

ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO EM ÁGUA UTILIZADA NO DESCASCAMENTO/DESPOLPA DE FRUTOS DO CAFEIEIRO

Antonio Teixeira de Matos¹; Cláudia Figueiredo Garrido Cabanellas²;
Mozart da Silva Brasil³

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a sedimentação e a influência das condições de coagulação/floculação (pH, tipo e concentração do coagulante), que maximizem a remoção de sólidos em suspensão (SS) na água em recirculação no descascamento/despolpa de frutos do cafeeiro (ARDC), foram realizados ensaios em coluna de sedimentação de acrílico, de 100 mm de diâmetro e 1,00 m de altura. Para avaliação do efeito de coagulantes, foram adicionados o sulfato de alumínio e o sulfato férrico, ambos à concentração de 3 g L⁻¹, na faixa de pH de 7 a 8, além de extrato de sementes de moringa, na dose de 10 mL L⁻¹, na faixa de pH de 4 a 5. Amostras da suspensão foram coletadas a cada 0,20 m de altura da coluna líquida. A determinação da concentração de SS foi feita a intervalos de tempos regulares de 20 min, durante 2 h ininterruptas de ensaio. Não foram verificados efeitos do tempo e da profundidade na coluna sobre a remoção de SS na ARDC que não recebeu a adição de coagulantes. Nos ensaios em que houve a adição de coagulantes, a remoção de SS da ARDC aumentou com a profundidade e o tempo de decantação na ARDC, mediante a adição de sulfato de alumínio, sulfato férrico e extrato de sementes de moringa. Este último foi o coagulante mais eficiente na remoção de SS, em toda profundidade amostrada da coluna de sedimentação.

Palavras-chave: Águas residuárias, coagulação, floculação, reúso de água.

ABSTRACT

Settling study in water used in the coffee fruits pulping

This study evaluated the settling and influence of the coagulation/flocculation conditions (pH, type and concentration of coagulant) that maximize solids in suspension (SS) removal of the coffee fruits pulping water in recirculation (ARDC). For evaluating of the effect from coagulants, the aluminum sulfate and ferric sulfate were added, both at the concentration of 3 g L⁻¹, pH range from 7 to 8, and Moringa seeds extract, at the dose of 10 mL L⁻¹, the pH range from 4 to 5, to acrylic settling column with 100 mm diameter and 1,00 m height. Samples of the suspension were collected at each 0,20 m of the liquid column height. The SS concentration was obtained at 20 min regular time intervals, during uninterrupted 2 hours. Effects of the time were not verified and of the depth in the column in the SS removal in ARDC without coagulants. The SS removal of the ARDC increased with the depth and the time of settling in the samples that aluminum sulfate, ferric sulfate or extract of Moringa seeds was applied. This last one was shown the most efficient coagulant in the removal of SS in every depth sampling of the sedimentation column.

Keywords: wastewater, coagulation, flocculation, water reuse.

¹ Doutor, Professor do Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal de Viçosa, e-mail: atmatos@ufv.br; (031), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, CEP 36571-000, Bolsista do CNPq.

² Engenheira Agrícola, Professora da UNIPAC, Papagaios, MG, e-mail claudiacabanellas@bol.com.br;

³ Doutor em Engenharia Agrícola, UFV/CCA/DEA, Campus da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, CEP 36571-000.

INTRODUÇÃO

Com o intuito de produzir grãos de café de melhor qualidade, a prática da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos, removendo-se parte da mucilagem aderida aos grãos, tem sido implementada nas áreas de cultivo do cafeeiro arábica no Espírito Santo, Rio de Janeiro, Bahia, Pernambuco e Ceará.

O processamento via úmida é recomendado para produção de grãos de café de melhor qualidade, em regiões de clima úmido, pois, a lavagem e o descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro reduz a probabilidade de fermentação do grão e seu tempo de secagem, porém, quando mal conduzida, pode prejudicar a qualidade e a aceitação no mercado externo.

O consumo de água no descascamento/despolpa de frutos do cafeeiro varia de acordo com o equipamento e a operação do sistema. Geralmente, gastam-se 3 a 5 litros de água para cada litro de fruto descascado/despolido (Matos et al., 2003), perfazendo uma média de 4 m³ de água para produção de 1 tonelada de grãos processados (Delgado & Barois, 1999). Isso, segundo Saucedo et al. (2000), tem feito com que empresas de máquinas envidem esforços para que se desenvolvam equipamentos mais eficientes, que utilizem menor volume de água no processamento. Caso seja feita recirculação de água, esta proporção diminui para, aproximadamente, 1 litro para cada litro de fruto processado. Entretanto, no processo com recirculação da água, ocorre expressivo aumento na concentração de material suspenso e em solução, podendo comprometer a qualidade final do produto, pois, a água em recirculação pode ser veiculadora de fungos e contaminantes, havendo a possibilidade de prejudicar a qualidade do grão. Por esta razão, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologia, que possibilite a remoção, em curto período de tempo, de sólidos em suspensão nessas águas, de forma a possibilitar a obtenção de um produto de boa qualidade com economia de água de processamento.

A técnica de coagulação/floculação seguida de decantação pode ser vista como uma alternativa para remoção de sólidos da água de recirculação no processo de descascamento/despolpa do fruto do cafeeiro.

Em geral, para a ocorrência da floculação dos sólidos em suspensão na água utilizam-se íons de alumínio e íons férricos, fornecidos por sais de reação ácida (Andrade Neto, 1977), necessitando de um tempo 12 a 20 minutos. Entre esses agentes floculantes, os sais de alumínio são os coagulantes químicos mais comuns, utilizados no processo de tratamento de águas, atuando bem em condições de pH entre 5,5 e 8,0. Estes apresentam a desvantagem de não serem biodegradáveis, causando um sério problema de disposição do lodo gerado (Gao et al., 2002). O efeito dos sais de alumínio como coagulante é fortemente dependente do pH (Chernicharo, 2001), podendo ocorrer altas concentrações de alumínio residual na água, em consequência do pH de floculação usado (Spinelli et al., 2001). Entretanto, devido à baixa solubilidade dos hidróxidos férricos, os sais de ferro podem agir em ampla faixa de pH. Com pH entre 8 e 11, o sulfato férrico ou ferroso representa uma melhor escolha. Para problemas de difícil remoção de cor, o sulfato férrico, em condições de pH entre 5 e 6, é muitas vezes mais eficiente (Drew, 1979). Na coagulação, a formação de flocos é mais rápida, devido ao alto peso molecular comparado com o alumínio; conseqüentemente, os flocos são mais densos e o tempo de sedimentação é, significativamente, reduzido. A utilização do cloreto férrico diminui, drasticamente, a turbidez e a DBO e elimina fosfatos; uma significativa parte de metais pesados (mercúrio, chumbo) ou venenosos (arsênio, selênio, bário) também é eliminada, quando a coagulação é realizada em condições de elevado pH (Pavanelli, 2001).

Em diferentes países dos continentes asiático, africano e sul-americano, várias plantas foram ou estão sendo utilizadas como coagulante ou floculante natural. Uma dessas plantas é a *Moringa oleifera*, uma planta tropical cujas características, avaliadas em alguns estudos (Ndabigengesere et al., 1994 e Silva et al., 2001), a tornam recomendável como coagulante.

No presente trabalho, objetivou-se avaliar a sedimentação e a influência das condições de coagulação/floculação (pH, tipo e concentração do coagulante), que maximizem a remoção de sólidos em suspensão na água em recirculação no descascamento/despolpa de frutos do cafeeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliação da velocidade de sedimentação dos sólidos ou flocos em suspensão e da clarificação da água em recirculação no descascamento/despolpa de frutos do cafeeiro (ARDC) com o tempo, foi realizado o ensaio em coluna de sedimentação de acrílico, de 100 mm de diâmetro e 1,00 m de altura.

O preenchimento da coluna de sedimentação com a ARDC foi feito de forma a manter, inicialmente, a concentração de sólidos suspensos uniformemente distribuída ao longo da mesma, sendo, para isso, feita uma homogeneização da amostra. Posteriormente, foram adicionados os coagulantes sulfato de alumínio, sulfato ou férrico, na concentração de 3 g L^{-1} , mantendo-se o pH da suspensão na faixa de pH de 7 a 8. Na avaliação do coagulante, extrato de sementes de moringa, utilizou-se a dose de 10 mL L^{-1} , mantendo-se a suspensão à faixa de pH de 4 a 5. Essas concentrações e doses correspondem aos

melhores resultados obtidos para cada coagulante, em ensaio efetuado anteriormente com o aparelho Jar-test. Em uma suspensão de ARDC, não foi adicionado nenhum coagulante para servir como testemunha.

Logo após a adição dos coagulantes, uma haste metálica de 1,20 m foi introduzida no tubo para efetuar a mistura da suspensão, realizada por meio de movimentos circulares, durante o período de 1 minuto, em todos os ensaios. Após a realização da mistura, a suspensão contida no tubo de sedimentação foi deixada em repouso.

A coleta de amostras da suspensão em estudo foi realizada a cada 0,20 m de profundidade da coluna líquida, por meio de torneiras instaladas nas paredes da coluna de sedimentação (Figura 1). A determinação da concentração de sólidos em suspensão nas amostras de 10 mL, coletadas, de cima para baixo, ao longo da coluna, no tempo zero e em intervalos de tempos regulares de 20 minutos, foi efetuada durante 2 horas ininterruptas de ensaio.

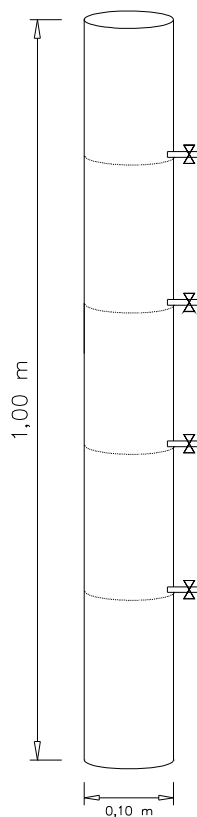


Figura 1. Desenho esquemático da coluna de sedimentação

A concentração de sólidos em suspensão nas amostras coletadas foi determinada filtrando-se a amostra em funil acoplado a kitassato com saída ligada a mangueira plástica conectada a bomba de vácuo. O filtro de separação utilizado foi de papel filtro de fibra de vidro Whatman de 0,45 µm de diâmetro de poro (APHA, 1995). Terminada a filtração de toda a alíquota, o filtro foi secado em estufa a 107±2°C, durante 2 horas e pesado em balança de precisão, sendo a concentração de sólidos em suspensão, então, determinada.

Os dados foram submetidos à análise de variância e às médias comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, tendo sido utilizado o programa Sistema de Análise Estatística e Genética – SAEG/UFV (Euclides, 1997).

O cálculo das porcentagens de remoção de sólidos em suspensão (determinado em relação à amostra coletada no tempo zero, logo após a homogeneização da suspensão na coluna) com o tempo de sedimentação foi obtido, segundo a metodologia

apresentada por von Sperling (1996) e, posteriormente, foram obtidas as curvas de isoefficiência diretamente dos valores percentuais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1, está apresentado o resumo da análise de variância dos sólidos suspensos na ARDC colocada na coluna de sedimentação. Analisando os dados apresentados neste quadro, verifica-se que houve efeito ($P < 0,01$) para todas as fontes de variação. Estes resultados evidenciam que o tipo de coagulante utilizado proporcionou efeito significativo na concentração de sólidos em suspensão na ARDC, indicando a possibilidade de uso de coagulantes e de um melhor desempenho de um, em relação aos outros, na remoção de sólidos em suspensão da ARDC. Em vista dos resultados obtidos na análise de variância, procedeu-se ao desdobramento da interação T x P x C.

Quadro 1. Resumo da análise de variância dos sólidos suspensos na ARDC colocada na coluna de sedimentação

FV	GL	Quadrado Médio
COAG(C)	3	2406,1780**
RESIDUO (a)	8	2,3359
PROFUNDIDADE (P)	3	643,4253**
P X C	9	401,1781**
RESIDUO (b)	24	0,8441
TEMPO (T)	6	276,2484**
T X C	18	106,8288**
T X P	18	55,9601**
T X P X C	54	39,1447**
RESIDUO (c)	192	0,4563
CV(%) parcela		7,01
CV(%) subparcela		4,21
CV(%) subsubparcela		3,09

** F significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 2. Equações de regressão ajustadas para a variável sólidos suspensos em função da profundidade e do tempo, para os diferentes coagulantes estudados

Coagulante	Equações ajustadas	R ²
Sem coagulante (C1)	$\hat{y} = 29,36$	-
Sulfato de alumínio (C2)	$\hat{y} = 19,495 + 0,0077315^{NS} P - 0,2117^{**} T + 0,003279^{**} T.P$	0,72
Sulfato férrico (C3)	$\hat{y} = 24,7273 + 0,004115^{**} P - 0,3051^{**} T + 0,003648^{**} T.P$	0,85
Extrato de sementes de Moringa (C4)	$\hat{y} = 26,309 + 0,0052381^{*} P - 0,1816^{**} T + 0,001109^{**} T^2$	0,72

^{**}, ^{*} e ^{NS} significativos em nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste “t”

Os modelos que melhor se ajustaram aos dados de concentração de sólidos em suspensão em função do tempo e da profundidade, para cada coagulante estudado, estão apresentados no Quadro 2.

Em relação ao comportamento da ARDC, colocada nas colunas de sedimentação sem a adição de coagulantes (C1), não se verificou nenhum efeito do tempo e da profundidade na coluna sobre a remoção de sólidos suspensos. Para as equações ajustadas, referentes os dados de sólidos em suspensão, em função da profundidade e do tempo de decantação, na ARDC que recebeu sulfato de alumínio (C2) e naquela que recebeu sulfato férrico (C3) observou-se que, ao ser fixada a profundidade, há decréscimo na concentração de sólidos suspensos com aumento do tempo. E, analogamente, se for fixado o tempo, ocorre aumento na concentração de sólidos suspensos com o aumento na profundidade.

Nas figuras referentes aos ensaios em colunas de sedimentação (Figuras 2, 3, 4 e 5), estão apresentados os valores de eficiência na remoção de sólidos suspensos, em função do tempo e da profundidade da coluna, para os diferentes coagulantes empregados e testemunha.

Na Figura 2, verifica-se que no ensaio com floculante sulfato de alumínio, no intervalo de tempo de zero a 20 minutos, não ocorreu remoção de SS e, ao contrário, ocorreu concentração de sólidos em todos os pontos amostrados ao longo da profundidade da coluna. A partir do tempo de 20 minutos, iniciou-se a remoção de SS,

atingindo remoção mais expressiva (60 a 90%) nos intervalos de tempo (60 a 120 minutos) e de profundidade (0,20 a 0,40 m). No entanto, nos intervalos de tempo (aproximadamente, 27 a 93 minutos) e de profundidade (aproximadamente, 0,53 a 0,76 m), observou-se acúmulo de SS na suspensão. Este comportamento, verificado no ensaio com sulfato de alumínio, evidenciou certa lentidão no processo de decantação de SS contidos na ARDC e floculados com este coagulante. Em outras palavras, o tempo exigido para a ocorrência de remoção de SS numa faixa de 60 a 90% de eficiência, na profundidade de 0,80 m, deve ser superior a 120 minutos.

Na Figura 3, observa-se que o ensaio com o coagulante sulfato férrico proporcionou remoção de SS deste do início do tempo decorrido, atingindo remoção acima de 30% a partir de, aproximadamente, 24 minutos, chegando a atingir eficiência de remoção (60 a 90 %) no tempo final de 120 minutos, numa profundidade em torno de 0,63 m. Nesta figura, é possível observar que o coagulante sulfato férrico favoreceu o processo de coagulação/floculação, seguindo-se decantação mais uniforme. Neste ensaio, não houve aumento expressivo na concentração de SS na suspensão, nos tempos sucessivos dos pontos amostrais, ao longo da profundidade, na coluna de sedimentação, diferentemente do que foi observado com o sulfato de alumínio (Figura 2). Verifica-se, também, que a remoção de SS foi mais efetiva no ensaio com sulfato férrico do que no ensaio com sulfato de alumínio.

Todavia, o coagulante sulfato férrico não possibilitou remoção de SS na faixa de 60 a 90%, na profundidade de 0,80 m e no tempo final de 120 minutos, o que sugere que seria necessário mais tempo para atingir esta faixa de eficiência de remoção, para remoção em maiores profundidades.

Na Figura 4, observa-se que, inicialmente, o coagulante extrato de semente de moringa apresentou certo retardo no processo de remoção de SS na ARDC, em relação aos outros dois coagulantes empregados nos ensaios. No tempo de zero a 40 minutos, não houve remoção superior a 30%. No entanto, a partir deste intervalo de tempo, o processo de remoção de SS mostrou-se rápido, alcançando remoção na faixa de 60 a 90% em toda profundidade amostrada da coluna de sedimentação, após 73 minutos da realização do ensaio, aproximadamente. Isto sugere que o coagulante extrato de semente de moringa pode ter, a princípio, proporcionado um processo de coagulação/floculação mais lento que os demais coagulantes utilizados (Figuras 2 e 3), mas os flocos formados eram maiores ou mais densos, pois decantaram mais rapidamente. Todavia, verifica-se a ocorrência de acúmulo de SS na suspensão da coluna nos intervalos de tempo de, aproximadamente, 82 a 107 minutos e de profundidade de 0,28 a 0,67 m. Este

comportamento é, provavelmente, devido ao fato de haver ocorrido, nesse intervalo de tempo, um segundo estágio de decantação dos SS excedentes nos estratos superiores adjacentes da suspensão.

O uso do extrato de semente de moringa como coagulante apresentou-se vantajoso, em relação aos outros dois coagulantes, considerando-se que, com menores tempos e maiores profundidade de decantação, pode-se remover eficientemente os SS da água de recirculação usada no processo de descascamento/despolpa de fruto do cafeeiro.

No ensaio de sedimentação da ARDC, na coluna que não recebeu adição de coagulante (Figura 5), observa-se um ligeiro aumento da concentração de SS na suspensão em todos os pontos de amostragem, no intervalo de tempo de zero a vinte minutos. Em seguida, até os 60 minutos, houve aparente remoção em todas as profundidades de amostragem. Posteriormente, a partir do tempo de 60 minutos, reduções na concentração de SS ocorreram apenas em profundidades superiores a 0,60 m, tendo havido aumento na concentração de SS (remoções na faixa de -30,0% a 0,0%) nos estratos superiores da coluna. Os resultados evidenciam a não ocorrência de remoção de SS, mas certa concentração zonal de sólidos em distintos estratos da coluna de sedimentação.

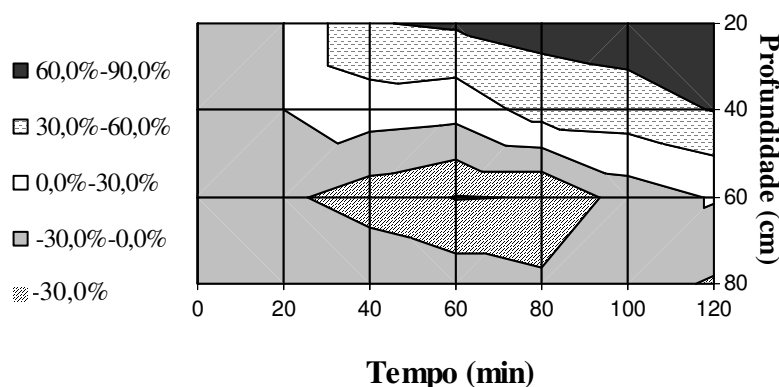


Figura 2. Curvas de isoeffiência na remoção de sólidos suspensos da ARDC em função do tempo e da profundidade, na coluna de sedimentação, para o coagulante sulfato de alumínio

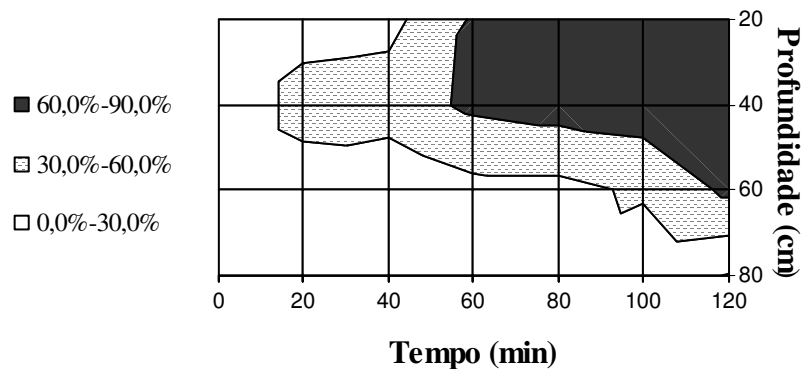


Figura 3. Curvas de isoefficiência na remoção de sólidos suspensos da ARDC em função do tempo e da profundidade, na coluna de sedimentação, para o coagulante sulfato férrico

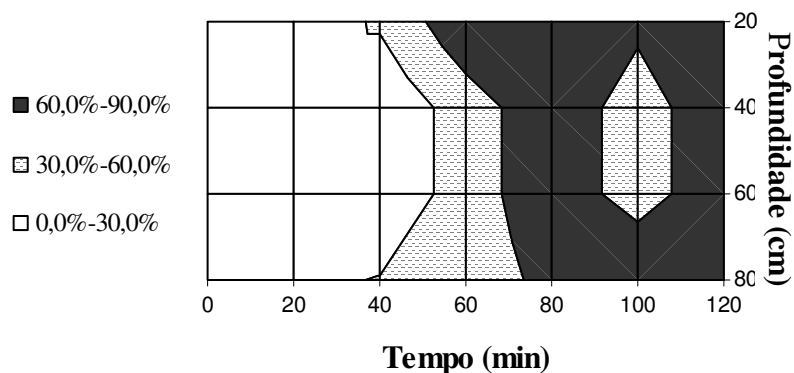


Figura 4. Curvas de isoefficiência na remoção de sólidos suspensos da ARDC em função do tempo e da profundidade, na coluna de sedimentação, para o coagulante extrato de semente de moringa

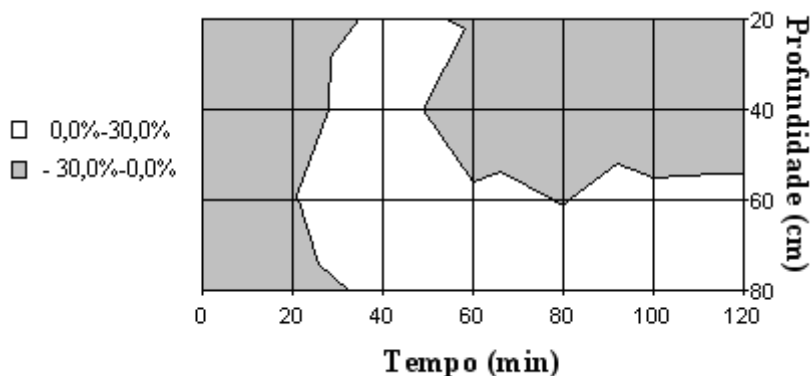


Figura 5. Curvas de isoefficiência na remoção de sólidos suspensos da ARDC em função do tempo e da profundidade, na coluna de sedimentação, para ensaio sem adição de coagulante

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, conclui-se que:

- O sulfato de alumínio e o sulfato férrico foram eficientes na clarificação da camada de 0 – 0,20 m e de 0 – 0,60 m, respectivamente, para o intervalo de tempo de 60 a 120 minutos; entretanto, não foram eficientes na remoção de sólidos em suspensão de camadas mais profundas;
- O extrato de semente de moringa possibilitou maior clarificação de toda a coluna de ARDC avaliada em menor intervalo de tempo, podendo ser considerado, dentre os coagulantes estudados, o que melhor resultado proporcionou em termos de clarificação dessa água residuária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE NETO, C.O. **Sistema simples para tratamento de esgoto sanitário**. Experiência Brasileira. Rio de Janeiro. ABES, 1997. 301p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington D.C., 1995. s.n.p.

CHERNICHARO, C.A.L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: PROSAB, 2001. 544p.

DELGADO, E.A.; BAROIS, I. Lombricompostaje de la pulpa de café em México. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE BIOTECNOLOGIA NA AGROINDÚSTRIA CAFEEIRA, 3. **Anais...** Londrina, PR, 1999. p.335-343.

DREW PRODUTOS QUÍMICOS LTDA. **Princípios de tratamento de água industrial**. Novo Grupo Editora Técnica Ltda. São Paulo – Brasil, 1979. s.n.p.

EUCLYDES, R.F. **Manual de utilização do programa SAEG 7.1** (Sistema para Análise Estatística e Genética). Viçosa: UFV, 1997. 157p.

GAO, B.Y.; HAHN, H.H.; HOFFMANN, E. Evaluation of aluminum-silicate polymer composite coagulant for water treatment. **Water Research**, v.36, n.14, p.3573-3581, 2002.

MATOS, A.T. Tratamento e Destinação Final dos Resíduos Gerados no Beneficiamento dos Frutos do Cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. **Produção Integrada de Café**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, 2003, p.647-708

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K.S.; TALBOLT, B.G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. **Water Research**, v.29, n.2, p.703-710, 1994.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. São Carlos: EESC/USP, 2001. 102p. (Dissertação de Mestrado)

SAUCEDO, C.G.; ROMANO, M.J.M.; GUTIÉRREZ, S.G.; DELGADO, V.F.; RAMIREZ, R.G.; PERRAUD, G. Experiência mexicana de valorización biotecnológica de subproductos de la agroindustria del café. In: INTERBATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFE AGROINDUSTRY, 3, Londrina, 2000. **Proceedings...** Londrina, PR:UFPR, IAPAR, IRD, 2000. p.329-334.

SILVA, F.J.A.; SILVEIRA NETO, J.W.; MOTA, F.S.B.; SANTOS, G.P. Descolorização de efluente da indústria têxtil utilizando coagulante natural (*Moringa oleifera* e quitosana). In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...**, João Pessoa, PB. 2001. CD-Rom

SPINELLI, V.A.; SENS, M.L.; FÁVERE, V.T. Quitosana, polieletrólito natural para o tratamento de água potável. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** João Pessoa, PB. 2001. CD-Rom

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2ª ed. 1996. 211 p.