

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LARISSA DE SOUZA BORTOLO

LIXIVIAÇÃO E EXTRAÇÃO DE POTÁSSIO ADICIONADO NO SOLO NA
FERTIRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DA CAFEICULTURA E DIFERENTES
FONTES MINERAIS

Monte Carmelo – MG
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LARISSA DE SOUZA BORTOLO

LIXIVIAÇÃO E EXTRAÇÃO DE POTÁSSIO ADICIONADO NO SOLO NA
FERTIRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DA CAFEICULTURA E DIFERENTES
FONTES MINERAIS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia,
Campus Monte Carmelo, da Universidade
Federal de Uberlândia, como requisito
necessário para a obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Enio Tarso de Souza
Costa

LARISSA DE SOUZA BORTOLO

LIXIVIAÇÃO E EXTRAÇÃO DE POTÁSSIO ADICIONADO NO SOLO NA
FERTIRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DA CAFEICULTURA E DIFERENTES
FONTES MINERAIS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia,
Campus Monte Carmelo, da Universidade
Federal de Uberlândia, como requisito
necessário para a obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Monte Carmelo, 04 de maio de 2021

Banca Examinadora

Prof. Dr. Enio Tarso de Souza Costa

Orientador

Prof. Dr. Luiz Roberto Guimarães Guilherme

Membro da Banca

Prof. Dr. Guilherme Lopes

Membro da Banca

Dedico esse trabalho primeiramente à Nossa Senhora Aparecida, minha madrinha de consagração que me acompanhou durante toda essa jornada e a minha família que não mediu esforços para que eu pudesse me graduar.

“Se você não se permite viver uma situação desconfortável, você não se permite supera-la”.
(autor desconhecido)

AGRADECIMENTOS

À Deus e à Nossa Senhora por ter me concedido a benção de cursar agronomia na Universidade Federal de Uberlândia e a persistência para nunca desistir apesar das adversidades vividas ao longo do curso.

Aos meus pais que nunca me deixaram desamparada e sempre me incentivaram a terminar o curso, à minha irmã que sempre esteve do meu lado e a minha vó Rosa que sempre me encorajou com suas palavras simples, porém inspiradoras.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ênio Tarso de Souza Costa que me acolheu em meio a um transtorno de ansiedade e me ofereceu esse trabalho além de ensinamentos para a vida. Hoje ele é a minha referência pessoal, pelos seus conhecimentos na área que eu pretendo seguir e pela pessoa de boa índole que é.

Às amigas que tive a honra de fazer ao longo da graduação dividindo alegrias e tristezas, tornando esse ciclo menos árduo.

Ao técnico do Laboratório de Ciência do Solo (LCSOL) Paulo Magalhães Neto que me auxiliou nas análises laboratoriais desse trabalho.

Ao técnico do Laboratório de Planejamento Territorial (LAPLAN) Edmar Vieira de Oliveira pela montagem da figura de localização do ponto de coleta.

À Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Monte Carmelo, e aos professores que contribuíram ativamente na construção do meu conhecimento ao longo da graduação, além de conselhos profissionais e pessoais. Em especial os professores Odair, Edmar, Adriane e meu orientador Ênio.

Aos membros da banca por aceitarem o convite e pela avaliação do trabalho.

- Agradeço às Instituições e colaboradores:

- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG – Projetos CAG - APQ-01882-12 e CAG - APQ-01850-16), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES);

- Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal de Uberlândia e ao Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG/UFU);

- Cerâmicas Carmelo e Cerâmica Carmelitana pela permissão na coleta de materiais,

- Fazendas Juliana e Fazenda São Rafael pela permissão de coleta das águas residuárias;

- Fazenda Nossa Senhora Aparecida pela coleta do solo.

SUMÁRIO

RESUMO	9
1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. Coleta e caracterização dos atributos físico-químicos das águas residuárias.....	10
3.2. Coleta e caracterização físico-químicas do solo.....	11
3.3. Montagem do experimento, extração e lixiviação de potássio no solo	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1. Caracterização dos atributos do solo mediante aplicação das águas residuárias.....	16
4.2. Extratores para quantificação de potássio no solo.....	17
4.3. Lixiviação de potássio no solo	22
5. CONCLUSÕES.....	30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

RESUMO

O processamento dos frutos do cafeeiro pós-colheita pode consumir e gerar de 0,1 a 5 L de água para cada litro de frutos do cafeeiro processado. O grande volume de água residuária da cafeicultura (ARC) gerada nesse processamento requer um tratamento para viabilizar sua disposição no solo com a finalidade de suprir potássio (K) às plantas sem causar sua fitotoxicidade e degradar o ambiente. No entanto, essa disposição via fertirrigação deve ser precedida de estudos em ambientes controlados que permitam avaliar as possíveis alterações que possam ocorrer no solo em relação a fontes inorgânicas de K comumente já utilizadas na agricultura. Neste contexto, esse trabalho objetivou avaliar a disponibilidade de K, por meio de diferentes extratores, e a lixiviação desse nutriente aplicado no solo via fertirrigação com ARC tratada e não tratada, comparando-as com diferentes fertilizantes inorgânicos convencionais utilizados na agricultura. Para proceder com essa avaliação, as ARC foram coletadas, passaram por um tratamento químico e físico, sendo, em seguida, caracterizadas. Posteriormente, essas ARC foram aplicadas no solo dispostos em colunas de lixiviação para avaliação da disponibilidade e lixiviação de potássio. De acordo com os resultados, constataram-se que os extratores Mehlich 1 e acetato de amônio extraíram maiores quantidades de K nos solos que receberam ARC sem tratamento e tratadas comparados aos que receberam as fontes inorgânicas. As concentrações de K quantificadas nos lixiviados dos solos que receberam as ARC após tratamento químico foram inferiores aos dos solos que receberam às fontes nitrato e cloreto de K, semelhantes à fonte sulfato de K e superiores à fonte fosfato de K. Adicional vantagem das ARC tratadas foi manter a disponibilidade de K no solo semelhante as fontes convencionais mais solúveis utilizadas como fertilizantes na agricultura, como cloreto e nitrato de K, mas com menor mobilidade no solo, comparado a fontes menos solúveis como sulfato de K.

PALAVRAS-CHAVE: ARC; reaproveitamento de resíduos; fertilidade do solo.

1. INTRODUÇÃO

Com o melhoramento genético e com as práticas de manejo, a cafeicultura avançou para região do Cerrado e passou a exercer uma forte influência no Brasil com a participação no mercado internacional. A região do Cerrado Mineiro conquistou o selo de Denominação de Origem pelo Instituto de Propriedade Industrial devido à elevada qualidade do café produzido nessa região. Esse café possui peculiaridade no sabor e aroma devido à sinergia da interação entre o clima, solo, relevo, altitude e formas de condução da lavoura e do produto pós-colheita.

Para alcançar a qualidade, torna-se de fundamental importância todo o processamento pós-colheita dos frutos do cafeeiro. Esse processamento pode ser realizado pela via seca, a qual envolve abanação, lavagem, separação e secagem. O processamento pode também ser realizado pela via úmida, onde, após a separação, os grãos seguem para a remoção da casca e da mucilagem. Esses dois tipos de processamento geram grandes volumes de águas residuárias da cafeicultura (ARC), podendo o consumo e geração variar de 0,1 a 5 L de água para cada litro de frutos do cafeeiro a ser processado (BORÉM, 2008). Em função da etapa do processamento e do equipamento utilizado, podem-se obter as seguintes ARC: lavador, descascador, desmucilador e do bolsão (reservatório destinado a disposição dos diversos tipos de ARC oriundas do processamento pós-colheita dos frutos do cafeeiro). Essas ARC variam de composição, mas todas elas possuem grande potencial poluidor devido à sua elevada carga orgânica e alta demanda química e bioquímica de oxigênio (BRASIL; MATOS; FIA, 2003). Por isso, há uma grande demanda para encontrar formas de tratamento desse efluente para possibilitar sua reutilização na lavoura sem causar danos ambientais e toxidez nos próprios cafeeiros.

A possibilidade de avaliar o efeito do tratamento das ARC para aplicação no solo como fonte de potássio (K) para as plantas é por meio da avaliação dos atributos químicos do solo após aplicação dessas ARC, comparando-os com aqueles que receberam aplicação de fertilizantes convencionais. As legislações nacional (CONAMA, 2005 e 2011) e estadual (COPAM/CERH, 2008) normatizam sobre a necessidade da realização de análises físico-químicas e biológicas para lançamento de qualquer efluente em corpos d'água. Essas legislações não tratam do lançamento de efluentes no solo, o qual deverá ser monitorado pelas alterações dos atributos químicos de forma a preservar a qualidade do solo e da água subterrânea com base nos valores orientadores para esses dois grandes recursos naturais

(COPAM/CERH, 2010). Cabe ressaltar que, no estado de São Paulo, há uma legislação que trata especificamente dos critérios e procedimentos para aplicação da vinhaça no solo (CETESB, 2015). Embora essa legislação seja específica para a aplicação de vinhaça, um subproduto gerado pela atividade sucroalcooleira no processamento de cana de açúcar rico em K, esse nutriente também está presente em grande quantidade nas ARC.

A reutilização das ARC encontra algumas dificuldades devido à sua elevada fitotoxidez, relacionada em parte a sua alta demanda bioquímica de oxigênio devido a sua carga orgânica e a presença de nutrientes com o K (MATOS et al., 2007). Por esse motivo, requerem tratamentos capazes de reduzir esse potencial de dano às plantas possibilitando sua reutilização mais segura na lavoura. Descoberto um tratamento, necessita-se de verificar se as ARC, após passar pelo tratamento, apresentam potencial de alterar de forma positiva ou negativa os atributos do solo para o crescimento de plantas, sobretudo com foco nos elementos presentes em maior concentração nessas águas, como é o caso do K. Uma forma de monitorar esses recursos é por meio da avaliação dos atributos químicos do solo antes e após a disposição das ARC, sobretudo comparando-os com fontes convencionais de adubos contendo o K como o nutriente aportando em maior quantidade. Além disso, pode-se também prever a mobilidade dos nutrientes pela coleta dos lixiviados, os quais permitem avaliar se a mobilidade vertical de determinado nutriente no solo, adicionado via ARC, difere ou assemelha-se à das fontes inorgânicas comerciais. Geralmente, a movimentação de nutrientes catiônicos, como o K presente nas ARC e nos fertilizantes inorgânicos, é influenciada, entre outros fatores, pelo ânion acompanhante. Nesse sentido, quanto menor a força de retenção do ânion acompanhante à superfície dos colóides do solo, maior a possibilidade desse ânion permanecer em solução e, conseqüentemente, propiciar a movimentação do cátion. A força de retenção dos ânions reduz na seguinte ordem: $\text{PO}_4^{3-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- = \text{Cl}^-$ (JOHNSON; COLE, 1980; WADT; WADT, 1999).

Entre os nutrientes contidos nas águas residuárias, o K se destaca dos demais em função de sua concentração e de sua mobilidade no solo (NOVAIS et al., 2007). Dentro desse contexto, esse trabalho se propõe avaliar os atributos químicos do solo por meio da disponibilidade de K e quantificar se a lixiviação de K aplicado no solo via fertirrigação com ARC tratada e não tratada se difere ou não das fontes inorgânicas desse nutriente convencionalmente vêm utilizadas na agricultura.

2. OBJETIVOS

Avaliar a disponibilidade de K, por meio de diferentes extratores, e a lixiviação desse nutriente aplicado no solo via fertirrigação com ARC tratada e não tratada, comparando-as com diferentes fertilizantes inorgânicas convencionais utilizados na agricultura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Coleta e caracterização dos atributos físico-químicos das águas residuárias

Amostras representativas das ARC do desmucilador e do bolsão foram coletadas em uma Fazenda no município de Monte Carmelo - MG. As ARC do desmucilador e do bolsão foram armazenadas em galões de 20 litros para tratamento químico e físico. O tratamento químico consistiu da adição de um material alcalino contendo (CaO) e as quantidades foram calculadas com base em regressões de ajuste de pH para promover a floculação dos materiais orgânicos. Na sequência realizou-se o tratamento físico que consistiu na remoção do material orgânico floculado pela filtração em colunas utilizando um subproduto da indústria cerâmica (Proteção do invento pelo depósito das patentes BR102014024924-9 and BR102019010032-0).

Procedido o tratamento, foi realizada a determinação dos seguintes parâmetros dessas ARC antes e após o tratamento químico e físico: pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade eletrolítica; cor aparente, turbidez, sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos totais (ST), demanda química de oxigênio (DQO), K – potássio e Ca – cálcio de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2011). As quantificações de P, K e Ca foram realizadas por espectrômetro de emissão óptica com plasma (ICP – OES). Esses parâmetros se encontram descritos na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros das águas residuárias da cafeicultura coletada no desmucilador (ARC – D) e no bolsão (ARC – B) antes e após o tratamento químico e físico (ARC – D TQ e ARC – B TQ)

Parâmetros*	ARC-D	ARC-D TQ	ARC-B	ARC-B TQ
pH	3,42	11,51	4,27	12,11
CE (dS m ⁻¹)	1,42	4,07	2,22	8,26
Cor aparente (uH)	2372,00	504,90	2922,00	107,90
Turbidez (NUT)	1465,00	29,20	825,00	2,82
SDT (mg L ⁻¹)	2520,00	6072,00	1832,00	8327,00
ST (mg L ⁻¹)	5084,00	6178,00	3202,00	8588,00
DQO (mg L ⁻¹)	2789,00	2082,00	2136,00	2055,00
K (mg L ⁻¹)	303,81	344,86	448,48	472,72
Ca (mg L ⁻¹)	17,66	944,37	53,92	1626,70

* Potencial hidrogeniônico (pH), condutividade eletrolítica (CE), cor aparente, turbidez, sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos totais (ST), demanda química de oxigênio (DQO), concentração de potássio (K) e cálcio (Ca) (APHA, 2011)

3.2. Coleta e caracterização físico-químicas do solo

Amostra representativa de um Latossolo Vermelho muito argiloso, de uma lavoura cafeeira já implantada, foi coletada na entrelinha na profundidade de 0 a 20 cm. A lavoura está localizada no município de Romaria – MG, próxima a divisa com o município de Monte Carmelo (Figura 1) e foi implantada no ano de 2000, com espaçamento ente linhas de 4 m e entre plantas de 0,7 m. Após coleta, o solo foi destorroado e passado em uma peneira com 4 mm de diâmetro de malha e seco a sombra. Após secagem, foi coletada uma amostra representativa, passada em peneira de 2 mm de diâmetro de malha para obtenção da fração terra fina seca ao ar (TFSA), para caracterização dos atributos físicos e químicos (Tabela 2).

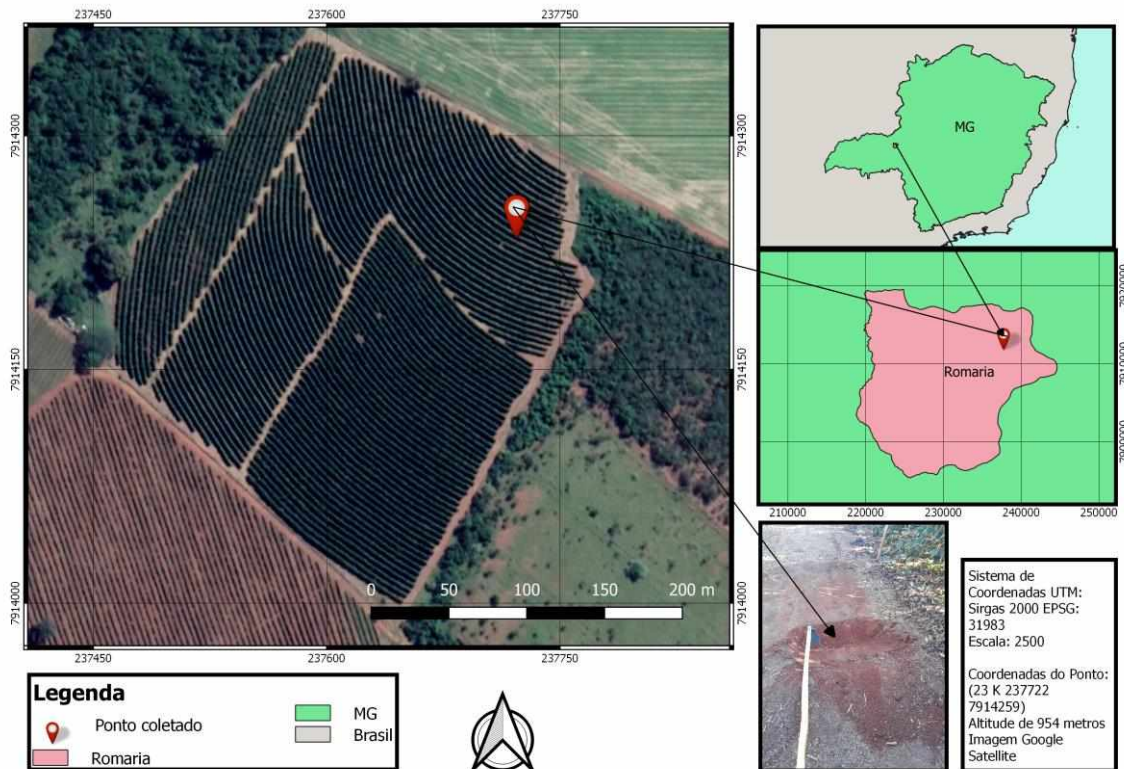


Figura 1. Localização do ponto de coleta da amostra de solo.

Os atributos químicos foram avaliados na fração TFSA de acordo com a metodologia descrita no manual da EMBRAPA (EMBRAPA, 2017) e do IAC (VAN RAIJ et al., 2001). Entre os atributos fundamentais avaliados têm-se: potencial hidrogeniônico (pH) em água e em cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (relação solo: solução de 1:2,5); matéria orgânica (MO) determinada pela oxidação por dicromato em meio ácido (Walkley-Black) e quantificação indireta do carbono por colorimetria; hidrogênio mais alumínio ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) determinados indiretamente pelo pH em solução tampão SMP (pH_{SMP}); cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alumínio (Al^{3+}) trocáveis extraídos por $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$, sendo o Ca^{2+} e Mg^{2+} quantificados por espectrometria de emissão óptica com plasma (ICP – OES) e Al^{3+} quantificado por titulação com $\text{NaOH } 0,025 \text{ mol L}^{-1}$; fósforo (P), potássio (K^+), sódio (Na^+) disponíveis extraídos por Mehlich 1 ($0,05 \text{ mol L}^{-1} \text{ HCl} + 0,0125 \text{ mol L}^{-1} \text{ de } \text{H}_2\text{SO}_4$), sendo o K^+ quantificado por fotometria do tipo chama e os demais por ICP - OES; enxofre (S-SO_4^{2-}) extraído por fosfato monobásico de cálcio, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, e quantificado por ICP - OES; boro (B) extraído por cloreto de bário ($1,25 \text{ g L}^{-1}$) em água quente e quantificado por ICP – OES; cobre (Cu^{2+}), ferro (Fe^{2+}), manganês (Mn^{2+}) e zinco (Zn^{2+}) extraídos por ácido dietileno triamino penta-acético (DTPA) pH 7,3 e quantificados por ICP – OES.

Tabela 2. Atributos físicos e químicos do solo coletado na entrelinha de uma lavoura cafeeira na profundidade de 0 a 20 cm

Atributos*	Unidade	Valor
pH H ₂ O	--	5,40
pH CaCl ₂	--	4,80
MOS	g dm ⁻³	50,30
COS	g dm ⁻³	29,20
P disponível (Mehlich 1)	mg dm ⁻³	14,50
K ⁺	mg dm ⁻³	74,29
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,11
H ⁺ + Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	4,10
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	5,93
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,55
S-SO ₄ ²⁻	mg dm ⁻³	10,01
B	mg dm ⁻³	0,61
Cu	mg dm ⁻³	6,60
Fe	mg dm ⁻³	68,00
Mn	mg dm ⁻³	15,20
Zn ²⁺	mg dm ⁻³	6,10
T	cmol _c dm ⁻³	11,77
SB	cmol _c dm ⁻³	7,67
t	cmol _c dm ⁻³	7,78
V	%	65,17
m	%	1,41
%Ca	%	50,38
%Mg	%	13,17
%K	%	1,61
Argila	dag kg ⁻¹	591
Silte	dag kg ⁻¹	123
Areia	dag kg ⁻¹	286

* pH: potencial hidrogeniônico em água e em cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹ (relação solo:solução de 1:2,5); MO: matéria orgânica, método Walkley-Black; H⁺ + Al³⁺: hidrogênio mais alumínio, método pH SMP; Ca²⁺: cálcio, Mg²⁺: magnésio e Al³⁺: alumínio trocáveis, extrator KCl 1 mol L⁻¹; P: fósforo, K⁺: potássio e Na⁺: sódio disponíveis, extrator Mehlich 1; S-SO₄²⁻: sulfato, extrator fosfato monobásico de cálcio 0,01 mol L⁻¹; B: boro, extrator cloreto de bário (1,25 g L⁻¹) em água quente; Cu²⁺: cobre, Fe²⁺: ferro, Mn²⁺: manganês e Zn²⁺: zinco, extrator ácido dietileno triamino penta-acético (DTPA) pH 7,3 (EMBRAPA, 1997; 2017).

A análise granulométrica (textura) foi quantificada pela metodologia descrita no manual da Embrapa (EMBRAPA, 1997). A dispersão química foi realizada pela adição de 100 mL de NaOH a 0,1 mol L⁻¹ adicionados sobre 10 g de TFSA e a dispersão física pela agitação durante 16 horas, em agitador do tipo Wagner. Após a dispersão, a fração areia foi separada utilizando-se uma peneira com abertura de malha de 0,053 mm de diâmetro, a fração argila foi quantificada pelo método da pipeta, com base na lei de Stokes. A fração silte foi

determinada pela coleta adicional da suspensão contendo a fração silte mais argila (RUIZ, 2005).

3.3. Montagem do experimento, extração e lixiviação de potássio no solo

Previamente à condução dos estudos, foram determinadas a densidade do solo deformado por meio de cachimbo medidor de volume e a umidade na capacidade de campo pelo método do funil. Determinada a densidade do solo, 1 dm^3 de solo padronizado pelo peso foi acondicionado em sacos plásticos e colocado dentro de vasos plásticos para evitar perdas. Os tratamentos constituíram da elevação da saturação de K no solo para 5% da capacidade de troca de cátions potencial (T) (CETESB, 2015). Considerando o valor atual de K no solo de $74,25 \text{ mg dm}^{-3}$ ($0,19 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) foram adicionados 156 mg dm^{-3} ($0,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para alcançar 230 mg dm^{-3} ($0,59 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). As fontes de K adicionadas (T) via fertirrigação foram: i) $512,9 \text{ mL dm}^{-3}$ da ARC do desmucilador sem tratamento (ARC – D); ii) $347,4 \text{ mL dm}^{-3}$ da ARC do bolsão sem tratamento (ARC – B); iii) $451,8 \text{ mL dm}^{-3}$ da ARC do desmucilador após receber tratamento químico e físico (ARC – D TQ); $325,5 \text{ mL dm}^{-3}$ da ARC do bolsão após receber tratamento químico e físico (ARC – B TQ). Para comparação foram utilizadas as seguintes fontes inorgânicas convencionais do nutriente: $0,5 \text{ g dm}^{-3}$ de fosfato de K (KH_2PO_4), $0,35 \text{ g dm}^{-3}$ de sulfato de K (K_2SO_4), $0,30 \text{ g dm}^{-3}$ de cloreto de K (KCl) e $0,40 \text{ g dm}^{-3}$ de nitrato de K (KNO_3). Como controle, foi utilizado o próprio solo sem nenhuma adição de K.

Para uniformização da forma de adição do K no solo, padronizou-se um volume de 513 mL (maior volume requerido para aplicação de ARC - D) para todos os tratamentos, sendo os volumes inferiores das outras ARC, aferidos com água destilada. As respectivas quantidades dos fertilizantes inorgânicos também foram solubilizadas em 513 mL de água destilada. As soluções foram armazenadas em frascos hermeticamente fechados, as quais foram agitadas antes de cada aplicação. Na primeira aplicação, adicionaram-se nos 700 cm^3 de solo, 193 mL da solução para elevar a umidade para 60% da capacidade de campo (volume total de poros do solo igual a 46%). As outras aplicações foram sendo realizadas diariamente com base em peso objetivando restabelecer a umidade do solo para 60% da capacidade de campo. Após a aplicação dos tratamentos, a manutenção da umidade do solo entre 50 a 60% da capacidade de campo foi realizada pela adição de água destilada com base em peso para

que se processassem as reações e fosse estabelecido o equilíbrio entre a fase sólida e a solução dos nutrientes aportados pelas diferentes fontes.

Após o período de incubação de 30 dias, o solo foi seco a sombra e um volume 300 cm³ de solo de cada tratamento foi passado em peneira com malha de 2 mm de diâmetro e acondicionada para a quantificação do K disponível por meio de diferentes extratores. O restante da amostra - 700 cm³ de solo, - foi acondicionado em colunas para coleta de lixiviado.

Para a extração de K, foram utilizadas as seguintes soluções: Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ mais H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), acetato de amônio a pH 7,0 (NH₄OAc 1 mol L⁻¹ a pH 7,0) e cloreto de amônio (NH₄Cl 1 mol L⁻¹). Os métodos originais foram alterados para possibilitar a padronização, assim, os procedimentos adotados em cada extração foram os mesmos e consistiram dos seguintes passos: mediram-se 5 cm³ de solo e adicionaram-se 50 mL de solução extratora. As amostras foram agitadas por 15 minutos e deixadas em repouso por 16 horas. Terminado o tempo de contato, coletou-se o sobrenadante para quantificação de K⁺ por fotometria do tipo chama.

Para coleta de lixiviado, 700 cm³ de solo foram irrigados lentamente até se atingir 100% da capacidade de campo (volume total de poros 46% = 322 cm³), a qual foi mantida por 16 horas. Na sequência, foram adicionados 140 mL de água no centro das colunas de forma lenta para evitar a formação de uma lâmina d'água na superfície do solo e de fluxos preferenciais, sobretudo nas paredes das colunas. As colunas foram deixadas em repouso por aproximadamente 16 horas e no outro dia foi coletado o lixiviado. A verificação do volume do lixiviado foi realizada com base em peso. Após a coleta do primeiro lixiviado procederam-se mais quatro adições de 140 mL de água seguindo o mesmo procedimento adotado, conforme descrito para a coleta do primeiro lixiviado. Constatou-se que, ao final das cinco aplicações de 140 mL, foi adicionado um volume total de 700 mL de água (relação solo:água de 1:1).

Após cada coleta de lixiviado, foi realizada a sua caracterização pela medição do pH, da condutividade eletrolítica (CE) e da quantificação de potássio (K⁺) por fotometria de chama. O experimento foi montado com 5 repetições, em delineamento inteiramente casualizado, sendo as análises estatísticas realizadas pelo software SISVAR (FERREIRA, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização dos atributos do solo mediante aplicação das águas residuárias

Ao adicionar as águas residuárias e as fontes inorgânicas para elevar a saturação de potássio para 5% da capacidade de troca de cátions potencial), houve variações no pH e na CE do solo (Figura 2). O pH do solo que recebeu as águas residuárias tratadas apresentou os maiores valores, sendo o da ARC - B TQ maior em relação ao solo que foi adicionada a ARC - D TQ (Figura 2a). Isso ocorreu devido à fonte ARC-B TQ possuir valor mais elevado de pH, conforme pode-se verificar na análise química das ARC (Tabela 1). O pH do solo tratado com a ARC - D não diferiu do tratamento controle. Ao se aplicar a ARC oriunda da despolpa do fruto do cafeeiro, Silva et al. (2011) observaram que a aplicação da ARC resultante da lavagem dos frutos do cafeeiro não alterou o pH do solo, após período de incubação, o que não ocorreu para outros atributos químicos. Outro trabalho verificou a elevação do pH após aplicação da ARC da lavagem e da despolpa (pH = 3,8) quando comparado ao tratamento que recebeu somente água de irrigação (BEBÉ et al., 2010). Por outro lado, Garcia et al. (2008) constataram que o pH do solo que recebeu somente ARC da lavagem e da despolpa de cafeeiro Conilon foi menor quando comparado ao pH do solo que recebeu somente água de irrigação. Nesse trabalho, os autores sugerem diluir a ARC, considerada de qualidade marginal para irrigação, com água considerada de boa qualidade, convencionalmente utilizada na irrigação. Descrevem ainda que as quantidades devem ser avaliadas em função das propriedades do solo e das exigências nutricionais da cultura instalada.

Com relação às fontes inorgânicas, o maior valor de pH do solo foi observado para a fonte fosfato de K, que teve pH menor que as ARC tratadas quimicamente (ARC - D TQ e ARC - B TQ) e maior que as ARC não tratadas (ARC - D e ARC - B). O menor valor de pH foi para o solo que recebeu a fonte nitrato de K, que teve seu valor de pH inferior ao controle. Os tratamentos que receberam as fontes sulfato e cloreto de K não diferiram entre si e tiveram valores de pH intermediários em relação aos tratamentos que receberam as fontes inorgânicas.

As fontes inorgânicas de K, bem como as ARC aumentaram a CE do solo (Figura 2b). Maiores valores de CE foram observados para os tratamentos contendo as fontes cloreto e nitrato de K, seguido da fonte sulfato e fosfato de K. Com relação aos tratamentos que receberam as ARC sem tratamento (ARC - D e ARC - B) e tratadas quimicamente (ARC - D

TQ e ARC - B TQ), os valores de CE não diferiram entre si e foram inferiores ao tratamento que recebeu a fonte sulfato de K e superiores ao tratamento que recebeu a fonte fosfato de K. Esse comportamento é interessante, pois as ARC constituem fontes de K e Ca e promovem menor elevação da CE do solo que a fonte sulfato de K e bem menor que a fonte cloreto de K, a mais comumente utilizada na agricultura.

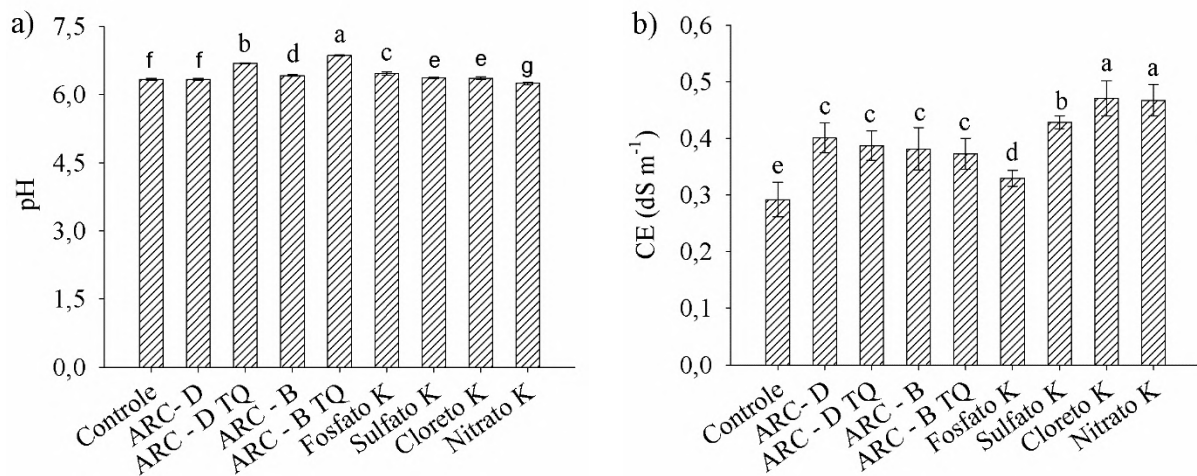


Figura 2. Potencial hidrogeniônico (a - pH) e condutividade eletrolítica (b - CE, dS m⁻¹) do solo (relação solo:solução de 1:2,5) coletado na cama de 0 a 20 cm de profundidade na entrelinha de uma lavoura cafeeira após aplicação das águas residuárias da cafeicultura da despolda (ARC - D) e bolsão (ARC - B) antes e após tratamento químico e físico (ARC - D TQ e (ARC - B TQ) e de fontes inorgânicas de potássio (Fosfato de K - KH₂PO₄; Sulfato de K - K₂SO₄; Cloreto de K - KCl e Nitrato de K - KNO₃) para elevar a saturação de potássio para 5% da capacidade de troca de catiônica potencial. Letras nas colunas indicam diferença estatística significativa ao nível de 95% de significância pelo teste de Skott-Knott. Barras de desvios indicam o desvio padrão da média calculados a partir de cinco repetições. Coeficientes de variação iguais a: 0,33 e 6,69 % respectivamente para pH (a) e CE (b).

4.2. Extratores para quantificação de potássio no solo

De acordo com a figura 3, as ARC e as fontes inorgânicas contribuíram para um aumento significativo dos teores de potássio disponível no solo. De acordo com a tabela de interpretação de K no solo utilizando o extrator Mehlich 1, valores desse nutriente acima 120 mg dm⁻³ são classificados como muito bom, sendo essa a classificação obtida em todos os tratamentos (exceção do controle) independente da fonte do nutriente utilizada (RIBEIRO et al., 1999). Quando se compara o comportamento do K disponível no solo quantificado por cada extrator em relação às fontes, observa-se para o extrator Mehlich 1 (Figura 3a), as

concentrações de K disponível foram maiores para as ARC sem tratamento (ARC-D e ARC-B) e tratadas quimicamente (ARC-D TQ e ARC-B TQ), as quais não diferiram entre si. As fontes inorgânicas apresentaram teores de K disponível extraídos pelo Mehlich 1 inferiores e também não apresentaram diferenças entre si. Esse mesmo comportamento foi também observado para o extrator acetato de amônio (Figura 3b). Já para o extrator cloreto de amônio, a concentração de K disponível no solo não diferiu entre as fontes orgânicas e inorgânicas (Figura 3c). Observa-se para os extratores Mehlich 1 e acetato de amônio, que as ARC tiveram concentrações maiores de K comparadas com as fontes inorgânicas. Esses resultados também revelaram que o tratamento nas ARC possibilitou a diminuição de alguns parâmetros, como a cor, turbidez e DQO (Tabela 1), os quais podem expressar a toxidez do subproduto, mas não diminuiu a concentração de K disponível, além de ter elevado o valor de Ca (Tabela 1), o que torna o tratamento uma boa alternativa para o produtor.

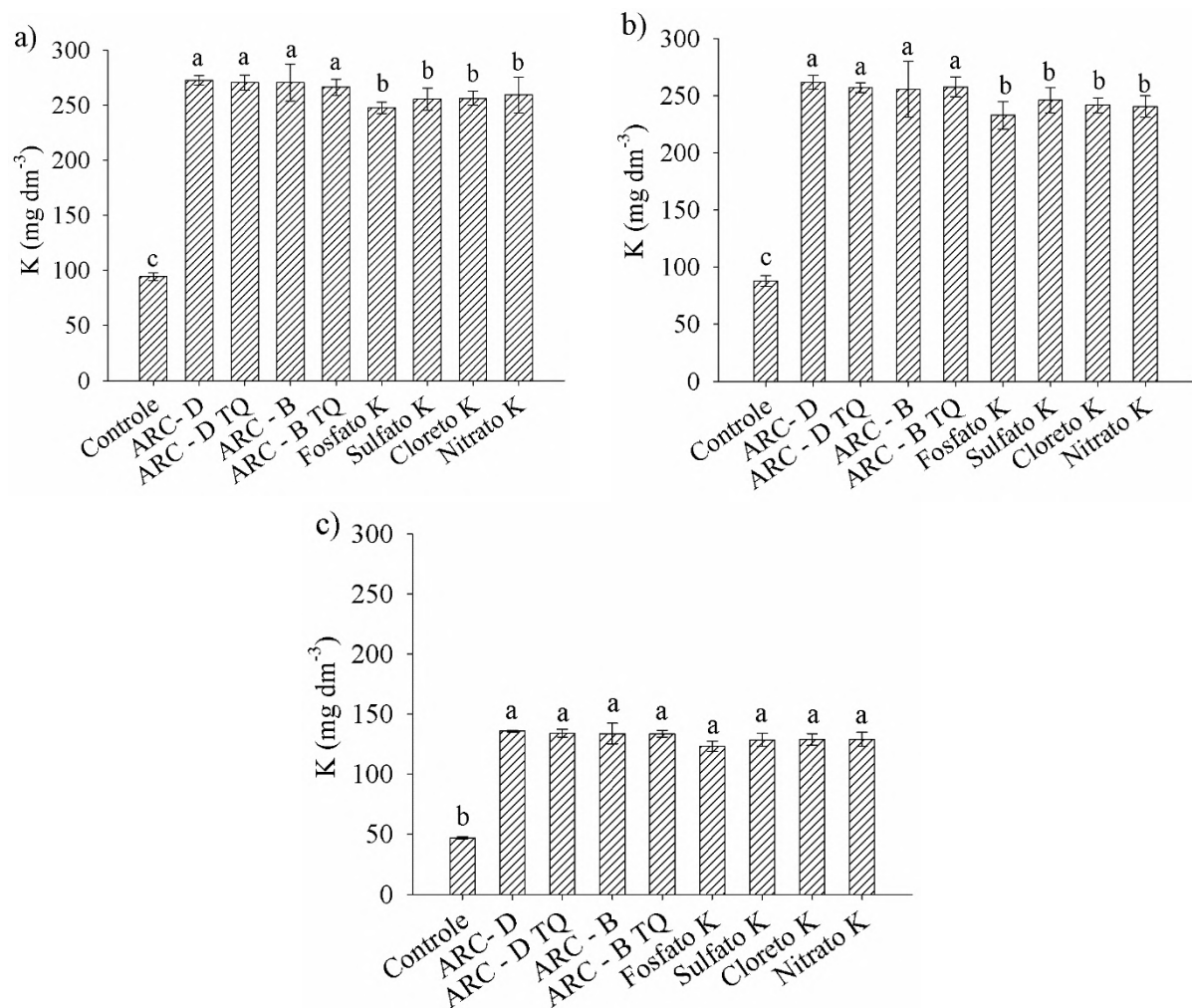


Figura 3. Concentração de potássio do solo quantificado nos extratores Mehlich 1 (a, mg dm⁻³), acetato de amônio (b, mg dm⁻³) e cloreto de amônio (c, mg dm⁻³), relação solo:extrator de 1:10. As extrações foram

realizadas no solo coletado na cama de 0 a 20 cm de profundidade e na entrelinha de uma lavoura cafeeira em função da aplicação das águas residuárias da cafeicultura da despolpa (ARC – D) e bolsão (ARC – B) antes e após tratamento químico e filtragem (ARC – D TQ e (ARC – B TQ) e de fontes inorgânicas de potássio (Fosfato de K – KH_2PO_4 ; Sulfato de K – K_2SO_4 ; Cloreto de K – KCl e Nitrato de K – KNO_3) para elevar a saturação de potássio para 5% da capacidade de troca de catiônica potencial. Letras nas colunas indicam diferença estatística significativa ao nível de 95% de significância pelo teste de Skott-Knott. Barras de desvios indicam o desvio padrão da média calculados a partir de cinco repetições. Coeficientes de variação igual a: 4,55 % respectivamente para (a), (b) e (c).

Ao se compararem as concentrações de K disponível quantificadas pelos diferentes extratores dentro de cada fonte de potássio (Figura 4), foi possível observar que no controle, na ARC - D, na ARC - B TQ e no sulfato de K, as extrações de K com Mehlich 1 e com acetato de amônio não diferiram entre si, mas foram superiores às extrações do nutriente com cloreto de amônio, enquanto que, nas outras fontes (ARC-D TQ, ARC-B e fosfato K, cloreto K e nitrato K), o Mehlich 1 extraiu maiores quantidades de K, seguido pelo acetato de amônio e pelo cloreto de amônio que extraiu as menores quantidades do nutriente.

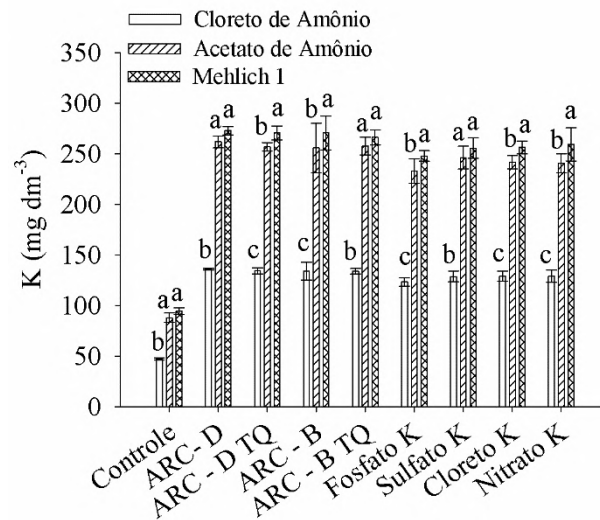


Figura 4. Concentração de potássio do solo (K , mg dm^{-3}) quantificada nos extratos Mehlich 1, Acetato de Amônio e Cloreto de Amônio (relação solo:extrator de 1:10) para as diferentes fontes do nutriente. As extrações foram realizadas no solo coletado na cama de 0 a 20 cm de profundidade na entrelinha de uma lavoura cafeeira em função da aplicação das águas residuárias da cafeicultura da despolpa (ARC – D) e bolsão (ARC – B) antes e após tratamento químico e físico (ARC – D TQ e (ARC – B TQ) e de fontes inorgânicas de potássio (Fosfato de K – KH_2PO_4 ; Sulfato de K – K_2SO_4 ; Cloreto de K – KCl e Nitrato de K – KNO_3) para elevar a saturação de potássio para 5% da capacidade de troca de catiônica potencial. Letras nas colunas indicam diferença estatística significativa ao nível de 95% de significância pelo teste de Skott-Knott. Barras de desvios indicam o desvio padrão da média calculados a partir de cinco repetições. Coeficientes de variação igual a: 4,55%.

A concentração de K extraída pelo Mehlich 1, sem considerar as diferenças entre as fontes, foi de 243,74 mg dm⁻³, valor considerado como 100% (Figuras 5a e b). O Acetato de Amônio extraiu 94,75% (231,27 mg dm⁻³) desse valor e o cloreto de amônio 49,90% (121,60 mg dm⁻³). Por outro lado, o extrator cloreto de amônio extraiu menos que o Mehlich 1 e o acetato de amônio, em média, 50,1% e 47,3%, respectivamente. Em amostras de Argissolo da região de Petrolina-PE, foram verificadas que o K extraído por NH₄Cl 1 mol L⁻¹ foi, em média, 0,033 mmol_c kg⁻¹ superior ao extrator Mehlich 1 (BOEIRA et al., 2004). Caso as amostras de Argissolo possuam densidade igual a 1 kg dm⁻³, esse valor de 0,033 mmol_c kg⁻¹ de K extraído por NH₄Cl 1 mol L⁻¹ corresponde a uma concentração de 1,29 mg dm⁻³ de K superior a extraída pelo Mehlich 1. Esses resultados não corroboram com os valores apresentado pelas amostras de Latossolo do presente estudo, no qual o extrator Mehlich 1 (243,74 mg dm⁻³) extraiu o dobro do valor de K comparado ao extrator NH₄Cl 1 mol L⁻¹ (121,60 mg dm⁻³). Essa diferença pode ser decorrente das características diferentes dos solos, tais como teor e qualidade da argila presente, matéria orgânica e outras.

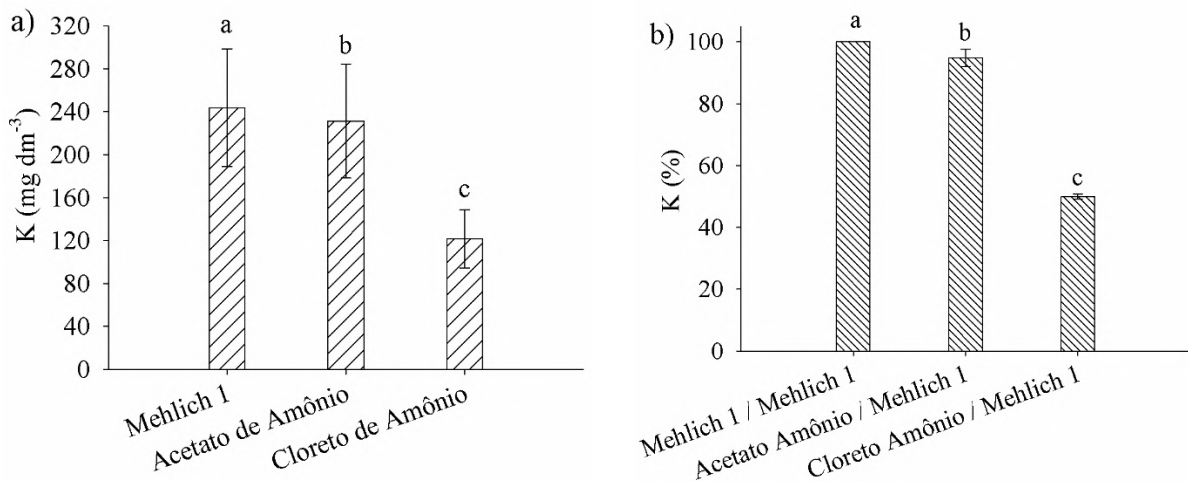


Figura 5. Concentração de potássio do solo (a – K, mg dm⁻³) quantificada nos extratos Mehlich 1, Acetato de Amônio e Cloreto de Amônio (relação solo:extrator de 1:10) independente das fontes do nutriente (a – K, mg dm⁻³) e porcentagem de potássio do solo (b – K, %) calculada pela relação entre as concentrações do nutriente extraídas pelo Mehlich 1, acetato de amônio e cloreto de amônio em relação a concentração extraída pelo Mehlich 1 independente das fontes do nutriente. As extrações foram realizadas no solo coletado na cama de 0 a 20 cm de profundidade na entrelinha de uma lavoura cafeeira em função da aplicação das águas residuárias da cafeicultura da despolpa (ARC – D) e bolsão (ARC – B) antes e após tratamento químico e físico (ARC – D TQ e (ARC – B TQ) e de fontes inorgânicas de potássio (Fosfato de K – KH₂PO₄; Sulfato de K – K₂SO₄; Cloreto de K – KCl e Nitrato de K – KNO₃) para elevar a saturação de potássio para 5% da capacidade de troca de catiônica potencial. Letras nas colunas indicam diferença estatística significativa ao nível de 95% de significância pelo teste de Skott-Knott. Barras de desvios indicam o desvio padrão da média calculados a partir de cinco repetições. Coeficientes de variação igual a: 4,55 % para a e b.

A extração de K pelos extratores Mehlich 1 e acetato de amônio também foi avaliada em várias amostras de solo no Rio Grande do Sul (BORTOLON; GIANELLO; SCHLINDWEIN, 2010). Segundo os autores, as concentrações de K extraídas pelo Mehlich 1 nas amostras coletadas no primeiro cultivo com milho e no segundo cultivo com soja foram 19% e 24%, respectivamente, menor comparada a extração pelo acetato de amônio. Esse comportamento foi atribuído pelos respectivos autores, em parte, ao menor tempo de agitação utilizado para o Mehlich 1 (5 minutos) comparado ao maior tempo utilizado para o extrator acetato de amônio (15 minutos), o qual influenciou no contato e na troca entre a superfície do solo com o extrator. Cabe ressaltar que a extração utilizando acetato de amônio ocorre por meio de troca, pois o NH_4^+ e o K^+ possuem raios iônicos semelhantes, competindo entre si por sítios de trocas do solo (ZHANG et al., 2013). Os sítios específicos de retenção de K pelo solo correspondem às entrecamadas de minerais do tipo 2:1, mais especificamente nas cavidades das superfícies siloxanas presentes nas lâminas tetraedrais, muito comum em solos menos intemperizados, mas menos comum em solos muito intemperizados, como o solo do presente trabalho (KÄMPF; CURI, 2003).

O tratamento químico das ARC (ARC – D TQ e ARC – B TQ) proporcionou um incremento de Ca no solo comparado com as respectivas águas que não receberam tratamento (ARC – D e ARC – B, Figura 6a). Quanto ao Mg, os solos que receberam aplicação das ARC – D TQ e ARC – B TQ apresentaram concentrações menores de Mg comparados com os outros solos que receberam outras fontes de K (Figura 6b). É possível que o incremento de Ca no solo aportado via ARC tratada possa ter influenciado na extração do Mg. Embora o incremento de Ca no solo não tenha alterado a classe de fertilidade para esse nutriente, classificado como muito bom ($> 4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), houve alteração para o Mg, cuja classificação reduziu de muito bom ($> 1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para bom (0,91 a $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para os tratamentos que receberam aplicação das ARC – D TQ ($1,44 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e ARC – B TQ ($1,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (RIBEIRO, et al., 1999). Essa influência pode ter ocorrido devido à elevação das cargas negativas do solo decorrente da adição de materiais orgânicos e elevação do pH. Tem se ainda, à possibilidade de formação de complexos ternários e à formação de precipitados no solo mediante a adição de ânions aportados via ARC, além do efeito do aumento da concentração de Ca no próprio extrato. Matos et al. (2005) sugerem que a menor concentração de Mg encontrada nos solos tratados com a ARC da lavagem e da despolpa e cultivados com forrageiras está relacionada com o menor aporte desse elemento via ARC. Esses autores ainda relacionam a menor disponibilidade de Mg no solo decorrente da possibilidade de formação de precipitados no solo com os solutos adicionados via ARC. Em

outro trabalho, os autores observaram que as concentrações de Ca e Mg do solo se mantiveram inalteradas, após aplicação da ARC da lavagem e da despolpa contendo uma concentração de Mg aproximadamente três vezes superior à concentração de Ca (BEBÉ et al., 2010).

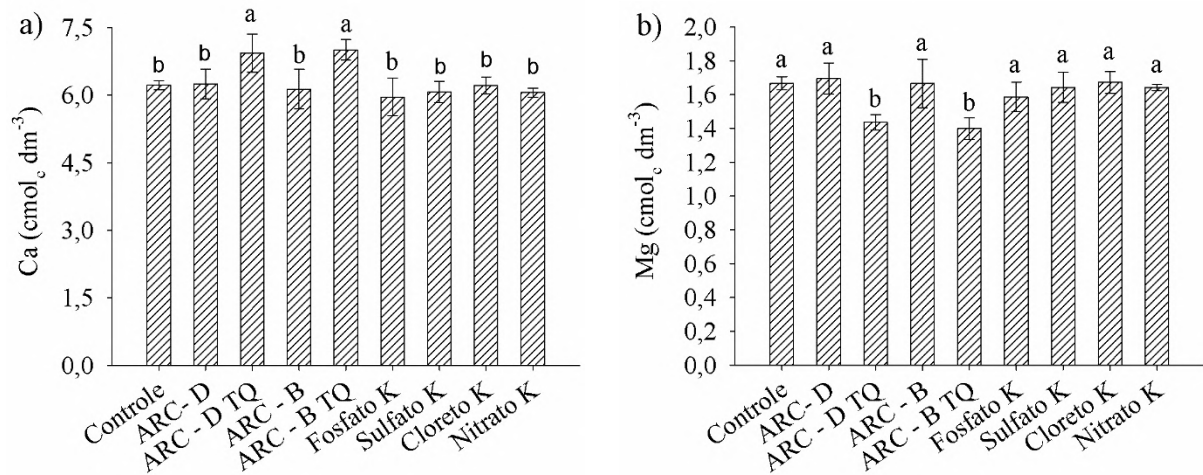


Figura 6. Concentração de cálcio (a – Ca, cmol_c dm⁻³) e magnésio (b – Mg, cmol_c dm⁻³) extraído com KCl 1 mol L⁻¹ (relação solo:extrator de 1:10) em um solo coletado na cama de 0 a 20 cm de profundidade na entrelinha de uma lavoura cafeeira após aplicação das águas residuárias da cafeicultura da despolpa (ARC – D) e bolsão (ARC – B) antes e após tratamento químico e físico (ARC – D TQ e (ARC – B TQ) e de fontes inorgânicas de potássio (Fosfato de K – KH₂PO₄; Sulfato de K – K₂SO₄; Cloreto de K – KCl e Nitrato de K – KNO₃) para elevar a saturação de potássio para 5% da capacidade de troca de catiônica potencial. Letras nas colunas indicam diferença estatística significativa ao nível de 95% de significância pelo teste de Skott-Knott. Barras de desvios indicam o desvio padrão da média calculados a partir de cinco repetições. Coeficientes de variação iguais a: 4,78 e 4,99 % respectivamente para Ca (a) e Mg (b).

4.3. Lixiviação de potássio no solo

O pH da água coletada nos lixiviados variou entre as fontes e as coletas, ficando os valores compreendidos entre 6,90 à 8,08 (Tabela 3). Quando se comparam as fontes, os lixiviados dos solos que receberam as ARC - D TQ e ARC - B TQ apresentaram, em todas as coletas, valores de pH superiores, quando comparados aos solos que receberam às respectivas fontes sem tratamento (ARC – B e ARC – D). Observa-se que antes do tratamento, a ARC – D (pH = 3,42) apresentou o menor valor de pH comparado a ARC – B (pH = 4,27) (Tabela 1) e após o tratamento a ARC - B TQ contribuiu para maior valor de pH do lixiviado comparada a ARC - D TQ. Por ser uma ARC mais ácida, com maior carga orgânica e poder tampão, a ARC – D aplicada no solo sem o tratamento apresentou maior capacidade de acidificação do lixiviado comparada ao controle e as demais fontes de K inorgânicas. De maneira geral,

constata-se que entre as fontes inorgânicas, o fosfato de potássio acidificou menos o lixiviado, sobretudo nas primeiras coletas. Isso decorre da elevada capacidade do solo em reter esse ânion por ligação específica ou complexo de esfera interna provocando o deslocamento de hidroxilas para a solução e contribuindo para a redução de Al^{3+} e H^+ na solução.

Tabela 3. Potencial hidrogeniônico (pH) medido nos lixiviados de cinco coletas realizadas nas colunas contendo solo após a aplicação das águas residuárias da cafeicultura da despulpa (ARC – D) e bolsão (ARC – B) antes e após tratamento químico e físico (ARC – D TQ e (ARC – B TQ) e de fontes inorgânicas de potássio (Fosfato de K – KH_2PO_4 ; Sulfato de K – K_2SO_4 ; Cloreto de K – KCl e Nitrato de K – KNO_3) para elevar a saturação de potássio para 5% da capacidade de troca de catiônica potencial

Fontes	1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta	4ª Coleta	5ª Coleta
Controle	7,31 ±0,06 D d	7,06 ±0,02 D e	7,15 ±0,03 F c	7,47 ±0,02 D b	7,65 ±0,06 F a
ARC - D	7,16 ±0,02 E d	6,90 ±0,02 F e	7,29 ±0,06 E c	7,42 ±0,03 E b	7,63 ±0,06 F a
ARC – D TQ	7,51 ±0,11 C c	7,21 ±0,03 B d	7,62 ±0,02 B b	7,61 ±0,04 B b	7,85 ±0,05 D a
ARC - B	7,50 ±0,03 C c	7,12 ±0,03 C d	7,50 ±0,03 C c	7,63 ±0,03 B b	7,96 ±0,03 B a
ARC – B TQ	7,66 ±0,04 A d	7,35 ±0,01 A e	7,70 ±0,01 A c	7,78 ±0,02 A b	8,08 ±0,02 A a
Fosfato K	7,59 ±0,02 B a	7,32 ±0,02 A d	7,39 ±0,02 D c	7,48 ±0,02 D b	7,57 ±0,03 G a
Sulfato K	7,49 ±0,03 C b	7,18 ±0,03 B d	7,37 ±0,02 D c	7,47 ±0,02 D b	7,62 ±0,04 F a
Cloreto K	7,39 ±0,06 C c	7,07 ±0,05 D e	7,29 ±0,01 E d	7,45 ±0,02 D b	7,78 ±0,06 E a
Nitrato K	7,34 ±0,04 D c	7,00 ±0,01 E e	7,28 ±0,03 E d	7,55 ±0,03 C b	7,91 ±0,02 C a

* Letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas indicam diferença estatística ao nível de 95% de significância pelo teste de Skott-Knott. Os desvios padrão se encontram seguidos das médias calculadas a partir de cinco repetições. Coeficientes de variação igual a: 0,50 %. Média do pH da água destilada adicionada nas colunas foi igual a 7,20±0,12.

Quando se comparam as coletas, constata-se que os valores de pH dos lixiviados para todas as fontes de K aumentaram da 2ª para a 5ª coleta. Com relação a primeira coleta, os valores de pH dos lixiviados apresentaram valores contidos nos intervalos medidos entre a 2ª e 5ª coleta para as respectivas fontes. Cabe ressaltar que, essa variação ocorrida na primeira coleta pode ter ocorrido em função de uma maior concentração de íons do lixiviado reduzindo a atividade do H^+ . Calculando o aumento do pH do lixiviado entre a 2ª e 5ª coleta, tem-se que a fonte nitrato de potássio apresentou o maior incremento (0,91), seguida da ARC – B com 0,84 e das ARC – B TQ e ARC – D, ambas com valor igual a 0,73. Na sequência, tem-se a fonte cloreto de K com um incremento de 0,71; ARC – D TQ com 0,64; controle com 0,59; sulfato de K com 0,44 e fosfato de K com 0,25. Observa-se que os incrementos das ARC tratadas (ARC- D TQ = 0,64 e ARC - B TQ = 0,73) foram menores comparadas as respectivas ARC não tratadas (ARC - D = 0,73 e ARC – B = 0,84).

A CE da água coletada nos lixiviados variou entre 3,82 à 0,36 para os tratamentos que receberam adubação potássica (Tabela 4). Na primeira coleta, as maiores CE do lixiviado ocorreram nas colunas que receberam as fontes cloreto e nitrato de K e as ARC sem tratamento (ARC – D e ARC – B), as quais não diferiram entre si. Na sequência, têm-se valores intermediários para colunas que receberam as ARC tratadas (ARC – D TQ e ARC – B TQ) e os menores valores para o controle e para as fontes fosfato e sulfato de K. Na segunda coleta, as maiores CE ocorreram nas colunas que receberam as fontes cloreto e nitrato de K. Em seguida tem-se o controle e as ARC sem tratamento e tratadas (ARC – D, ARC – B, ARC – D TQ e ARC – B TQ), cujos valores não diferiram entre si. Por fim, têm-se as fontes fosfato e sulfato de K que apresentaram os menores valores de CE. Nas demais coletas (3^a, 4^a e 5^a), os valores de CE não diferiram entre si para diferentes fontes de K. Resultados das CE dos lixiviados encontrados nesse estudo corroboram com os índices salinos das fontes inorgânicas de K avaliadas nesse estudo, as quais foram de 114,3 para o cloreto de K; 73,6 para o nitrato de K; 46,0 para o sulfato de K e 8,4 para o fosfato de K (KAMBUROVA; KIRILOV, 2008). Sendo assim, pelos resultados apresentados, verifica-se a vantagem do tratamento das ARC por reduzir a CE comparadas as respectivas fontes não tratadas, colocando-as como intermediárias entre as fontes de maiores índices salinos, tais como o cloreto e nitrato de K, e de menores índices salinos, tais como o sulfato e fosfato.

Tabela 4. Condutividade eletrolítica (CE, dS m^{-1}) medida nos lixiviados de cinco coletas realizadas nas colunas contendo solo após a aplicação das águas residuárias da cafeicultura da despulpa (ARC – D) e bolsão (ARC – B) antes e após tratamento químico e físico (ARC – D TQ e (ARC – B TQ) e de fontes inorgânicas de potássio (Fosfato de K – KH_2PO_4 ; Sulfato de K – K_2SO_4 ; Cloreto de K – KCl e Nitrato de K – KNO_3) para elevar a saturação de potássio para 5% da capacidade de troca de catiônica potencial

Fontes	1 ^a Coleta	2 ^a Coleta	3 ^a Coleta	4 ^a Coleta	5 ^a Coleta
	----- dS m^{-1} -----				
Controle	2,22 \pm 0,44 C a	1,45 \pm 0,13 C b	0,81 \pm 0,10 c	0,48 \pm 0,07 d	0,31 \pm 0,05 d
ARC – D	3,75 \pm 0,48 A a	2,23 \pm 0,19 B b	1,08 \pm 0,08 c	0,57 \pm 0,08 d	0,36 \pm 0,05 d
ARC – D TQ	3,12 \pm 0,93 B a	2,17 \pm 0,41 B b	1,16 \pm 0,11 c	0,68 \pm 0,11 d	0,46 \pm 0,10 d
ARC – B	3,40 \pm 0,65 A a	2,41 \pm 0,31 B b	1,23 \pm 0,18 c	0,64 \pm 0,11 d	0,40 \pm 0,06 d
ARC – B TQ	3,03 \pm 0,51 B a	2,16 \pm 0,21 B b	1,14 \pm 0,10 c	0,65 \pm 0,05 d	0,42 \pm 0,03 d
Fosfato K	2,28 \pm 0,44 C a	1,72 \pm 0,26 C b	1,06 \pm 0,12 c	0,63 \pm 0,05 d	0,42 \pm 0,05 d
Sulfato K	2,56 \pm 0,39 C a	1,92 \pm 0,13 C b	1,17 \pm 0,13 c	0,75 \pm 0,10 d	0,55 \pm 0,06 d
Cloreto K	3,56 \pm 0,79 A a	2,55 \pm 0,38 A b	1,34 \pm 0,08 c	0,72 \pm 0,11 d	0,44 \pm 0,12 d
Nitrato K	3,82 \pm 0,62 A a	2,86 \pm 0,24 A b	1,31 \pm 0,15 c	0,67 \pm 0,08 d	0,39 \pm 0,04 d

* Letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas indicam diferença estatística ao nível de 95% de significância pelo teste de Skott-Knott. Os desvios padrão se encontram seguidos das médias calculadas a partir

de cinco repetições. Coeficientes de variação igual a: 20,54%. Média da CE da água destilada adicionada nas colunas foi igual a $0,02 \pm 0,01 \text{ dS m}^{-1}$.

Quando se comparam as coletas, constata-se que os valores de CE dos lixiviados para todas as fontes de K reduziram da 1ª até a 5ª coleta. Calculando-se a redução da CE dos lixiviados coletados entre a 1ª e 5ª coleta, tem-se que o controle apresentou uma redução de $1,91 \text{ dS m}^{-1}$, a ARC – D de $3,39 \text{ dS m}^{-1}$, a ARC – D TQ de $2,66 \text{ dS m}^{-1}$, a ARC – B de $3,00 \text{ dS m}^{-1}$, a ARC – B TQ de $2,61 \text{ dS m}^{-1}$, o fosfato de K de $1,86 \text{ dS m}^{-1}$, o sulfato de K de $2,01 \text{ dS m}^{-1}$, o cloreto de K $3,12 \text{ dS m}^{-1}$ e o nitrato de K de $3,43 \text{ dS m}^{-1}$. Com exceção da fonte fosfato de K, que reduziu $1,86 \text{ dS m}^{-1}$, todos os intervalos de valores de redução ficaram acima do controle $1,91 \text{ dS m}^{-1}$. Isso ~~indica,indica~~ indica que todas as fontes, possuem e revelando ainda os ânions acompanhantes que contribuem para promover a movimentação de K no solo, com exceção do fosfato.

A concentração de K da água coletada nos lixiviados variou entre 298 à 51 mg L^{-1} para os tratamentos que receberam adubação potássica (Tabela 5). Na primeira coleta, as maiores concentrações desse nutriente no lixiviado ocorreram nas colunas que receberam as ARC sem tratamento (ARC – D e ARC – B), as quais não diferiram entre si. Na sequência, têm-se os tratamentos que receberam cloreto e nitrato de K, depois os tratamentos que receberam as ARC tratadas (ARC – D TQ e ARC – B TQ) e sulfato de K, seguidos do fosfato de K e controle. Observa-se que todas as fontes propiciam maior elevação de K no lixiviado comparado ao controle. Isso ocorre pelo aporte do nutriente no solo e a intensidade dessa lixiviação varia em função dos ânions acompanhantes. Geralmente, quanto maior a capacidade de adsorção do ânion, menor a sua possibilidade de permanecer em solução e propiciar a movimentação de cátions. A ordem da capacidade de adsorção dos ânions aumenta na seguinte sequência: $\text{NO}_3^- = \text{Cl}^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{PO}_4^{3-}$ (JOHNSON; COLE, 1980). Wadt e Wadt (1999) também ressaltaram que quanto menor a força de adsorção entre o ânion acompanhante e a superfície dos colóides do solo, maior será o favorecimento para a lixiviação do cátion acompanhante. Por essa razão, os autores constataram que o ânion Cl^- apresentam-se com maior mobilidade comparada ao ânion SO_4^{2-} .

Constata-se que o tratamento das ARC reduziu a lixiviação de K tornando essas fontes semelhantes à fonte sulfato de K, portanto superiores as fontes cloreto e nitrato que possuem os ânions acompanhantes mais móveis. Entre todas as fontes, o fosfato de K proporcionou as menores concentrações de K no lixiviado. Certamente, esse comportamento está relacionado à forte ligação do fosfato a superfícies dos minerais do solo, sobretudo dos óxidos, contribuindo

para a formação de complexos ternários (mineral- $\text{H}_2\text{PO}_4\text{-K}$) e, conseqüentemente, para elevação da capacidade de troca de cátions do solo (CTC) e redução da lixiviação de K (JOHNSON; COLE, 1980; SPARKS, 1995). A CTC varia de acordo com o tipo e qualidade de argila e o teor de matéria orgânica. Então, quanto maior a CTC, menor seria a presença de K^+ na solução do solo e, conseqüentemente, menor a lixiviação. No entanto, o aumento do teor de K^+ no solo favorece a lixiviação, mesmo em solos argilosos e com alta CTC (WERLE; GARCIA; ROSOLEM, 2008).

Tabela 5. Concentração de potássio (K, mg dm^{-3}) medida nos lixiviados de cinco coletas realizadas nas colunas contendo solo após a aplicação das águas residuárias da cafeicultura da despulpa (ARC – D) e bolsão (ARC – B) antes e após tratamento químico e físico (ARC – D TQ e (ARC – B TQ) e de fontes inorgânicas de potássio (Fosfato de K – KH_2PO_4 ; Sulfato de K – K_2SO_4 ; Cloreto de K – KCl e Nitrato de K – KNO_3) para elevar a saturação de potássio para 5% da capacidade de troca de catiônica potencial

Fontes	1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta	4ª Coleta	5ª Coleta
	----- mg dm^{-3} -----				
Controle	64 ±13 F a	48 ±5 C a	31 ±2 B b	22 ±1 B b	16 ±1 B b
ARC – D	298 ±32 A a	193 ±13 A b	115 ±4 A c	72 ±4 A d	53 ±3 A d
ARC – D TQ	226 ±52 C a	167 ±26 B b	106 ±10 A c	69 ±5 A d	55 ±4 A d
ARC – B	286 ±50 A a	213 ±24 A b	132 ±16 A c	80 ±10 A d	57 ±5 A d
ARC – B TQ	232 ±33 C a	182 ±14 B b	112 ±6 A c	75 ±4 A d	58 ±3 A d
Fosfato K	197 ±28 E a	153 ±18 B b	104 ±7 A c	68 ±4 A d	54 ±3 A d
Sulfato K	217 ±31 C a	171 ±8 B b	115 ±7 A c	80 ±6 A d	63 ±3 A d
Cloreto K	259 ±54 B a	188 ±27 A b	119 ±6 A c	73 ±2 A d	54 ±6 A d
Nitrato K	262 ±45 B a	207 ±8 A b	114 ±10 A c	71 ±5 A d	51 ±2 A d

* Letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas indicam diferença estatística ao nível de 95% de significância pelo teste de Skott-Knott. Os desvios padrão se encontram seguidos das médias calculadas a partir de cinco repetições. Coeficientes de variação igual a: 16,09%.

As maiores concentrações de K foram quantificadas na 1ª coleta de lixiviado, independentemente da fonte do nutriente (Tabela 5). Essas concentrações foram reduzindo até 4ª coleta, cujos valores se mantiveram inalterados da 4ª para a 5ª coleta. Observa-se uma tendência de estabilização dos valores de lixiviação de K a partir da 4ª coleta. Ernani et al. (2007) destacam que a magnitude da lixiviação de K diminui com o passar do tempo após a aplicação do fertilizante. Werle, Garcia e Rosolem (2008) relatam que a intensidade de lixiviação em solos argilosos tende a ser mais constante, pois está associada à CTC do solo.

Quando se avalia o conteúdo de K, o qual representa a sua quantidade contida no volume total de lixiviado por coleta, observa-se que na 1ª coleta, a fonte ARC – D apresentou

o maior valor, seguida da fonte cloreto de K (Tabela 6). Na sequência, têm-se as fontes ARC – D TQ, ARC – B e sulfato de K, seguidas das fontes ARC – B TQ e fosfato de K. Na 2ª coleta, o maior conteúdo de K foi quantificado nas fontes ARC – B e nitrato de K, seguidas das fontes ARC – D e cloreto de K. Na sequência, tem-se as fontes ARC tratadas (ARC – D TQ e ARC – B TQ) e sulfato de K, seguida da fonte fosfato de K. A partir da 3ª coleta, as fontes não diferiram entre si. Em todas as coletas o tratamento controle apresentou o menor conteúdo de K. Observa-se que o tratamento das ARC contribui para reduzir a movimentação de K em relação as respectivas fontes não tratadas, tornando-as semelhantes as fontes sulfato e fosfato que possuem ânions acompanhantes menos propícios a promover maior movimentação de K no solo. Esse efeito do tratamento é extremamente relevante para as plantas e para o ambiente, quando se pensa na reutilização das ARC como fonte de K para a lavoura.

Tabela 6. Conteúdo de potássio (K, mg coleta⁻¹) medida nos lixiviados de cinco coletas realizadas nas colunas contendo solo após a aplicação das águas residuárias da cafeicultura da despulpa (ARC – D) e bolsão (ARC – B) antes e após tratamento químico e físico (ARC – D TQ e (ARC – B TQ) e de fontes inorgânicas de potássio (Fosfato de K – KH₂PO₄; Sulfato de K – K₂SO₄; Cloreto de K – KCl e Nitrato de K – KNO₃) para elevar a saturação de potássio para 5% da capacidade de troca de catiônica potencial

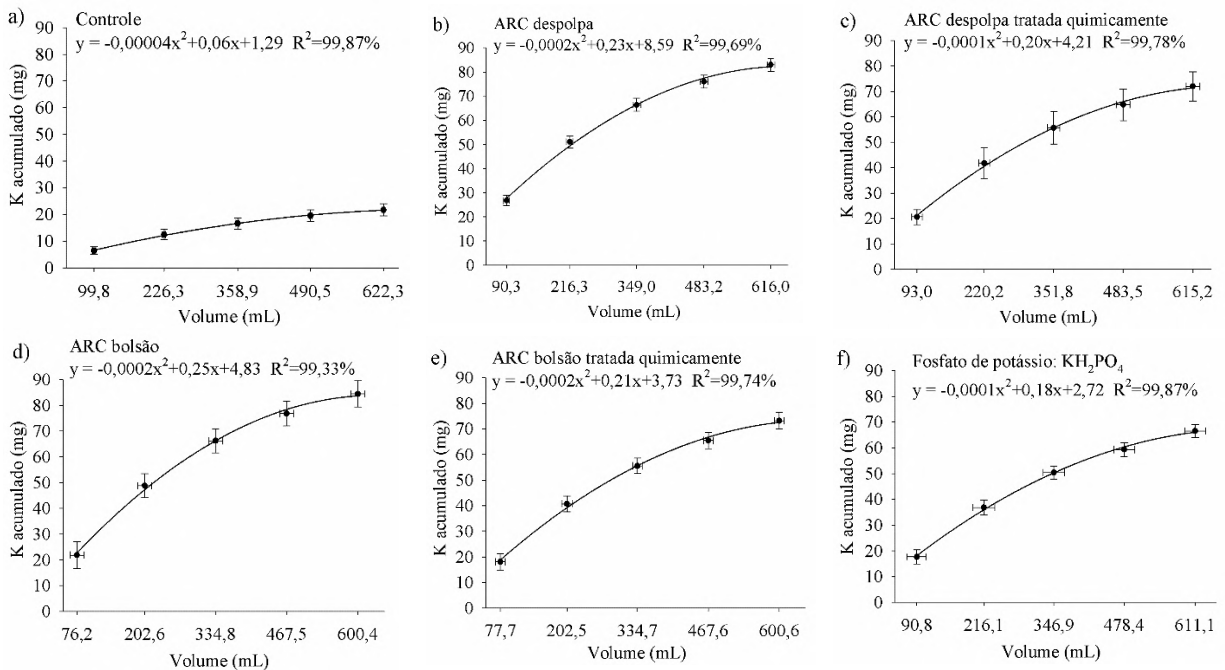
Fontes	1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta	4ª Coleta	5ª Coleta
	----- mg coleta ⁻¹ -----				
Controle	6,4 ±1,4 E a	6,0 ±0,6 E a	4,2 ±0,3 B b	2,9 ±0,2 B b	2,2 ±0,1 B b
ARC – D	26,8 ±2,2 A a	24,3 ±1,6 B b	15,3 ±1,1 A c	9,6 ±0,6 A d	7,0 ±0,4 A e
ARC – D TQ	20,6 ±3,0 C a	21,2 ±3,2 C a	13,9 ±1,2 A b	9,1 ±0,7 A c	7,2 ±0,5 A c
ARC – B	21,9 ±5,2 C b	27,0 ±2,9 A a	17,4 ±2,0 A c	10,6 ±1,3 A d	7,6 ±0,7 A e
ARC – B TQ	18,0 ±3,2 D b	22,7 ±1,7 C a	14,8 ±0,9 A c	10,0 ±0,5 A d	7,7 ±0,4 A d
Fosfato K	17,6 ±2,7 D a	19,2 ±1,8 D a	13,6 ±0,9 A b	8,9 ±0,5 A c	7,2 ±0,4 A c
Sulfato K	20,8 ±3,8 C a	22,5 ±0,9 C a	15,3 ±0,5 A b	10,6 ±0,8 A c	8,3 ±0,4 A c
Cloreto K	23,2 ±4,1 B a	23,7 ±3,4 B a	15,5 ±0,7 A b	9,6 ±0,2 A c	7,2 ±0,8 A c
Nitrato K	21,5 ±4,3 C b	26,2 ±0,9 A a	14,8 ±1,3 A c	9,4 ±0,7 A d	6,7 ±0,3 A e

* Letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas indicam diferença estatística ao nível de 95% de significância pelo teste de Skott-Knott. Os desvios padrão se encontram seguidos das médias calculadas a partir de cinco repetições. Coeficientes de variação igual a: 13,69%.

Quando se compara o comportamento dos conteúdos de K entre as coletas, observa-se que, dependendo da fonte, os maiores valores alternaram entre a 1ª e 2ª coleta. Na 1ª coleta, a ARC – D foi a única fonte cujo conteúdo de K foi maior na 1ª comparada a 2ª coleta. Para as fontes ARC – D TQ, fosfato, sulfato e cloreto de K e para o tratamento controle, os conteúdos

de K não diferiram entre na 1ª e 2ª coleta. Com relação às outras fontes, ARC – B, ARC – B TQ e nitrato de K, os conteúdos de K na 2ª coleta foram superiores comparados a 1ª coleta. Na 3ª coleta, independe da fonte, os conteúdos de K foram inferiores aos valores da 1ª ou 2ª coleta. Já, a partir da 3ª coleta, o conteúdo de K nos lixiviados tendeu a reduzir com a 4ª e 5ª coleta para as fontes ARC – B, ARC - D e nitrato de K. Para o tratamento controle, os conteúdos de K, a partir da 3ª coleta, não diferiram entre si. Para as fontes ARC – D TQ, ARC – B TQ, fosfato, sulfato e cloreto de K, os conteúdos de K, a partir da 4ª coleta não diferiram entre si.

A concentração de K acumulado aumentou em função da maior quantidade do volume de lixiviado coletado e apresentou um comportamento descrito por um polinômio do 2º grau, com coeficiente mínimo de determinação maior ou igual a 99,33% (Figura 7). Os tratamentos apresentaram um total de K acumulado final igual a 22 mg para o tratamento controle, 67 mg para o fosfato de K, 72 mg para a ARC – D TQ, 73 mg para a ARC – B TQ, 78 mg para o sulfato de K, 79 mg para o cloreto, 79 mg para o nitrato de K, 83 mg para a ARC – D e 84 mg para a ARC – B.



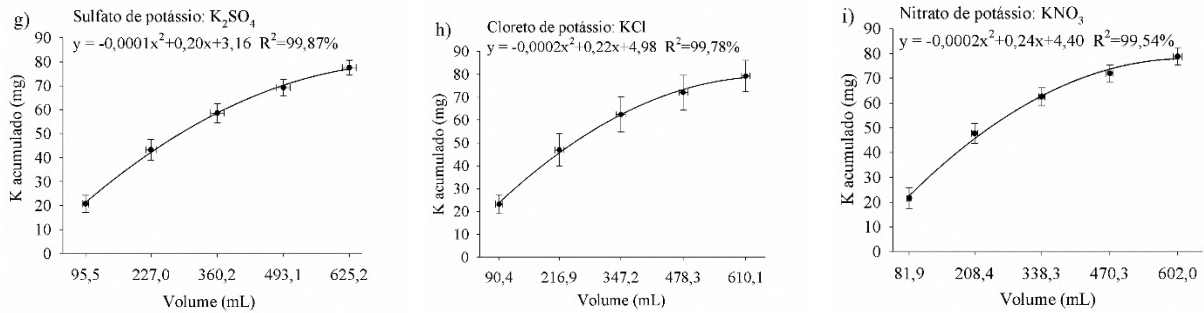


Figura 7. Concentração de potássio acumulado (mg) medida nos lixiviados de cinco coletas realizadas nas colunas contendo solo após a aplicação das águas residuárias da cafeicultura da despulpa (ARC – D) e bolsão (ARC – B) antes e após tratamento químico e físico (ARC – D TQ e (ARC – B TQ) e de fontes inorgânicas de potássio (Fosfato de K – KH_2PO_4 ; Sulfato de K – K_2SO_4 ; Cloreto de K – KCl e Nitrato de K – KNO_3) para elevar a saturação de potássio para 5% da capacidade de troca de catiônica potencial. Letras nas colunas indicam diferença estatística significativa ao nível de 95% de significância pelo teste de Skott-Knott. Barras de desvios indicam o desvio padrão da média calculados a partir de cinco repetições. Coeficientes de variação iguais a: 4,78 e 4,99 % respectivamente para Ca (a) e Mg (b).

Constata-se mais uma vez a efetividade dos tratamentos das ARC em reduzir o K acumulado no lixiviado, tornando-as entre as fontes intermediárias ao fosfato e sulfato de K, as quais possuem ânions acompanhantes (PO_4^{3-} e SO_4^{2-}) menos móveis no solo (JOHNSON; COLE, 1980). Quando não se realiza o tratamento, as concentrações de K acumulado no lixiviado das ARC ficam com valores superiores aos das fontes nitrato e cloreto de K, as quais possuem os ânions acompanhantes (NO_3^- e Cl^-), que são mais móveis (JOHNSON; COLE, 1980). De acordo com Rezende et al. (2006), a elevada concentração de K_2O solúvel em água (58%) da fonte cloreto de K, é um dos fatores que a torna muito propícia para a lixiviação de K. Van Raij (2011) também descreve que os íons H_2PO_4^- e SO_4^{2-} são retidos com mais energia comparados os íons NO_3^- e Cl^- . Ainda de acordo com o autor, o íon H_2PO_4^- é retido mais fortemente comparado ao SO_4^{2-} , principalmente em solos com teores elevados de óxidos hidratados de ferro e alumínio.

De acordo com os resultados apresentados, como qualquer insumo utilizado na agricultura, ao utilizar a ARC tratadas ou não tratadas deve-se atentar para usá-las na época correta e da forma mais adequada, aplicando-se quantidades controladas, as quais, dependendo do valor e das características da fonte, deverão ser subdivididas em maior número de aplicações. Especificamente com relação às ARC tratadas, observa-se que os tratamentos contribuem para torná-las mais semelhantes as fontes fosfato e sulfato de K com relação a movimentação do nutriente no solo. Isso constitui um benefício interessante quando se pensa em reutilizá-las na lavoura como fonte de K. Além de reduzir o aporte de cloreto para a lavoura, tem-se menor possibilidade de perdas de K por lixiviação. Trabalhos futuros deverão ser conduzidos para avaliar os efeitos nas plantas.

5. CONCLUSÕES

As concentrações de K disponível quantificadas por meio do extrator Mehlich 1 e acetato de amônio foram maiores nos solos que receberam as ARC sem tratamento e após tratamento comparadas às fontes inorgânicas cloreto, nitrato, sulfato e fosfato de K. Essas diferenças não foram constatadas pelo extrator cloreto de amônio, cujas concentrações de K disponível no solo não diferiram entre as fontes;

As concentrações de K quantificadas nos lixiviados dos solos que receberam as ARC após tratamento químico foram inferiores aos dos solos que receberam às fontes nitrato e cloreto de K, semelhantes à fonte sulfato de K e superiores à fonte fosfato de K.

Os tratamentos possibilitaram as ARC proporcionar melhorias nos atributos do solo em relação às ARC sem tratamento, mantendo a disponibilidade de K semelhante às fontes convencionais mais solúveis utilizadas como fertilizantes na agricultura, mas com adicional vantagem de elevar o pH do solo e minimizar os efeitos da elevação da condutividade eletrolítica e da mobilidade de potássio no solo comparado a fontes menos solúveis.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION - WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2011. 1268 p.

BEBÉ, F. V.; ROLIM, M. M.; SILVA, G. B.; MATSUMOTO, S. N.; PEDROSA, E. M. Alterações químicas no solo e no lixiviado em função da aplicação de água residuária de café. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 2, p. 250-255, abr-jun. 2010. DOI: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/11144>

BOEIRA, R. C.; VAN RAIJ, B.; SILVA, A. S.; MAXIMILIANO, V. C. B. Extração simultânea de alumínio, cálcio, magnésio, potássio e sódio do solo com solução de cloreto de

amônio. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 929-936, abr-jun. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000500015>

BORÉM, F. M. A. **Processamento do café**. In: BORÉM, F. M. (Ed.) Pós-colheita do café. Lavras. Editora UFLA, 2008. p. 129 – 158.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C.; SCHLINDWEIN, J. A. Disponibilidade de potássio para as plantas em solos do sul do Brasil estimada por métodos multielementares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p.1753-1761, sept-out. 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000500027>

BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; FIA, R. Eficiência e impactos ambientais do tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro em áreas alagadas naturais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 11, n. 1-4, p.43-51, jan-dez. 2003.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Decisão de Diretoria 045/2015/C, de 12 de fevereiro de 2015**. Dispõe sobre a homologação da 2ª versão da 3ª edição da Norma Técnica CETESB P 4.231 - Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – outubro/2014. Diário Oficial do Estado de São Paulo – Caderno Executivo I, v. 125, nº. 30, de 13/02/15, Poder Executivo, Seção I, p. 51 a 53. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/NTC-P4.231_Vinha%C3%A7a_-_Crit%C3%A9rios-e-procedimentos-para-aplica%C3%A7%C3%A3o-no-solo-agr%C3%ADcola-3%C2%AA-Ed-2%C2%AA-VERS%C3%83O.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>>. Acesso em: 11 jun. 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa

e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA. Disponível em:
<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=17214>>. Acesso em: 11 jun. 2020.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL/CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS - COPAM/CERH-MG.

Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008.

Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em:

<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 11 jun. 2020.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL/CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS - COPAM/CERH-MG.

Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02, de 08 de setembro de 2010.

Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas. Disponível em:

<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=14670>>. Acesso em: 11 jun. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 2ª edição revisada e atualizada. Editores CLAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. O.; PAULA, J. L.; DUARTE, M. N. Rio de Janeiro: CNPS, 1997, 212 p.

Disponível em:

https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf. Acesso em: 11 jun. 2020

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 3ª edição revisada e ampliada. Editores TEIXEIRA, P. C.;

DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Brasília, Distrito Federal:

Embrapa Informação Tecnológica, 2017. 573p. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1094303/1/Pt3Cap6Fracionamentoquimicodamateriaorganica.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2020

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 393-401, mar-abr. 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832007000200022>

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov-dec. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; RUIZ, H. A.; MARTINS FILHO, S. Alterações químicas em três solos decorrentes da aplicação de águas residuárias da lavagem e despulpa de frutos do cafeeiro conilon. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, Viçosa, v. 16, n. 4, p. 416-427, dez. 2008. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v16i4.58>

JOHNSON, D. W.; COLE, D. W. Anion mobility in soils: Relevance to nutrient transport from forest ecosystems. **Environment International**. v. 3, n. 1, p.79-90. jul. 1980. DOI: [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(80\)90040-9](https://doi.org/10.1016/0160-4120(80)90040-9)

KAMBUROVA, K.; KIRILOV, P. Calculating the salt index of PK and NPK liquid fertilizers from potassium phosphates. **Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy**, Bulgaria, v. 43, n. 2, p.227-230. Dec./Jan. 2008.

KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V. (Eds.) **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003, v. 3, p. 1-43.

MATOS, A. T.; PINTO, A. B.; PEREIRA, O. G.; BARROS, F. M. Alteração de atributos químicos no solo de rampas utilizadas no tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p.406-412, fev. 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662005000300017>

MATOS, A. T.; EUSTÁQUIO JUNIOR, V.; PEREIRA, P. A.; MATOS, M. P. Tratamento de água para reuso no descascamento/despulpa dos frutos do cafeeiro. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 173-178, abr-jun. 2007.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

RIBEIRO, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. (Eds). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo para o Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 297-300, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000200015>

SILVA, G. B.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; BEBÉ, F. V.; SILVA, E. F. F. Efeito da aplicação de água residuária da lavagem dos frutos de café sobre as propriedades químicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p.158-166, jan-fev. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162011000100016>

SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. Michigan: Academic Press, 1995. 267 p.

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

WADT, P. G. S.; WADT, L., H. O. Movimentação de cátions em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo incubadas com duas fontes de cálcio. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p.1157-1164, 1999. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-90161999000500018>

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p.2297-2305, dez. 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000600009>

ZHANG, W. Z.; CHEN, X. Q.; ZHOU, J. M.; LIU, D. H.; WANG, H. Y.; DU, C. W.

Influence of Humic Acid on Interaction of Ammonium and Potassium Ions on Clay Minerals.

Pedosphere, v. 23, n. 4, p.493-502, Aug. 2013. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(13\)60042-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(13)60042-9)