetados 5 mL do extrato e colocados-se em um erlenmeyer de 125 mL. Adicionou-se 10 mL de solução ácida de molibdato de amônia diluída e 30 mg ácido ascórbico em pó. Deixou-se descansar por 1 hora para fixar a cor. Efetuou-se a leitura da densidade ótica no fotocolorímetro, usando filtro vermelho com comprimento de onda de 660 nm e anotou-se o resultado. As pipetas foram lavadas após cada pipetagem para que não houvesse contaminação de uma amostra para a outra (SILVA, 2009).

Determinação de K

A determinação do potássio foi feita através do fotômetro de chama.

Pipetou-se 10 mL do extrato e colocou-se em um béquer de 50 mL. Selecionou-se o filtro próprio para potássio e aferiu-se o fotômetro com água

deionizada no ponto zero e com solução padrão de $0,2 \text{ mmol de K}^+ \text{ L}^{-1}$ no valor correspondente ao centro de escala. Feito isso, houve as leituras das amostras com anotações dos resultados (SILVA, 2009).

Determinação de Na

Fez se a medição teores de sódio em todas as amostras de solo coletadas após 18 aplicações de AR. Como os valores encontrados foram baixos, conforme pode ser visto no Quadro 17, não foi analisado o teor de sódio nas amostras coletadas após 10 aplicações de AR.

A determinação do sódio foi feita através do fotômetro de chama, seguindo a metodologia proposta por Silva, 2009.

Após pipetar 10 mL do extrato e colocar em um béquer de 50 mL, selecionou-se o filtro próprio para sódio e aferiu-se o fotômetro com água deionizada no ponto zero e com solução padrão de $0,2 \text{ mmol de Na}^+ \text{ L}^{-1}$ no valor correspondente ao centro de escala. Feito isso, houve as leituras das amostras e anotação dos resultados.

3.9.5 Determinação da matéria orgânica no solo

A matéria orgânica do solo é constituída de organismos vivos, de seus resíduos e, principalmente de seus resíduos de decomposição. Ela é de importância fundamental para as propriedades do solo.

Existem vários métodos para se determinar a matéria orgânica no solo, porém no Brasil é feita via indireta, a partir da determinação do carbono. Admite-se que a matéria orgânica é constituída de 52 a 58% de carbono; determina-se a matéria orgânica multiplicando-se o carbono pelo fator 1,724 (EMBRAPA, 1989; SILVA, 2009).

Para se determinar o carbono orgânico, utilizou-se o seguinte procedimento, na capela, conforme EMBRAPA (1989):

Primeiro fez-se a prova em branco: pipetaram, com pipeta volumétrica com pera, 10ml de dicromato de potássio 1N e transferiu-se para erlenmeyer 250 ml, adicionando, com proveta, 20 ml de ácido sulfúrico concentrado;

agitou-se manualmente e aguardou-se por 30 min. Fez-se a adição, com proveta, de 10 ml de ácido ortofosfórico (H_3PO_4) concentrado e 6 gotas de difenilamina a 1%, bem como a adição, também com proveta, de 100ml de água deionizada, e titulou-se com sulfato ferroso amoniacal 0,4N. A viragem de cor se deu de azul escuro para verde. Anotou-se o volume de sulfato ferroso gasto na titulação.

Prova com solo: Mediu se 1 ml de TFSA e transferiu-se para erlenmeyer de 250 ml; pipetaram, com pipeta volumétrica com pera, 10 ml de dicromato de potássio 1N e transferiu-se para erlenmeyer 250 ml. Depois de adicionar, com proveta, 20 ml de ácido sulfúrico concentrado, agitou-se manualmente e aguardou-se por 30 min. Fez-se a adição, com proveta, de 20 ml de ácido ortofosfórico (H_3PO_4) concentrado e 6 gotas de difenilamina a 1%, bem como a adição, também com proveta, de 100ml de água deionizada e titulou-se com sulfato ferroso amoniacal 0,4N. A viragem de cor se deu de azul escuro para verde. Anotou-se o volume de sulfato ferroso gasto na titulação.

O teor de carbono orgânico é dado por esta equação:

$$\frac{g}{dm^3}(C) = (25 - L) \cdot 0,4 \cdot \frac{25}{P.B.} \cdot 100 \cdot 1,33 \cdot 0,003 \cdot 10$$

Onde:

L é a leitura do volume de sulfato ferroso amoniacal 0,4N gastos para titular a quantidade de Cr_2O_7 que não reagiu com o carbono orgânico do solo;

(25-L) é a quantidade de Cr_2O_7 que reagiu com carbono orgânico do solo;

0,4 é a normalidade do sulfato ferroso amoniacal;

25/(P.B) é o fator de correção para a normalidade;

100 é para transformar em 100 mL de solo;

1,33 é o fator de correção proposto pelo autor;

0,003 é o fator para transformar de meq em g;

P.B. é o valor da prova em branco do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação.

$$\frac{g}{dm^3}(M.O.) = \frac{g}{dm^3}(C).1,724$$

3.9.6 Determinação da soma de bases, *S

O valor de *S é a soma de bases trocáveis. É calculado em $cmol_c dm^{-3}$ de solo, conforme a expressão:

$$*S = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$$

3.9.7 Determinação de *T ou CTC a pH 7,0

O valor de *T, ou capacidade de troca de cátions (CTC), com pH 7,0 corresponde à soma de bases mais a acidez potencial. É expressa em $cmol_c dm^{-3}$ de solo, conforme esta expressão:

$$*T = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+ + H^+ + Al^{3+} = *S + H^+ + Al^{3+}$$

3.9.8 Determinação de t ou CTC efetiva

O valor de t, ou capacidade de troca de cátions (CTC) corresponde à soma de bases mais a o alumínio presente. É expressa em $cmol_c dm^{-3}$ de solo, conforme a expressão:

$$t = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+ + Al^{3+} = *S + Al^{3+}$$

3.9.9 Determinação de *V(%)

O valor *V(%) é o índice de saturação por bases e é calculado em porcentagem pela expressão:

$$*V = \frac{*S}{*T} 100$$

3.9.10 Determinação da saturação por alumínio, *Al

O valor do índice de saturação por alumínio é dado pela relação percentual entre o teor de alumínio e a CTC efetiva:

$$*Al = \frac{Al^{3+}}{t} 100$$

3.9.11 Determinação do cianeto

Neste trabalho, a água residuária foi aplicada utilizando-se um canhão, considerando-se os relatos de Chisté e Cohen (2008) e de Silva et al. (2003); no processo utilizado para a aplicação da AR no solo, considerou-se desnecessária a verificação dos teores de cianeto junto ao solo para esta situação.

3.10 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica do solo foi determinada após as 18 semanas de aplicação da água residuária, utilizando-se uma proporção de 1:1 (50g de solo e 50 ml de água deionizada). A mistura foi agitada por 20 minutos em uma mesa agitadora e, após permanência em repouso por uma noite, foi filtrada cada amostra em papel filtro comum. Com um condutímetro de mesa com célula de constante K=0,1, foi realizada a medida da condutividade elétrica de cada amostra de solo em dS cm⁻¹ (CLAESSEN, 1997).

3.11 Disponibilidade total de água no solo, DTA

A disponibilidade de água no solo é a lâmina de água armazenada na profundidade de interesse para agricultura.

O conceito de disponibilidade de água para as plantas trouxe, por muito tempo, controvérsia entre os pesquisadores. Alguns autores afirmam que a água do solo é igualmente disponível em um intervalo de umidade que vai de

um limite superior, a capacidade de campo, até um limite inferior, o ponto de murcha permanente (REICHARDT; TIMM, 2004).

A capacidade de campo é a capacidade efetiva de armazenamento de água no solo, enquanto que o ponto de murcha permanente é a umidade do solo na qual uma planta murcha não restabelece turgidez, mesmo quando colocada em atmosfera saturada por 12h. A Tabela 8 mostra a quantidade de água retida no solo em cada camada estudada. A Figura 6 mostra as curvas de retenção para o solo estudado.

Tabela 8 - Água retida no solo estudado

Profundidade	Umidade do solo m^3m^{-3}				Capacidade de armazenamento de água no solo (mm)	Disponibilidade e total de água no solo (mm/cm)
	Tensão (kPa)					
	10	30	50	100		
0-20	0,212	0,211	0,170	0,150	12,38	0,62
20-40	0,232	0,224	0,208	0,196	7,18	0,36
40-100	0,242	0,233	0,225	0,214	16,91	0,28

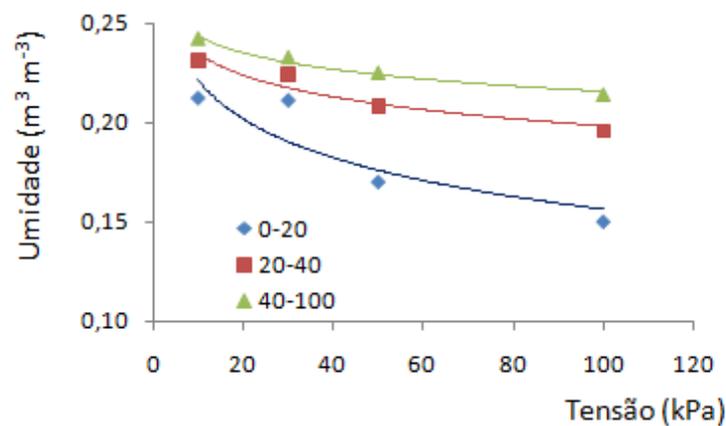


Figura 6 - Curva de retenção da água no solo utilizado.

$$\theta_{(0-20)} = -0,012 \ln(x) + 0,2715 \quad R^2=0,97$$

$$\theta_{(20-40)} = -0,016 \ln(x) + 0,2715 \quad R^2=0,91$$

$$\theta_{(40-100)} = -0,028 \ln(x) + 0,2865 \quad R^2=0,79$$

$$DTA = 10.(U_{cc} - U_{pmp})$$

$$ARM = 10.(U_{cc} - U_{pmp}).Z = DTA.Z$$

Onde: *DTA* é a disponibilidade total de água, dada em mm cm⁻¹;
ARM é o armazenamento de água na camada de solo considerada, em mm;
U_{cc} é a umidade gravimétrica do solo na capacidade de campo, m³ m⁻³;
U_{pmp} é a umidade gravimétrica do solo no ponto de murchamento, m³ m⁻³;
Z é a espessura da camada do solo considerada, cm.

3.12 Balanço hídrico

O balanço hídrico foi determinado por camadas, nas camadas 0-20cm, 20-40cm, 40-100cm; quando o saldo de água foi positivo, considerou-se que a água passou abaixo de 100 cm.

O balanço hídrico foi calculado com os dados de chuvas, (Figura 7), AR aplicada e evapotranspiração da cultura (Etc), considerando Kc igual a 1,0; nas camadas 0-20cm, 20-40cm, 40-100cm, (Figura 8). Em cada camada de solo, foi estimada a disponibilidade de água até 100 kPa e a capacidade de armazenamento de água (Tabela 8). O armazenamento em cada camada foi estimado conforme o modelo a seguir:

$$BH^i = P^i + LAM^i - ETc^i$$

$$ARM_j^i = BH^i + \sum_{k=1}^{NC} ARM_k^{i-1} - \sum_{L=0}^{j-1} ARM_L^i$$

Onde, devem ser satisfeitas as seguintes condições:

Se $ARM_j^i < 0$ então $ARM_j^i = 0$

Se $ARM_j^i > (CC - PMP)_j^i$ então $ARM_j^i = (CC - PMP)_j^i$

Se $ARM_j^i > BH^i$ então a água atingiu uma profundidade maior do que a estudada

Onde: ARM_{Camada}^{Tempo} é o armazenamento num dado tempo e numa dada camada de solo;

$$ARM_0^i = 0;$$

BH é o balanço hídrico, mm;

P é a precipitação, mm;

LAM é a lâmina de AR aplicada, mm;

NC = número de camadas.

CC = capacidade de Campo e

PMP é o ponto de murcha permanente.

A estimativa da profundidade atingida pela água no tempo i , Z^i , foi calculada da seguinte forma:

$$Z^i = \sum_{j=1}^{NC} \left[\frac{ARM_j^i}{CAP ARM_j^i} * ESP_j \right]$$

Onde $CAP ARM_j^i$ é a capacidade de armazenamento de água no solo (mm), na camada j , no tempo i ;

ESP_j é a espessura da camada j .

A Figura 9 mostra a estimativa da profundidade atingida pela água, para os tratamentos T0, T1, t2 e T3, no período de 20/11/2008 a 02/06/2009, no solo estudado.

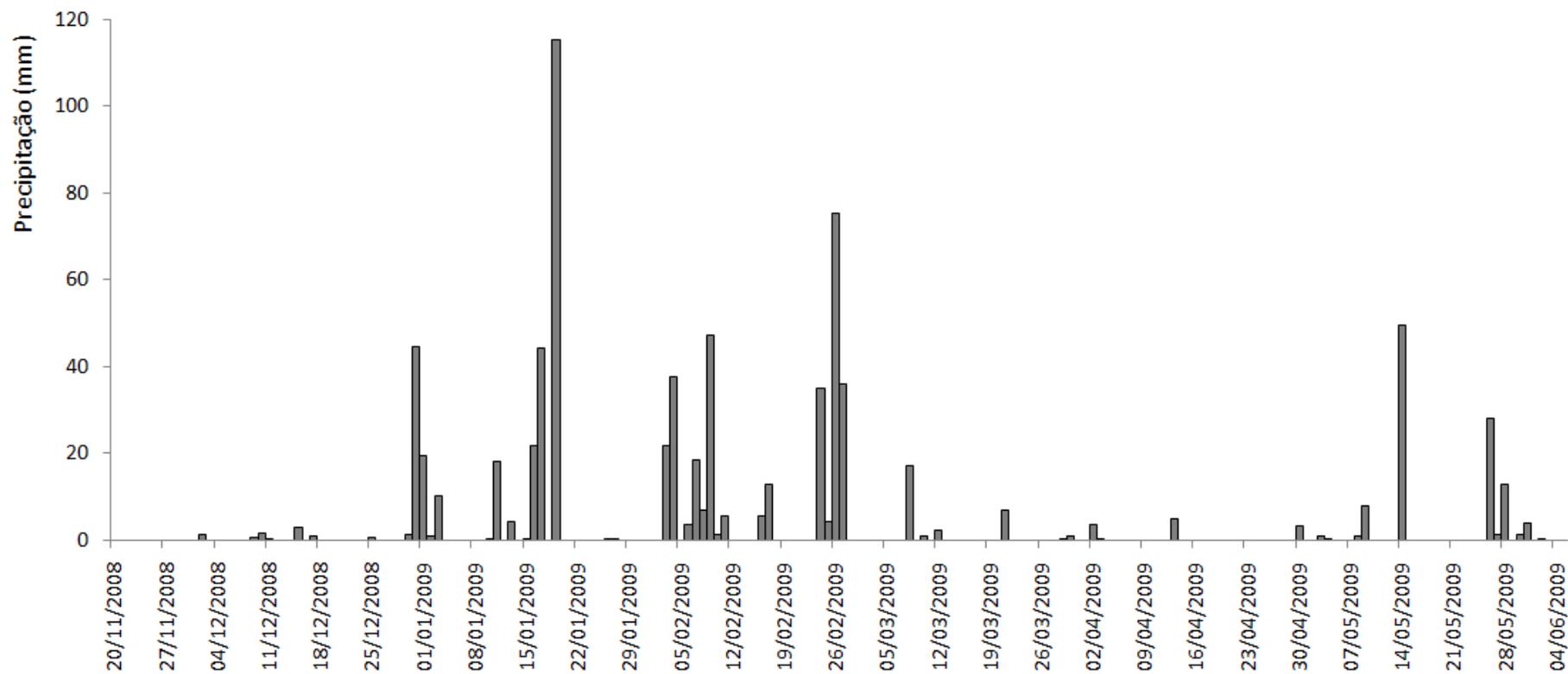


Figura 7 - Precipitação diária de Cidade Gaúcha no período analisado (INMET, 2009).

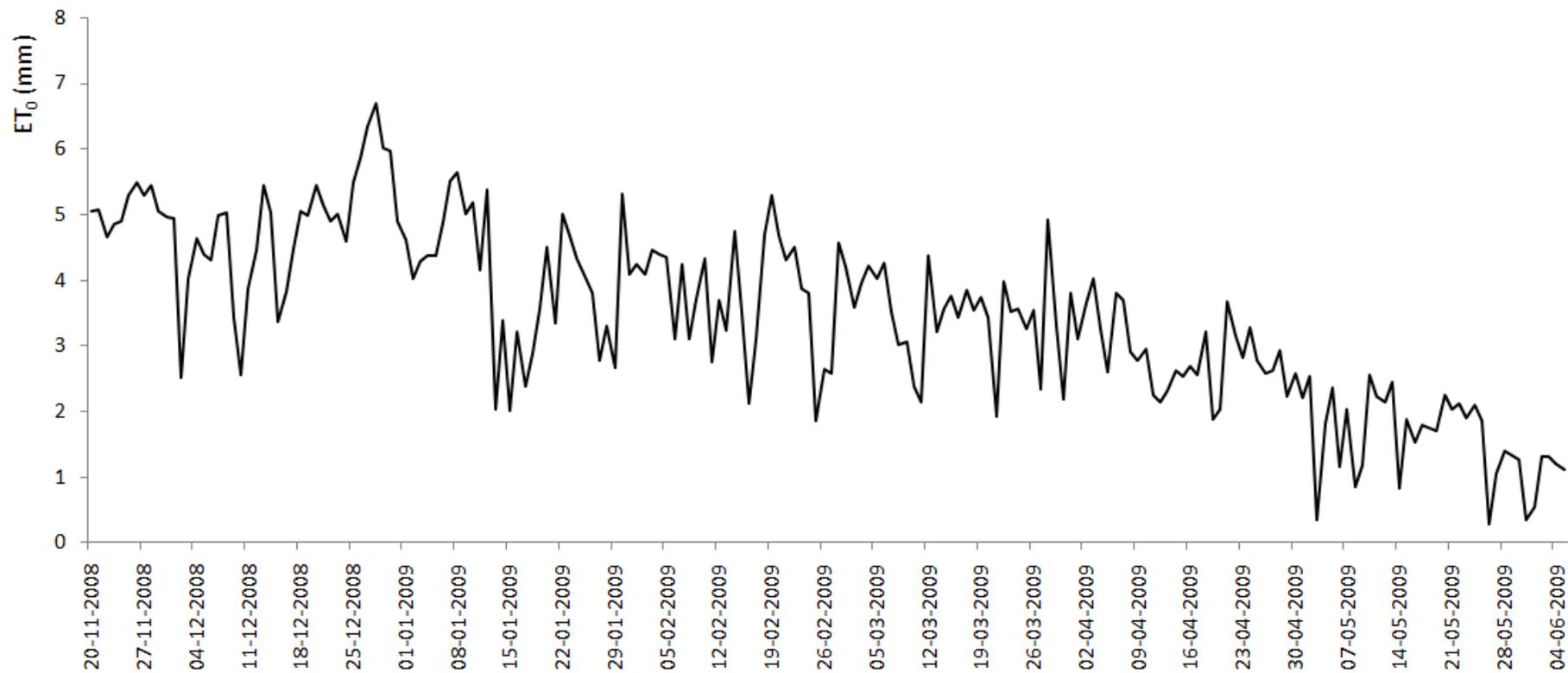


Figura 8 - ET₀ diária de Cidade Gaúcha, no período analisado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 9, observa-se a profundidade molhada no solo em função das contribuições das irrigações e das chuvas. Avaliando a Figura 9, tratamentos T0, T1, T2 e T3, observa-se que durante as seis primeiras semanas de tratamento, no período de verão, as chuvas que ocorreram foram de baixa intensidade e que a aplicação de AR foi a única fonte de água para a pastagem. Nesse período, enquanto com o tratamento T0 e T1 a profundidade molhada não atingiu 20cm, com T2 a profundidade molhada foi de 80 cm e com o T3 atingiu 100cm. No entanto, a partir da sexta semana, conforme pode ser observado nas Figura 7 e Figura 9, as chuvas contribuíram para que a umidade do solo atingisse a profundidade de 100 cm em todos os tratamentos, realizando as redistribuições iônicas no perfil do solo, avaliadas no final do experimento.

Durante o segundo período de avaliação, de outono, ocorreram chuvas mais intensas antes de iniciar o experimento e após o encerramento das aplicações de AR, sendo as chuvas das duas últimas semanas do experimento responsáveis pelas redistribuições iônicas no perfil do solo.

Observa-se na Figura 9 que as lâminas de AR aplicadas nos tratamento T3 foram suficientes para atingir profundidades maiores que 100 cm, entre a terceira e a quinta aplicação no período de verão e durante a segunda e oitava aplicação no período de outono. Isso se deve à Eto do período de outono ser menor do que a do verão, reduzindo a extração de água do solo e permitindo assim maior disponibilidade de água para infiltrar. Podem-se observar, na Figura 9, os períodos de ausência de contribuição de chuvas e de irrigações com AR no tratamento T0, as contribuições do tratamento T1 na camada superficial do solo e as contribuições, tanto de irrigações com AR quanto de chuvas nos tratamentos T3 e T4.

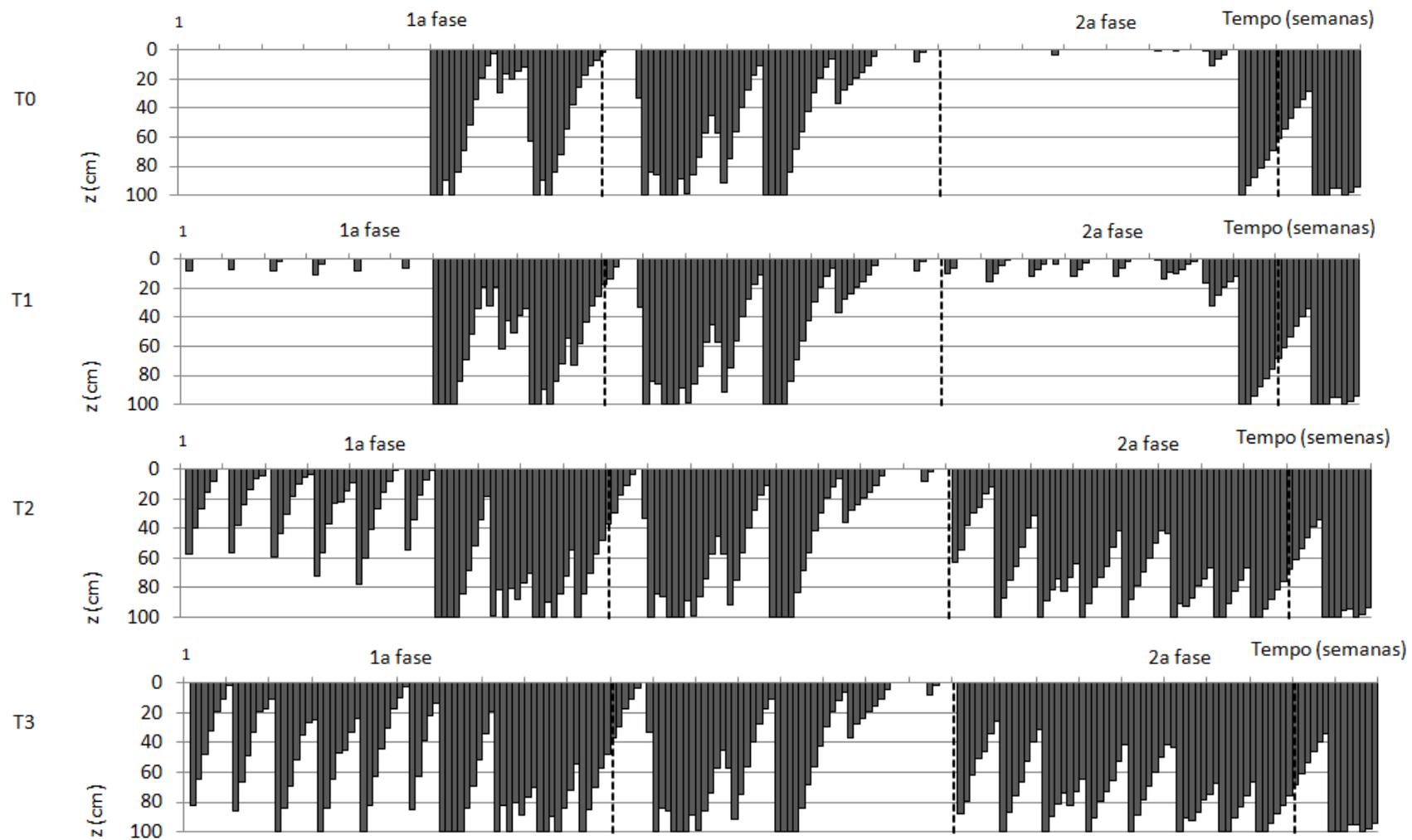


Figura 9 - Estimativa da profundidade atingida pela água, para os tratamentos T0 e T1, no período de 20/11/2008 a 02/06/2009.

A altura da planta, a MS e a MV coletadas ao final de cada período de experimento estão registradas na Tabela 7. As maiores alturas das plantas e as maiores produtividades, tanto de MS quanto de MV, para os dois períodos avaliados, foram observadas no tratamento T2.

A produtividade de MS de 7,4; 10,3; 25,5 e 15,2 no período de verão e de 2,1; 6,7; 11,4 e 9,2 ton ha⁻¹ no período de outono, respectivamente, para os tratamentos T0, T1, T2 e T3, evidencia o tratamento T2 como o mais adequado para a produção da pastagem em ambos os períodos estudados, apesar do maior volume de AR aplicado e, portanto, mais potássio, no tratamento T3, tanto no período de verão quanto no de outono, conforme se observa na Tabela 10.

Com relação ao teor de nutrientes no tecido vegetal, avaliados ao final de cada período, apresentados na Tabela 9, destaca-se quantitativamente a absorção de potássio e nitrogênio, nos dois períodos avaliados. Observa-se também que o teor dos minerais nos tratamentos T2 e T3 apresentaram valores semelhantes, o que permite inferir que o tratamento T2 foi suficiente para atender a demanda nutricional da planta e que a relação Ca:Mg esteve sempre próxima de 1:1, com exceção do tratamento T0 do período de outono, que esteve na ordem de 2:1.

Tabela 9 - Resultado da análise foliar nos períodos de verão e outono

Período	Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
		g Kg ⁻¹						mg Kg ⁻¹			
Verão	T0	10,86	1,83	20,07	1,10	1,62	0,86	3,17	62,36	38,61	14,45
	T1	17,26	2,10	28,09	2,32	2,31	0,84	5,46	136,36	46,25	20,56
	T2	21,41	1,93	29,23	2,11	2,45	1,10	3,02	396,78	31,64	22,43
	T3	19,34	1,99	28,85	2,25	2,32	1,01	3,65	262,06	41,65	22,15
Outono	T0	11,02	1,92	9,95	3,21	1,66	0,80	3,36	12,84	13,83	20,35
	T1	19,13	1,60	12,53	1,80	1,70	0,89	4,13	37,94	2,65	21,91
	T2	23,11	2,30	16,47	1,92	1,92	1,07	1,82	41,62	8,08	22,61
	T3	24,06	1,75	12,76	1,61	1,67	0,80	4,48	30,36	3,97	16,85

Observa-se ainda, na Figura 10, que o teor de potássio, tanto para 10 quanto para 18 aplicações, aumentou na camada de 0 a 20 cm de profundidade para todos os tratamentos em relação à testemunha. Observa-se também que o T2 aumentou o teor de potássio, no solo quando comparado com os demais tratamentos após 18 aplicações, e os tratamentos T1 e T3, maiores que T0 na superfície, diminuem a concentração de potássio no solo abaixo da camada de 20 a 40 cm, chegando a valores próximos dos da testemunha.

Como a planta é o único consumidor desse meio, entende-se que a quantidade de potássio aplicado foi preponderante para o aumento da sua concentração no complexo sortivo do solo, não obstante a presença de Ca e Mg na AR (Anexos 2, 3 e 4). Observa-se, também, que o fato se repete no período de outono, mas, nesse caso, devido à menor capacidade de a planta consumir o potássio, causou uma migração do cátion ao longo do perfil do solo no tratamento de maior lâmina, T3.

A quantidade de potássio no complexo sortivo dos tratamentos T0 e T3, entre 40 e 60 cm de profundidade, pode ser explicada pela redistribuição do cálcio no perfil do solo, conforme Anexos A1b e A4b, respectivamente, reduzindo o teor de cálcio e aumentando o de potássio. O fato se deve, provavelmente, à quantidade de potássio aplicado, que deslocou o cálcio para camadas mais profundas e foi adsorvido na superfície. Esse fato pode ter ocorrido devido ao alto teor de potássio na solução, pois, em soluções com menor concentração de potássio, tanto o cálcio quanto o magnésio teriam preferência, por serem bivalentes, na adsorção das argilas.

Tratando ainda da distribuição de potássio no perfil do solo, na Tabela 10, verifica-se que o teor de potássio aumentou em todos os tratamentos, em relação à testemunha, e ficou, em maior quantidade, retido na superfície, na camada 0-40 cm de profundidade, que é exatamente onde ocorre a maior

absorção pelas raízes das plantas, fato que se repetiu nos dois períodos avaliados.

Observa-se, também, que o total de potássio do complexo sortivo do solo foi maior durante o período de outono do que o de verão, fato que ocorreu de forma inversa para as plantas. Observa-se ainda que a maior migração de potássio ocorreu nos tratamentos T2, principalmente durante o período de outono.

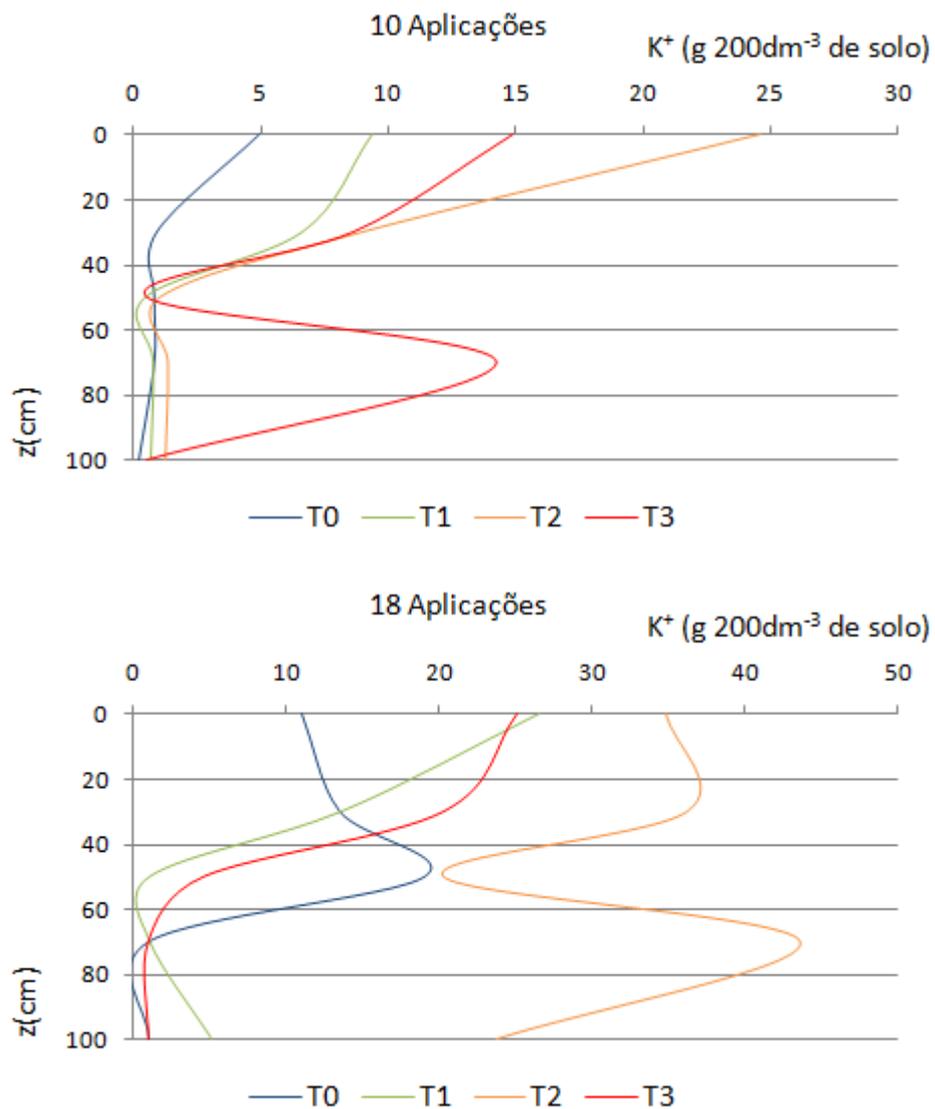


Figura 10 - Movimento dos íons K para T0, T1, T2 e T3, após 10 e 18 aplicações da AR.

Tanto na Tabela 9 como na Tabela 10 pode-se verificar que a quantidade de potássio absorvida pela planta foi maior nos tratamentos do que na testemunha, corroborando com Brady (1989), o qual diz que há tendência dos vegetais em captarem potássio solúvel em quantidades que excedem muito as suas necessidades, quando o encontram disponível.

Tabela 10 - Níveis de K para os tratamentos T0, T1, T2 e T3

K (cmol_c dm⁻³ de solo)								
Profundidade	10 aplicações				18 aplicações			
	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
0-20	0,06	0,12	0,32	0,19	0,14	0,34	0,45	0,32
20-40	0,01	0,09	0,11	0,11	0,17	0,17	0,46	0,26
40-60	0,01	0,01	0,01	0,01	0,24	0,01	0,26	0,06
60-80	0,01	0,01	0,02	0,18	0,01	0,01	0,56	0,01
80-100	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,07	0,30	0,01
Total (g m ⁻³ de solo)	7,7	18,1	37,2	38,8	45,7	47,2	158,6	52,2
Planta (g m ⁻²)	14,8	28,9	74,6	43,9	2,0	8,4	18,7	11,8

Como no período de outono, a planta absorveu menos potássio do que no verão; este ficou disponível na solução do solo em maior quantidade no período de outono. A disponibilidade foi maior nos tratamentos do que na testemunha nas profundidades 0-40cm, porém houve uma distribuição do potássio ao longo do perfil do solo, de forma que a quantidade total disponível, de 0-100cm, foi maior nos tratamentos do que na testemunha. De forma geral, mesmo assim, comparando-se o solo, nesses dois períodos, com os valores apresentados por Richards (1977), o solo pode ser considerado normal quanto à salinidade, pois os valores máximos encontrados para todas as amostras foram: pH < 6,0 e C.E. = 0,33 dS m⁻¹, o que demonstra que, mesmo tendo acrescentado potássio no solo, houve extração pela planta e distribuição do mesmo no perfil, o que mitigou a possibilidade de salinização do solo.

O cálcio, outro cátion abundante na AR empregada, foi encontrado nas camadas superiores do solo (Tabela 11). A quantidade total de cálcio no volume de 1m³ foi maior na testemunha do que nos tratamentos em ambos os períodos estudados, porém a absorção de cálcio pela planta foi maior em todos os tratamentos do que na testemunha. A absorção de Ca foi tanto maior quanto maior a produtividade de MS, o que mostra a relação direta entre a absorção da Ca e o desenvolvimento da cultura (Tabela 7 e Tabela 11).

Tabela 11 - Níveis de Ca para os tratamentos T0, T1, T2 e T3

Ca (cmol _c dm ⁻³ de solo)								
Profundidade	10 aplicações				18 aplicações			
	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
0-20	0,72	1,26	0,76	0,94	0,73	1,16	0,81	0,90
20-40	0,59	1,00	0,61	0,69	0,72	0,79	0,68	0,63
40-60	0,61	0,29	0,54	0,36	0,80	0,81	0,58	0,70
60-80	0,73	0,14	0,51	0,51	0,89	0,32	0,36	0,91
80-100	1,04	0,17	0,77	0,60	0,88	0,24	0,53	0,61
Total (g m ⁻³ de solo)	322,0	299,9	302,9	300,5	373,3	352,7	351,9	367,2
Planta (g m ⁻²)	0,8	2,4	5,4	3,4	0,7	1,2	2,2	1,5

O aumento do teor de cálcio na camada superficial do solo, para o tratamento T1, no período de verão, em relação à testemunha, evidencia sua preferência para a adsorção do solo, nesse nível de tratamento.

O tratamento T2, no período de verão, apresentou uma distribuição de cálcio, ao longo de todo o perfil, maior que a dos outros tratamentos, além do maior nível de absorção pela planta. No período de outono, os tratamentos apresentaram menor teor de cálcio que a testemunha. A maior concentração de Ca ocorre no perfil de 0 a 60 cm de profundidade do tratamento T1. Isso pode ser explicado pelas precipitações ocorridas no período serem menores que no período de verão, o que pode ser verificado na Figura 7.

Ao se comparar a Tabela 11 com a Tabela 14, verifica-se que exatamente onde ocorre maior disponibilidade de cálcio há menor disponibilidade de alumínio, o que mostra a capacidade do cálcio presente na AR em reduzir a toxidez por alumínio presente no solo devido à sua presença na AR.

Com relação à acidez potencial, Tabela 15, diminuiu em todos os tratamentos para 10 aplicações de AR, menos para a profundidade 40-60cm; para 18 aplicações, diminuiu, a menos do tratamento T2 na profundidade 0-40 e T1 e T3, de 20-40cm.

Ao observar a Tabela 11, verifica-se que em todos os tratamentos o teor de cálcio aumentou na superfície do solo. Isso se deve ao fato de o solo adsorver o cálcio mais facilmente que o magnésio e o potássio. Ainda na Tabela 11, verifica-se que o cálcio ficou retido na superfície do solo, na camada 0-40 cm, em todos os tratamentos, não sendo o seu movimento influenciado pelo movimento da água no solo (Figura 9). Observou-se que, em todos os tratamentos, nas profundidades abaixo de 40 cm, a disponibilidade de cálcio é menor do que na testemunha.

Comparando-se a Tabela 11 com a Figura 11, verifica-se que, para 10 aplicações, nos tratamentos T0, T2 e T3, e para 18 aplicações, nos tratamentos T1 e T3, a distribuição de cálcio no perfil acompanhou a distribuição do pH.

Na Figura 11, observa-se a variação de pH ao longo do perfil do solo, constatando que na superfície houve um aumento do pH nos tratamentos, com relação à testemunha na profundidade 0-40 cm, para 10 aplicações de AR e 0-20cm para 18 aplicações, exatamente onde houve maior concentração dos íons de cálcio, o que mostra que, mesmo havendo maior absorção de cálcio pela planta nos tratamentos do que na testemunha, ainda assim a aplicação de AR acrescentou Ca ao solo, reduzindo a sua acidez ativa.

A menos de alguns pontos isolados, o magnésio aumentou em todos os tratamentos e em todas as profundidades, e a absorção pela planta foi maior nos tratamentos do que nas testemunhas, o que mostra que a AR acrescentou

magnésio ao solo, como pode ser visto na Tabela 12, sendo sistematicamente menor nas testemunhas do que em todos os tratamentos.

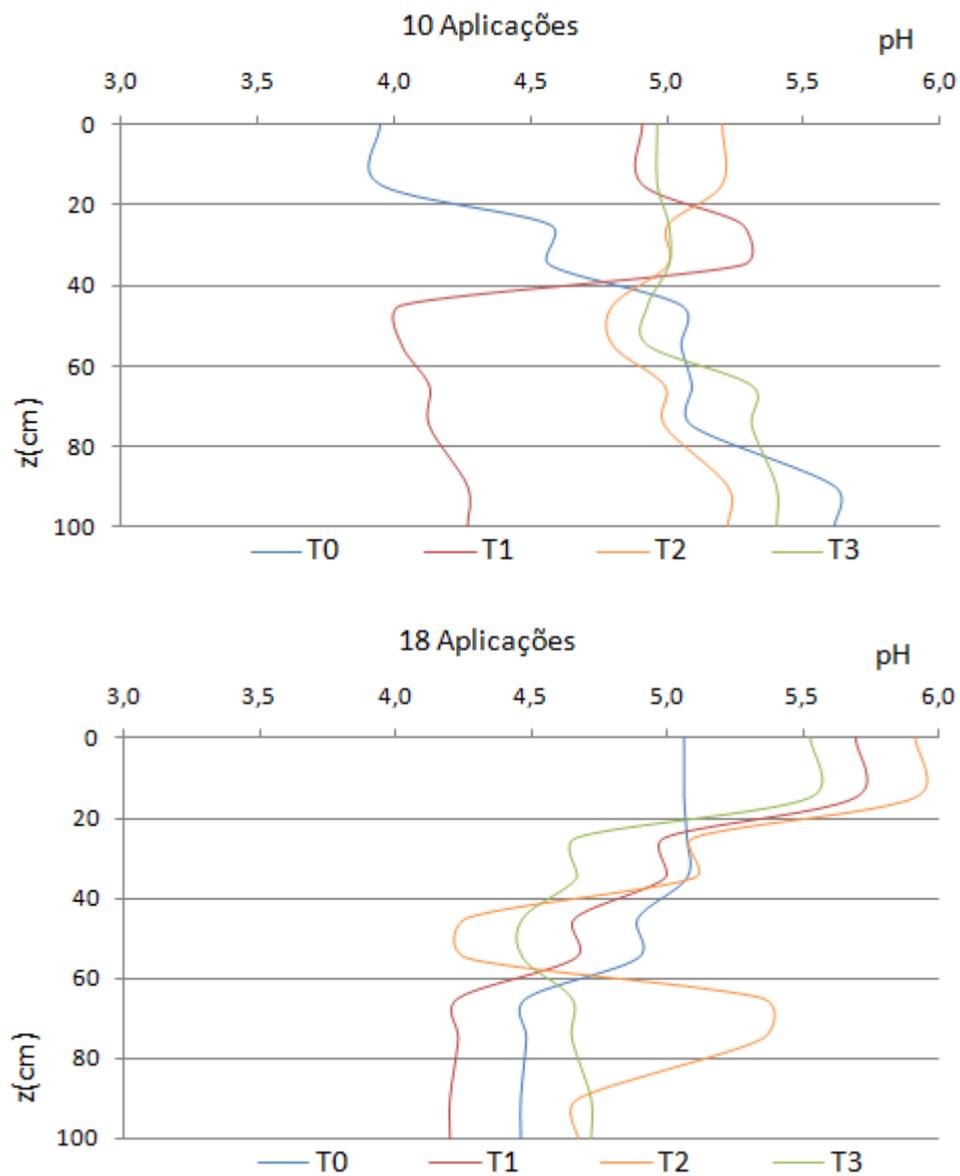


Figura 11 - pH no perfil do solo de 0 a 100 cm após 10 e 18 aplicações da AR para T0, T1, T2 e T3.

Observando-se a Tabela 11 e a Tabela 12, verifica-se que no tratamento T2 houve um aumento de Ca e de Mg em todas as profundidades,

porém, ao se verificar a Tabela 13, percebe-se que não houve alterações significativas na relação Ca:Mg para esses íons. A relação Ca:Mg foi maior para o tratamento T0 do que para todos os demais tratamentos, sendo que o maior valor encontrado foi na profundidade 40-80 cm no tratamento T1, para 10 aplicações; no tratamento T3, com 18 aplicações, os maiores valores foram encontrados abaixo de 40cm de profundidade. Isso mostra que a adição da AR não aumentou significativamente a relação Ca:Mg, fato que poderia comprometer a capacidade de infiltração do solo.

Comparando-se a Figura 11 com a Tabela 12, verifica-se que, com exceção de alguns pontos, os níveis de pH acompanharam os teores de magnésio, tanto para 10 como para 18 aplicações de AR; no entanto, com os dados das Tabela 11 e Tabela 12, observa-se que, enquanto o cálcio ficou retido na superfície, o magnésio se distribuiu ao longo do perfil em todos os tratamentos. Isso se deve provavelmente ao fato de que, como o cálcio tem preferência na adsorção do solo, o magnésio foi levado para uma maior profundidade através da água.

Tabela 12 - Níveis de Mg para os tratamentos T0, T1, T2 e T3

Mg (cmol_c dm⁻³ de solo)								
Profundidade	10 aplicações				18 aplicações			
	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
0-20	0,21	0,77	0,51	0,46	0,60	0,62	0,68	0,78
20-40	0,23	0,62	0,41	0,36	0,26	0,40	0,35	0,33
40-60	0,24	0,04	0,43	0,21	0,34	0,24	0,33	0,12
60-80	0,07	0,04	0,19	0,17	0,22	0,23	0,52	0,27
80-100	0,11	0,14	0,31	0,28	0,18	0,20	0,26	0,10
Total (g m ⁻³ de solo)	89,6	69,6	77,6	75,3	97,8	80,8	72,2	90,9
Planta (g m ⁻²)	1,2	2,4	6,3	3,5	0,3	1,1	2,2	1,5

Tabela 13 - Relação Ca:Mg após 10 e 18 aplicações de AR

Profundidade	10 aplicações				18 aplicações			
	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
0-20	3,44	1,64	1,49	2,07	1,23	1,86	1,20	1,15
20-40	2,58	1,60	1,49	1,92	2,82	1,97	1,96	1,88
40-60	2,00	6,80	1,24	1,70	2,35	3,40	1,76	5,65
60-80	10,13	3,36	2,71	2,91	4,04	1,36	0,68	3,34
80-100	9,4	1,22	2,52	2,13	4,93	1,23	2,06	6,23

Os teores de alumínio disponível no solo diminuíram na superfície, até 40 cm, para todos os tratamentos, quando comparados com a testemunha, com exceção do tratamento T1 e 10 aplicações. Neste tratamento, os teores foram maiores que a testemunha até 60 cm e menores a partir dessa profundidade. O mesmo aconteceu para T1 e 18 aplicações, porém a partir de 40 cm de profundidade. Nos demais pontos, o teor de alumínio, no solo, diminuiu. Observando-se os valores totais de alumínio disponível na solução do solo, de 0-100cm, o tratamento T2 e 10 aplicações teve um total maior que a testemunha e os demais tiveram valores menores que a testemunha. Isso se deve, provavelmente, pelo fato de que, apesar de a AR conter alumínio, a quantidade de Ca, Mg e K na AR concorre com o alumínio no complexo sortivo, diminuindo sua preferência pela ligação nas mistelas.

Comparando-se os níveis de Al da testemunha com os tratamentos, na Tabela 14, verifica-se que houve uma redução de Al no perfil do solo, para a maioria das camadas avaliadas, para todos os tratamentos, após 10 aplicações de AR, assim como referenciado no trabalho de Silva et al., (2004). Com as informações confrontadas da Tabela 14 com a Tabela 12, verifica-se que houve aumento da disponibilidade de Mg, principalmente nas camadas superiores, para todos os tratamentos. Somado a isso, o pH (Figura 11) mostra redução na acidez do solo, na camada 0-40, de onde se pode verificar, que a aplicação da AR reduziu a toxidez por Al.

Tabela 14 - Níveis de Al para os tratamentos T0, T1, T2 e T3

Al (cmol _c dm ⁻³ de solo)								
Profundidade	10 aplicações				18 aplicações			
	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
0-20	0,25	0,61	0,24	0,18	0,25	0,07	0,00	0,12
20-40	0,30	0,73	0,07	0,25	0,40	0,07	0,04	0,30
40-60	0,25	1,04	0,11	0,20	0,18	0,30	0,50	0,35
60-80	0,25	0,00	0,00	0,30	0,50	0,50	0,47	0,25
80-100	0,20	0,00	0,00	0,20	0,30	0,30	0,35	0,20
Total (g m ⁻³ de solo)	22,5	17,8	26,0	20,2	29,3	22,3	24,4	21,9

Tabela 15 - Acidez potencial (H+Al) para os tratamentos T0, T1, T2 e T3

H+Al (cmol _c dm ⁻³ de solo)								
Profundidade	10 aplicações				18 aplicações			
	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
0-20	3,26	2,86	2,67	3,06	2,91	2,13	4,89	2,21
20-40	2,63	2,56	2,65	2,51	2,41	3,12	4,48	3,53
40-60	1,94	2,20	2,28	1,95	3,04	2,46	4,46	2,82
60-80	2,01	1,98	1,89	1,78	2,82	2,54	0,00	2,58
80-100	2,21	1,62	1,85	1,95	2,80	2,95	0,00	2,60

Quanto à disponibilidade de fósforo (Tabela 16), foi encontrado menos fósforo disponível na solução do solo após 10 aplicações de AR nos tratamentos do que na testemunha, na profundidade 0-20cm, exatamente onde se encontra o sistema radicular da planta e mesma região onde foi encontrada maior quantidade de magnésio disponível e menor quantidade de cálcio disponível; porém as plantas do tratamento absorveram mais fósforo do que a da testemunha. Esse fato pode ser referente à frequente fertirrigação, colocando fósforo solúvel à disposição das raízes das plantas.

O fósforo disponível após a segunda colheita só foi maior que a testemunha na superfície do solo, na camada 0-20, para as lâminas maiores, ou seja, para os tratamentos T2 e T3. A disponibilidade de fósforo na solução do solo foi menor para o tratamento T1 e, para as demais profundidades, nos demais tratamentos, do que para a testemunha.

Comparando a Tabela 16 com a Figura 11, verifica-se que para 10 aplicações, em T0, e 18 aplicações em T1, a disponibilidade do fósforo não apresentou correlações com o pH. Para 10 aplicações em T2 e T3, com exceção da camada 60-80cm, a disponibilidade de fósforo acompanhou a distribuição do pH. Nos demais tratamentos, a distribuição de fósforo ao longo do perfil do solo acompanhou a distribuição do pH.

Tabela 16 - Níveis de P para os tratamentos T0, T1, T2 e T3. P encontrado na planta em 1m², para cada tratamento

Profundidade	P (mg dm ⁻³ de solo)							
	10 aplicações				18 aplicações			
	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
0-20	9,02	6,33	6,91	8,80	10,73	6,72	17,89	14,55
20-40	0,00	6,96	3,68	4,62	9,57	2,20	4,75	2,97
40-60	2,09	4,29	2,42	3,63	9,79	2,97	0,88	4,18
60-80	0,66	4,40	0,99	1,43	9,68	7,37	4,18	2,75
80-100	0,88	5,50	2,75	4,62	10,56	10,34	2,75	4,95
Total (g m ⁻³ de solo)	2,5	5,5	3,4	4,6	10,1	5,9	5,9	5,9
Planta (g m ⁻²)	1,3	2,2	4,9	3,0	0,4	1,1	1,6	1,6

Analisando-se a Tabela 10 e a Tabela 16, observa-se, que para todos os tratamentos, o consumo de potássio pela planta, com relação ao fósforo, foi maior do que quatro vezes, conforme afirma Brady (1989), o que mostra a eficiência *Bracharia brizantha* cv MG-5 na absorção do potássio.

Na Figura 12, observam-se os níveis de potássio encontrados no solo, nas várias profundidades, para a testemunha e três tratamentos, e a condutividade elétrica nos mesmos pontos do solo, para 10 aplicações de AR.

Silva et al., (2001), ao avaliarem o efeito do cloreto de potássio na condutividade elétrica do solo, observaram que quanto maior a dose de potássio aplicada, maior a condutividade elétrica; para a maior dose aplicada de KCl ($16,6 \text{ g m}^{-2}$), os resultados demonstraram movimentação de KCl até 40 cm de profundidade, com teores médios de K no solo variando de $0,44 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ a $0,52 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Os autores observaram ainda que a salinidade e, conseqüentemente, a condutividade elétrica, diminuíram com a profundidade do solo, principalmente até 30 cm.

Ayers e Westcot (1994) afirmam que em solos com condutividade elétrica menor que $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ a água disponível para a cultura não é afetada pela salinidade.

Na Figura 12, para 10 aplicações de água residuária, observa-se que tanto na testemunha como nos tratamentos, com exceção do tratamento T3, profundidade 60-80cm, o nível de potássio diminuiu com a profundidade e, com exceção do tratamento T2, também diminuiu com a lâmina aplicada. Da mesma forma, de maneira geral, a condutividade elétrica diminuiu até a profundidade de aproximadamente 80 cm, corroborando com Silva et al. (2001).

Para 18 aplicações de água residuária, também se observa uma tendência de redução tanto da condutividade elétrica como do potássio, com a profundidade, com exceção da testemunha.

Os resultados de condutividade elétrica apresentados na Figura 12 mostram que todos os valores estão abaixo de $0,35 \text{ dS m}^{-1}$, o que, segundo Ayers e Westcot (1994), mostra que a quantidade de sais presentes na solução do solo não afeta a qualidade da água para as culturas.

A dose de potássio aplicada foi de $142,4 \text{ mg L}^{-1}$. Para as lâminas entre 10 e 36,6mm por aplicação, as doses totais de potássio aplicado variaram de 52,1 a $11,4 \text{ g m}^{-2}$ e, ainda assim, a condutividade elétrica não atingiu níveis que

comprometessem a qualidade da água disponível para a cultura (AYERS, WESTCOT, 1994).

A Tabela 17 mostra que a máxima RAS foi 0,024 e que o índice de saturação de potássio, I_K , não ultrapassou 30%.

Analisando-se o solo, no que se refere ao pH, a camada 0-40 cm, após 10 aplicações da AR e 0-20 cm, e após 18 aplicações, para todos os tratamentos, apresentou pH maior que a testemunha, como mostra a Figura 10. O mesmo resultado foi obtido por Silva et al., (2004).

Tabela 17 - Razão de adsorção de sódio, RAS, e índices de saturação de cada íon (%)

		RAS	I_{Al}	I_{Ca}	I_{Mg}	I_K	I_{Na}
10 aplicações	Mínimo	0,000	2,99	6,56	1,67	0,08	0,00
	Maximo	0,000	11,90	30,83	15,33	7,40	0,00
18 aplicações	Mínimo	0,006	0,00	18,65	9,94	0,80	0,27
	Maximo	0,024	46,72	65,37	36,51	30,00	1,29

Comparando-se a distribuição de potássio, cálcio, magnésio, alumínio e pH, ao longo do perfil do solo no tratamento T1 e 10 aplicações de AR, verifica-se que provavelmente o valor do pH na profundidade 20-40cm seja um *outlier*, conforme mostra a Figura 11.

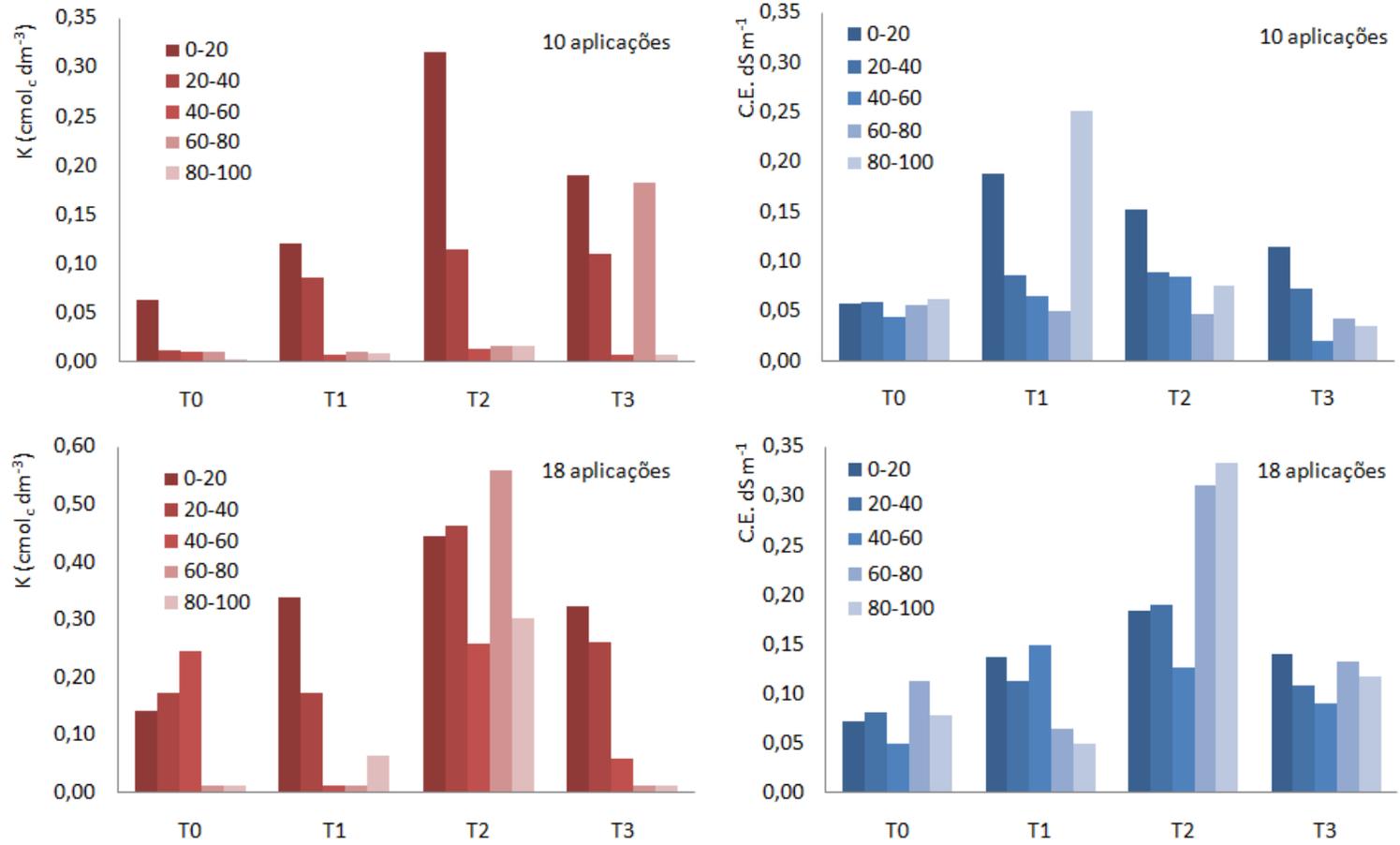


Figura 12 - Níveis de potássio encontrado no solo e a condutividade elétrica para os tratamentos T0, T1, T2 e T3, para 10 e 18 aplicações de AR, ao longo do perfil do solo.

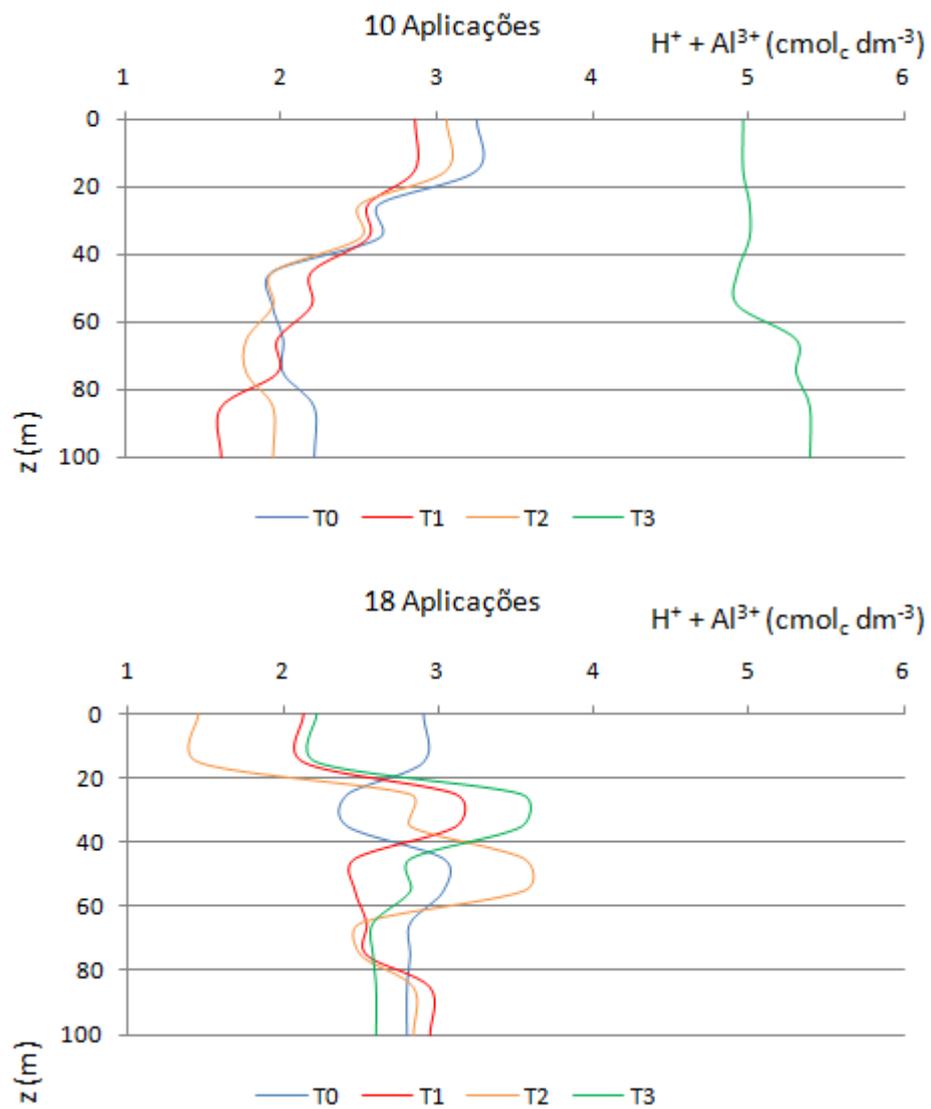


Figura 13 - Acidez potencial no perfil do solo de 0 a 100 cm após 10 e 18 aplicações da AR para T0, T1, T2 e T3.

5 CONCLUSÕES

A *Brachiaria brizanta* MG5 absorve potássio, cálcio e magnésio, quando fertirrigada com AR de indústria de mandioca, com maior eficiência no verão do que no inverno;

A remoção de cálcio, magnésio, potássio e fósforo, pela cultura, foi maior nos tratamentos do que na testemunha, acompanhando o desenvolvimento e a produtividade de matéria seca da cultura, tanto para 10 quanto para 18 aplicações;

O movimento do potássio no perfil acompanhou a distribuição da água do balanço hídrico, tanto no período de verão, com 10 aplicações quanto no outono, totalizando 18 aplicações;

Enquanto o teor de cálcio e magnésio aumentou no perfil de 0 a 40 cm, diminuiu abaixo desta profundidade tanto no período de verão, com 10 aplicações quanto de outono totalizando 18 aplicações;

Foi encontrado menos fósforo no perfil de 0 a 20 cm de solo após 10 aplicações comparando os tratamentos T1, T2 e T3 com a testemunha. Após 18 aplicações foi encontrado mais fósforo nos solo na mesma profundidade para os tratamentos T2 e T3;

A aplicação de AR aumentou os teores de cálcio, magnésio e potássio e reduziu os teores de alumínio em todos os tratamentos, até a profundidade de 40 cm, exatamente na região onde se encontra o sistema radicular da planta;

Quanto ao fósforo, só aumentou na camada 0-20 cm do perfil após 18 aplicações, nos tratamentos T2 e T3;

A aplicação da AR não alterou a RAS do solo durante o período observado;

A acidez potencial diminuiu em todos os tratamentos para 10 aplicações, com exceção do perfil de 40 a 60 cm. Para 18 aplicações diminuiu

com exceção do tratamento T2 na profundidade de 0 a 40 cm e T1 e T3 na profundidade de 20 a 40 cm;

A acidez ativa do solo aumentou no perfil de 0 a 20 cm para 18 aplicações e de 0 a 40 cm para 10 aplicações.

6 REFERÊNCIAS

ABAM. **Produção de amido de mandioca**. ABAM - Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca. Disponível em: <<http://www.abam.com.br/>>. Acesso em: 08/10/2009.

ARGO, W.R.; BIERNBAUM, J.A. The effect of lime, irrigation-water source, and water-soluble fertilizer on root zone, pH, electrical conductivity, macronutrient management of container root media with impatiens. **Journal of American Society of Horticulture**, Alexandria, v.2, n.121, p.442- 52, 1996.

AYERS, R. S. e WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Roma: FAO, 1994.

BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.7, p.1317-1324, 2000.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6ª.ed. Viçosa: Imprensa Universitária UFV, 1996.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8ª. ed. Viçosa: UFV, 2006.

BITTENCOURT, G. I. C. **Efeito do silício na atividade do alumínio, no crescimento inicial e no acúmulo de nutrientes em planta de milho**. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

BORGES JR, J. C. F.; ANDRADE, C. L. T. Transporte de solutes no solo. In: ALBUQUERQUE, P. M. P.; DURÃES F. O. M. **Uso e Manejo de Irrigação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 151-168

BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S. (Ed.). **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. 279 p.

BOTELHO, S.M.; POLTRONIERI, M.C.; RODRIGUES, J.E.L.F. Manipueira: um adubo orgânico para a agricultura familiar. **RAT - Revista Raízes e Amidos Tropicais** Botucatu, v. 5, 2009. ISSN 1808 - 981X.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7ª. ed. São Paulo: Freitas Bastos, 1989.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. O. Determinação de cianeto total nas farinhas de mandioca do grupo seca e d'água comercializadas na cidade de Belém-PA. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**. Ponta Grossa, PR. v. 2, n. 2, p. 96-102, 2008

CLAESSEN, M. E. C. (Org.) **Manual de métodos de análises de solo**. 2^a. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

CLOTHIER, B.E. Solute travel times during trickle irrigation. **Water Resources Research**, Washington, v.20, n.12, p.1848-52, 1984.

COSTA, J. P. V., et al. Difusão de fósforo em solos de Alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade. **Revista Caatinga**. Mossoró. vol.22, n.3, pp. 229-235, 2009. ISSN 0100-316X,

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solo (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999, 412p

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FARIAS, J. R. B. **Tecnologias de Produção de Soja Paraná 2004**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, n.1. 2000

FIORETTO, R. A. **Uso direto da manipueira em fertirrigação**. São Paulo: Fundação Cargill – (Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas. Volume 4 – Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca), 2001

FREIRE, F. M. et al. **Fertilidade de Solos**. Embrapa. Embrapa Milho e Sorgo Sistema de Produção, 1. 2000

GIRACCA, E. M. N.; NUNES, J. L. S. **Fertilizantes**. Disponível em: http://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes_fosforo.aspx. Acesso em 25/10/2009

GOUVEIA, A. G. O. et al. **Ciclo do fósforo**. Pelotas: Instituto de química e geociências. Universidade Federal de Pelotas. 2007

GUSTAFSON, C.D. Drip irrigation in USA. In: **Proceedings technical conference**. Denver: Sprinkler Irrigation Association, 1974.

HILLEL, Daniel. **Environmental soil physics**. San Diego, California: Academic Press, 1998. 771p.

INMET. **Consulta de dados da Estação Automática de CIDADE GAÚCHA (PR)**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>

KLIEMANN, J. H. et al. Relações da produção de massa verde de *Brachiaria brizantha* com índices de disponibilidade de nutrientes em solos sob o sistema

barreirão de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia. Vol. 33 n. 1, p. 49-56, 2003

LAMO, P. R.; MENEZES, T. J. B. Bioconversão das águas residuais do processamento da mandioca para a produção de biomassa. **Coletânea do Instituto Técnico de Alimentos**, Campinas, v. 10, p. 1-14. 1979.

LEONEL, M.; JACKEY, S.; CEREDA, M. P. Processamento industrial de fécula de mandioca e batata doce - um estudo de caso. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 18, n. 3, Aug. 1998. Acesso em agosto de 2009.

LOPES, A. S. **Solos sob cerrado** : características, propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFOS, 1983. 162 p

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Interpretação de análise do solo**: conceitos básicos e aplicações. São Paulo: ANDA Associação Nacional para Difusão de Adubos. BT n^o. 2, 2004

LOPES, A. S.; SILVA, M. C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do solo e calagem**. 3^a. Ed. São Paulo: ANDA Associação Nacional para Difusão de Adubos. BT n^o. 1, 1991

MALAVOLTA, E. **Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. 2.ed. Piracicaba: Instituto Internacional de Pesquisa da Potassa, 1980. 91 p. (Boletim Técnico, 4)

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**, 2^o ed. San Diego: Academic Press, 1995.

MATOS, A. T.; BRASIL, M. S.; FONSECA, S. P. P. Aproveitamento de efluentes líquidos domésticos e agroindustriais na agricultura. In: Encontro de Preservação de Mananciais da Zona da Mata Mineira, Viçosa, 2, 2003, **Anais...**, Viçosa: ABES, 2003. p.25-79.

MELO, Ralini F. de, et al. Deslocamento miscível de cátions básicos provenientes da água residuária de mandioca em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PE, v.10, n.2, p.456–465, 2006.

MIERZWA, J. C. **Uso de águas residuárias na agricultura**: o caso do Brasil. Disponível em: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsair/e/repindex/rep184/vlehh/fulltext/upf2004/Mierzwa.pdf>>. Acesso em: 12/12/2008.

MIYAZAWA, M.; CHIERICE, G.O.; PAVAN, M.A. Amenização da toxicidade de alumínio às raízes do trigo pela complexação com ácidos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 1992, vol. 16, n.2, pp. 209-215.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; SANTOS, J.C.F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4, Belo Horizonte, 1996. **Abstract**. Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo / EMBRAPA-CPAC, 1996. p.8.

MMOLAWA, K.; Or, D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. **Plant and Soil**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. n. 222, p. 163–190, 2000.

MUNIZ, A. S. e PINTRO, J. C. **Apostila de análise química de solos**. Maringá: DAG/CCA/UEM. 1998.

MUNSELL. **Munsell soil color charts**. New York: Munsell Soil Color Company, 2000.

ORLANDO FILHO, J.O.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. Seja doutor do seu canavial. **Informações Agrônomicas**, Campinas, v.67, p.1-16, 1994.

PACIULLO, D.S.C.; CAMPOS, N.R.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T. de; TAVELA, R.C.; ROSSIELLO, R.O.P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.917-923, 2008.

PAGANINI, W. S.; SOUZA, A.; BOCCHIGLIERI, M. M., Avaliação do comportamento de metais pesados no tratamento de esgotos por disposição no solo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Vol.9, Nº 3, p. 225-239, 2004.

PAVAN, M. A.; OLIVEIRA, E. L.; MIYAZAWA, M. Determinação indireta da acidez extraível do solo (H+Al) por potenciometria com a solução tampão SMP. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.39, p.307-312, 1996.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J.A. 1983, **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas, Instituto Agrônomico. 31p. 8 figs. (Boletim técnico).

REICHARDT, K; TIMM, L. C, **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 1ª Ed. Barueri: Manole, 2004. 478p.

RICHARDS, L. A. **Diagnostico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos : personal del laboratorio de salinidad de los Estados Unidos de America**. 6. Ed. Mexico : Limusa ,1977.

SANCHEZ, J. Fertirrigación: principios, factores, aplicaciones. In: Seminario De Fertirrigación, 2000, Lima-Perú: **Anais eletrônicos...** Lima, Apukai-Comex

Perú, 2000. Disponível em <http://www.fertilizando.com/articulos/FertirrigacionPrincipiosFactoresAplicaciones.pdf> . Acesso em 03/08/2009.

SANTANA, G. S. et al. Relação entre potássio na solução do solo, umidade e condutividade elétrica aparente do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PE, v.11, n.2, p.142-151, 2007.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SILVA, E. L.; MIGUEL, D. S. Efeito da irrigação com água salina cultivada com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. V.27, n.2, p.443-450, mar./abr., 2003.

SANTOS, J. Q. **Fertilização e ambiente**: reciclagem agro-florestal de resíduos e efluentes. Lisboa: Publicações Europa-América, 2001.

SANTOS, P. D. OI. et al. Parâmetros morfogênicos de *Brachiaria brizantha* em diferentes estações de crescimento nas condições do semi-árido mineiro. In: Fórum de Ensino, 9/Seminário de Pesquisa e Pós Graduação, 10/Seminário de Iniciação Científica, 8/Mostra Científica de Ensino Médio, 3/Semana de Extensão,4., 2009, Montes Claros. **Anais eletrônicos ...Montes Claros. Unimontes**, 2009. Disponível em: <http://www.fepeg.unimontes.br/index.php/fepeg/fepeg2009/paper/viewFile/693/496>. Acesso em 01 out. 2009.

SHUQAIR, S. M. S. **Estudo da contaminação do solo e água subterrânea por elementos tóxicos originados dos rejeitos das minas de carvão de figueira no estado do Paraná**. 2002. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Materiais) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Nuclear, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, F. F. et al. Flutuação das características químicas do efluente industrial de fecularia de mandioca. **Acta Scientiarum: Agonomy**, Maringá, v.25, n.1, p.167-175, 2003.

SILVA, F. F. et al. Impacto da aplicação de efluente maturado de fecularia d mandioca em solo e na cultura de sorgo. **Acta Scientiarum: Agonomy**, Maringá, v.26, n.4, p.421-427, 2004.

SILVA, M. A. G. et al. Efeito do cloreto de potássio na salinidade de um solo cultivado com pimentão, *Capsicum annuum* L., em ambiente protegido. **Acta Scientiarum: Agonomy**, Maringá, v.23, n.5, p.1085-1089, 2001.

SILVA, M. O. et al. Crescimento de meloeiro e acúmulo de nutrientes na planta sob irrigação com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.12, n.6, p.593–605, 2008.

SOUZA, L.F.; FIALHO, J.F. **Cultivo da mandioca para região de cerrado**. Sistema de produção, 8. Versão eletrônica, jan.2003.

STEWART B. A.; HOWELL, T. H. (edit.) **Encyclopedia of water science**. Basel: Marcel Dekker. 2003.

TOMÉ JR, J. B. **Manual para Interpretação de Análise de Solo**. Guaíba: Agropecuária Ltda. 1997. 240 p.

VELOSO, C. A. C.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T.; CARVALHO, E. J. M. Alumínio e a absorção de cálcio por mudas de pimenta do reino. **Scientia Agrícola**. vol.57, n.1, pp. 141-145, 2000. ISSN 0103-9016.

VOGELER, I.; CLOTHIER, B.E.; GREEN, S.R. TDR estimation of the concentration of electrolyte in the soil solution. **Australian Journal Soil Research**, Canberra, v.35, n.3, p.515-526, 1997.

ZANINI, J. R. Distribuição de água e do íon K^+ no bulbo molhado. **ITEM – Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, v. 46 n.1, p. 24-38. 1991.

ANEXOS

ANEXO 1- ANÁLISE DO SOLO AO FINAL DO EXPERIMENTO NO PERÍODO DE VERÃO E OUTONO NAS PARCELAS DE TRATAMENTOS T0

Tabela A1 - Análise química do solo em 30/01/2009 e em 02/06/2009, respectivamente A1a e A1b para o tratamento testemunha

73

A1a	mg/dm ³	g/dm ³	pH CaCl ₂	cmol _c /dm ³ de solo								%		t	g/dm ³	dS m ⁻¹
Prof. (cm)	P	C		Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na	*S	*T	*V	*Al		M.O.	C.E.
0-20	9,02	3,12	3,95	0,25	3,26	0,72	0,21	0,06	0,0	0,99	4,25	23,27	20,19	1,24	5,37	0,06
20-40	0,00	0,78	4,57	0,30	2,63	0,59	0,23	0,01	0,0	0,83	3,46	24,05	26,48	1,13	1,34	0,06
40-60	2,09	5,45	5,05	0,25	1,94	0,61	0,24	0,01	0,0	0,93	2,87	30,77	21,22	1,18	9,40	0,04
60-80	0,66	1,17	5,09	0,25	2,01	0,73	0,07	0,01	0,0	0,81	2,82	28,84	23,49	1,06	2,01	0,06
80-100	0,88	0,78	5,61	0,20	2,21	1,04	0,11	0,00	0,0	1,15	3,36	34,19	14,83	1,35	1,34	0,06
A1b	mg/dm ³	g/dm ³	pH CaCl ₂	cmol _c /dm ³ de solo								%		t	g/dm ³	dS m ⁻¹
Prof. (cm)	P	C		Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na	*S	*T	*V	*Al		M.O.	C.E.
0-20	10,73	3,51	5,06	0,25	2,91	0,73	0,60	0,14	0,05	1,47	4,38	33,60	15,20	1,72	6,04	0,07
20-40	9,57	1,95	5,07	0,40	2,41	0,72	0,26	0,17	0,05	1,15	3,56	32,25	25,86	1,55	3,36	0,08
40-60	9,79	5,06	4,89	0,18	3,04	0,80	0,34	0,24	0,05	1,38	4,42	31,28	11,52	1,56	8,73	0,05
60-80	9,68	4,68	4,48	0,50	2,82	0,89	0,22	0,01	0,05	1,13	3,95	28,55	30,74	1,63	8,06	0,11
80-100	10,56	5,84	4,46	0,30	2,80	0,88	0,18	0,01	0,05	1,07	3,87	27,69	21,88	1,37	10,07	0,08

ANEXO 2- ANÁLISE DO SOLO AO FINAL DO EXPERIMENTO NO PERÍODO DE VERÃO E OUTONO NAS PARCELAS DE TRATAMENTOS T1

Tabela A2 - Análise química do solo em 30/01/2009 e em 02/06/2009, respectivamente A2a e A2b para o tratamento T1

74

A2a	mg/dm ³	g/dm ³	pH CaCl ₂	cmol _c /dm ³ de solo								%		t	g/dm ³	dS m ⁻¹
Prof. (cm)	P	C		Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na	*S	*T	*V	*Al		M.O.	C.E.
0-20	6,33	5,06	4,91	0,15	2,86	1,26	0,77	0,12	0,0	2,15	5,02	42,64	6,61	2,30	8,73	0,19
20-40	6,96	5,26	5,28	0,19	2,56	1,00	0,62	0,09	0,0	1,70	4,27	39,96	10,55	1,89	9,06	0,09
40-60	4,29	1,17	4,03	0,25	2,20	0,29	0,04	0,01	0,0	0,34	2,54	13,38	42,39	0,59	2,01	0,07
60-80	4,40	1,56	4,13	0,20	1,98	0,14	0,04	0,01	0,0	0,20	2,18	8,99	50,54	0,40	2,69	0,05
80-100	5,50	2,73	4,27	0,20	1,62	0,17	0,14	0,01	0,0	0,31	1,93	16,10	39,15	0,51	4,70	0,25
A2b	mg/dm ³	g/dm ³	pH CaCl ₂	cmol _c /dm ³ de solo								%		t	g/dm ³	dS m ⁻¹
Prof. (cm)	P	C		Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na	*S	*T	*V	*Al		M.O.	C.E.
0-20	6,72	8,57	5,69	0,07	2,13	1,16	0,62	0,34	0,013	2,12	4,25	53,90	2,67	2,19	14,77	0,14
20-40	2,20	15,39	4,99	0,07	3,12	0,79	0,40	0,17	0,019	1,37	4,48	30,98	4,23	1,44	26,52	0,11
40-60	2,97	3,12	4,66	0,30	2,46	0,81	0,24	0,01	0,008	1,06	3,52	30,06	22,07	1,36	5,37	0,15
60-80	7,37	1,17	4,23	0,50	2,54	0,32	0,23	0,01	0,005	0,57	3,10	18,21	46,93	1,07	2,01	0,06
80-100	10,34	1,95	4,20	0,30	2,95	0,24	0,20	0,07	0,005	0,51	3,46	14,74	37,06	0,81	3,36	0,05

ANEXO 3- ANÁLISE DO SOLO AO FINAL DO EXPERIMENTO NO PERÍODO DE VERÃO E OUTONO NAS PARCELAS DE TRATAMENTOS T2

Tabela A3 - Análise química do solo em 30/01/2009 e em 02/06/2009, respectivamente A3a e A3b para o tratamento T2

75

A3a	mg/dm ³	g/dm ³	pH CaCl ₂	cmol _c /dm ³ de solo								%		t	g/dm ³	dS m ⁻¹
Prof. (cm)	P	C		Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na	*S	*T	*V	*Al		M.O.	C.E.
0-20	6,91	4,34	5,20	0,29	2,67	0,76	0,51	0,32	0,0	1,59	4,26	37,56	14,44	1,88	7,48	0,15
20-40	3,68	4,51	5,00	0,41	2,65	0,61	0,41	0,11	0,0	1,14	3,79	29,75	25,00	1,54	7,77	0,09
40-60	2,42	2,34	4,80	0,20	2,28	0,54	0,43	0,01	0,0	0,98	3,26	30,16	16,88	1,18	4,03	0,09
60-80	0,99	1,17	4,99	0,20	1,89	0,51	0,19	0,02	0,0	0,71	2,60	27,35	21,95	0,91	2,01	0,05
80-100	2,75	0,00	5,22	0,35	1,85	0,77	0,31	0,02	0,0	1,09	2,94	37,11	24,28	1,44	0,00	0,08
A3b	mg/dm ³	g/dm ³	pH CaCl ₂	cmol _c /dm ³ de solo								%		t	g/dm ³	dS m ⁻¹
Prof. (cm)	P	C		Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na	*S	*T	*V	*Al		M.O.	C.E.
0-20	17,89	7,85	5,91	0,00	1,46	0,81	0,68	0,45	0,01	1,94	3,40	57,23	0,00	1,94	13,52	0,18
20-40	4,75	16,20	5,10	0,04	2,82	0,68	0,35	0,46	0,02	1,49	4,31	35,86	1,59	1,53	27,91	0,19
40-60	0,88	4,29	4,26	0,50	3,55	0,58	0,33	0,26	0,01	1,17	4,73	24,84	29,87	1,67	7,38	0,13
60-80	4,18	3,12	5,35	0,47	2,50	0,36	0,52	0,56	0,01	1,44	3,94	36,49	24,64	1,91	5,37	0,31
80-100	2,75	1,56	4,67	0,35	2,84	0,53	0,26	0,30	0,01	1,10	3,94	27,83	24,22	1,45	2,69	0,33

ANEXO 4- ANÁLISE DO SOLO AO FINAL DO EXPERIMENTO NO PERÍODO DE VERÃO E OUTONO NAS PARCELAS DE TRATAMENTOS T3

Tabela A4 - Análise química do solo em 30/01/2009 e em 02/06/2009, respectivamente 4a e 4b para o tratamento T3

A4a	mg/dm³	g/dm³	pH CaCl₂	cmol_c/dm³ de solo								%		t	g/dm³	dS m⁻¹
Prof. (cm)	P	C		Al³⁺	H⁺+Al³⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	K⁺	Na	*S	*T	*V	*Al		M.O.	C.E.
0-20	8,80	3,80	4,97	0,18	3,06	0,94	0,46	0,19	0,0	1,59	4,65	34,11	10,06	1,76	6,54	0,12
20-40	4,62	2,92	5,01	0,25	2,51	0,69	0,36	0,11	0,0	1,16	3,66	32,08	18,83	1,41	5,03	0,07
40-60	3,63	0,78	4,93	0,20	1,95	0,36	0,21	0,01	0,0	0,58	2,53	22,96	25,60	0,78	1,34	0,02
60-80	1,43	0,78	5,31	0,30	1,78	0,51	0,17	0,18	0,0	0,86	2,64	32,67	25,78	1,16	1,34	0,04
80-100	4,62	5,06	5,40	0,20	1,95	0,60	0,28	0,01	0,0	0,88	2,83	31,19	18,46	1,08	8,73	0,03
A4b	mg/dm³	g/dm³	pH CaCl₂	cmol_c/dm³ de solo								%		t	g/dm³	dS m⁻¹
Prof. (cm)	P	C		Al³⁺	H⁺+Al³⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	K⁺	Na	*S	*T	*V	*Al		M.O.	C.E.
0-20	14,55	7,84	5,52	0,12	2,21	0,90	0,78	0,32	0,01	2,00	4,21	51,32	5,70	2,12	13,51	0,14
20-40	2,97	15,10	4,67	0,30	3,53	0,63	0,33	0,26	0,01	1,22	4,75	26,38	21,62	1,52	26,01	0,11
40-60	4,18	15,19	4,47	0,35	2,82	0,70	0,12	0,06	0,01	0,88	3,70	23,77	28,47	1,23	26,18	0,09
60-80	2,75	12,86	4,65	0,25	2,58	0,91	0,27	0,01	0,01	1,19	3,77	31,64	17,33	1,44	22,15	0,13
80-100	4,95	16,36	4,72	0,20	2,60	0,61	0,10	0,01	0,01	0,72	3,32	21,71	21,73	0,92	28,19	0,12