USO DE RESÍDUOS DE SISTEMAS SE PRODUÇÃO DO CAFEEIRO

Antonio Teixeira de Matos
Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa

INTRODUÇÃO

As operações de separação hidráulica ou lavagem e o descascamento de frutos do cafeeiro, indispensáveis para se agregar valor ao produto e reduzir os custos de secagem dos grãos, geram grandes volumes de resíduos sólidos e líquidos, ricos em material orgânico e inorgânico que, se dispostos no meio ambiente sem tratamento, podem causar grandes problemas ambientais, tais como a degradação ou destruição da flora e fauna, além de comprometer a qualidade da água e do solo (MATOS et al., 2000).

Nas regiões produtoras, esses resíduos tem se tornado grande problema ambiental, havendo demanda por sistemas simplificados de tratamento de resíduos, com baixo custo de implantação e operação (MATOS & LO MONACO, 2003).

O acúmulo de cascas em locais onde é feito o beneficiamento dos frutos do cafeeiro pode trazer problemas para o solo e as águas subterrâneas. Santos & Matos (2000), avaliando a contaminação do solo em área que, por três anos foi depósito de cascas de frutos do cafeeiro, encontraram elevadas concentrações de nitrogênio, na forma de amônio, e de potássio no perfil do solo. Os autores concluíram que houve contaminação superficial e subsuperficial do solo pelos lixiviados das cascas, o que tornou a área, ao menos temporariamente, inadequada para exploração agrícola e colocou em risco a qualidade das águas subsuperficiais.

O principal efeito da poluição orgânica em um corpo d'água receptor é a diminuição na concentração de oxigênio dissolvido, uma vez que bactérias aeróbias utilizam o oxigênio

dissolvido no meio para efetuar seus processos metabólicos, tornando possível a degradação do material orgânico lançado no meio. O decréscimo na concentração de oxigênio dissolvido na água pode ser fatal para peixes e outros animais aquáticos, além originar odores desagradáveis.

A Legislação Ambiental do Estado de Minas Gerais (Deliberação Normativa conjunta COPAM CERH-MG n.01/2008) estabelece que, para o lançamento de águas residuárias em corpos hídricos, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que pode ser entendida como uma medida da quantidade de material orgânico presente, seja de 60 mg L^{-1} ou que a eficiência do sistema de tratamento das águas residuárias, para remoção da DBO, seja superior a 85%, desde que isso não proporcione alteração na qualidade da água tal que qualquer um dos padrões referenciais, estabelecidos no enquadramento do curso d'água receptor, seja superado.

CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Resíduos Sólidos

A casca é o primeiro resíduo gerado no processamento do fruto do cafeeiro e representa cerca de 39% da massa fresca ou de 29% da matéria seca do fruto, sendo a quantidade de casca presente no fruto tipo cereja dependente do estado de maturação, das condições climáticas dominantes durante o desenvolvimento dos frutos e da variedade de cafeeiro cultivada. O pergaminho representa cerca de 12%, em termos de matéria seca, do fruto do cafeeiro.

Face ao grande volume de resíduos sólidos gerados no beneficiamento dos frutos do cafeeiro (Figura 1), formas alternativas de disposição e aproveitamento da casca têm sido estudadas. Com base nos dados apresentados na Tabela 1, a casca do fruto do cafeeiro é rica em potássio e outros nutrientes e, por isso, o seu aproveitamento agrícola como adubação orgânica "in natura" ou após a compostagem constitui alternativa interessante, tanto no que se refere aos aspectos econômicos como ambientais.



FIGURA 1. Resíduos sólidos (casca) gerados com o processamento dos frutos do cafeeiro.

TABELA 1 Constituição mineral da casca de frutos do cafeeiro, em relação à matéria seca.

Composto	Conteúdo		
	(1)	(2)	(3)
C-total ($g.kg^{-1}$)	529,5		
N-total ($g.kg^{-1}$)	14,7	13,2	18,8
P-total ($g.kg^{-1}$)	1,7	0,5	2,1
K ($g.kg^{-1}$)	36,6	31,7	47,0
Ca ($g.kg^{-1}$)	8,1	3,2	3,0
Mg ($g.kg^{-1}$)	1,2	--	2,9
S ($g.kg^{-1}$)	1,4	--	--
Mn ($mg.kg^{-1}$)	125	--	--
Zn ($mg.kg^{-1}$)	30	--	4,4
Cu ($mg.kg^{-1}$)	25	--	18,7

Fonte: 1 – Matos et al. (1998); 2 - Vasco (2000) e 3 – Brandão et al. (2000).

As águas residuárias do processamento do fruto do cafeeiro (ARC) geram, quando armazenadas ou tratadas, espessa camada de escuma a qual deve ser removida, constituindo resíduo sólido que, também, deve ser disposto de forma adequada no meio ambiente. Segundo Fazenaro et al. (2004), essa escuma formada depois de 24 horas da ARC em repouso, possui 32.268 mg L^{-1} de sólidos totais; 19.730 de sólidos em suspensão; 7.184 de sólidos fixos totais e 25.084 mg L^{-1} de sólidos voláteis totais. As massas específicas da escuma fresca ou “in natura” (na forma pastosa) e no estado sólido, depois de secada ao ar durante 25 dias, quando submetida ou não à trituração são, respectivamente de 0,965 g cm^{-3}; 0,503 g cm^{-3} e 0,084 g cm^{-3}. A maior massa específica da escuma, quando ela ainda encontra-se na condição pastosa, tal como foi gerada a partir da ARC, é devida ao maior conteúdo de água que apresenta e com a secagem do material diminui, haja vista que o material residual é de constituição predominantemente orgânica, de baixa massa específica. A trituração da escuma seca proporciona aumento na massa

específica do material, tendo em vista que o material com menor granulometria se acomoda com maior facilidade do que quando na condição em que foi obtido após a secagem ao ar.

Os resultados médios das análises químicas presentes na escuma da água residuária do descascamento dos frutos do cafeeiro estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2. Resultado das análises químicas da escuma de água residuária da lavagem e descascamento de frutos do cafeeiro Conilon.

Amostras	pH	C-orgânico	N-total	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
		---------- mg L^{-1} ----------									
1	5,37	10.973	1.040	102,8	799,0	673,8	21,8	1,6	70,8	n.d.*	n.d.
2	5,19	14.850	-	194,19	-	1.108,3	35,3	2,7	97,7	n.d.	1,2
		---------- g kg^{-1} ----------									
3	5,11	618	32,5	4,43	26,6	23,8	0,88	0,05	2,84	0,082	0,058

Amostra 1 - 24 horas após a coleta na forma líquida; Amostra 2 - 7 dias após a coleta, na forma líquida; Amostra 3 - 25 dias após a coleta, na forma sólida. n.d. – não detectado. Fonte: Lima et al. (2004).

Observa-se, na Tabela 2 que, à medida que a água foi evaporada, a concentração dos elementos químicos aumentou, em decorrência da diminuição no conteúdo de água no material.

Resíduos Líquidos (água residuária)

No processamento de frutos de cafeeiro, utiliza-se água para a separação hidráulica (lavagem), o descascamento e o desmucilamento. Na separação hidráulica, o consumo de água pode ser reduzido, devido ao grande potencial de circulação de água com o uso de lavadores mecânicos. Nas etapas de descascamento e desmucilagem, quando não há recirculação da água, o consumo tende a ser maior.

Com as tecnologias em uso na separação hidráulica (lavagem) dos frutos do cafeeiro, gera-se em torno de 0,1 a 0,2 L de água residuária para cada litro de frutos processados, razão que depende do tamanho do tanque de lavagem e do número de descargas efetuadas durante o dia para a substituição da água de lavagem. No descascamento/despolpa e desmucilagem gera-se em torno de 3-5 L de água para cada litro de frutos. Caso seja feita recirculação de água no processo, esta proporção pode diminuir para, aproximadamente, 1 litro para cada litro de fruto processado.

No processamento via úmida tradicional, são gerados, aproximadamente, 3 toneladas de subprodutos e são requeridos 4 m^3 de água para produzir 1 tonelada de grãos processados (DELGADO & BAROIS, 2000). Segundo Zuluaga (1981), citado por Zambrano-Franco & Isaza Hinestroza (1998), a água residuária do descascamento dos frutos do cafeeiro é composta, principalmente, por carboidratos e açúcares (frutose, glicose e galactose), além de proteínas, polifenóis (ácidos clorogênico e caféico, taninos e cafeína), assim como pequenas quantidades de corantes naturais, do tipo das antocianinas.

Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentadas as características físicas, químicas e bioquímicas das águas residuárias geradas no processamento de duas espécies do gênero *coffea*: o *Coffea arábica* L. e o *Coffea canephora* Pierre, variedade Conilon. Os altos valores de DBO e DQO (Demanda Química de Oxigênio) apresentados na Tabela 4 indicam que as águas residuárias do descascamento possuem alta carga orgânica e, como já explicado, podem trazer muitos problemas para corpos hídricos receptores se forem lançadas sem tratamento prévio. Essas águas apresentam alta concentração de sólidos totais, dos quais a maior parte é composta por sólidos voláteis totais (SVT), e que podem ser, em grande parte, removidos por tratamento biológico. Observando-se, ainda, os dados apresentados, pode-se verificar que, quando não é feita a adição de água “limpa” durante o processo, as características químicas e físicas das águas são muito alteradas com a sua recirculação no sistema, o que tem sido feito para se obter economia no gasto desse insumo. Considera-se que, em vista dos riscos de que seja afetada a qualidade de bebida dos grãos, a recirculação da água seja viável apenas se ela for submetida a tratamento preliminar seguido de um tratamento primário, antes de ser bombeada para recirculação no sistema.

TABELA 3. Resultados das análises físicas e químicas de amostras de água residuária da separação hidráulica (lavagem) dos frutos do cafeeiro.

Fruto	Recirculação	Proporção água/fruto	pH	CE	SP	ST	SS	SD	SFT	SVT	DQO	DBO	N_T	P_T	K_T	Na_T
				$dS.m^{-1}$	$mL.L^{-1}$	$mg.L^{-1}$										
Conilon	não	-		0,259	17	1.069	380	689	390	679	1.520	411	77	5	41	26
Arábica	não	-	4,9	-	130	18.134	6.200	11.934	3.546	14.588	-	-	-	-	-	-
Arábica	Sim/com	0,15:1	5,5	0,344	50	3.255	867	2.388	984	2.271	5.604	514	55	12	49	16
Arábica	Sim/com	0,15:1	5,5	0,599	80	5.038	2.430	2.608	898	4.140	6.583	1.887	75	15	77	23

Sendo: **pH** – Potencial hidrogeniônico; **CE** – Condutividade Elétrica, **SP** – Sólidos Sedimentáveis, **ST** – Sólidos Totais, **SS** – Sólidos em Suspensão, **SD** – Sólidos Dissolvidos, **SFT** – Sólidos Fixos Totais, **SVT** – Sólidos Voláteis Totais. o, **DQO** – Demanda Química de Oxigênio, **DBO** – Demanda Bioquímica de Oxigênio, $\mathbf{N_{total}}$ – Nitrogênio total, $\mathbf{P_{total}}$ – Fósforo Total, $\mathbf{Na_{total}}$ – Sódio total, $\mathbf{K_{total}}$ – Potássio total * diluição feita pela adição de água "limpa" sempre que as condições da água tornavam-se inadequadas para a continuidade da lavagem dos frutos Fonte**:** MATOS (2003) e RIGUEIRA (2005)

TABELA 4. Resultados das análises físicas e químicas de águas residuárias do descascamento e desmucilagem de frutos do cafeeiro.

Fruto	Recirculação	Proporção água/fruto	pH	CE	SP	ST	SS	SD	SFT	SVT	DQO	DBO	N_T	P	K_T	Na_T
				$dS.m^{-1}$	$mL.L^{-1}$	$mg.L^{-1}$										
Conilon	nao	3:1	4,75	0,585	0	4.889	850	4.039	126	4.763	5.148	2.525	106	9	115	45
Conilon	1	3:1	4,1	0,718	180	5.504	1.888	3.616	706	4.798	10.667	3.184	125	11	154	58
Conilon	2	1,8:1	4,1	0,992	330	6.403	2.336	4.067	848	5.555	11.000	3.374	160	14	205	77
Arábica		-	3,5-5,2	0,55-0,95	0-45	2.100-3.700	--	--	370-530	1.800-3.200	3.430-8.000	1.840-5.000	120-250	4-10	315-460	2-6
Arábica	1	-	--	--	--	14.000-18.200	--	--	--	--	18.600-29.500	10.500-14.340	400	16	1.140	17
Arábica	Sim/com diluição*	3:1	5,4	1,090	850	16.507	2.647		1.406	15.101	18.680	6.384	168	23	157	46
Arábica	Sim/com diluição*	1,8:1	5,3	0,800	900	14.827	2.780		1.210	13.617	18.066	5.006	163	22	157	58

* diluição feita pela adição de água "limpa" sempre que as condições da água tornavam-se inadequadas para a continuidade do descascamento/despolpa dos frutos Fonte: MATOS (2003) e RIGUEIRA (2005).

APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos do processamento dos frutos do cafeeiro na fase de separação de impurezas são folhas, gravetos, solo, pedriscos e outros materiais, os quais têm sido separados por abanação ou por separação hidráulica. Esses resíduos não são considerados problemáticos e têm retornado ao campo, para servirem, notadamente, como cobertura morta.

Na fase de separação hidráulica, obtém-se a casca e, após a descarga da água, o material sólido sedimentável (solo, pedriscos etc.). O material sedimentado nos decantadores devem ser removidos, mas não são de interesse agrícola. A casca dos frutos do cafeeiro tem, entretanto, diversas utilidades, sendo o aproveitamento agrícola o mais indicado, pela praticidade, “saída rápida” e o poder fertilizante que o material detém. A casca do cafeeiro pode ser utilizada na forma “in natura” ou após ser submetida ao processo de compostagem.

Caso a água residuária da lavagem e descascamento/despolpa seja tratada, gera-se escuma e lodo. Considerando que a maior parte do material orgânico do processamento flota, naturalmente, a produção de escuma é muito maior que a de lodo depositado no fundo dos reservatórios utilizados no tratamento da água. A destinação da escuma deverá ser a fertilização do solo.

Na etapa de processamento dos grãos secos, gera-se o pergaminho, material de mais difícil degradação que a casca e que tem sido queimado em caldeiras para a produção de energia. Entretanto, o pergaminho, assim como a casca, pode ser utilizado no tratamento da água residuária, como material filtrante.

Utilização em filtros orgânicos

Por serem as águas residuárias do descascamento de frutos do cafeeiro muito ricas em sólidos em suspensão e dissolvidos, o uso de filtros convencionais de areia, usados no tratamento de água para consumo humano e para uso em irrigação por gotejamento, não é recomendável, dado à sua rápida colmatação superficial e redução da vazão tratada de água residuária. De acordo com Brandão et al. (2000), a utilização de materiais alternativos à areia, que sejam subprodutos de atividades agropecuárias ou industriais, torna-se recomendável no tratamento de águas residuárias ricas em material orgânico, como é o

caso das geradas no processamento via úmida dos frutos do cafeeiro. Essa recomendação está associada ao fato de que muitos resíduos sólidos gerados no processo produtivo ou no beneficiamento de produtos agrícolas podem ter destinação mais nobre na propriedade agrícola, minimizando-se os problemas da sua disposição no ambiente. Dentre os resíduos sólidos agrícolas, a casca e o pergaminho retirado dos grãos de café podem ser utilizados como material filtrante que deve ser, no entanto, removido de tempos em tempos tendo em vista que os poros das camadas superiores do filtro vão sendo obstruídos gradativamente.

Embora tanto a casca como o pergaminho possam ser utilizados, o efluente de filtros com pergaminho apresenta melhor qualidade, tendo em vista que há maior retenção de sólidos no material.

Matos et al. (2006) afirmaram que reduções, por compressão do material filtrante, na faixa de 10 a 15% do volume do filtro constituído por pergaminho triturado foram suficientes para que se pudesse obter satisfatórias eficiências na remoção de SS da ARC, enquanto que, em filtros constituídos de pergaminho não triturado, as reduções de volume do material devam ser superiores a 25%.

Recomenda-se que uma das laterais do tanque de filtração seja removível, a fim de facilitar a colocação e retirada do material filtrante. De acordo com Matos & Lo Monaco (2003), o material filtrante deve ter diâmetro entre 2,5 e 5,0 mm. No fundo e no topo do tanque de filtração devem ser colocadas camadas de 20 cm de material com maior granulometria (entre 5 e 10 mm), para facilitar a drenagem do líquido, sendo que na camada do fundo deverá estar inserida uma tubulação de 100 mm, com furos de 5 mm de diâmetro, para a qual será conduzida a água filtrada (Figura 5).

A taxa de aplicação de águas residuárias da separação hidráulica e do descascamento de frutos do cafeeiro deverá ser dependente da quantidade de água utilizada no processo e se ocorre ou não a recirculação da mesma. Por esta razão, torna-se necessário a realização de ensaios locais para verificar-se quanto se pode aplicar por área superficial de filtro. Em caso não se dispuser de avaliação “in loco”, para essas águas residuárias sem recirculação, pode-se aplicar de 1,5 a 3,0 $m^3.m^{-2}.h^{-1}$.

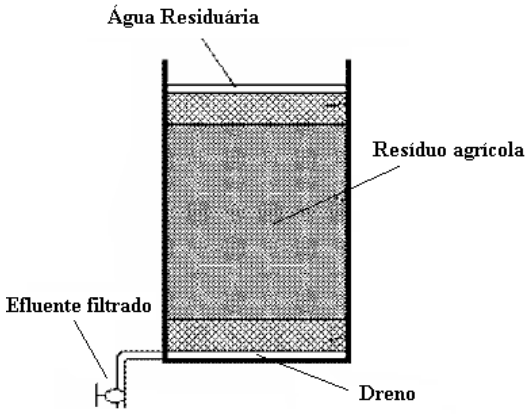


FIGURA 5. Filtro orgânico.

Nas condições de operação apresentadas, o tempo de operação do filtro deverá estar em torno de 60 a 100 minutos. Decorrido este período, ou o filtro deverá ser mantido em repouso (caso se disponha de estruturas de filtração alternativas), para que sua capacidade de filtração seja restabelecida, ou o material filtrante deve ser removido e substituído por material filtrante novo (no caso de se dispor de uma estrutura única de filtração).

Lo Monaco et al. (2004), ao utilizarem pergaminho de grãos de café como material filtrante no tratamento primário de águas residuárias da separação hidráulica e do descascamento de frutos do cafeeiro (ARC) não obtiveram eficiência na remoção de sódio e potássio, sendo a concentração de potássio até maior que a do afluente. Os autores atribuíram à baixa eficiência de remoção ao fato de o potássio não estar associado ao material orgânico da água residuária, forma particulada eficientemente retida nos filtros. A grande eficiência dos filtros na remoção de sólidos suspensos possibilita a aplicação localizada (gotejamento ou microaspersão) do efluente na fertirrigação de culturas agrícolas, havendo baixo risco de entupimento dos emissores quando o sistema for adequadamente operado (Batista et al., 2005).

O material filtrante retirado do sistema, para não vir a constituir novo resíduo capaz de causar problemas ambientais, pode ser usado diretamente como adubação orgânica superficial, sem qualquer incorporação no solo, ou ser submetido ao processo de compostagem.

Aproveitamento agrícola da casca na forma “in natura”

A casca retirada dos frutos do cafeeiro pode ser utilizada “in natura”, como adubo orgânico, em diversas culturas, inclusive a do próprio cafeeiro, tendo em vista que apresenta qualidades como condicionadora do solo e como fertilizante (Figura 2).

O uso da casca do fruto do cafeeiro é uma boa opção para correção de solos muito deficientes em potássio. Conforme pode ser observado na Tabela 1, a casca do fruto do cafeeiro é rica em nutrientes, podendo ser encontrado, em cada quilo de matéria seca de casca, cerca de 47 g de K, 2 g de P e 19 g de N-total. Assim, torna-se desejável o retorno do resíduo ao cafezal, a fim de se aproveitar seu potencial fertilizante, notadamente no que se refere ao potássio.



FIGURA 2. Detalhe das pilhas de casca do fruto do cafeeiro dispostas próximas às plantas para a adubação do cafeeiro.

Quando utilizadas como cobertura morta, as cascas diminuem o escoamento superficial e o impacto da gota d’água no solo, favorecendo o controle da erosão, além disso, podem proporcionar diminuição na flutuação térmica e perda de água do solo, por evaporação. Torna-se importante ressaltar que o material orgânico produzido após a compostagem é capaz de reter maior quantidade de água no solo do que o resíduo “in natura”, já que, apresentando maior superfície específica e cargas de superfície, a possibilidade de adsorção de água é aumentada.

Cuidado especial deve ser tomado em relação ao risco da liberação de fitotoxinas (efeito alelopático), que podem inibir o crescimento de algumas plantas, quando a casca do fruto do cafeeiro é decomposta naturalmente no solo.

A dose anual de casca seca a ser aplicada nas culturas agrícolas, considerando-se a total disponibilização do K contido nela, pode ser obtida, segundo Matos & Lo Monaco (2003), com o uso da Equação 1:

$$D_s = \frac{K_{rec}}{C_K \times PR \times T_m} \quad (1)$$

em que,

D_s - dose de casca seca a ser aplicada (t ha^{-1});
K_{rec} - dose recomendada para a cultura (kg ha^{-1}.ano^{-1});
C_K - concentração de K no resíduo (g kg^{-1});
PR – potencial de recuperação do K pela cultura (kg kg^{-1});
T_m - percentual de mineralização anual do resíduo no solo (kg kg^{-1} ano^{-1}).

O potencial de recuperação de potássio pela cultura é variável de acordo com a cultura, porém deve ficar entre 60 e 90% (PR entre 0,6 e 0,9). A mineralização da casca de fruto do cafeeiro após um ano de sua disposição no solo deve ser superior a 80%, por isso, o valor T_m deve estar entre 0,8 e 1,0.

Aproveitamento da escuma da água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro

A escuma, como material sobrenadante na água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro, também deverá ser considerada um resíduo sólido, mesmo quando não estiver seca. A concentração de nutrientes na escuma seca é um indicativo da possibilidade de sua aplicação, também, em cultivos agrícolas, incluindo-se, entre eles, a própria cultura do cafeeiro, uma vez que cada quilo de escuma possui 32,5 g de nitrogênio, 4,43 g de fósforo, 26,6 g de potássio e 23,8 g de cálcio, além de micronutrientes (MATOS, 2008). A relação C/N da escuma seca é de 19,0, o que indica que este material pode ser submetido à compostagem sem que seja necessária a incorporação qualquer fonte de nitrogênio, já que a sua relação C/N é menor que 30. Entretanto, considera-se conveniente que seja misturado a outro resíduo de maior relação C/N, de forma a viabilizar a produção de maior de quantidade de composto orgânico.

Aproveitamento do composto orgânico

Compostagem é o processo por meio do qual se obtém a decomposição biológica controlada de resíduos orgânicos, transformando-os em material parcialmente humificado. Para obtenção de sucesso e maior rapidez na compostagem, torna-se necessária a mistura de materiais de baixa relação C/N (carbono/nitrogênio) com os de alta relação C/N.

A casca de frutos do cafeeiro, assim como esterco animal, possui baixa relação C/N, por isso, resíduos de alta relação C/N, como os resíduos agrícolas e agroindustriais (folhas mortas, capim picado, palha, sabugo, pó-de-serra e cavacos de madeira, bagaço de frutas, tortas, cascas, etc.) devem ser a ela misturados para a obtenção de um composto em maior quantidade e melhor qualidade.

Matos e Febrer (2000) produziram composto orgânico com cascas de frutos do cafeeiro, depois de utilizadas na filtração de águas residuárias da suinocultura. O composto orgânico produzido apresentou grande valor como fertilizante agrícola, além de adequadas relações C/N e concentração de nitrogênio total, conforme exigência da legislação brasileira, podendo ser comercializado como fertilizante composto.

Pereira et al. (2004) utilizaram a casca misturada com pergaminho de grãos de café, utilizados como material filtrante no tratamento de 2000 L de ARC, para produção de composto orgânico. A variação na temperatura do material, medida ao longo do período de compostagem, está apresentada na Figura 3, enquanto a caracterização física e química do composto orgânico produzido está apresentada na Tabela 5. Na mesma tabela estão apresentados os requisitos mínimos, segundo a legislação brasileira e segundo Gonçalves (1997), para que o composto orgânico possa ser utilizado como fertilizante agrícola. Conforme pode ser verificado, o composto orgânico produzido não atendeu à legislação brasileira no que se refere à sua qualidade para comercialização como fertilizante orgânico, por não ter atendido o quesito relação C/N máxima. Entretanto, esse quesito poderá ser facilmente atendido com o prolongamento do período de compostagem mesofílica do material. Ainda com base nas análises químicas apresentadas, pode-se considerar que seja de baixo risco a contaminação ambiental com metais pesados quando da utilização desse tipo de composto orgânico como fertilizante em cultivos agrícolas.

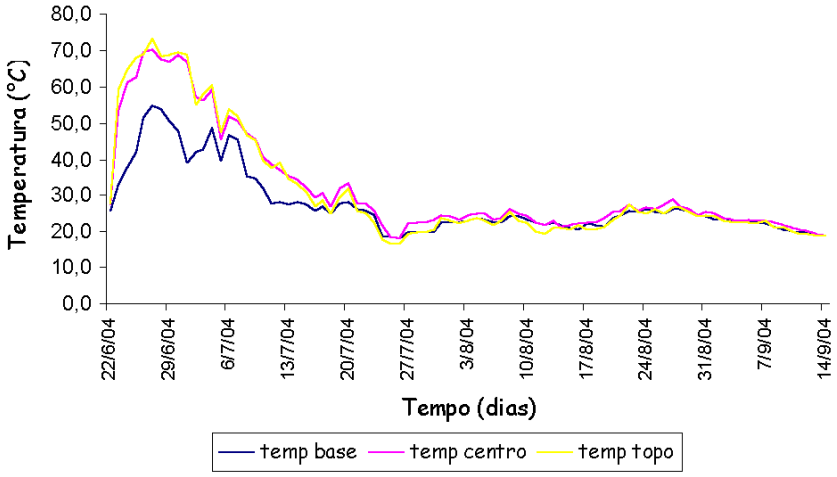


FIGURA 3. Variação na temperatura do material, em diferentes posições da leira, durante o período de compostagem.

TABELA 5 Características físicas e químicas do composto orgânico produzido, requisitos mínimos para comercialização como fertilizante orgânico.

Atributo	Unidade	Composto orgânico	Requisito mínimo
Massa específica	g cm^{-3}	0,49	-
Teor de água (secagem a 65 ºC)	dag kg^{-1}	19,9	< 40*
Matéria orgânica		56,4	> 40**
C Total		32,7	22
Ca Total		0,86	> 5*
Mg Total		0,10	> 0,50*
K Total		0,55	> 0,70*
P Total		0,37	> 0,14*
N Total Kjeldahl		1,68	1,0
Relação C/N	-	19,5	<18**
pH	-	6,68	> 6,0**
Cu Total	mg kg^{-1}	29,6	< 300*
Zn Total		78,3	< 1000*
Mn total		80,0	-
Fe Total		4376,0	-
Cd Total		n.d.	< 5*
Ni Total		2,6	< 50*
Pb Total		1,1	< 500*
Cr Total		14,9	< 150*

Fonte: * Gonçalves (1997);** Brasil (1998).

APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DE ÁGUAS RESÍDUÁRIAS

Fertirrigação

A fertirrigação é uma técnica em que se prioriza o aproveitamento dos nutrientes presentes na água residuária para substituição de parte da adubação química em áreas agrícolas cultivadas, razão suficiente para que este método seja altamente recomendável para a disposição/tratamento também das águas residuárias do processamento dos frutos do cafeeiro.

A fertirrigação com água residuária (Figura 4), se praticada com o devido cuidado, possibilita redução na poluição ambiental, além de melhoria nas características químicas, físicas e biológicas do solo e, como conseqüência, aumento na produtividade e na qualidade dos produtos colhidos.

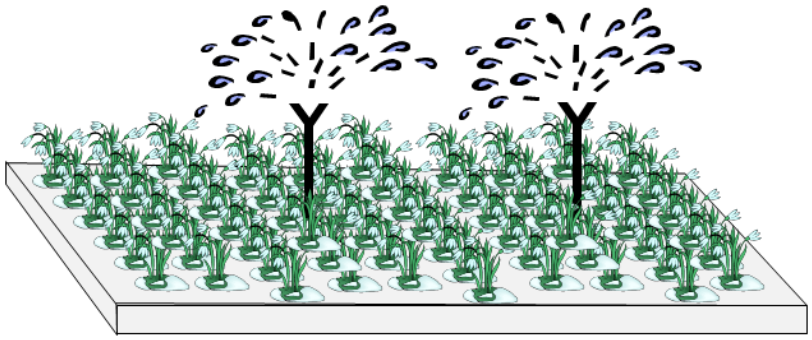


FIGURA 4. Fertirrigação com águas residuárias.

a) Escolha da espécie vegetal a ser cultivada

O uso de águas residuárias na fertirrigação de espécies vegetais de crescimento durante todo o ano é desejável. Assim, algumas capineiras de sistema radicular abundante e profundo podem ser muito úteis do ponto de vista ambiental, por serem capazes de retirar grande quantidade de macro e micronutrientes do solo, diminuindo os riscos de contaminação de rios, lagos e águas subterrâneas. Águas residuárias provenientes do descascamento de frutos do cafeeiro podem, também, ser aplicadas na produção de grandes culturas como o próprio cafeeiro, milho, sorgo, trigo, frutas e hortaliças e em áreas reflorestadas.

b) Dose de aplicação

No que se refere ao valor como fertilizante das águas residuárias para uso agrícola, pode-se verificar que nas águas residuárias de ambas as espécies do gênero *coffea*, as concentrações de nitrogênio e, principalmente, de potássio (Tabela 4) são relativamente

altas. Se estas águas residuárias forem lançadas em corpos d'água receptores sem tratamento prévio, poderá proporcionar o desenvolvimento de vegetais que podem vir a prejudicar o ecossistema aquático.

A dose de aplicação de águas residuárias na fertirrigação de culturas agrícolas deve ser suficiente para suprimento adequado de nutrientes, caso isso não seja considerado, haverá sério risco de salinização ou outras formas de poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas. Para contornar esse problema, deve-se ter o cuidado de nunca aplicar águas residuárias em quantidades equivalentes às de água requerida pelas plantas, para atendimento de suas necessidades hídricas, tal como se preconiza na irrigação.

Como o potássio é o macronutriente presente em maior concentração na água residuária da separação hidráulica e do descascamento de frutos do cafeeiro, ele deve ser utilizado como referencial para o cálculo da dose de água residuária passível de ser aplicada na lavoura do cafeeiro, sem que haja comprometimento da qualidade ambiental e prejuízo à produtividade da cultura. Atenção especial deve ser dada quanto à disposição dessas águas residuárias no solo, pois, de acordo com Loehr e Oliveira, citados por Matos e Sediyama (1996), altas concentrações de potássio em relação às de cálcio e magnésio, podem causar dispersão da argila, promovendo a desagregação do solo e, por conseqüência, diminuindo sua permeabilidade. Além disso, o desequilíbrio de nutrientes poderá comprometer o desenvolvimento da cultura.

A dose anual de água residuária a ser aplicada nas culturas agrícolas, considerando-se a total disponibilização do K contido nela, pode ser obtida utilizando-se a Equação 2:

$$D_s = \frac{1000 K_{rec}}{C_K \times PR} \qquad (2)$$

em que,

D_s - dose de água residuária a ser aplicada ($m^3\ ha^{-1}$);
K_{rec} - dose recomendada para a cultura ($kg\ ha^{-1}.ano^{-1}$);
C_K - concentração de K no água residuária ($mg\ L^{-1}$);
PR – Potencial de recuperação do K pela cultura ($kg\ kg^{-1}$).

Da mesma forma como comentado em relação à casca, o potássio disponibilizado pela água residuária está sujeito a uma potencial recuperação pelas plantas. Entretanto, considerando-

se que todo o potássio pode ser considerado prontamente disponível, na aplicação da água residuária não há de se considerar a variável mineralização.

Aplicando doses crescentes de água residuária do descascamento de frutos do cafeeiro, referentes à aplicação de 66,4; 99,6; 132,8; 166,0 e 199,2 g cova^{-1} de potássio, em cafeeiro do gênero *Coffea arábica* L., cultivar Catuaí, com 4 anos de idade, espaçados de 0,8 entre plantas e 2,2 m entre linhas, Lo Monaco et al. (2009) observaram aumentos significativos nos valores da condutividade elétrica, em função da profundidade de solo e das doses de ARC aplicadas (Figura 5). Entretanto, para que se possa comparar os valores de condutividade elétrica no solo obtidos nesse trabalho com os obtidos por outros autores, torna-se necessário levar em consideração de que no trabalho do referido autor foi utilizada diluição do solo com água destilada na proporção 1:2,5, enquanto em outros trabalhos pode ter sido utilizado o extrato de saturação do solo e, nesse caso, a proporção é geralmente 1:1, o que proporciona valores cerca de 4 a 5 maiores que os obtidos nessa pesquisa.

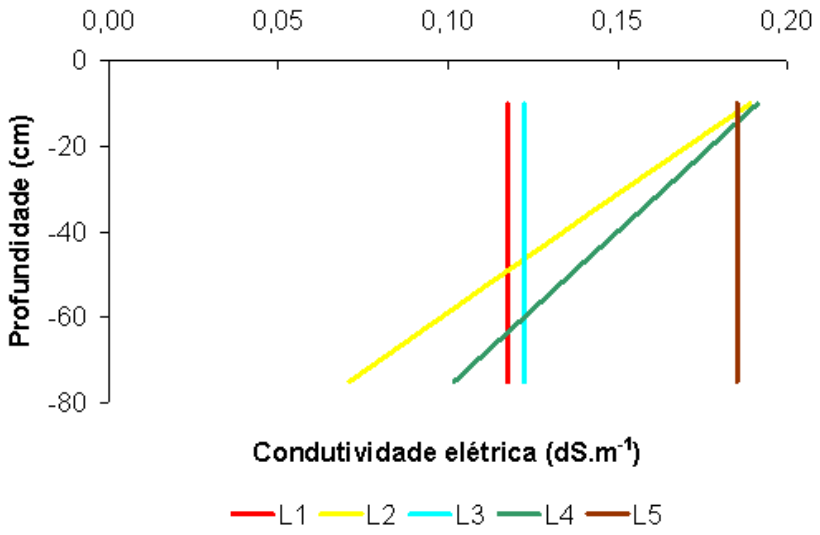


FIGURA 5. Condutividade elétrica no solo, em função da profundidade, antes e após a aplicação de crescentes doses de ARC: L1, L2, L3, L4 e L5 (66,4; 99,6; 132,8; 166,0 e 199,2 g cova^{-1} de potássio).

O aumento na condutividade elétrica no solo deve ser atribuído, principalmente, à grande quantidade de potássio incorporada ao solo com a aplicação da ARC. A aplicação da maior dose (L5) proporcionou a adição de quantidade de íons suficiente para causar significativa lixiviação, predominantemente catiônica (de $K^{+,}$ Na^{+}, Ca^{2+} e Mg^{2+}), no perfil do solo.

Com a aplicação da ARC equivalente à aplicação de 199,2 g cova^{-1} de potássio, Lo Monaco et al. (2009) observaram forte ressecamento das plantas do cafeeiro, conforme apresentado na Figura 6, o que pode ser atribuído à grande quantidade de íons presentes nessas águas residuárias. A presença desses íons proporcionou diminuição no potencial osmótico no solo e conseqüente comprometimento da absorção de água pelo cafeeiro, ou seja, a planta começou a apresentar maior gasto de energia para absorver água e, conseqüentemente, de nutrientes.

Sais de sódio e de potássio são considerados os maiores contribuintes para a salinidade do solo e, no caso da ARC, o potássio é o constituinte que está melhor associado a essa forma de poluição do solo, conforme resultados obtidos em diversos trabalhos de pesquisa (MATOS et al., 2003; LO MONACO et al. 2009). Com a aplicação de doses crescentes de ARC no cafeeiro, Lo Monaco et al. (2009). observaram intensa lixiviação do potássio para as camadas mais profundas do solo (até 60 cm), notadamente nos tratamentos em que as plantas receberam a maior dose de ARC (Figura 7).



FIGURA 6. Efeito da aplicação de grandes doses de água residuária da separação hidráulica e do descascamento de frutos do cafeeiro, equivalente à aplicação de 199,2 g cova^{-1} de potássio, no cafeeiro.

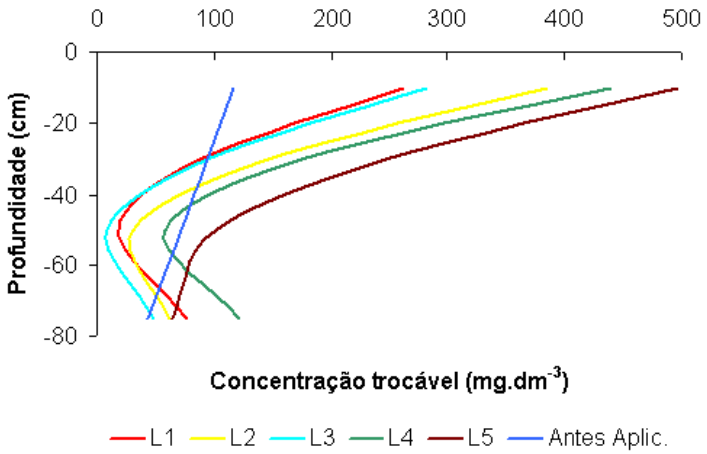


FIGURA 7. Concentração trocável de potássio no solo, em função da profundidade, antes e após a aplicação de crescentes doses de ARC: L1, L2, L3, L4 e L5 (66,4; 99,6; 132,8; 166,0 e 199,2 g cova^{-1} de potássio).

Na Figura 8 apresentam-se as curvas de concentração de potássio trocável nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo, como função da dose de potássio aplicada via ARC.

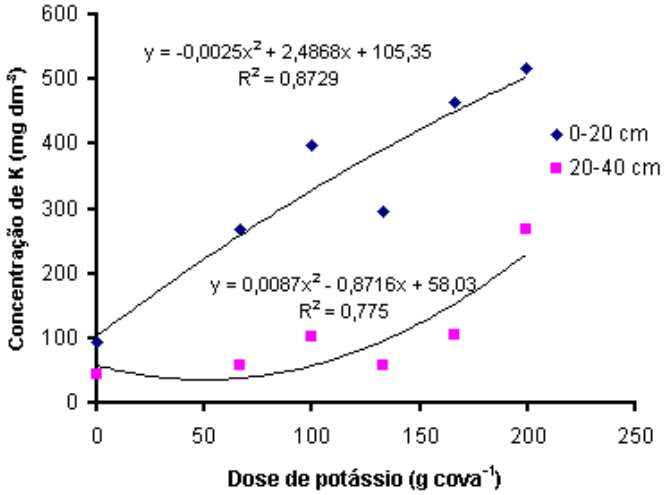


FIGURA 8. Concentração de potássio trocável nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade no solo como função das doses crescentes de ARC, em relação ao fornecimento de potássio para as plantas.

Tendo o cafeeiro recebido calcário, adubação convencional nitrogenada (uréia), fósforo (superfosfato simples) e adubação foliar de Zn, Cu e B, além da aplicação da ARC, que foi feita, parceladamente, de forma a subdividir a aplicação da lâmina total num período de dois meses (segunda quinzena de maio até primeira quinzena de julho), correspondente ao de

geração da ARC, foram feitas análises da concentração de macro e micronutrientes nas folhas. No que se refere à concentração foliar de potássio (Figura 9), cálcio (Figura 10) e magnésio (Figura 11), verificaram-se efeitos inversos da dose de ARC aplicada. A concentração de potássio aumentou com a dose até a dose L3 (132,8 g cova^{-1} de potássio), tendo decrescido posteriormente. De forma inversa, a concentração de cálcio e magnésio diminuiu com o aumento da dose até a dose L3, tendendo a apresentar aumento a partir daí. A diminuição na concentração de potássio trouxe, como conseqüência, aumento na concentração de cálcio e magnésio na folha do cafeeiro.

A aplicação da ARC, além de fornecer nutrientes, proporcionou condições para maior absorção de alguns macro e micronutrientes pelas plantas do cafeeiro e lixiviação de alguns macronutrientes no perfil do solo.

A deficiência de cálcio e, principalmente, de magnésio nas folhas do cafeeiro, provocada pelo excesso de potássio trocável no solo, torna recomendável a complementação desses macronutrientes em áreas em que houver a aplicação de ARC.

Apenas a maior dose de ARC aplicada aproximou-se da lâmina de água requerida para a irrigação do cafeeiro, entretanto, tendo em vista as alterações químicas que ela proporcionou no solo, tornou-se claro ser um erro estabelecer a dose de ARC com base em requerimentos para irrigação, ou seja atendimento às necessidades hídricas da cultura.

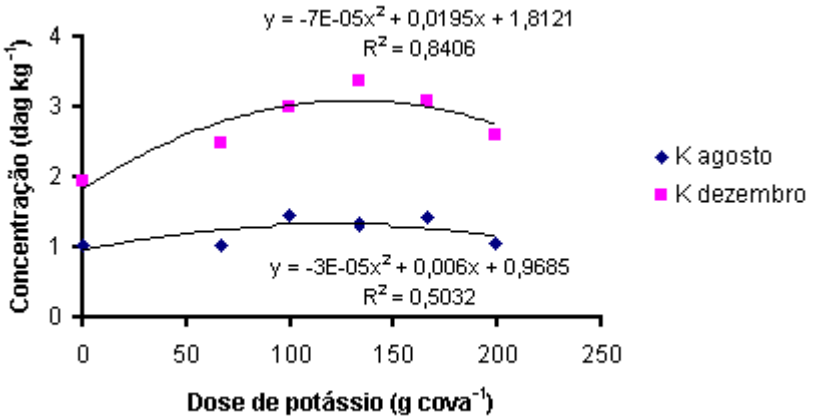


FIGURA 9. Concentração de potássio nas folhas do cafeeiro com a aplicação de doses crescentes de ARC, em relação ao fornecimento de potássio para as plantas

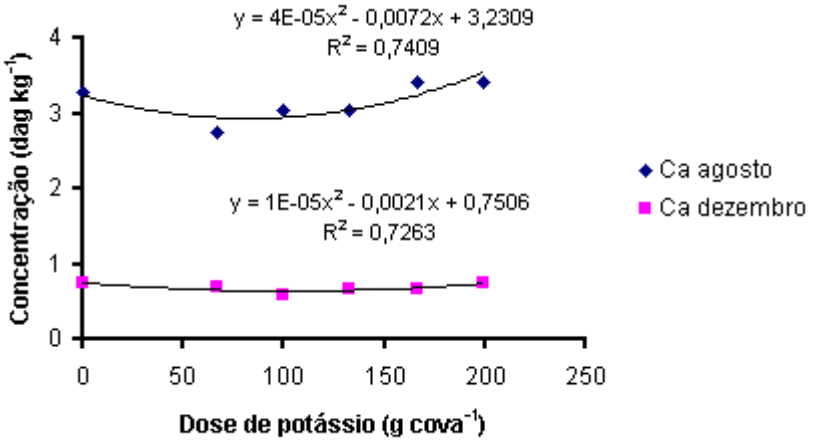


FIGURA 10. Concentração de cálcio nas folhas do cafeeiro com a aplicação de doses crescentes de ARC, em relação ao fornecimento de potássio para as plantas

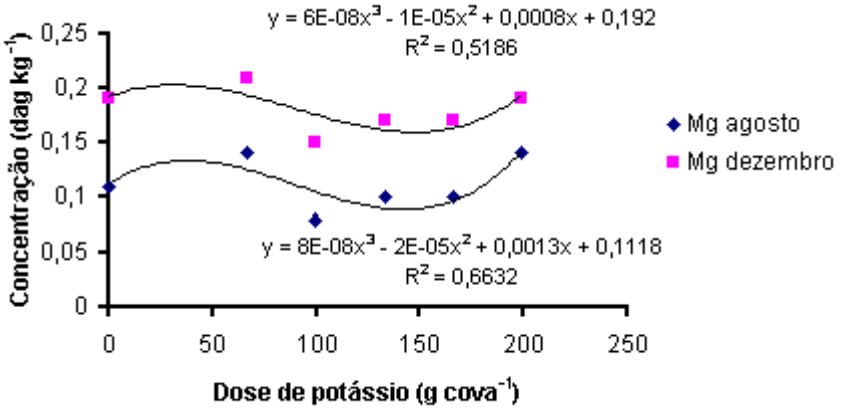


FIGURA 11. Concentração de magnésio nas folhas do cafeeiro com a aplicação de doses crescentes de ARC, em relação ao fornecimento de potássio para as plantas

Os resultados de produtividade dos cafeeiros submetidos aos tratamentos já citados anteriormente, estabelecidas com base no potássio contido nessas águas, estão apresentados na Figura 12, na qual se pode verificar aumento com a aplicação da menor dose, seguido de decréscimo na produtividade com a aplicação de maiores doses (MOREIRA et al., 2005). Matos et al. (2001) também verificaram tendência de decréscimo na produtividade do cafeeiro com o aumento na quantidade de água residuária aplicada por planta, em comparação com as parcelas que receberam adubação inorgânica.

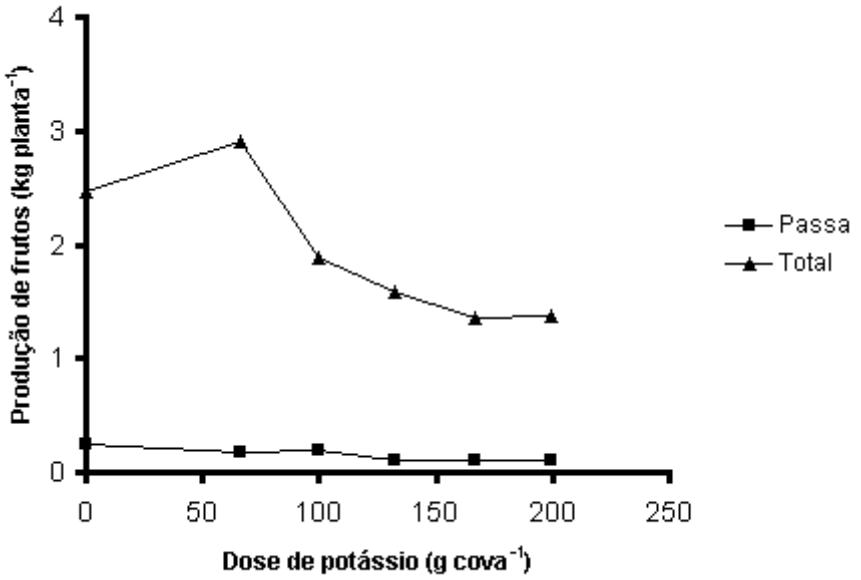


FIGURA 12. Produtividade do cafeeiro fertirrigado com diferentes doses de ARC, em relação ao fornecimento de potássio para as plantas.

Observações:

- apesar da água residuária do descascamento conter outros nutrientes, recomenda-se fazer a adubação química complementar recomendada para a cultura, retirando-se apenas as fontes de potássio.
- o monitoramento das características químicas do solo é recomendável a fim de que se possa corrigir, ao longo do tempo, eventuais desvios na sua fertilidade.

c) Como aplicar

A fertirrigação com águas residuárias pode ser feita por sulco, por aspersão, gotejamento ou com uso de “chorumeiras”. A escolha do método de aplicação deve ser feita, principalmente, em função da cultura e da sua suscetibilidade às doenças e da capacidade de infiltração de água no solo.

Açúcares contidos na ARC, notadamente naquelas provenientes de frutos submetidos à desmucilagem, podem proporcionar condições ideais de desenvolvimento de pragas e doenças nas folhas se a fertirrigação for feita por aspersão.

Moreira et al. (2005) avaliaram os efeitos da fertirrigação do cafeeiro, por aspersão, com ARC, por dois meses e vinte dias, na dose equivalente à aplicação de 166 kg ha^{-1} de potássio, seguida ou não da lavagem das folhas. Na Tabela 6 estão apresentados os resultados das análises químicas das folhas do cafeeiro, antes e após serem submetidas ao período de fertirrigação com a ARC. A aplicação da ARC sobre o dossel das plantas, proporcionou aumento na concentração de macro e micronutrientes nas folhas, tanto na aplicação seguida como não seguida de "lavagem" das folhas, o que foi proporcionado pela aplicação da água "limpa". As plantas cujas folhas não foram "lavadas" apresentaram maiores concentrações de P, K, Fe, Zn, Cu e Mn, o que acredita-se ser devido à maior exposição do tecido vegetal à ARC. Após o período de aplicação da ARC, foi feita uma análise visual do ataque de pragas e fúngico nas folhas, não tendo sido verificado nenhum efeito dos tratamentos sobre as condições sanitárias das plantas, indicando que a fertirrigação, aplicando-se a ARC por aspersão, não proporcionou, pelo menos em curto prazo, problemas fitossanitários ao cafeeiro. Ainda assim, no caso da aplicação da ARC por aspersão, para que esses riscos possam ser minimizados, recomenda-se a aplicação de água "limpa" (proveniente de fontes superficiais ou subterrâneas), por pelo menos 20 minutos após a aplicação da água residuária, a fim de se promover a lavagem das folhas da cultura.

TABELA 6. Resultados das análises foliares antes e após o término do período de aplicação da água residuária do descascamento dos frutos do cafeeiro.

Tratamentos		Concentração de nutrientes nas folhas							
		P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
		---------- dag. kg^{-1}----------				---------- mg.kg^{-1} ----------			
ARC + água "limpa"	antes	0,113	1,52	2,05	0,23	141,0	5,10	13,85	131,50
	após	0,180	1,99	3,51	0,36	314,00	8,20	23,80	281,50
ARC	antes	0,140	1,80	1,85	0,23	114,60	6,25	14,95	159,75
	após	0,240	2,77	2,95	0,29	435,15	10,10	26,80	346,50

Fonte: Moreira et al. (2004)

Para evitar os problemas causados pela aplicação via aspersão, a água residuária pode ser aplicada de forma localizada, por gotejamento (Figura 13) ou microaspersão, métodos considerados ideais quando se tem por objetivo minimizar os riscos do desenvolvimento de pragas nas plantas e impactos ambientais. No entanto, para que a aplicação seja feita com uso de sistemas de irrigação localizada, os tratamentos preliminar e primário tornam-se necessários. É fundamental a remoção prévia dos sólidos em suspensão para que não ocorram problemas com entupimentos dos emissores. De acordo com Leon & Cavallini (1999), em sistemas de irrigação por gotejamento a concentração de sólidos em suspensão

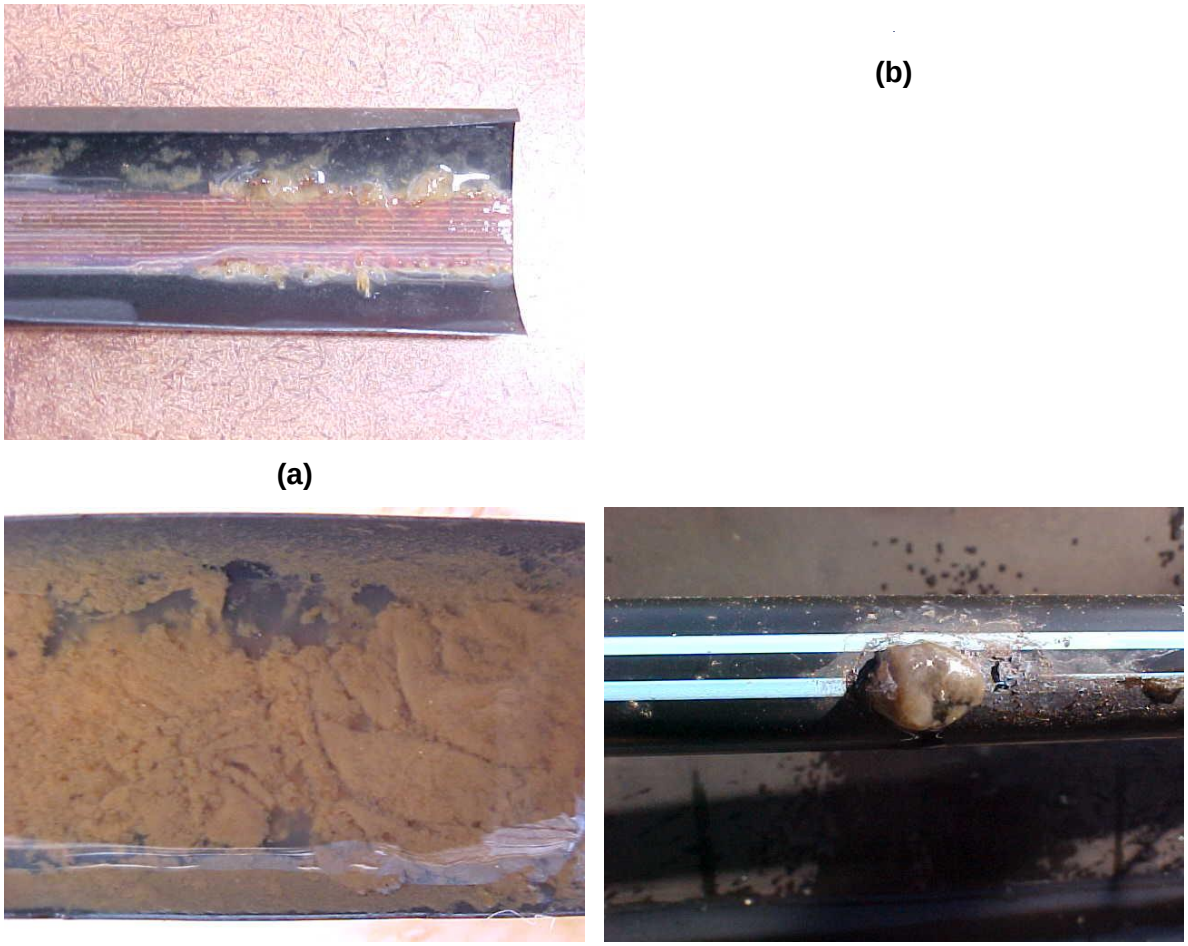
deve ser menor que 50 mg L^{-1} para que se minimizem os riscos de obstrução dos emissores. O uso de filtros orgânicos tem sido recomendado para que se promova redução na concentração de sólidos em suspensão nas águas residuárias da separação hidráulica e do descascamento de frutos do cafeeiro (LO MONACO et al., 2009).



FIGURA 13. Vista geral de um sistema irrigação por gotejamento em cafeeiro.

Com a aplicação da ARC utilizando-se gotejadores tipo fita, Batista et al. (2005) verificaram haver a formação de biofilme dentro e fora dos gotejadores, o que proporcionou o entupimento parcial ou total dos emissores. Na Figura 14 apresenta-se o detalhamento da acumulação de biofilme dentro e fora de gotejadores que foram parcial (a, b) e totalmente (c, d) entupidos. Observa-se, nessa figura, que a estrutura causadora de perda de carga (frisos vermelhos) favoreceu o desenvolvimento do biofilme, particularmente no que se refere à deposição de sólidos orgânicos presentes na água residuária. A formação de biofilme foi resultante da interação entre sólidos suspensos e dissolvidos e bactérias formadoras de mucilagens, principalmente aeróbias mesófilas, na ARC bruta e enterobactérias na ARC previamente passada em filtro orgânico constituído por pergaminho de grãos de café.

Com a aplicação de ARC bruta, houve redução de 100% no coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) após 36 horas e, com a aplicação de ARC filtrada, essa redução ocorreu apenas após 144 horas de funcionamento do sistema. A utilização do filtro orgânico retardou o entupimento dos gotejadores, entretanto, não preveniu o desenvolvimento do filme biológico na tubulação e junto aos emissores. Considerando-se que o período de aplicação da ARC é reduzido, entende-se que durante a aplicação da ARC filtrada a uniformidade de distribuição estará em padrões considerados satisfatórios, caso isso não ocorra, basta que ao final do dia seja aplicada água “limpa”, para lavagem da tubulação e emissores.



(a) **(b)**

(c) **(d)**

FIGURA 14. Detalhe do acúmulo de material e formação de biofilme dentro e fora de gotejadores parcial (a, b) e totalmente (c, d) entupidos, com a aplicação da água residuária do descascamento dos frutos do cafeeiro.

Cultivo em Sistemas Alagados Construídos

Sistemas alagados construídos são canais ou reservatórios revestidos com manta impermeabilizante, preenchido com material suporte (geralmente pedra britada), sendo vegetado com macrófitas, aquáticas ou não, onde os efluentes são lançados. O escoamento pode ser superficial ou subsuperficial. O material orgânico é removido por meios físicos (filtração e sedimentação), químicos (oxidação e adsorção) e biológicos (biodegradação e fitoacumulação). Geralmente, os leitos cultivados são constituídos por uma ou mais unidades dispostas em série ou paralelo, normalmente escavados no solo, recobertos com material impermeável e preenchidos com pedra britada. Podem ser cultivados em monocultura, com uma espécie só; ou com uma seleção de espécies (TROTTER *et al*., 1994).

Sistemas alagados construídos têm sido utilizados na Europa, desde a década de 60, apresentando bons resultados no tratamento de águas residuárias, entretanto, de nos últimos anos, passou a ser encarado com forma de tratamento e, ao mesmo tempo, de cultivo de espécies de interesse comercial. Isso se deu porque se verificou que poderia se produzir de forma semelhante ao cultivo hidropônico, utilizando-se a água residuária, com a composição química corrigida ou não, como solução nutritiva. Nesse caso, o tipo de sistema mais adequado é o de escoamento horizontal e subsuperficial (Figura 15).

As espécies de plantas adequadas para cultivo em SAs são aquelas que promovam denso enraizamento em substrato saturado, apresentem grande produção de biomassa e do produto de interesse comercial.

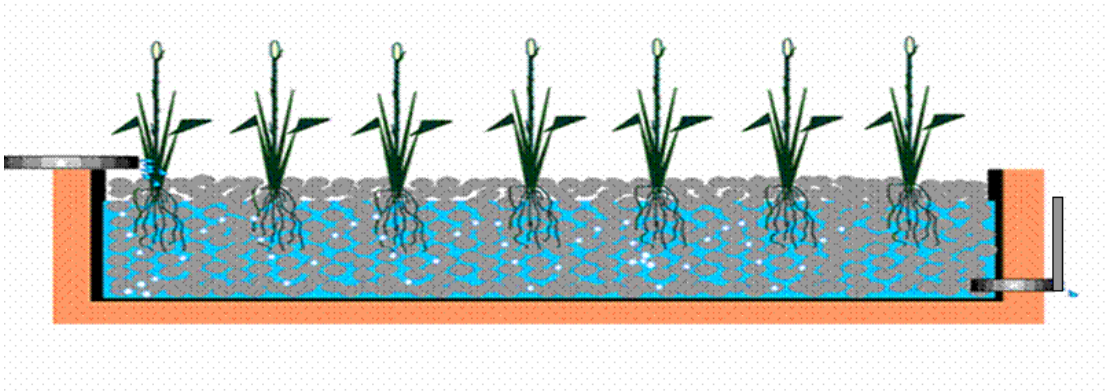


FIGURA 15. Representação esquemática de um Sistema alagado construído de escoamento horizontal e subsuperficial.

Pesquisas têm sido conduzidas no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV utilizando-se SACs para o tratamento de águas residuárias da separação hidráulica e do descascamento de frutos do cafeeeiro, na expectativa de se encontrar espécies mais adaptadas às características dessa água residuária ou se definir recomendações de alterações na composição química dessas águas, de forma que se possibilite seu tratamento na forma bruta.

Fia (2008) sugeriu a adição de elementos químicos bivalentes (Ca e Mg) para antagonizarem o efeito do potássio; adição de nutrientes à base de nitrogênio e fósforo; correção do pH e pré-tratamento da ARC para remoção de compostos fenólicos, com o intuito de melhorar o desenvolvimento das plantas. A eficiência na remoção de compostos fenólicos da ARC aumentou com a correção, com cal hidratada, do pH até aproximadamente 7,0 e a adição de nutrientes (N e P), passando-se a atender a relação DBO/N/P = 100/5/1 proporcionou maior desenvolvimento das plantas.

Fia et al. (2010) cutivaram gramíneas forrageiras de inverno, azevém (*Lolium multiflorum*) e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) em SACs utilizados no tratamento das águas residuárias do processamento dos frutos do cafeeiro com o objetivo de se avaliar seu desempenho agronômico. As forrageiras foram submetidas a diferentes cargas orgânicas (650 a 1.500 kg ha^{-1} d^{-1} de DQO), proporcionadas pela aplicação dos efluentes de filtros anaeróbios, utilizados no tratamento da ARC. A matéria seca produzida pelas forrageiras ao longo dos 53 dias de monitoramento dos SACs variou de 7,4 a 14,0 e 0,5 a 2,7 t ha^{-1}, e os rendimentos acumulados de proteína bruta variaram de 1.017 a 2.187 e 66,6 a 316,8 kg ha^{-1} para o azevém e a aveia, respectivamente. Os resultados permitiram concluir que, dentre as forrageiras estudadas, o azevém se mostrou mais adequado para ser cultivado em SACs utilizados no pós-tratamento da ARC efluente de filtros anaeróbios, já que apresentou maior rendimento de matéria seca e proteína bruta e, portanto, melhor adaptação ao sistema.

REFERÊNCIAS

BRANDÃO, V.S.; MATOS, A.T.; MARTINEZ, M.A.; FONTES, M.P.P. Tratamento de águas residuárias de suinocultura utilizando-se filtros orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v.4, n.3, p.327-333, 2000.

BATISTA R.O.; MATOS A.T.; CUNHA, F.F.; LO MONACO P.A. Obstrução de gotejadores utilizados para a aplicação de água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Revista Irriga***,* Botucatu, v. 10, n. 03, p.299-305, 2005.

BRASIL - **Legislação para fertilizantes, corretivos e inoculantes**. MINAGRI, 143p 1998.

DELGADO, E.A.; BAROIS, I. Lombricompostaje de la pulpa de café em México. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFEE AGROINDUSTRY, 3, Londrina, 2000. **Proceedings...** Londrina: UFPR, IAPAR, IERD, p.335-343. 2000.

FAZENARO, F.L.; LO MONACO, P.A.; MATOS A.T.; PEREIRA, R.R.A.; SILVA, N.C.L. Caracterização física da escuma de água residuária da despolpa do fruto do cafeeiro. In: IX SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – UFV, Viçosa, 2004. **Anais**..., Viçosa, 2004.

FIA, R. **Desempenho de sistemas alagados construídos no tratamento de águas residuárias da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro**. Viçosa-MG, UFV, Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 181 p. 2008.

FIA, R., MATOS, A.T., FIA, F.R.L., MATOS, M.P., LAMBERT, T.F.; NASCIMENTO, F.S. Desempenho de forrageiras em sistemas alagados de tratamento de águas residuárias do processamento do café. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental,** v.14, n.8, p.842–847, 2010.

GONÇALVES, M.S.J. Composto de Resíduos Sólido Urbano: qualidade e utilização. In: Seminário – Produção de corretivos orgânicos a partir de resíduos sólidos urbanos: sua importância, para a agricultura nacional e meio ambiente, 1, 1997, Matosinhos. **Anais**... Porto: Lipor, 1997.

LEON, S.G.; CAVALLINI, J.M. Tratamento e uso de águas residuárias. Tradução de: **Treatment end use of wastewater**. Campina Grande, UFPB, 110p. 1999.

LIMA, C.R.; LO MÔNACO, P.A.; MATOS, A.T.; MOREIRA, R.M.G.; FAZENARO, F.L. Caracterização química da escuma de água residuária da despolpa do fruto do cafeeiro. IN: IX SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – UFV, Viçosa, 2004. ***Anais*.**., Viçosa, 2004.

LO MONACO, P.A.; MATOS, A.T.; MARTINEZ, H.E.P.; FERREIRA, P.A.; RAMOS, M.M. Características químicas do solo após a fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. ***Revista Irriga,*** **Botucatu**, v. 14, n. 3, p. 348-364, julho-setembro, 2009.

LO MONACO, P.A.; MATOS, A.T.; GARCIA, G.O.; LIMA, C.R.C.; FAZENARO, F.L. Avaliação do pergaminho dos frutos do cafeeiro como elemento filtrante no tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. In: **Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem**, 14, 2004a, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, RS: (CD-ROM). 2004.

MAGALHAES, M.A.; MATOS, A.T.; DENÍCULI, W.; AZEVEDO, R.F. Influência da compressão no desempenho de filtros orgânicos para tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Revista Engenharia na Agricultura***,* Viçosa, v.13, n.1, p.26-32. 2005.

MATOS, A.T. Tratamento e destinação final dos resíduos gerados no beneficiamento do fruto do cafeeiro. ***Produção Integrada de Café*.** ZAMBOLIM, L. (ed.). Viçosa: UFV; DPF, p. 647-705. 2003.

MATOS, A.T. Tratamento de resíduos da pós-colheita do café. ***Pós-colheita do café*.** BORÈM, F. M. (Ed.). Lavras: Ed. UFLA, p.159-201. 2008.

MATOS, A.T.; EMMERICH. I.N.; RUSSO, J.R. Tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro em rampas cultivadas com azevém. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2, Vitória, ES. **Anais...** Vitória, ES. (CD-ROM). 2001.

MATOS, A.T.; FEBRER, M.C.A. Características químicas de composto orgânico produzido com casca de frutos de cafeeiro e águas residuárias da suinocultura. In: **SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL**, 1, Poços de Caldas, MG. *Anais...* Poços de Caldas, MG: [s.n.], v.2, p.975-978. 2000.

MATOS, A.T.; LO MONACO, P.A. Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos e líquidos da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. Viçosa: AEAGRI, 68p. (**Engenharia na Agricultura. Boletim técnico**, 7). 2003.

MATOS, A.T.; MAGALHÃES, M.A.; FUKUNAGA, D.C. Remoção de sólidos em suspensão na água residuária da despolpa de frutos do cafeeiro em filtros constituídos por pergaminho de grãos de café submetido a compressões. ***Engenharia Agrícola,* Jaboticabal**, v.26, n.2, p.610-616, 2006.

MATOS, A.T.; PINTO, A.B.; BORGES, J.D. Caracterização das águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro e possibilidades de seu uso na fertirrigação. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFEE AGROINDUSTRY, 3, Londrina, 2000. **Proceedings...** Londrina: UFPR, IAPAR, IRD, p. 395-396. 2000.

MATOS, A.T.; PINTO, A.B.; SOARES, A.A.; PEREIRA, O.G.; LO MONACO, P.A. Produtividade de forrageiras utilizadas em rampas de tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. *Revista* **Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PA, v. 7, p. 154-158, 2003.

MATOS, A.T.; SEDIYAMA, M.A.N. Riscos potenciais ao ambiente pela aplicação de dejeto líquido de suínos ou compostos orgânicos no solo. In: Freitas, R.T.F. e Viana, C.F.A. I Seminário mineiro sobre manejo e utilização de dejetos de suínos, **Anais...,** EPAMIG, EMATER, UFV, ASSUVAP. p.45-54. 1996.

MATOS, A.T.; VIDIGAL, S.M.; SEDIYAMA, M.A.N.; GARCIA, N.P.; RIBEIRO, M.F. Compostagem de alguns resíduos orgânicos utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio. **Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, PB, v.2, n.2, p.119-246, Mai-Ago, 1998.

MOREIRA, R.M.G., MATOS, A.T., LO MÔNACO, P.A.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, W.; GUTIERREZ, K.G. Produtividade do cafeeiro fertirrigado com águas residuárias geradas na despolpa de seus frutos. In: XV CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, Teresina. **Anais...**, Teresina, 2005.

MOREIRA, R.M.G.; MATOS, A.T.; LO MONACO, P.A.; PEREIRA, R.R.A.; CLIMACO, R.C. Fertirrigação do cafeeiro com aplicação, por aspersão, de águas residuárias da despolpa dos seus frutos In: IX SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – UFV, Viçosa, 2004. **Anais....**, Viçosa, 2004.

PEREIRA, R.R.D.A.; MATOS A.T.; MAGALHÃES, M.A.; LO MONACO, P.A.; FAZENARO, F.L. Compostagem de casca e pergaminho de grãos de café utilizados na filtragem da água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. In: IX SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – UFV, Viçosa, 2004. **Anais**...., Viçosa, 2004.

RIGUEIRA, R.J.A. **Avaliação da qualidade do café processado por via úmida, durante as operações de secagem e armazenagem.** 2004. 88f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

SANTOS, J.H., MATOS, A.T. Contaminação do solo em áreas de depósito de cascas de frutos de cafeeiro. I SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. v.2. **Anais**... Poços de Caldas, 2000, Brasília, p. 981-984. 2000.

TROTTER, E.A.; THONSON, B.; COLEMAN, R. *Evaluation of a subsurface flow wetland processing sewage from the Sevilleta LTER field station.* Las Cruces: **New Mexico Water Resources Research Institute**, 52 p. (WRRI Report, 287). 1994.

VASCO, J.Z. Procesamiento de frutos de café por vía humeda y generación de subproductos. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFEE AGROINDUSTRY, 3, Londrina, 2000. **Proceedings***...* Londrina, PR: UFPR, IAPAR, IRD, 2000. p.345-355.

ZAMBRANO FRANCO, D.A.; ISAZA-HINESTROZA, J.D.I. Demanda química de oxigeno y nitrógeno total, de los subproductos del processo tradicional de beneficio húmedo del café. **Cenicafé,** v.49, n.4, p.279-289, 1998.