

ISSN 1518-9953
Engenharia na Agricultura
BOLETIM TÉCNICO

Principais causas de
obstruções de gotejadores e
possíveis soluções

Nº 06 – MARÇO/2003

Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais
Departamento de Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa - MG



Engenharia Na Agricultura
Boletim Técnico nº 06
ISSN 1518-9953

PRINCIPAIS CAUSAS DE OBSTRUÇÕES DE GOTEJADORES E POSSÍVEIS SOLUÇÕES

Élio de Almeida Cordeiro¹
Gustavo Haddad Souza Vieira²
Everardo Chartuni Mantovani³

Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais
Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Engenharia
Agrícola

Viçosa – MG
Março 2003

1 Lic. Ciências Agrícolas, M.Sc, Prof. EAFST, cordeiro@vicosa.ufv.br;

2 Engº Agrônomo, M.Sc., Prof. EAFJ, ghsv2000@yahoo.com.br

3 Engº Agrícola, D.Sc., Prof. Titular DEA/UFV, Pesquisador do Núcleo de Cafeicultura Irrigada do CNP&D/Café-EMBRAPA e do CNPq, everardo@ufv.br;

Todos os direitos são reservados à
Revista Engenharia na Agricultura
Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais
Departamento de Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Viçosa
E-mail : everardo@ufv.br

Fotografias: Grupo de Pesquisa em Manejo da Irrigação - DEA/UFV

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

C794p
2003

Cordeiro, Élio de Almeida

Principais causas de obstruções de gotejadores e possíveis soluções / Élio de Almeida Cordeiro, Gustavo Haddad Souza Vieira, Everardo Chartuni Mantovani. – Viçosa : Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais / UFV, DEA, 2003.

41p. : il. (Engenharia na Agricultura. Boletim técnico; 6)

ISSN 1518-9953

Inclui bibliografia

1. Irrigação por gotejamento. 2. Gotejadores - Entupimento. I. Vieira, Gustavo Haddad Souza. II. Mantovani, Everardo Chartuni. III. Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais. IV. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. V. Título. VI. Série.

CDD 19.ed. 631.7

CDD 20.ed. 631.587

PREFÁCIO

A irrigação é uma realidade nas mais distintas áreas cafeeiras do Brasil, possibilitando produções estáveis, maiores produtividades e rentabilidade e produto de melhor qualidade.

A pesquisa em cafeicultura irrigada no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa vem-se concentrando em temas e problemas que afligem os produtores, tendo um amplo campo de atuação envolvendo distintas regiões produtoras de Minas Gerais, Espírito Santo e Bahia.

O emprego da irrigação por gotejamento nessa cultura é crescente em razão de sua grande adaptabilidade ao sistema de produção, tanto em áreas planas como montanhosas. É importante ressaltar que o uso da irrigação localizada para atingir as vantagens que proporciona, seja por gotejamento, seja por microaspersão, exige uma condução cuidadosa por parte do irrigante, seguindo todas as orientações técnicas referentes ao método, pois trata-se de um processo de aplicação de água muito sensível aos erros de condução.

Um dos principais problemas associados à irrigação por gotejamento é o entupimento dos emissores. Apesar dos grandes avanços na área de filtragem, empecilhos relacionados com águas ferruginosas e outras precipitações químicas, além de problemas biológicos e de manejo, fazem com que a perda de uniformidade na distribuição de água causada pelo entupimento de emissores continue a ser o seu principal obstáculo.

Neste boletim, procuramos trazer uma contribuição à cafeicultura irrigada, discutindo os principais problemas de entupimento de sistemas localizados e apontando as possíveis soluções. Sua publicação só foi possível graças ao Consócio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, que tem financiado os principais trabalhos de pesquisa realizada pelo Grupo de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada da UFV. Esperamos que seu conteúdo possa ser útil aos interessados e agradecemos sugestões que possam contribuir para enriquecer esta publicação.

Everardo Chartuni Montovani
Professor do DEA-UFV

ÍNDICE

1. Apresentação.....	1
2. Introdução.....	2
3. Elementos que provocam obstruções dos emissores.....	4
3. 1. Problemas Físicos.....	5
3. 1. 1. Medidas Preventivas.....	5
3. 2. Problemas Químicos.....	8
3. 2. 1. Medidas Preventivas.....	11
3. 2. 1. a. Carbonato de Cálcio.....	11
3. 2. 1. b. Ferro, Manganês e Enxofre.....	14
3. 2. 2. Recuperação dos Emissores.....	23
3. 2. 2. a. Carbonato de Cálcio.....	23
3. 2. 2. b. Ferro, Manganês e Enxofre.....	24
3. 3. Problemas Biológicos.....	24
3. 3. 1. Medidas Preventivas.....	28
3. 3. 2. Recuperação dos Emissores.....	32
3. 3. 2. 1. Metodologia para Aplicação dos Produtos Químicos....	33

1. APRESENTAÇÃO

A agricultura irrigada compreende atualmente 17% de todas as terras cultivadas, responde por cerca de 36% do alimento produzido no mundo, sendo um componente essencial na estratégia de crescimento da produção mundial de alimentos (Ongley, 1996). Segundo Paz et al. (2000), a agricultura irrigada consome 70% da água utilizada pelo homem, sendo, notadamente, uma das atividades que mais utilizam este recurso. Esta demanda continua a crescer, o que evidencia a necessidade de os irrigantes, principais usuários, gerenciarem este recurso com a maior eficiência possível, pois as reservas de água utilizável estão cada vez mais escassas.

A quantidade e a qualidade da água são fatores limitantes à prática da irrigação. Sistemas de irrigação que distribuem água por toda a superfície podem tornar-se inviáveis, em virtude da grande quantidade de água utilizada por unidade de área. Neste contexto, a irrigação localizada, principalmente por gotejamento, pode ser uma alternativa por ser um sistema em que a água é aplicada somente na área explorada pelo sistema radicular da cultura, portanto, necessitando, de menor quantidade de água por área cultivada.

No Brasil, a irrigação localizada começou a ser utilizada no final da década de 70, ocupando, em 1999, uma área estimada de 212 mil hectares, ou seja, 8% do total da área irrigada, (Chistofidis, 2001). Este método, quando manejado adequadamente, proporciona muitas vantagens sobre os outros métodos de irrigação, tais como maior uniformidade de distribuição e melhor eficiência no uso da água, em razão da redução nas perdas por percolação e escoamento superficial, dentre outros.

Se por um lado, este sistema pode amenizar o problema de escassez de água, por outro, em função do pequeno diâmetro dos orifícios dos gotejadores, a

qualidade da água é um fator essencial, uma vez que, partículas em suspensão podem provocar obstruções, diminuindo a uniformidade de aplicação e, conseqüentemente, a eficiência do sistema.

2. INTRODUÇÃO

A obstrução de emissores é um dos maiores problemas da irrigação localizada, com maior ocorrência na irrigação por gotejamento, em que os diâmetros dos emissores e a velocidade da água são menores quando comparados com os da microaspersão.

As obstruções provocam grandes variações de vazão nos gotejadores, normalmente com redução desta, entretanto alguns modelos apresentam a característica de aumentá-la no início do processo de entupimento. Não afetam igualmente todos os emissores de uma instalação, introduzindo um novo fator de variação não previsto, que se somam às originadas pela variação de fabricação e dimensionamento hidráulico. Como conseqüência, ocorre redução na uniformidade de distribuição de água, e também de fertilizantes, no caso de uso da fertirrigação.

A uniformidade de aplicação de água depende da variação da vazão ao longo da linha lateral, sendo afetada, principalmente, pelo projeto hidráulico do sistema de irrigação, pela variação de fabricação, pela temperatura da água e pela obstrução parcial ou total do emissor.

Aplicando-se a lâmina recomendada para um sistema de irrigação com baixa uniformidade, algumas plantas não receberão o volume de água suficiente para seu pleno desenvolvimento, sendo necessário aumentar o volume aplicado, e isso fará com que as demais recebam excesso de água, que se perderá por percolação profunda (Capra e Scicolone, 1998).

A avaliação periódica do sistema constitui uma boa prática para verificação da uniformidade de distribuição da água pelos emissores, pois possibilita identificar obstruções ou o mau funcionamento dos emissores devido à pressão de serviço inadequada. Recomenda-se verificar, periodicamente, o funcionamento dos filtros e fazer análise da água de irrigação, visto que sua qualidade muda ao longo do ano.

As obstruções dos emissores podem ser provocadas por agentes físicos, químicos e biológicos (Tabela 1). A determinação da causa dessas obstruções pode ser complexa pelo fato de os vários agentes na água poderem-se interagir, agravando o problema, sobretudo se for considerada a natureza dinâmica dos parâmetros de qualidade de muitas águas (Ravina et al., 1992).

Tabela 1- Principais elementos físicos, químicos e biológicos que provocam obstruções nos sistemas de irrigação localizada

Físicos (Sólidos em Suspensão)	Químicos (Precipitação)	Biológicos (Bactérias e Algas)
1. Partículas inorgânicas	1. Carbonato de Ca e Mg	1. Filamentos
a. Areia	2. Sulfato de cálcio	2. Lodo
b. Silte	3. Metais pesados:	3. Depósitos microbiológicos
c. Argila	a. Óxidos	a. Ferro
d. Plásticos	b. Hidróxidos	b. Enxofre
2. Partículas orgânicas	c. Carbonatos	c. Manganês
	d. Silicatos	4. Organismos aquáticos
	e. Sulfetos	
	4. Óleos e lubrificantes	
	5. Fertilizantes:	

Fonte: Ayers e Westcot (1985)

Segundo Pizarro (1990), não há um método para se avaliar, com segurança, o risco de obstruções ocasionadas pelo uso de determinada fonte de água de irrigação, isso porque alguns fatores que interferem nesse processo são variáveis, a temperatura, que afeta a formação de precipitados e o

desenvolvimento de microrganismos, enquanto outros dependem de produtos adicionados, principalmente fertilizantes.

É interessante dispor de alguma orientação quantitativa. Bucks et al. (1979) propuseram uma classificação da qualidade da água para determinar o risco de entupimento dos emissores, apresentada na Tabela 2. Para as condições de qualidade de água que indicarem grau de restrições de ligeira a severa, Ayers e Westcot (1985) recomendam submeter a água a um programa de ensaios para determinar as possíveis soluções e seu custo .

Tabela 2 - Classificação da qualidade da água relacionada com seu potencial de entupimento em gotejadores

Problemas		Unidades	Grau de restrição de uso		
			Nenhuma	Ligeira a moderada	Severa
Físico	Sólidos em suspensão	mg L ⁻¹	< 50	50 -100	> 100
	pH		< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0
	Sólidos solúveis	mg L ⁻¹	< 500	500 – 2.000	> 2.000
Químico	Manganês	mg L ⁻¹	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
	Ferro	mg L ⁻¹	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
	Ácido sulfídrico	mg L ⁻¹	< 0,5	0,5 – 2,0	> 2,0
Biológico	Populações bacterianas	Nº máx m L ⁻¹	< 10.000	10.000–50.000	> 50.000

Fonte: Nakayama e Bucks (1986).

3. ELEMENTOS QUE PROVOCAM OBSTRUÇÕES DOS EMISSORES

Como a obstrução dos emissores está diretamente relacionada com a qualidade da água de irrigação, sólidos em suspensão, composição química e atividade microbiológica ditam o tipo de tratamento de água necessário para prevenção das obstruções (Nakayama e Bucks, 1986).

3.1. Problemas Físicos

Qualquer material presente na água que abastece o sistema de irrigação e obstrua uma parte do sistema é considerado um agente físico de entupimento. Esses materiais podem obstruir o sistema simplesmente por serem de um tamanho maior que o conduto ou pequenas partículas que se sedimentam dentro do sistema, reduzindo a seção do tubo.

Segundo Zazueta (1992) esses agentes podem ser de origem inorgânica ou orgânica. Os materiais inorgânicos são geralmente areia, silte e argila, ou resíduos de plásticos que não foram retirados durante a instalação do sistema. Os orgânicos incluem fragmentos de plantas, resíduos de animais, moluscos ou outros organismos. Segundo Ayers e Westcot (1985), essa é a causa mais comum de obstruções em sistemas de irrigação localizada, ocorrendo mais frequentemente em águas superficiais. No entanto, as partículas de areia e silte também podem ser bombeadas de águas subterrâneas para o interior do sistema de irrigação, causando obstruções físicas.

Gilbert et al. (1981), estudando as causas de entupimentos em sistemas de irrigação por gotejamento, verificaram que 55% destes eram de origem física, dos quais 26% foram provocados por partículas de plásticos deixadas no próprio sistema durante a fase de instalação, além de 12% provocados pela interação físico-químico-biológica.

3.1.1. Medidas preventivas

As obstruções causadas por agentes físicos, partículas mais grossas, podem ser controladas por filtração apropriada, periódica lavagem da linha lateral e

cuidados na instalação do sistema para evitar que resíduos de plásticos e outros agentes físicos fiquem dentro das tubulações.

Pequenas partículas podem atravessar os filtros e, como são suficientemente leves, são transportadas com facilidade pela água quando a velocidade é alta. Contudo, a velocidade decresce ao longo da linha lateral, permitindo a sedimentação dessas partículas no seu final (Figura 1), provocando entupimentos. A instalação de válvulas automáticas ou as aberturas manuais periódicas no final de linha ajudam a remover essas partículas. Segundo Smajstrla e Boman (1999), a frequência de lavagem dependerá da qualidade da água de irrigação; em alguns casos, há necessidade de lavagem das linhas após cada irrigação. Vermeiren e Jobling (1980) recomendam a abertura das extremidades das tubulações pelo menos uma vez por mês. A velocidade mínima recomendada é de 30 cm s^{-1} (ASAE, 2000), para permitir o deslocamento e transporte das partículas.



Figura 1 – Corte transversal mostrando sedimentação no final de uma linha lateral.

Partículas combinadas com lodo de bactérias podem criar um tipo de obstrução não controlada pela filtragem e nem pela lavagem periódica. Finas partículas de materiais foram coletadas dentro dos emissores por Gilbert e Ford (1986), estando o material cimentado juntamente com o lodo de bactéria dos gêneros *Pseudomonas* e *Enterobacteria*. A massa combinada obstruiu os emissores, embora as partículas individuais fossem suficientemente pequenas para passar através deles. Nesses casos, recomenda-se utilizar produtos químicos.

Um bom sistema de filtragem é componente essencial para um sistema de irrigação por gotejamento. A seleção do tipo, do tamanho e da capacidade do filtro depende da qualidade da água e das características do emissor. A Tabela 3 apresenta uma relação entre o diâmetro do emissor e sua sensibilidade à obstrução. O grau de filtragem recomendado pelo fabricante deve ser seguido, entretanto, quando esta recomendação não está disponível, uma regra prática, segundo Gilbert e Ford (1986), consiste em filtrar partículas que possuem um diâmetro superior ou igual a um décimo da abertura do emissor.

Tabela 3 - Diâmetro do emissor e sensibilidade à obstrução

Diâmetro Mínimo (mm)	Sensibilidade
≤ 0,7	Alta
0,7 – 1,5	Média
> 1,5	Baixa

Fonte: Pizarro (1990).

Quando a carga de sólidos em suspensão é muito alta, dois ou mais tipos de filtros em série podem ser necessários. Como regra geral, as unidades de filtragem devem ser projetadas com, pelo menos, 20% de capacidade extra. A capacidade da bomba deve proporcionar alguma reserva na pressão de

operação, para efetuar retrolavagem dos filtros e lavagem das linhas (Gilbert e Ford, 1986).

Os filtros de areia são considerados mais efetivos do que os de tela ou disco, para águas ricas em algas. Contudo, a camada filtrante é um ambiente extremamente favorável à atividade microbiológica, particularmente quando nutrientes e matéria orgânica estão disponíveis. As bactérias podem causar cimentação da areia, formando caminhos preferenciais para a água, tornando a retrolavagem ineficiente (Ravina et al., 1992).

3.2. Problemas Químicos

As precipitações químicas ocorrem devido a mudanças no pH, na temperatura, na concentração de oxigênio dissolvido e na concentração relativa de outras substâncias na solução (Pitts et al., 1990), causando obstruções que são formadas gradualmente e, portanto, mais difíceis de detectar (Ayers e Westcot, 1985).

Substâncias químicas dissolvidas na água, como carbonato e sulfato de cálcio em altas concentrações, podem precipitar-se e eventualmente formar incrustações (Figura 2), restringindo o movimento da água, entupindo os emissores. Situação similar pode ocorrer com hidróxidos ou sulfetos de ferro e manganês (Bucks et al., 1979).

Outro problema que pode ocorrer em água subsuperficial é a oxidação do sulfeto de hidrogênio para elemento enxofre, predominante pela ação das bactérias *Thiothrix niuea* e *Beggiatoa* sp., formando depósitos do elemento com filamentos de bactérias de coloração amarela para branca. O sulfeto de hidrogênio pode também reagir com o ferro ferroso (Fe^{2+}), formando um precipitado preto gelatinoso (Ford, 1993).



Figura 2 – Incrustações provocadas pela precipitação de cálcio.

Os precipitados de cálcio e ferro são potenciais problemas na maioria das águas de poços. Uma análise pode indicar se a concentração de bicarbonato ou ferro é suficientemente alta para causar precipitação. O ferro é solúvel em estado reduzido, porém, ao oxidar-se, precipita-se e pode obstruir os emissores. Esse processo de oxidação pode ocorrer pela ação de bactérias e pelo contato com o ar ou com oxidantes contidos na água, em ambientes aeróbico e anaeróbico (Keller e Bliesner, 1990).

Segundo Michalakos et al. (1997), nas águas superficiais que contêm ferro, este é geralmente encontrado na forma de precipitado (Fe^{3+}), enquanto nas camadas mais profundas de reservatórios com carência de oxigênio pode ser encontrado no estado ferroso (Fe^{2+}), dissolvido.

Nas águas provenientes de lençóis freáticos, com ferro, este se encontra na forma ferrosa (Fe^{2+}) e, quando bombeado para a superfície, entra em contato com o oxigênio atmosférico, oxidando-se e produzindo um precipitado castanho-avermelhado (Vermeiren e Jobling, 1980).

Bucks et al. (1979) estabeleceram que, para ser utilizada sem restrição na irrigação, a água deve apresentar uma concentração de ferro menor que $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, pois água com teor desse elemento maior que $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, possui severas restrições, por apresentar alto risco de entupimento de gotejadores. No entanto, Ayers e Westcot (1985) afirmaram que, quando os custos dos filtros são incluídos, o valor máximo prático é de $2,0 \text{ mg L}^{-1}$.

A taxa de oxidação do ferro por aeração aumenta com o pH, e 90% da conversão ocorre entre 10 e 20 minutos, quando o pH é igual a 7. A oxidação do ferro é, substancialmente, menor em pH igual a 6, e sua forma reduzida pode persistir, por algum tempo, em águas aeradas (Sundstromand e Klei, citados por Michalakos et al.,1997).

Hernandes e Petinari (1998), em trabalho desenvolvido no município de Junqueirópolis-SP, com o objetivo de estudar os efeitos da precipitação de ferro em sistemas de irrigação, utilizando água proveniente de córrego com pH igual a 5,9 e teor de ferro total de $0,77 \text{ mg L}^{-1}$, verificaram que 58,4% da área interna dos tubos de PVC-DN 50 mm estava obstruída após 25 meses de uso. Vale salientar que o sistema estava equipado com filtro de disco de 150 mesh. Nesse trabalho, os autores concluíram que o uso de água para irrigação com teor de ferro acima de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ merece atenção especial por parte dos projetistas porque, freqüentemente, altos níveis de ferro estão associados a altos teores de sólidos em suspensão, podendo obstruir tubulações em pouco tempo e em grau extremo, inutilizando o sistema de irrigação.

Costa (2000), trabalhando com gotejadores de cinco diferentes fabricantes, abastecidos com água contendo teor de ferro de $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$, observou, após 200

horas de funcionamento, redução de vazão variando de 34 a 87%, o que confirma a necessidade de um pré-tratamento para utilização de água contendo altos teores de ferro.

3.2.1. Medidas preventivas

a. Carbonato de cálcio

É possível prevenir a formação de precipitados pelo controle do pH da solução. Antes, contudo, a água deve ser analisada para saber se pode ocorrer precipitação de carbonato. O índice de saturação de Langelier (LSI), que pode ser calculado pela Equação 1, é um método sistemático com que se determina a tendência para a formação de CaCO_3 . Esse índice se define pela diferença entre o pH da água medido, pH_m , e o pH teórico que a água alcançaria em equilíbrio com o CaCO_3 , pH_c :

$$\text{LSI} = \text{pH}_m - \text{pH}_c \quad (1)$$

em que

LSI = Índice de Saturação de Langelier;

pH_m = pH medido (obtem-se diretamente das análises de laboratório); e

$\text{pH}_c = (\text{pK}_d - \text{pK}_s) + \text{pCa} + \text{p(Alk)}$.

Na Tabela 4, mostra-se como calcular o pH_c . Se $\text{pH}_m - \text{pH}_c = 0$, os constituintes estão em equilíbrio; se $\text{pH}_m - \text{pH}_c < 0$, precipitação não deve ocorrer; e se $\text{pH}_m - \text{pH}_c > 0$, a precipitação de CaCO_3 é muito provável.

Tabela 4 - Valores de (pK_d-pK_s), pCa e p(Alk) em relação às concentrações de [Ca+Mg+Na], [Ca] e [CO₃+HCO₃], respectivamente

Concentração (meq/L)	(pK _d -pK _s)	pCa	p(Alk)
0,05	2,0	4,6	4,3
0,10	2,0	4,3	4,0
0,15	2,0	4,1	3,8
0,20	2,0	4,0	3,7
0,25	2,0	3,9	3,6
0,30	2,0	3,8	3,5
0,40	2,0	3,7	3,4
0,50	2,1	3,6	3,3
0,75	2,1	3,4	3,1
1,00	2,1	3,3	3,0
1,25	2,1	3,2	2,9
1,50	2,1	3,1	2,8
2,00	2,2	3,0	2,7
2,50	2,2	2,9	2,6
3,00	2,2	2,8	2,5
4,00	2,2	2,7	2,4
5,00	2,2	2,6	2,3
6,00	2,2	2,5	2,2
8,00	2,2	2,4	2,1
10,00	2,3	2,3	2,0
12,50	2,3	2,2	1,9
15,00	2,3	2,1	1,8
20,00	2,4	2,0	1,7
30,00	2,4	1,8	1,5
50,00	2,5	1,6	1,3
80,00	2,5	1,4	1,1

Fonte: Ayers e Westcot (1985)

Exemplo 1

Cálculo do Índice de Saturação Langelier (LSI).

Resultado da análise de água:

pH = 7,6

Ca = 8,5 meq L⁻¹

Mg = 3,5 meq L⁻¹

Na = 2,0 meq L⁻¹

CO₃ = 0 meq L⁻¹

HCO₃ = 1,5 meq L⁻¹

Cálculo:

$[Ca+Mg+Na] = 8,5+3,5+2,0 = 14,00 \text{ meq L}^{-1}$. Com o valor da concentração, primeira coluna da Tabela 4, obtém-se, na segunda coluna, o valor correspondente a $(pK_d-pK_s) = 2,3$.

$[Ca] = 8,5 \text{ meq L}^{-1}$. Com o valor da concentração, primeira coluna da Tabela 4, obtém-se na terceira coluna o valor correspondente a $pCa = 2,4$.

$[CO_3+HCO_3] = 1,5 \text{ meq/L}^{-1}$. Com o valor da concentração, primeira coluna da Tabela 4, obtém-se, na quarta coluna, o valor correspondente a $p(Alk) = 2,8$.

$$pH_c = (pK_d-pK_s) + pCa + p(Alk) = 2,3+2,4+2,8 = 7,5.$$

$$LSI = pH_m - pH_c = 7,6-7,5 = 0,1.$$

Esse resultado evidencia um LSI positivo, indicando provável precipitação de $CaCO_3$ e, como consequência, obstrução dos emissores. Ajustando o pH da solução ou pH_m para 7,0, com a adição de ácido, pode-se forçar o índice de saturação a tornar-se negativo, -0,5, prevenindo a formação de precipitados.

Visto que as constantes de equilíbrio pK_d e pK_s são dependentes da temperatura, o potencial de precipitação também o é. Um aumento na temperatura pode conduzir a um decréscimo na solubilidade do $CaCO_3$; a 25 °C, $(pK_d - pK_s)$ foi igual a 2,00, enquanto a 50 °C, a temperatura que pode ser encontrada nas linhas de irrigação com emissores expostos à luz solar direta, o valor foi de 1,55. Assim, o valor de LSI pode tornar-se mais positivo, sugerindo um maior potencial para a precipitação de carbonato. Em outras situações, um valor de LSI igual a zero ou negativo pode tornar-se positivo devido ao aumento da temperatura. Alguns precipitados podem ser formados devido à temperatura ou outros mecanismos. Os valores apresentados na Tabela 4 são válidos para temperatura de 25 °C. Caso seja necessária uma correção, Lopes et al. (1992) recomendam acrescentar 1% para cada °C acima de 25 °C,

no valor de ($pK_d - pK_s$) encontrado na tabela, e diminuir 1% para cada °C abaixo de 25 °C. Esse procedimento deve ser seguido para temperaturas na faixa de 15 a 40 °C.

O fator Alk é também dependente da temperatura, porém a diferença na mudança da temperatura de 0 a 50 °C é somente 0,02, valor que pode ser ignorado. Uma espontânea mudança no pH pode ocorrer especialmente em água de poço contendo grande quantidade de CO₂ dissolvido, devido à alta pressão hidrostática no aquífero. Um decréscimo nessa pressão, uma vez que a água em contato com a pressão atmosférica libera CO₂, causa aumento no pH e precipitação de CaCO₃, se estiver dissolvido na água subsuperficial. O índice de saturação, embora facilmente aplicável, não pode ser utilizado para determinar a quantidade de ácido necessária para ajustar o pH da água de irrigação a níveis necessários para prevenir precipitação de carbonato. Isso só pode ser realizado com a titulação do ácido para determinada água, adicionando aumento conhecido de um ácido-padrão para a água e medindo o valor de seu pH após a mistura. Cada água tem sua resposta para a aplicação de ácido por causa de sua capacidade-tampão.

b- Ferro, manganês e enxofre

As obstruções dos emissores causadas por precipitados químicos podem ser prevenidas provocando-se a precipitação desses elementos antes de atingir o sistema de filtragem ou com a aplicação de ácido para reduzir o pH da água e mantê-los em solução. Tais elementos são solúveis em estado reduzido e, ao se oxidarem, precipitam. O cloro e os ácidos são os produtos mais utilizados, tanto como medida preventiva quanto para recuperar emissores obstruídos (James, 1988).

O uso de ácidos diminui as obstruções provocadas por precipitados químicos, reduzindo o pH da água, e aumenta a solubilidade destes elementos, mantendo-os em solução; essa prática tem sido recomendada por vários autores. Meyer, citado por Suáres (1993), recomendaram manter o pH em 4,5 para diminuir a quantidade de precipitados. Entretanto, o autor adverte sobre o alto custo do tratamento em virtude da grande quantidade de ácido necessária para águas alcalinas e águas com alto conteúdo de carbonato e bicarbonato, o que pode inviabilizar economicamente o método.

As formas mais freqüentes utilizadas são: ácido clorídrico (HCl), ácido sulfúrico (H₂SO₄), ácido nítrico (HNO₃) e ácido fosfórico (H₃PO₄), porém, pelo perigo no manejo do ácido sulfúrico, utiliza-se mais o clorídrico. O nítrico e o fosfórico proporcionam alguma quantidade de nutrientes, entretanto deve-se verificar o grau de pureza desses ácidos, porque existe no mercado ácido fosfórico que apresenta teor de ferro de até 3.000 mg L⁻¹. O cálculo da dose de ácido a ser aplicada deve ser feito em laboratório a partir de uma amostra da água utilizada no sistema de irrigação, medindo-se a quantidade de ácido necessária para atingir um pH preestabelecido. Esse procedimento deve ser repetido de tempos em tempos, visto que a qualidade da água varia ao longo do ano.

Clark e Smajstrla (1999) recomendaram provocar a oxidação e precipitação desses elementos antes do sistema de filtragem, para evitar que ocorram nas tubulações e nos emissores. A oxidação pode ser obtida por cloração. Bar (1995), utilizando cloro no estado gasoso, filtro de areia e disco para tratamento de água subterrânea contendo 6,0 mg L⁻¹ de ferro, irrigou diariamente, por gotejamento, durante três anos uma área de 16 ha, sem que o sistema apresentasse significativas obstruções.

O uso contínuo de cloro deve ser avaliado quanto ao aspecto econômico. Recomenda-se aplicar 0,64 mg L⁻¹ de cloro para cada 1 mg L⁻¹ de ferro e

1,3 mg L⁻¹ de cloro para cada 1 mg L⁻¹ de manganês. Na presença de manganês, deve-se ter muito cuidado com a aplicação de hipoclorito de sódio, para que a formação de precipitados não ocorra após o sistema de filtragem, porque a oxidação do manganês é muito mais lenta que a do ferro. Nesse caso, o hipoclorito de sódio deve ser injetado a uma distância maior antes do filtro.

Outra forma de obter a oxidação do ferro consiste em arejar a água por meio de saltos, bandejas, sistemas mecânicos em tanques abertos, ou injetando ar na água para induzir à oxidação e precipitação do ferro. Uma vez precipitado, o ferro pode ser separado por filtros. No entanto, ambos os processos devem ser avaliados economicamente (Pizarro, 1990). Aliados à aeração, os tanques de sedimentação, segundo Pizarro (1990), são uma solução simples e econômica para a eliminação desses precipitados, bem como de sólidos em suspensão, como areia, silte e argila. Nakayama e Bucks (1986) salientaram, entretanto, que tal ambiente pode favorecer o desenvolvimento de microrganismos.

Segundo Azevedo Neto et al. (1987), a aeração é recomendável nos casos em que a água contém gás carbônico em excesso, ácido sulfídrico, ferro dissolvido facilmente oxidável e substâncias voláteis aromáticas de origem vegetal acumuladas em grandes represas.

Dentre os vários tipos de aeradores existentes, os tipos tabuleiros (Figura 3) são os mais indicados para adição de oxigênio e oxidação de compostos ferrosos ou manganosos. São construídos de três a nove tabuleiros ou “bandejas”, iguais e superpostos, distanciados de 0,30 a 0,75 m (em altura), através dos quais a água passa. O primeiro tabuleiro (mais alto) serve apenas para distribuir uniformemente a água, sendo construído com perfurações. Os demais tabuleiros são feitos com uma treliça sobre a qual é disposta uma camada de pedras, ou seja, material granular, de preferência seixos de ½ a 6”. Essa camada oferece superfície de contato e concorre para acelerar as reações de oxidação. São dimensionados na base de 540 a 1.630 m³ de água por m² de superfície (em

projeção) por 24 horas, podendo-se conseguir reduções de até 90% do gás carbônico contido na água (Azevedo Neto et al.,1987).



Figura 3 – Aerador tipo tabuleiro e tanque circular de sedimentação.

O tanque de decantação (Figura 4) é uma solução simples e econômica para eliminação de sólidos em suspensão e alguns precipitados químicos, como o ferro, que se formam ao aerar a água, problema mais comum quando esta é de origem subterrânea (Boswell, 1990; Pizarro, 1990). Haman et al. (1989) salientaram que, com esse procedimento, aumenta-se a eficiência do filtro e reduz-se a frequência requerida para sua limpeza.

O tamanho do tanque é função do volume de água a ser tratada, do tamanho dos sedimentos presentes na água e da qualidade desejada na saída. Não é prático remover partículas muito pequenas, menores que 0,002 mm, a não ser que sejam floculadas com o uso de sais de alumínio ou outro coagulante (polieletrólito). Sem floculação química, o tempo de sedimentação dessas

partículas é extremamente longo, e elas são suficientemente pequenas para não criar problemas (Haman et al.,1989).

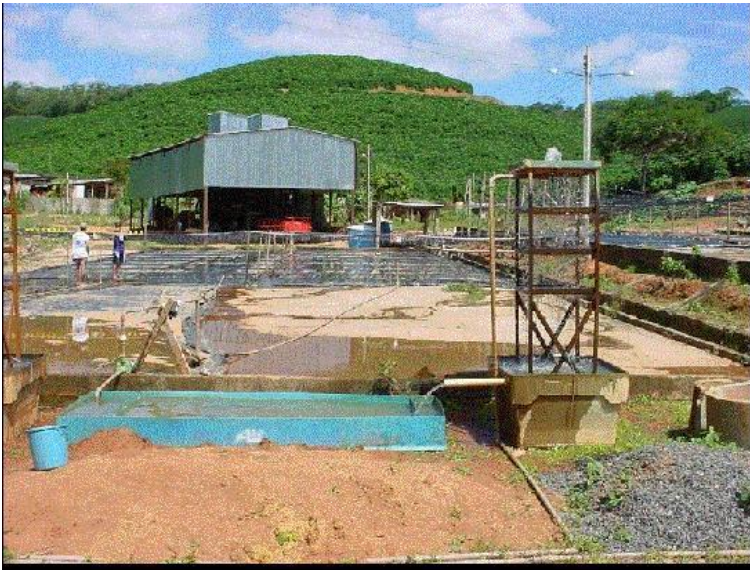


Figura 4 - Aerador e tanque de decantação para uma vazão de $3,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

O princípio de sedimentação é usado para remover partículas em suspensão, que sejam mais pesadas que a água, pela ação da gravidade. Em alguns casos, os materiais que estão dissolvidos na solução oxidam-se, precipitam-se e floculam para formar agregados suficientemente grandes para se sedimentarem em virtude de seu aumento de massa; exemplos desse tipo é a oxidação e a floculação do ferro (Pitts et al., 1990).

O primeiro passo no projeto de um tanque de sedimentação é decidir o tamanho das partículas que devem ser removidas da água de irrigação, para prevenir a obstrução dos emissores. Quando partículas não-floculadas, como areia e grandes partículas de silte, são sedimentadas devido à força da gravidade, o processo é chamado de sedimentação livre. A velocidade de

sedimentação de uma partícula esférica e rígida, em ambiente em repouso, pode ser calculada pela lei de Stokes e depende, sobretudo, do tamanho, da forma e da densidade das partículas. Assumindo que a lei de Stokes é válida para o material em suspensão, a velocidade de sedimentação de uma partícula pode, facilmente, ser determinada (Haman et al., 1989).

Pizarro recomenda dimensionar um tanque para a sedimentação de partículas maiores que 75 micras, equivalente a 200 mesh, tamanho mínimo de partículas a serem sedimentadas em sistemas de irrigação por gotejamento. Com esse valor, considerando uma densidade de partícula de $2,67 \text{ g cm}^{-3}$, obtém-se uma velocidade de sedimentação de $31,94 \text{ cm min}^{-1}$.

Segundo Nakayama e Bucks (1986), a velocidade da água no tanque de sedimentação não pode exceder a valores críticos, para que as partículas não sejam carreadas com a água. Para sedimentação de partículas maiores que 75 micras, essa velocidade não deve exceder a $0,11 \text{ m s}^{-1}$.

Seguindo a metodologia proposta por Pizarro (1990), podem ser calculados o comprimento e a largura do tanque por:

$$k \frac{h}{V_s} < \frac{l}{v} \quad (2)$$

em que

k = fator de correção;

h = altura, m;

l = comprimento, m; e

v = velocidade da água no tanque, m s^{-1} .

Pizarro (1990) recomenda um valor de $k=2$, visto que a lei de Stokes é válida para ambiente em repouso.

Para calcular a velocidade da água em tanque retangular, utiliza-se a Equação 3:

$$v = \frac{Q}{ah} \quad (3)$$

em que

Q = vazão, $m^3 s^{-1}$; e

a = largura do tanque, m.

Substituindo a Equação 3 na 2, obtém-se:

$$la > k \frac{Q}{v_s} \quad (4)$$

Para apresentar a equação anterior de forma que “l” e “a” sejam medidos em metros, Q em $l h^{-1}$ e v_s em $cm min^{-1}$, tem-se:

$$la > k \frac{Q}{600v_s} \quad (5)$$

Apresentando essa expressão para um valor de $k=2$ e $v_s = 31,94 cm min^{-1}$, que é a velocidade de sedimentação para uma partícula com diâmetro equivalente a 75 micra, tem-se:

$$la > 10^{-4} Q \quad (6)$$

A largura “a” do decantador é determinada ao aplicar a norma prática, de modo que ela seja a quinta parte do comprimento,

$$l = 5a \quad (7)$$

Substituindo as Equações 7 e 6, tem-se:

$$a > 4,5 \times 10^{-3} \times \sqrt{Q} \quad (8)$$

Segundo Pizarro (1990), a profundidade estabelece-se entre 0,80 e 1,50 m.

Exemplo 2

Dimensionar um decantador para uma vazão (Q) igual a $41 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ que elimine partículas superiores a 75 micras.

Usando a Equação 8, tem-se:

$$a > 4,5 \times 10^{-3} \times \sqrt{41000}$$
$$a > 0,91 \text{ m}$$

Com isso, adota-se um tanque com largura de 1 metro.

Com a Equação 7, observa-se que o comprimento será de 5 metros e a altura, de 1 metro.

Com a Equação 3, calcula-se a velocidade da água no decantador:

$$\text{Vazão} = 41.000 \text{ L h}^{-1} = 0,011 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}.$$

$$V = \frac{0,011}{1 \times 1} = 0,011 \text{ m s}^{-1}.$$

Para a confirmação de que as partículas maiores que 75 micras atingem o fundo do tanque antes da saída do decantador, utiliza-se a Equação 2. A velocidade de sedimentação (V_s) deve ser convertida de cm min^{-1} para m s^{-1} .

$$2 \frac{1}{0,0053} < \frac{5}{0,011}$$
$$377 < 454$$

Com esse resultado, não se espera o arraste de partículas no tanque. Porém, essa metodologia é baseada na “Lei de Stokes”, que prevê uma situação de repouso no tanque sedimentador. Haman et al. (1989) e Zazueta (1992) recomendaram utilizar um fator de segurança igual a 2, a fim de garantir a sedimentação das partículas em condições de movimento da água. Com isso, tem-se uma área superficial do tanque igual a 10 m^2 , sendo o comprimento igual a 7,5 m e a largura, 1,5 m (Figura 5).

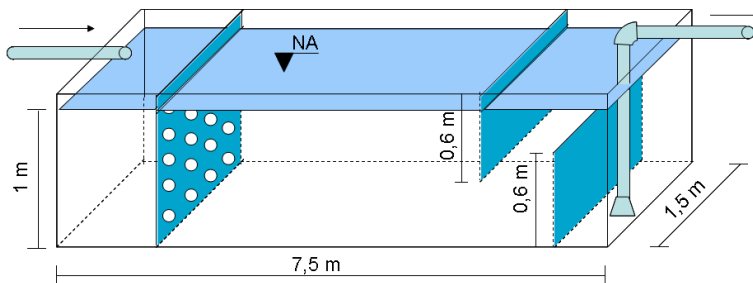


Figura 5 - Croqui esquemático do tanque de decantação.

Como se observa nessa figura, recomenda-se a instalação de uma placa perfurada, no início do tanque, com o objetivo de melhorar a distribuição da água. Para reter as partículas sobrenadantes, coloca-se uma placa na parte

superior do tanque. E, para impedir a sucção das partículas sedimentadas, é conveniente a colocação de uma placa no final no tanque.

3.2.2. Recuperação dos emissores

a. Carbonato de cálcio

Quando as obstruções já ocorreram, a limpeza pode ser feita mediante a aplicação de ácidos. O método mais econômico é injetá-los na rede, porém, quando o processo de obstrução está muito avançado, o método pode não ser eficiente. No caso de gotejadores que possam ser removidos do sistema e, ou, desmontáveis, pode-se imergi-los em solução de ácido. Em qualquer caso, deve-se calcular se essa operação é mais barata que substituir os emissores por novos (Pizarro, 1990).

Pizarro (1990) sugeriu, para limpeza dos sistemas, utilizar ácido como agente de limpeza. Segundo o autor, a injeção de ácido não deve ser feita simultaneamente em toda a instalação, mas, separadamente, por unidades ou subunidades, a fim de controlar melhor a operação. Deve-se adicionar ácido à água em quantidade suficiente para abaixar o pH da mistura até 2. Para isso deve ser feita uma titulação da água em laboratório. A aplicação de água e ácido deve ser feita à menor pressão possível. Quando se comprova, por meio de um papel indicador de pH que a água acidificada sai pelo emissor mais distante, interrompe-se a injeção da solução por uma hora. Após esse procedimento, injeta-se água na instalação, com a maior pressão possível, para efetuar a limpeza. Em seguida, abrem-se os extremos das tubulações principais, os das linhas de derivação e das linhas laterais, de modo que a água remova o material desprendido, evitando, assim, o entupimento dos emissores. Após limpar as

tubulações, mantém-se a aplicação de água por 15 minutos para se proceder à limpeza dos emissores.

Boswell (1990) recomendou aplicar ácido clorídrico em uma proporção para manter o pH em 4 durante 30 a 60 minutos. Salientou, entretanto, que a aplicação de ácido deve ser feita antes que a obstrução nos emissores seja total, porque, nesse caso, não ocorrerá o contato do ácido com todas as partes afetadas.

b. Ferro, manganês e enxofre.

Emissores com obstruções parciais provocadas por esses elementos podem ser recuperados também com aplicação de ácidos, de forma semelhante à descrita para o tratamento das obstruções provocadas por precipitados de cálcio.

3.3. Problemas Biológicos

As obstruções de origem biológica podem ser causadas por vários organismos presentes na água, principalmente quando a água que abastece o sistema de irrigação é de origem superficial (Figura 6). Pequenos organismos aquáticos, como ovos de caracóis e larvas, podem passar através dos filtros e desenvolver-se, formando grandes colônias no interior das tubulações. Algas, actinomicetos e fungos também estão presentes nas fontes de águas superficiais, sendo seu crescimento favorecido por condições de repouso, iluminação, temperatura e presença de nutrientes, como nitrogênio e fósforo.

Segundo Pizarro (1990), as algas provocam vários tipos de problemas, principalmente nos filtros, onde se acumulam, dificultando a passagem da água,

o que obriga retrolavagens freqüentes. Com exceção de algumas algas filamentosas, esses microorganismos não se desenvolvem no interior dos tubos, porém os resíduos de algas mortas que atravessam os filtros constituem um alimento para as bactérias que podem crescer em ausência de luz.

O crescimento de microorganismos no interior das instalações é um fenômeno muito complexo, resultante da interação deles com outros fatores, como uso de água que contém ferro e H_2S , pH, temperatura da água, transparência dos materiais da tubulação.



Figura 6 - Captação de água superficial em reservatório.

Segundo Ayers e Westcot (1985), um dos problemas mais graves resulta do lodo de enxofre branco, gelatinoso, formado pelas sulfobactérias. Quando a água contém mais de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de enxofre total, bactérias filamentosas como *Beggiatoa* e *Thiothrix* oxidam o H_2S a elemento insolúvel. Essas bactérias tendem a associar-se em cadeias, que podem obstruir a estreita passagem dos

emissores. Uma característica importante dessas bactérias aeróbicas, segundo Pizarro (1990), é que elas necessitam de pouco oxigênio para sobreviver, na ordem de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de oxigênio na água. Evitando a entrada do oxigênio, eliminam-se os precipitados sulfurosos, porém seria necessário o funcionamento contínuo do sistema.

Em ambientes anaeróbicos, vários gêneros de bactérias filamentosas, tais como *Gallionella* sp., *Leptothrix* sp., *Crenothrix* sp., *Clonothrix* sp. e *Sphaerotilus* sp., podem oxidar o ferro dissolvido por diferentes mecanismos (na forma solúvel, ele serve como fonte primária de energia para essas bactérias) (Gouzinis et al., 1998). Tais microorganismos, também conhecidos como ferrobactérias, produzem mucilagens que agravam os problemas de entupimento nos sistemas de irrigação localizada (Figura 7) (Ralph e Stevenson, 1995).



Figura 7 - Formação de mucilagem na entrada dos gotejadores e nas paredes internas das tubulações.

O ferro precipitado pode ser arrastado pela água, saindo pelo emissor, ou ser retido por filamentos de bactérias, contribuindo para formar uma massa gelatinosa de cor avermelhada, que obstrui a passagem da água (Figura 8). As bactérias podem aderir ao plástico ou ao metal, o que impede seu arraste pela água. Outras bactérias não-filamentosas, como *Enterobacter* e *Pseudomonas*, também precipitam o ferro e retêm o precipitado na massa gelatinosa formada

por elas, criando uma mucilagem que pode obstruir os emissores, cimentando pequenas partículas minerais. Comprovou-se que concentrações de ferro de 0,09 mg L⁻¹ são suficientes para produzir depósitos visíveis de hidróxidos férricos (Pizarro, 1990).

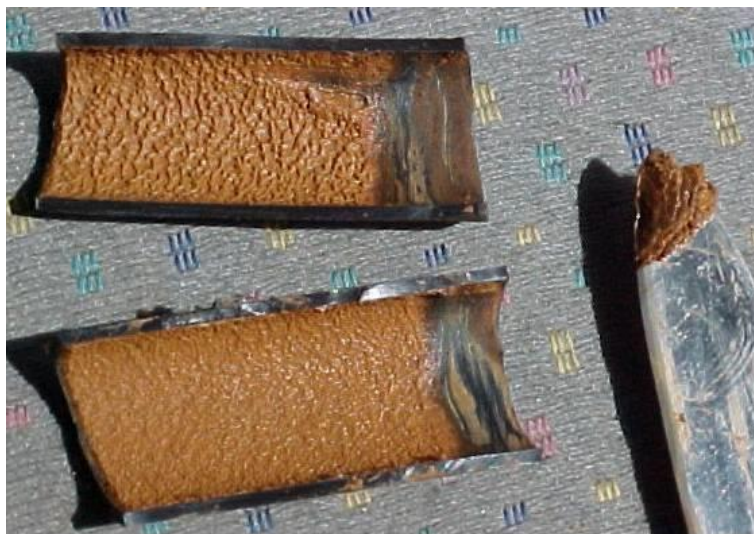


Figura 8 - Mucilagem formada nas paredes internas das mangueiras e detalhe de uma raspagem feita com canivete em um segmento de mangueira.

O pH, a temperatura e o carbono orgânico na água são fatores que influenciam o crescimento das bactérias responsáveis pelas obstruções. Embora a maioria das bactérias tenha um nível ótimo de pH, muitas se desenvolvem em pH entre 3,5 e 8,5, portanto o problema não é resolvido pela simples alteração do pH da água. A temperatura ideal varia de 20 a 30 °C, mas as bactérias continuam a crescer com menos velocidade em temperaturas fora desta faixa (Pizarro, 1990).

3.3.1. Medidas preventivas

Quando a água de irrigação é de origem superficial, é muito freqüente que ela se armazene em algum ponto da instalação, em depósitos ao ar livre, constituindo um “habitat”, propício para as algas desenvolver-se, em razão do repouso, da iluminação, da temperatura, etc. Uma primeira recomendação para que as algas não disponham da luz que necessita é cobrir os depósitos de água. Essa solução é cara e, às vezes, totalmente inviável. Também se minimiza o problema colocando a tomada de água, quando é possível, a uma profundidade de dois metros, já que as algas se desenvolvem principalmente próximo à superfície, onde a iluminação é maior. Um tratamento eficaz é a aplicação de sulfato de cobre em doses compreendidas entre 0,05 e 2 mg L⁻¹ na água a tratar. O sulfato de cobre pode ser colocado em sacos com flutuadores ancorados no fundo do depósito. Porém, isso não deve ser feito quando existe tubulação de alumínio, ou em depósitos com alguma espécie de peixes que consomem grandes quantidades de microrganismos. O sulfato de cobre pode matar estes peixes sendo preferível aplicá-lo em doses pequenas (Pizarro, 1990).

De acordo com Vermeiren e Jobling (1997), a cloração é um método eficaz para o combate às algas. Esses autores recomendaram uma aplicação contínua de 1 mg L⁻¹ de cloro livre ou tratamento intermitente com 10 a 20 mg L⁻¹ durante meia hora, embora o tratamento seja de alto o custo e perigo.

A aplicação de cloro é o método mais comum para controlar populações microbiológicas (Pitts et al., 1990). Ayers e Westcot (1985) observaram, entretanto, que se devem ter cuidados na manipulação do produto. A eficiência do tratamento está diretamente relacionada ao pH da água: para valores altos de pH, maiores quantidades de cloro são requeridas. Em alguns casos, esclarecem esses autores, a injeção contínua de cloro na água dos sistemas de irrigação localizada, mesmo que eficiente, pode não ser economicamente justificável.

A cloração pode ser contínua ou intermitente, porém deve-se selecionar um método adequado à necessidade de cada sistema. A concentração de 1 mg L⁻¹ de cloro ativo é utilizada em estações de tratamento de água para consumo humano. Não tem sido relatado nenhum dano às plantas irrigadas com água nessa concentração, pois o cloro ativo pode ser, rapidamente, neutralizado no solo (Nakayama e Bucks, 1991). Na Tabela 5 são apresentadas as tolerâncias de algumas culturas ao cloro na água de irrigação e no solo.

Tabela 5 - Tolerância de algumas culturas à concentração de cloro na água de irrigação ou no solo

Culturas	Concentração de Cloro, em mg L ⁻¹	
	Na zona radicular	Na água de irrigação
Abacate	213,0	142,0
Pomelo	887,5	585,8
Tangerina	887,5	585,8
Limão	532,5	355,0
Ponkan	532,5	355,0
Laranja	355,0	248,5
Uva	355,0	248,5
Ameixa	355,0	248,5
Morango	177,5	106,5

Fonte: Ayers e Westcot (1985).

Segundo Malavolta (1986), pode haver toxidez provocada pelo cloro, resultante do uso de doses excessivas de cloreto de potássio em solos com lençol freático muito profundo, ou em períodos de seca. Ainda assim, o cafeeiro parece muito tolerante; suas folhas podem ter até 5.000 mg L⁻¹ de cloro sem que os sintomas se manifestem (secamento das pontas e margens das folhas mais velhas, em primeiro lugar). Em trabalho publicado em 1969, Catani e colaboradores, analisando folhas de plantas que receberam 664 g de KCl por

cova, encontraram até 5.649 mg L⁻¹ de cloro nas folhas, não constatando anomalias externas.

O cloro está disponível na forma de gás, sólido ou líquido. O gás cloro (Cl₂) é comumente utilizado em tratamento de água para consumo humano. Ele reage com a água, formando ácido hipocloroso (HOCl), hidrogênio (H⁺) e cloro (Cl⁻), uma reação que abaixa o pH da água de irrigação (Tabela 6 e Equação 9). O gás cloro deve ser usado somente em ambientes aerados e por pessoas experientes. A forma granular de cloro, o hipoclorito de cálcio (CaOCl₂), é usada em tratamentos de piscinas, porque, além de ser de baixo custo, é de fácil uso e estocagem, geralmente tendo cerca de 65% de cloro disponível. No entanto, ele pode reagir com outros elementos contidos na água e formar precipitados, que poderão entupir os emissores em sistema de microirrigação, de modo que a forma líquida (hipoclorito de sódio, NaOCl) é a mais comumente usada. A aplicação deste na água de irrigação resulta em formação de ácido hipocloroso (HOCl) e íons de hidroxila (OH⁻), uma reação que eleva o pH da água (Tabela 6 e Equação 11).

Tabela 6 - Formas básicas e reações do cloro e seus sais

$Cl_2 + H_2O = H^+ + Cl^- + HOCl$	(9)
$HOCl = H^+ + OCl^-$	(10)
$NaOCl + H_2O = Na^+ + OH^- + HOCl$	(11)
$Ca(OCl)_2 + 2H_2O = Ca^{2+} + OH^- + 2HOCl$	(12)
$HOCl + 2Fe^{2+} + H^+ = 2Fe^{3+} + Cl^- + H_2O$	(13)
$HOCl + H_2S = S^0 \downarrow + H_2O + H^+ + Cl^-$	(14)
$HOCl + NH_3 = NH_2Cl + H_2O$	(15)
$HOCl + NH_2Cl = NHCl_2 + H_2O$	(16)
$HOCl + NHCl_2 = NCl_3 + H_2O$	(17)
$Cl_2 + 2Fe(HCO_3)_2 + Ca(HCO_3)_2 = 2Fe(OH)_3 + CaCl_2 + 6CO_2$	(18)
$Cl_2 + H_2S = S^0 \downarrow + 2H^+ + 2Cl^-$	(19)

Fonte: Nakayama e Bucks (1986).

Segundo Clark e Smajstrla (1999), o ácido hipocloroso é o agente efetivo que controla o crescimento de bactérias. A quantidade de HOCl presente na solução depende do pH. Em pH igual a 8, somente cerca de 22% do cloro injetado estará na forma ativa HOCl; em pH igual a 7, cerca de 73%; e em pH igual a 6, 96%. Portanto, se o pH da água de irrigação for alto, deve-se aplicar ácido antes do cloro para baixá-lo. Recomenda-se manter o pH da água entre 5,5 e 6,0. Para pH igual ou inferior a 5, a forma predominante será o cloro na forma gasosa, que é volátil e se perde. O ácido hipocloroso reage com o ferro dissolvido, Fe^{2+} , oxidando-o para sua forma de precipitado insolúvel (Fe^{3+}), e com ácido sulfídrico (H_2S), formando enxofre elementar (Tabela 6 e Equações 13 e 14, respectivamente). Esses ácidos poderão precipitar-se nas linhas do sistema de irrigação, provocando entupimento dos emissores. Podem também reagir com amônia (NH_3) e grupos amina (NH_2), que são partes integrantes da matéria orgânica (Tabela 6 e Equações 15 e 16, respectivamente). O cloro em excesso, não consumido por essas reações, é denominado de cloro livre.

A concentração final de cloro livre residual de 1 mg L^{-1} deve ser acrescida de $0,64 \text{ mg L}^{-1}$ de cloro, para cada $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro na água. A quantidade do produto a ser adicionado, na água pode ser calculada pela Equação 20 quando o ferro for o único elemento a ser oxidado:

$$V = \frac{Cd.Q}{12.Cc} \quad (20)$$

em que

V = volume de hipoclorito a ser aplicado, por hora, $L \text{ h}^{-1}$;

Cd = concentração desejada de cloro na água, $mg \text{ L}^{-1}$;

Q = vazão do sistema de irrigação, $m^3 \text{ h}^{-1}$; e

Cc = concentração de cloro no produto comercial, %.

Em águas superficiais, são encontradas outras substâncias que possuem demanda por cloro. Nesses casos, recomenda-se medir o cloro livre na saída do gotejador mais afastado e, por tentativa, ajustar a dosagem para obter uma concentração de cloro livre entre 0,5 e 1,0 mg L⁻¹. Quando a aplicação de ácido for necessária para baixar o pH da água, este não deve ser injetado no mesmo ponto da tubulação em que está sendo injetado o cloro.

Cordeiro (2002) aplicou continuamente na concentração de 0,5 a 1,0 mg L⁻¹ de cloro livre em um sistema de gotejamento montado com cinco diferentes modelos de gotejadores, abastecido com água com teor de ferro em torno de 3,0 mg L⁻¹. Associado à cloração, utilizaram-se aeração e decantação. Após 300 horas de funcionamento, não foi observada redução significativa de vazão em nenhum modelo testado.

3.3.2. Recuperação dos emissores

A recuperação de emissores entupidos por microrganismos é difícil. Quando os gotejadores são desmontáveis, podem ser desobstruídos manualmente, porém o custo dessa operação pode ser maior que o do sistema de irrigação. Tem-se aplicado supercloração de 100 mg L⁻¹ a 1.000 mg L⁻¹, porém tal tratamento pode causar prejuízo à cultura e ao equipamento. Com gotejadores parcialmente entupidos, Pizarro (1990) recomenda a aplicação de 250 a 500 mg L⁻¹ de cloro durante 12 horas, seguida de uma lavagem com água com alta pressão.

Nakayama et al. (1977) recuperaram emissores obstruídos por lodo biológico que apresentavam, antes do tratamento, uma vazão média inferior a 50% da vazão nominal, com aplicação de 100 mg L⁻¹ de cloro livre por 24 horas

e adição de ácido sulfúrico para baixar o pH para 2. Após o tratamento, a vazão média ficou entre 90 e 95% da vazão nominal.

Outro tratamento que tem apresentado bons resultados na recuperação da vazão nominal do gotejador é a aplicação, por uma hora, de 100 a 150 mg L⁻¹ de cloro livre associado a ácido para manter o pH da solução entre 5 e 6. Para esse tratamento, entretanto, são necessárias, em geral, de três a cinco aplicações. A fonte de cloro mais utilizada é o hipoclorito de sódio, e a dosagem pode ser obtida pela Equação 20. Deve-se aumentar 10 a 20% na concentração de cloro livre desejada, porque parte do cloro reage com substâncias contidas na água de irrigação.

Vieira (2002) obteve melhora acentuada na uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por gotejamento que apresentava sérios problemas de obstrução provocados por ferrobactérias, com a aplicação de 100 mg L⁻¹ de cloro livre, utilizando hipoclorito de sódio e ácido fosfórico.

3.3.2.1. Metodologia para aplicação de produtos químicos

O primeiro passo é escolher a concentração de hipoclorito de sódio a ser aplicada. Em seguida, calcula-se a vazão da parcela, multiplicando-se a vazão média do gotejador pelo número de gotejadores existentes na parcela a ser tratada. Multiplicando a vazão da parcela pela concentração desejada, obtém-se a quantidade total do produto comercial a ser aplicada.

A concentração de ácido deve ser obtida por titulometria da solução clorada, ou seja, adiciona-se hipoclorito de sódio na concentração desejada em um litro de água (água de irrigação). Em seguida, adiciona-se o ácido até que o pH da água atinja o valor desejado. Multiplicando-se esse valor pela vazão da parcela, obtém-se o volume total de ácido a ser aplicado. Os produtos devem ser

injetados na tubulação em pontos diferentes do sistema, mas antes é necessário determinar a taxa de injeção. Para isso, toma-se um recipiente de volume conhecido e cronometra-se o tempo gasto para sua injeção, obtendo-se a taxa de injeção em $L h^{-1}$. Vale ressaltar que essa determinação deve ser feita para os dois injetores, simultaneamente. Na Figura 9, é apresentado um esquema de montagem do sistema de injeção.

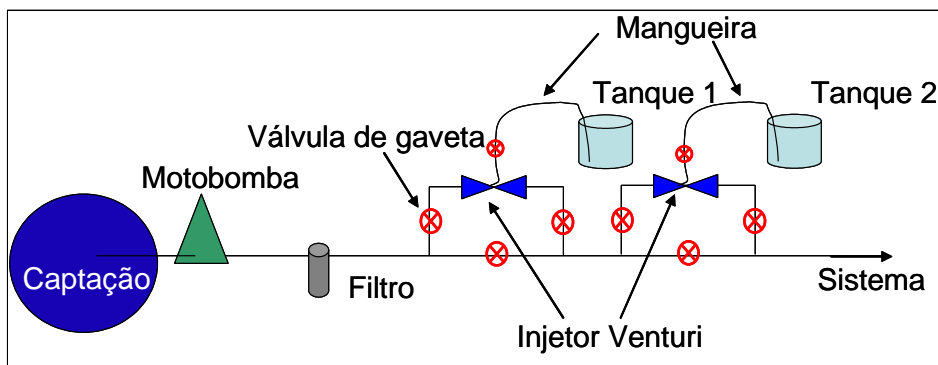


Figura 9 - Sistema de injeção dos produtos químicos.

Para o preparo da calda, adiciona-se o volume de produto calculado em um recipiente e completa-se com água até atingir o volume de calda, que corresponde ao valor da taxa de injeção por uma hora, aproximadamente. O tempo de injeção não deve ser menor do que 45 minutos.

Terminada a aplicação, desliga-se o sistema e deixa-o em repouso por, no mínimo, 12 horas. Em seguida, deve-se proceder à lavagem das tubulações, abrindo, primeiramente, as linhas de maior diâmetro. Após este tempo, deve-se realizar uma avaliação do sistema para verificar a nova uniformidade. Se for necessário, realiza-se outra aplicação.

Exemplo 3

Em um sistema de irrigação por gotejamento, instalado em uma área de 20 ha, subdividido em cinco setores iguais, com espaçamento de 0,75 m entre

emissores e 3 m entre linhas laterais, totalizando 4.444 gotejadores por ha, com vazão média do gotejador de 2,3 L h⁻¹, foi observado entupimento provocado por precipitação química de ferro associada à mucilagem de ferrobactéria. Para a recuperação, recomenda-se uma concentração de 100 mg L⁻¹ de cloro. Sabe-se que o pH da água deve ser ajustado para 5. Utilizando ácido fosfórico, foi feita uma titulação em laboratório, e concluiu-se que é necessária uma concentração de 0,15 m L de ácido por litro de água a ser tratada, contendo hipoclorito de sódio.

Solução:

1) Determinação da vazão do setor:

Nº de gotejadores por ha = 4.444

Vazão média dos gotejadores = 2,3 L h⁻¹

Tamanho do setor = 4ha

Vazão do setor (Q) = 4.444 x 2,3 x 4 = 41 L h⁻¹ aproximadamente.

2) Cálculo da quantidade de hipoclorito necessária para uma hora de aplicação.

Concentração de cloro desejada (Cd) = 100 mg L⁻¹.

Concentração de cloro no produto comercial (Cc) (hipoclorito de sódio) = 12%.

Vazão do setor = 41 m³ h⁻¹.

Aplicando esses valores na Equação 20, tem-se:

$$V = \frac{Cd.Q}{12.Cc}$$

$$V = \frac{100 \times 41}{12 \times 12} = 28,47 \text{ Lh}^{-1}$$

Com isso, têm-se 28,47 litros de hipoclorito de sódio, para uma hora de aplicação.

3) Cálculo do volume de ácido fosfórico (85%).

$$V_a = C_a \cdot Q$$

$$V_a = 0,15 \times 41 = 6,15$$

Com isso, tem-se 6,15 litros de ácido fosfórico para uma hora de aplicação.

4) Determinação da taxa de injeção.

Supõe-se que a capacidade dos tanques seja de 500 litros cada um. Após a estabilização do sistema, adicionaram-se 100 litros de água em cada um dos tanques, cronometrando o tempo gasto pelos injetores separadamente. Para o injetor 1, foram gastos 20 minutos e, para o injetor 2, 25 minutos. As taxas de injeção são, portanto:

Injetor 1: 300 L h^{-1}

Injetor 2: 240 L h^{-1}

Como o tempo de aplicação é de uma hora, esses valores referem-se também ao volume de calda.

5) Aplicação dos produtos.

Será utilizado, para aplicação do ácido, o tanque 1. Como a quantidade de ácido a ser aplicada é de 6,15 litros, prepara-se o tanque com 293,85 litros de água e adiciona-se o ácido.

Será utilizado, para aplicação do hipoclorito, o tanque 2. Como a quantidade de hipoclorito a ser aplicada é de 28,5 litros, colocam-se, antes, 211,5 litros de água no tanque e adiciona-se o hipoclorito.

Terminada a aplicação, desliga-se o sistema, e seguem-se os procedimentos descritos anteriormente.

Finalizando, é importante reforçar os seguintes pontos fundamentais relacionados com o manejo de sistemas de irrigação localizada para evitar os prejuízos causados pelo entupimento dos emissores:

1. Solicitar informações de manejo do equipamento para o fabricante, projetista e montador, definir conjuntamente as que se aplicam ao equipamento e segui-las continuamente.
2. Analisar a água de irrigação antes da implantação do sistema e fazer a avaliação periódica da mesma.
3. Limpar, periodicamente o sistema através da abertura do final das linhas de derivação e das linhas com emissores (manual ou automática).
4. Abrir, obrigatoriamente, após a montagem ou qualquer reparo no sistema de irrigação, os finais de linhas para deixar sair materiais com potencial de entupimento (terra, pedra, material biológico, pedaços ou lascas de plástico etc).
5. Fazer a limpeza periódica dos filtros manuais e a abertura periódica dos mesmos em caso de filtros com limpeza automática, para verificar os estados de conservação e filtragem.
6. Avaliar periodicamente a uniformidade de distribuição de água, utilizando critérios técnicos
7. Adotar medidas preventivas em caso de água com potencial de entupimento.

4. Referências Bibliográficas

- ASAE EP 405.1. Design and instalation of microirrigation systems. St. Joseph: **ASAE Standards**, 2000, p.875.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. Tradução de Gheyi, H.R.; de Medeiros, J.F.; Damasceno, F.A.V.; Campina Grande, PB: UFPB,1999. 153 p. (**Estudos FAO 29, 1985**).
- AZEVEDO NETO, J.M.; PARLATORE, A.C.; ROSSIN, A.C.; MANFRINI, C.; HESPANHOL, C.; CAMPOS, J.R.; POVINELLI, J.; YAGUINUMA, S. Técnica de abastecimento e tratamento de água. 3ª ed. São Paulo. **CETESB/ASCETESB**, 1987. v.2, 320 p.
- BAR, I. Iron control system for drip irrigation. In: **PROCEEDINGS OF FIFTH INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS**. Orlando, Florida. 1995. p. 239.
- BOSWELL, M.J. Manual de diseño y manejo de sistemas de micro-irrigación. Tradução de Lopes, J.R.; Regalado, A.P.; Hernández, M.B. Sevilla. 1990. 291p.
- BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S., GILBERT, R.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**; Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. 1979. p 149.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **J. Agric. Engng Res.**, 70, 1998. p 355.
- CHISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Revista trimestral da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem**. ISSA 0101-115X, NO. 49. 2001. p. 8.
- CLARK, G.A.; SMAJSTRLA, A.G. Treating irrigation systems with chlorine. **Cooperative Extension Service, IFAS**, University of Florida. 1999. 6 p. circular 1039.
- CORDEIRO, E.A. Influência do tratamento de água ferruginosa no desempenho de sistema de irrigação por gotejamento. Viçosa, MG: **Impr. Univer.**, 2002. 92 f. Dissertação de Mestrado em Eng. Agr.- Univ. Fed. Viçosa, Viçosa.

- COSTA, C.C. Estudo da susceptibilidade de tubos gotejadores ao entupimento por precipitados químicos de ferro. Lavras, MG: UFLA, 2000. 85 f. Mestrado em Agronomia - Univ.Fed. de Lavras, Lavras.
- FORD, H. W. Iron ochre and related sludge deposits in subsurface drain lines. **Cooperative Extension Service. University of Florida.** 1993. 8 p. Circular 671.
- GILBERT, R. G.; NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A.; FRENCH, O. F.; ADAMSON, K. C. Trickle irrigation: emitter clogging and flow problems. **Agricultural Water Management**, v 6: p 159. 1981.
- GILBERT, R.G.; FORD, H.W. Operational principles/emitter clogging. In: NAKAYAMA, F.S. BUCKS, D.A.; Trickle irrigation of crop production. **Elsevier Science Publishers B. V.** 1986. 383p.
- GOUZINIS, A.; KOSMIDIS, N.; VAYENAS, D.V.; LYBERATOS, G. Removal of Mn and simultaneous removal of NH₃, Fe and Mn from potable water using a trickling filter. **Water Res.** v. 32, n. 8, p 2442. 1998.
- HAMAN, S.Z.; SMAJSTRLA, A.G. ; ZAZUETA, F.S. Screen Filters in Trickle Irrigation Systems. **Agricultural Engineering Fact Sheet AE-61**, IFAS, University of Florida. 1989. 5p.
- HERNANDES, F.B.T.; PETINARI, R. A. Qualidade de água para irrigação localizada. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1998, Lavras. MG., 1998. p.58-60
- JAMES, L.G. Principles of farm irrigation system design. Washisgton, USA, **Washisgton State University.** 1988. 543p.
- KELLER, J., BLIESNER, R.D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: **Avibook**, 1990. 649 p.
- LÓPES, J.R.; ABREU, J.M.H.; REGALADO, A.P.; HERNÁNDEZ, J.F.G. **Riego localizado.** Madrid. 405p. 1992.
- MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: Rena, A. B. (Ed) Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade: anais/editado por Piracicaba, **Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato**, 1986. 447 p.

- MICHALAKOS, G.D.; NIEVA, J.M.; VAYENAS, D.V.; LYBERATOS, G. Removal of iron from potable water using a trickling filter. **Wat. Res.** v.31, n.5. 1997. p.991.
- NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A.; FRENCH, O.F. Reclaiming partially clogged trickle emitters. **Transactions of the ASAE**, v. 20 n. 2, 1977. p 270.
- NAKAYAMA, F.S. BUCKS, D.A. Trickle irrigation of crop production. **Elsevier Science Publishers B. V.**, 1986. 383 p.
- NAKAYAMA, F.S. BUCKS, D.A. Water quality in drip/trickle irrigation: a review. **Irrigation Science**. 1991. p.187.
- ONGLEY, E. D. Control of water pollution from agriculture. **FAO 55**. Rome, 1996. 101 p
- PAZ, V.P.S.; TEODORO, E.T. ;MENDONÇA, F.C. Recursos Hídricos, Agricultura Irrigada e Meio Ambiente. Comunicado Técnico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB. 2000. p.465.
- PITTS, D.J.; HAMAN, D.Z. -; SMAJSTRIA, A.G. Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems. **Florida Cooperative Extension Service. University of Florida** . 1990.12 p. bulletin 258.
- PIZARRO, F. Riegos localizados de alta frecuencia. 2ªed. Madrid. 1990. 471 p.
- RALPH, D.E.; STEVENSON, J.M. The role of bacteria in well clogging. **Wat. Res.** v.29. n 1. 1995. p.365.
- RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SHISHA, A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. **Irrigation Science**. 1992. p. 129.
- SMAJSTRLA, A.G.; BOMAN, B. J. Flushing procedures for microirrigation systems. **Florida Cooperative Extension Service. University of Florida**. 1999. p.7. bulletin 333.
- SUÁRES, D.L. Obturaciones-Utilización de aguas depuradas en riego localizado y mantenimiento de los mismos. **U.S. Salinity Laboratory, Riverside, California**. 1993. 24p.

VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A. Irrigação localizada, Tradução de Gheyi, H.R.; de Medeiros, J.F.; Damasceno. F.A.V.; SILVA Jr. L.G.A. Campina Grande: PB: UFPB,1997. 184 p. (**Estudos FAO 36. 1980**).

VIEIRA, G. H. S. Recuperação de gotejadores obstruídos devido à utilização de águas ferruginosas. Viçosa, MG: **Impr. Univer.**, 2002. 92 f. Dissertação de Mestrado em Eng. Agr.- Univ. Fed. Viçosa, Viçosa.

WU, I. P.; GITLIN, H. M. Drip irrigation application efficiency and schedules. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.26, n.1, 1983. p.92.

ZAZUETA, F.S. Micro irrigation. **ICFA, International, Inc.** México,1992.

Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café

Instituições Fundadoras

EBDA, EMBRAPA, EMCAPER, EPAMIG, IAC, IAPAR, PESAGRO-RIO, SARC/MA, UFLA e UFV

Instituições Participantes

Embrapa Acre, Embrapa Rondônia, Embrapa Solos, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Embrapa Cerrados, Embrapa Agrobiologia, Embrapa Agroindústria de Alimentos, Embrapa Amazônia Oriental, Embrapa Amapá, UFU, Uniube, Emater-PR, Emater-MG, Emater-RJ, UFPR, UEL, UEM, Ocepar, IEA, IAL, ITAL, CATI, UENF, FGV, UESB, ASCCON e I.Biológico

Apoio

Secretaria de Produção
e Comercialização - SPC/MA

Conselho Deliberativo da
Política do Café - CDPC

Promoção

