

Flutuação das características químicas do efluente industrial de fecularia de mandioca

Frederico Fonseca da Silva, Paulo Sérgio Lourenço Freitas*, Altair Bertonha, Roberto Rezende, Antônio Carlos Andrade Gonçalves e Rivanildo Dallacort

Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.

RESUMO. O presente trabalho foi realizado no município de São Mateus (ES) e teve como objetivo avaliar as concentrações de elementos e compostos químicos no efluente industrial de uma fecularia de mandioca, a partir de amostras obtidas em alguns pontos definidos entre a saída da indústria e o reservatório final, em diferentes momentos. A metodologia consistiu em coletar, semestralmente, uma amostra, de forma a obter uma medida na estação da seca e outra na estação das chuvas, em 6 diferentes pontos, ao longo do trecho citado. Adotou-se, como testemunha, a água captada no Rio São Mateus, de classe C₁S₁, a qual tem sido usada na indústria, como parte do processo de beneficiamento e de transformação da raiz em fécula. Observou-se que os valores das variáveis medidas foram alterados em função do tempo e da posição no espaço. Essa variação foi influenciada pela temperatura do ar, radiação solar e profundidade da coleta.

Palavras-chave: composição química, efluente bruto, efluente industrial.

ABSTRACT. Chemical alteration of industrial cassava plants effluent. The research was carried out in *São Mateus*, state of *Espírito Santo*, Brazil, aiming to analyze the variation of these parameters in the effluent of cassava industry, from the amount of samples statistically obtained between the output of the product until the final port. The method consisted of collecting every semester, one sample in the drought period (July) and another in the rainy period (January) in six different areas, the water taken from river *São Mateus*. For industrial purposes, E₁S₁ class, was used as part of transforming the cassava into starch. Results showed that the parameters vary in several monitoring processes and within different stages of the given process. No disturbance for the ecological conditions has been observed since those compounds have been applied under biologically matured conditions.

Key words: chemical alteration, effluent of cassava.

Introdução

A utilização do efluente industrial como fonte complementar de água e nutrientes para a fertirrigação, assim como o estudo de alternativas de aproveitamento de nutrientes oriundos de efluentes, não é recente. Segundo Braile (1979), a aplicação da vinhaça ou restilo no solo, como método de irrigação da lavoura, foi efetuada no Brasil primeiramente no estado de Pernambuco.

Vários autores, destacando-se Sagarra (1966), Meade (1967), Alexander (1972), Glória *et al.* (1974), estudaram o resíduo da cana-de-açúcar, quanto à composição da cinza, do bagaço, da torta de filtro e da vinhaça. Outros autores estudaram o despejo orgânico de saneamento urbano, como Aikman (1983), Novikov (1983) e Healey (1985).

Na década de 50, época em que ocorreu o aparecimento das amidonarias, Bergamin (1953)

alertou para a poluição dos mananciais, pelos resíduos de mandioca, quando estes eram devolvidos ao leito de captação de água.

O conceito de utilização da manipueira das farinheiras ou do despejo industrial de fecularia, como fonte de fertirrigação, é muito mais recente e poucos são os trabalhos desenvolvidos. Takahashi (1987) afirma que a maioria das indústrias, tanto as que produzem farinha como as que produzem polvilho, não executam qualquer forma de tratamento, principalmente por não existirem soluções economicamente viáveis de ser implantadas por pequenas unidades de produção. Aliás, a pesquisa na área de tratamento de resíduos está voltada principalmente para problemas de poluição urbana. Mais recentemente, no entanto, tem-se trabalhado sobre o problema da vinhaça.

Segundo Braile (1979), o fósforo, analogamente ao nitrogênio, é um nutriente muito importante para o crescimento e reprodução dos microorganismos que promovem a estabilização da matéria orgânica presente nos esgotos sanitários e despejos industriais biodegradáveis.

No caso de esgotos sanitários, o teor de fósforo preocupa, não pela sua insuficiência, mas sim pelo excesso, já que o efluente rico em fósforo pode provocar proliferação excessiva de algas no curso d'água receptor. Há casos, no entanto, em que a carência de fósforo é total, necessitando de tratamentos biológicos, no sentido de que a concentração de fósforo seja aumentada e alcance níveis compatíveis ao bom desempenho dos processos bioquímicos de oxidação da matéria orgânica.

Sobrinho (1975) afirma que, devido à elevada carga orgânica e de compostos poluentes, contidos no efluente industrial de fecularia, mesmo que as concentrações sejam inferiores, quando comparadas com as verificadas na manipueira das farinhas, o esgotamento dessa água residual pode trazer sérios problemas de poluição ambiental. Patza *et al.* (1983) também reconheciam a elevada carga orgânica e não visualizavam, na época, aproveitamento econômico do efluente de mandioca, razão pela qual apresentavam preocupação apenas quanto à forma de adequá-lo aos padrões ambientais vigentes e, só assim, despejá-lo.

Corroborando com esse pensamento, levando em conta a reconhecida elevada carga orgânica do efluente de mandioca, seja oriundo de farinha ou de fecularia, a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental de São Paulo (Cetesb, 1990), considerou as indústrias de amido como altamente poluidoras. Segundo Silva *et al.* (1996), a fiscalização do destino dos resíduos líquidos é exercida pela ação dessa agência ambiental, que impõe rígida normatização sobre o assunto.

Fioretto (1994) afirma que a manipueira apresenta-se como um material não-esgotado, podendo ser utilizada como fertilizante, de forma a aproveitar e reciclar os nutrientes no solo, evitando-se, assim, os despejos nos cursos d'água.

A composição química do despejo industrial de fecularia de mandioca é variável, dependendo da variedade utilizada pela indústria, que por sua vez está correlacionada com as condições edafoclimáticas do local onde é cultivada. Além disso, esse efluente é também função da qualidade da água captada pela indústria para compor o processo de beneficiamento, além da época e da idade de colheita das raízes, de acordo com Fioretto (1994) quando faz

referência a manipueira (despejo oriundo das farinhas).

Segundo Cereda (1994), ainda não é possível falar-se em manejo dos resíduos de industrialização de mandioca no Brasil, mas sim em indicações de uso. Nesse aspecto, algumas áreas encontram-se mais adiantadas em pesquisas que outras o que, por si só, justifica todo o desenvolvimento e o somatório de esforços e estudos que procurem enriquecer as informações nesta questão ambiental, de conservação de água e de utilização de despejo industrial.

Considerando-se o grande número de variáveis a serem avaliadas quando se trata de um problema relacionado com as questões ambientais, o objetivo principal do presente trabalho consistiu em se determinar as concentrações dos elementos e dos compostos químicos contidos no efluente industrial de uma fecularia de mandioca, em diferentes pontos de coleta, e as possíveis flutuações de seus valores, ao longo do processo de maturação, em função da época de coleta.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no município de São Mateus, norte do estado do Espírito Santo, latitude 18° 43', longitude 39° 52'. O esquema dos pontos de coleta está apresentado na Figura 1.

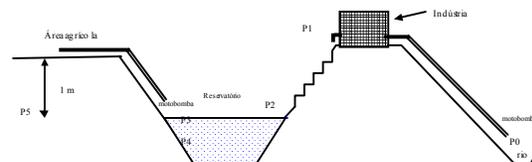


Figura 1. Esquema dos pontos de coleta de efluente

As coletas foram realizadas uma no período das secas (mês de julho) e outra no período das chuvas (mês de janeiro). O primeiro monitoramento foi realizado no mês de janeiro de 1990 e a última coleta foi realizada em julho de 1992.

Uma vez que a água é captada do Rio São Mateus, passa pela indústria de beneficiamento de mandioca, é conduzida para um reservatório de efluente, e, por fim, depois de monitorada e maturada, é utilizada como fonte de água e nutrientes para fertirrigação, selecionou-se 6 locais de coleta, sendo:

Ponto P0. Local de captação de água do rio. Seus valores servem de testemunha no que diz respeito às variáveis a serem analisadas.

Ponto P1. Canal de descarga na saída da indústria. Ponto de coleta de características químicas

do efluente bruto diluído, após o processo de centrifuga do leite para a obtenção da fécula.

Ponto P2. Ponto de confluência entre o canal e o reservatório.

Ponto P3. Ponto próximo à estação de bombeamento do reservatório, a 80 cm de profundidade. Permite fornecer a composição química do composto maturado, a ser utilizado como fonte de água e nutrientes para fertirrigação.

Ponto P4. Ponto próximo à estação de bombeamento do reservatório, a 30 cm de profundidade. Analisa-se o efeito da radiação solar sobre a composição química do efluente, quando comparado principalmente com dados obtidos no ponto P3.

Ponto P5. Ponto localizado a 1 m de profundidade do solo da área atingida pelo sistema de aspersão. Analisa-se a água que está sendo devolvida ao meio ambiente, quando se confronta com os valores obtidos no ponto P0.

As irrigações eram realizadas com efluente; não aplica-se apenas água. As lâminas aplicadas, bem como o turno de rega, estavam de acordo com o projeto desenvolvido para a cultura da cana-de-açúcar, em função das variáveis de solo, tipo e estágio da cultura e clima (temperatura e precipitação). A coleta de uma amostra da água percolada foi realizada saturando o local do dreno no dia da coleta com uma irrigação de até 12 horas. Este procedimento tornou possível a obtenção de uma amostra de solução do solo a 1m de profundidade.

As amostras coletadas para análise e monitoramento obedeciam às normas expostas no manual Guia de coleta e preservação de amostras de água da Cetesb (1988).

A coleta de amostras do efluente foi realizada semestralmente, com a supervisão da Seama-ES (Secretaria Estadual de Meio Ambiente do estado do Espírito Santo), totalizando 6 épocas de monitoramento.

As amostras foram acondicionadas (específicas por variável a ser analisada) e levadas para serem analisadas na Cetesb, na cidade de São Paulo (SP), por via aérea, em intervalo sempre inferior a 20h, entre a coleta e a entrada no laboratório. As análises realizadas na Cetesb obedeciam aos métodos apresentados na 17ª, e posteriormente, na 18ª edição do "Standard methods for the examination of water and wastewater" (APHA, AWWA, WP3F).

Dan Region Sewage Treatment and Reclamation Project (1978), entidade israelense que detém a tecnologia de reciclar a água para reutilização agro-industrial e para consumo humano, se necessário, afirma ser necessário analisar sessenta variáveis

(análise completa) quando o efluente destina-se, após o monitoramento, ao reuso humano; e, vinte, quando destinado ao uso industrial e agrícola (basicamente como forma de irrigação, fertilização líquida ou fertirrigação). Dessa forma, acredita-se que o referido estudo atende a essa exigência internacional ao se trabalhar com vinte e um parâmetros.

Inicialmente, por falta de uma legislação que estabeleça quais as variáveis a serem analisadas, a Seama-ES determinou a análise de vinte e nove (29) variáveis. No entanto, em função da utilização desse efluente maturado como fonte de água e nutrientes para fertirrigação, esse órgão autorizou a redução para vinte e uma (21) variáveis, a serem analisadas em cada um dos 6 pontos monitorados. No presente trabalho estão apresentados quatorze (14) variáveis, das quais os valores foram efetivamente obtidos, pois os outros elementos não foram detectados no efluente. Essas variáveis correspondem às concentrações de Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Nitrato, Fosfato Total, Alumínio, Cobre, Ferro, Magnésio, Manganês, Mercúrio, Potássio, Sódio, Zinco, Sulfato e Cianeto.

Resultados e discussão

As variáveis analisadas serão apresentadas individualmente, com os valores das concentrações nos pontos de coletas analisados.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores de concentração de alumínio, em cada ponto de coleta em cada monitoramento.

Nos pontos P3 e P4 não foi detectada a presença de alumínio no efluente contido nos reservatório, pois o pH nesses dois pontos foi de 7,1 e 7,1, respectivamente. Com esse valor pH, o alumínio precipitou como hidróxido de alumínio, não sendo detectado nas análises.

Tabela 1. Concentração de Alumínio nos monitoramentos realizados (mg L⁻¹)

Alumínio Datas de coleta	Pontos de Coleta					
	P0	P1	P2	P3	P4	
Janeiro de 1990	6,17	7,31	7,42	ND	ND	5,08
Julho de 1990	3,62	7,11	7,34	ND	ND	6,01
Janeiro de 1991	6,01	6,83	7,12	ND	ND	5,32
Julho de 1991	3,49	6,08	3,74	ND	ND	5,94
Janeiro de 1992	6,85	ND	ND	ND	ND	3,50
Julho de 1992	1,27	4,12	2,03	ND	ND	0,98
Média	4,57	6,29	5,53			4,47

(ND) Não-detectado

Assim como ocorre para o elemento cobre, essa variável só é mantida pela sua utilidade no projeto de monitoramento do solo, uma vez que esse elemento é um micronutriente, catalisador que ajuda na

formação da clorofila, agindo como um carreador de oxigênio e ajudando a formar certos sistemas respiratórios envolvendo enzimas.

A objeção, com relação ao ambiente, principal quanto ao elemento ferro ou sais ferrosos diz respeito ao problema da alteração da cor da água. Não encontra-se na literatura maiores problemas desse elemento como forma de poluente.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores de concentração do elemento ferro em cada ponto de coleta ao longo do monitoramento. O aumento da concentração desse elemento, após a entrada da água na indústria (diferença de concentração entre P1 e P0), pode ser devido ao aporte do mesmo, oriundo do material beneficiado, ou de um possível desgaste de peças mecânicas, construídas com esse material, utilizadas no processo industrial.

O artigo 21, da resolução nº 20 da Conama, informa que a concentração máxima permitida para despejo do ferro é de 15,0 mg L⁻¹. Assim, como os valores obtidos situaram-se sempre abaixo de 50% desse valor limite, a concentração desse elemento não foi limitante ao processo, durante todo o período no qual o estudo foi conduzido.

Tabela 2. Concentração de Ferro nos monitoramentos realizados (mg L⁻¹)

Ferro	Pontos de Coleta					
	P0	P1	P2	P3	P4	P5
Datas de coleta						
Janeiro de 1990	2,79	4,79	4,91	3,07	2,92	1,68
Julho de 1990	2,37	5,32	3,31	1,81	1,79	0,93
Janeiro de 1991	3,70	5,29	6,32	4,75	2,57	3,18
Julho de 1991	3,45	6,85	8,19	7,67	7,79	2,62
Janeiro de 1992	1,20	3,13	4,03	2,48	2,24	1,73
Julho de 1992	1,48	3,68	4,32	3,23	1,59	1,11
Média	2,50	4,84	5,18	3,84	3,15	1,88

Na Tabela 3, estão apresentados os valores das concentrações de fosfato total.

O elemento magnésio não é poluente, razão pela qual encontra-se isento nas exigências para as águas de classes 1 ou especial, que são aquelas destinadas ao abastecimento doméstico, sem prévia ou com simples desinfecção, e/ou à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

Embora Braile (1979) cite o exemplo de que os despejos de fecularia de mandioca requerem a adição de fósforo para receberem tratamento biológico, observa-se, na Tabela 3, a contribuição desse elemento no efluente bruto (ponto P1), quando comparado com a água captada para o processo industrial (ponto P0). Observa-se uma rápida diminuição das suas concentrações nos estágios seguintes com a suspensão da atividade fabril e, conseqüentemente, lançamento de novos despejos.

Na Tabela 4 estão apresentados os valores da concentração do elemento magnésio, em cada ponto de coleta, ao longo do monitoramento. Por ser um

elemento muito solúvel, observa-se que a sua concentração apresenta valores menores nos estágios finais do processo, razão pela qual se verifica que a sua concentração na camada mais profunda do reservatório (ponto P3) apresenta teor maior do que na superfície (ponto P4).

Tabela 3. Concentração de Fosfato nos monitoramentos realizados (mg L⁻¹)

Fosfato	Pontos de Coleta					
	P0	P1	P2	P3	P4	P5
Datas de coleta						
Janeiro de 1990	0,08	3,20	1,80	2,75	2,25	1,08
Julho de 1990	0,18	9,50	3,60	3,00	6,50	2,51
Janeiro de 1991	0,10	8,70	7,80	7,00	11,3	3,65
Julho de 1991	0,20	13,4	5,70	5,00	4,50	1,60
Janeiro de 1992	0,13	7,20	6,80	2,85	3,00	0,47
Julho de 1992	0,04	7,00	4,20	0,90	1,00	0,85
Média	0,12	8,17	4,98	3,58	4,76	1,69

Tabela 4. Concentração de Magnésio nos monitoramentos realizados (mg L⁻¹)

Magnésio	Pontos de Coleta					
	P0	P1	P2	P3	P4	P5
Datas de coleta						
Janeiro de 1990	3,80	16,30	16,60	15,90	15,20	9,80
Julho de 1990	7,32	24,20	33,40	24,50	23,20	19,30
Janeiro de 1991	3,19	17,90	18,10	18,30	12,70	12,90
Julho de 1991	5,50	6,50	6,00	6,00	6,50	5,50
Janeiro de 1992	3,94	7,70	7,78	7,63	7,53	4,45
Julho de 1992	3,21	8,30	8,00	11,30	8,10	2,80
Média	4,49	13,48	14,98	13,94	12,21	9,13

Na Tabela 5, observa-se que a fonte fornecedora de manganês deve ser o material processado pela indústria, uma vez que a concentração desse elemento na água do rio São Mateus é baixa, pouco variando entre as análises. O valor médio do ponto P0 representa 14,85% da concentração média do ponto P1.

Para a classe 3, de acordo com o Conama, a concentração máxima permitida é de 0,5 mg L⁻¹. Para o lançamento nos corpos de água, é permitida uma concentração máxima de 1,0 mg L⁻¹.

Na Tabela 5, observa-se que, independentemente do ponto analisado, todas as concentrações estão abaixo do máximo permitido para despejo.

Analisando com mais detalhe o ponto P5, verifica-se que o valor médio para 6 datas de monitoramento atende às exigências para a classe 1, as quais correspondem à concentração máxima de 0,10 mg L⁻¹, sendo que para os 3 datas de monitoramento as concentrações foram superiores à concentração máxima permitida.

Segundo Braile (1979), muito raramente há registros de problemas graves, ocasionados por elementos encontrados normalmente em quantidades inofensivas na água, como o manganês.

Assim como o cobre e o zinco, o manganês sofre influência marcante do pH, do montante de matéria orgânica e das circunstâncias de oxidação-redução do solo. Por outro lado, a tendência dos cátions destes elementos (Cu, Zn e Mn) a se quelatarem em presença de matéria orgânica exerce uma decisiva influência nos seus comportamentos.

Tabela 5. Concentração do Manganês nos monitoramentos realizados (mg L⁻¹)

Manganês	Pontos de Coleta					
	Datas de coleta	P0	P1	P2	P3	P4
Janeiro de 1990	0,05	0,26	0,22	0,20	0,19	0,11
Julho de 1990	0,08	0,62	0,40	0,34	0,33	0,18
Janeiro de 1991	0,05	0,27	0,24	0,22	0,21	0,13
Julho de 1991	0,06	0,30	0,17	0,24	0,24	0,06
Janeiro de 1992	0,03	0,19	0,17	0,12	0,10	0,07
Julho de 1992	0,03	0,38	0,21	0,16	0,08	0,06
Média	0,05	0,34	0,24	0,21	0,19	0,10

Segundo Braile (1979), nos despejos orgânicos, o elemento nitrogênio aparece combinado em, praticamente, dois tipos de compostos: orgânicos a amoniacais. Este último é definido como sendo o resultado do nitrogênio orgânico oxidado biologicamente presente no efluente e produto ainda não-mineralizado, por via aeróbica, para a forma de nitrato.

Na Tabela 6 observa-se que é natural que o nitrogênio apresente concentrações maiores nos pontos monitorados que retratem o estágio do efluente maturado (P4 e P3), sendo a sua concentração em P3 (efeito profundidade) maior do que em P4.

Outro aspecto interessante para os mesmos dois pontos em questão diz respeito a sua significativa redução de concentração (observados nas médias entre o 6º e o 7º monitoramentos), quando se suspendeu o lançamento de novos volumes de efluente na lagoa.

Tabela 6. Concentração do Nitrogênio Amoniacal nos monitoramentos realizados (mg L⁻¹)

N Amoniacal	Pontos de Coleta					
	Datas de coleta	P0	P1	P2	P3	P4
Janeiro de 1990	2,5	0,85	9,0	41,0	39,0	3,92
Julho de 1990	1,3	4,3	11,0	51,0	29,0	6,30
Janeiro de 1991	2,90	1,03	12,0	70,0	64,0	7,40
Julho de 1991	0,22	ND	1,86	15,0	14,6	5,50
Janeiro de 1992	0,38	0,73	7,80	29,0	21,0	0,43
Julho de 1992	0,95	ND	2,02	9,50	12,1	4,10
Média	1,38	1,73	7,28	35,92	29,95	4,61

ND - Não-detectado

O artigo 21 da resolução ambiental n.º 20 do Conama não relaciona o nitrogênio amoniacal como substância poluidora que necessite de valor máximo para lançamento nos corpos ou mananciais de água.

Trata-se da etapa final do processo biológico das variações químicas do elemento nitrogênio definido, segundo Braile (1979), como o produto final de mineralização da matéria orgânica nitrogenada.

Na Tabela 7 apresenta o resultado do nitrogênio nitrato nos monitoramentos realizados, observando nos pontos P4 e P3 que as suas concentrações são flutuantes e estão diretamente relacionadas ao funcionamento da indústria e, conseqüentemente, ao lançamento do despejo do efluente no reservatório. Também verifica-se que ele é maior concentrado no período em que o lançamento de efluente é menor (início de ano - monitoramentos ímpares) e menor concentrado no período de safra (meio do ano - monitoramentos pares), provavelmente pelo lançamento na lagoa de volume significativo de composto nitrogenado orgânico e/ou amoniacal.

Outrossim, pelo fato da mineralização do nitrogênio ser um processo aeróbico é que se verifica os seus valores em P4 serem superiores quando comparados com P3. Quanto ao aspecto ambiental, os valores apresentados, principalmente nos pontos P4 e P3 (efluente maturado) e P1 (efluente bruto), satisfazem às exigências máximas para águas de classe 1, cuja concentração limite é de 1,0 mg . L⁻¹ de N.

Provavelmente, em condições normais no que se refere à conduta da irrigação, os valores do nitrogênio amoniacal e nitrato, no ponto P5 devam ser menores do que os apresentados nas Tabelas 6 e 7, respectivamente; uma vez que, para se coletar amostras nesse ponto, satura-se o solo, terminando por se fazer uma lixiviação ou percolação induzida de compostos químicos contidos ou agregados ao solo.

Tabela 7. Concentração de Nitrato nos monitoramentos realizados (mg L⁻¹)

Nitrato	Pontos de Coleta					
	Datas de coleta	P0	P1	P2	P3	P4
Janeiro de 1990	0,09	0,14	0,20	0,20	0,28	2,21
Julho de 1990	0,19	0,14	0,30	0,04	0,04	1,03
Janeiro de 1991	0,10	0,14	0,10	0,10	0,10	4,55
Julho de 1991	0,16	0,04	0,05	0,03	0,04	1,85
Janeiro de 1992	0,20	0,13	0,10	0,09	0,10	0,14
Julho de 1992	0,16	0,07	0,08	0,03	0,04	1,71
Média	0,15	0,11	0,14	0,08	0,10	1,92

Observa-se na Tabela 8 que o pH do efluente industrial de mandioca é de aproximadamente 4,4 nos pontos P1 e P2, o qual apresenta o resultado dessa variável nos monitoramentos realizados, ao tempo em que o ponto anterior imediato, água proveniente do rio São Mateus, apresenta valor médio de 6,72 próximo à neutralidade universal de potencialidade.

No entanto, em decorrência das inúmeras atividades bioquímicas inerentes ao projeto ambiental, nos pontos seguintes, apresentam-se valores de pH até mesmo acima do captado no ponto P0, tendo como concentração média 7,15, 7,12 e 6,88, respectivamente, para os pontos P3, P4 e P5. Desta forma, atendem-se às exigências até mesmo para as águas de classe 1 cuja condição é estar no intervalo entre 6,0 e 9,0.

Durante a coleta dos materiais para os monitoramentos, analisa-se o pH em nível de campo e, posteriormente, confronta-se com os resultados apresentados pela Cetesb. Uma corrente de pesquisadores julga que o pH de campo, desde que analisado e coletado corretamente, reproduz de forma fidedigna a realidade existente no meio do que o resultado do laboratório com intervalo inferior a 24 horas.

Tabela 8. pH nos monitoramentos realizados

pH	Pontos de Coleta					
	P0	P1	P2	P3	P4	P5
Datas de coleta						
Janeiro de 1990	6,5	4,3	4,8	7,2	7,1	7,0
Julho de 1990	6,3	4,3	4,3	6,4	6,4	6,7
Janeiro de 1991	5,9	4,3	4,9	7,5	7,5	7,4
Julho de 1991	6,5	4,3	4,5	6,8	6,8	6,9
Janeiro de 1992	6,3	4,3	4,6	7,5	7,4	6,9
Julho de 1992	7,5	4,4	4,8	7,4	7,3	7,0
Média	6,50	4,32	4,65	7,13	7,08	6,98

Na Tabela 9 estão apresentados os valores da concentração do potássio nos monitoramentos realizados, através dos quais se confirma que a concentração desse elemento é oriunda do material beneficiado, uma vez que a concentração no ponto P0 (água do rio São Mateus) é baixa e insignificante quando se compara com os demais valores dos demais pontos.

O ponto P1, efluente bruto, é o local de maior expressividade da concentração, com valor médio acima de 331 mg L⁻¹. Ao tempo em que no ponto P4 e/ou P3 (efluente maturado) seus níveis médios ficam, respectivamente, em torno de 243 e 247 mg L⁻¹.

É favorável essa concentração uma vez que apenas de 1% a 2% da quantidade total desse elemento no solo encontra-se na forma assimilável presente, quando na solução do solo e adsorvido nas superfícies coloidais do solo.

Sob a ótica ambiental, o potássio enquadra-se no mesmo raciocínio desenvolvido ao magnésio. O conselho nacional de meio ambiente não o relaciona como elemento ou parâmetro poluente, até mesmo para a classe especial e demais. Pelo contrário, uma vez que junto ao sódio, cálcio, magnésio e sulfato são íons característicos de águas minerais, segundo item 4.1 da Composição e Fatores Essenciais de

Qualidade, da Resolução n.º 25, de 1976, do Ministério da Saúde.

Assim, não se observa a condicionante do limite máximo para uso ou despejo, ficando isenta a sua variação, concentração ou flutuação.

Tabela 9. Concentração de Potássio nos monitoramentos realizados (mg L⁻¹)

pH	Pontos de Coleta					
	P0	P1	P2	P3	P4	P5
Datas de coleta						
Janeiro de 1990	5,3	310,0	300,0	220,0	210,0	180,0
Julho de 1990	6,3	360,0	350,0	270,0	270,0	190,0
Janeiro de 1991	7,8	330,0	320,0	290,0	290,0	220,0
Julho de 1991	2,7	340,0	330,0	260,0	260,0	218,0
Janeiro de 1992	2,7	300,0	280,0	164,0	152,0	35,0
Julho de 1992	9,1	350,0	340,0	280,0	280,0	180,0
Média	5,65	331,67	320,00	247,33	243,67	170,50

Além do controle ambiental global, monitora-se o parâmetro sulfato (SO₄) com o objetivo de se analisar o elemento enxofre contido no composto, uma vez que, para relação solo/planta, o mesmo é classificado como um macronutriente.

Através da Tabela 10, no estudo das médias, verifica-se que a água do rio São Mateus (ponto P0) apresenta teor do composto em níveis semelhantes ao do ponto P4.

Acredita-se que a fonte maior desse composto provenha do metabolismo e decomposição da matéria orgânica contida no processo, uma vez que ele é ausente no ponto P1 e de maior valor no ponto P2, que corresponde a confluência do canal com a primeira etapa do reservatório, que se caracteriza por sedimentar o amido secundário presente ainda no efluente.

A resolução ambiental determina que o teor máximo desse composto para as águas de classe 1, 2 e 3 deve ser de 250 mg L⁻¹ de SO₄. Razão pela qual observa-se que os valores determinados para o presente projeto são mínimos, sem risco algum de contaminação do manancial ou meio ambiente.

Tabela 10. Concentração de Sulfato nos monitoramentos realizados (mg L⁻¹)

Sulfato	Pontos de Coleta					
	P0	P1	P2	P3	P4	P5
Datas de coleta						
Janeiro de 1990	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Julho de 1990	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Janeiro de 1991	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Julho de 1991	7,0	ND	3,3	ND	ND	3,0
Janeiro de 1992	ND	ND	8,0	12,0	9,0	9,0
Julho de 1992	7,0	ND	8,0	6,0	6,0	3,0
Média	7,00	ND	6,43	9,00	7,50	5,00

ND - Não-detectado

Embora se verifique que a presença desse elemento no efluente seja decorrente da matéria beneficiada (uma vez que a concentração oriunda do

rio São Mateus - ponto P0 - seja mínima), observa-se que a sua concentração global é baixa, não trazendo risco ou dano algum ao meio ambiente.

O Conama determina para as águas de classe 3 e efluente lançados nos corpos de água, concentração máxima de $5,0 \text{ mg L}^{-1} \text{ Zn}$, na qual se verifica na Tabela 11, referente ao resultado desse elemento nos monitoramentos realizados, que a maior concentração histórica nos pontos P4 e P3, foi de $0,34 \text{ mg L}^{-1} \text{ Zn}$. A média dos dois pontos são, respectivamente, $0,18$ e $0,13 \text{ mg L}^{-1} \text{ Zn}$. A mesma resolução determina que a concentração máxima para a classe de águas 1 seja $0,18 \text{ mg L}^{-1} \text{ Zn}$.

Muito embora as suas concentrações gerais sejam baixas, pode-se observar, na Tabela 11, que esse elemento passa a ter um aumento significativo a partir do ponto P1 (indústria) em relação à água captada para o processo de beneficiamento (ponto P0), levando a crer que esse acréscimo seja decorrente do material processado ou de algum desgaste de possíveis peças na indústria, ligado a esse material.

Observa-se, contudo, uma flutuação de concentrações entre as épocas de monitoramento, o que se declina por uma presença na raiz de mandioca do que no desgaste em si.

O teor de zinco total do solo não indica o quanto desse nutriente está disponível para as plantas. Vários fatores (como pH, solo com alto teor de fósforo, lixiviação, etc.) determinam a disponibilidade do zinco.

Tabela 11. Concentração de Zinco nos monitoramentos realizados (mg L^{-1})

Zinco	Pontos de Coleta					
	P0	P1	P2	P3	P4	P5
Datas de coleta						
Janeiro de 1990	0,07	0,21	0,20	0,12	0,17	0,08
Julho de 1990	0,18	0,59	0,73	0,27	0,33	0,22
Janeiro de 1991	0,06	0,19	0,18	0,07	0,15	0,08
Julho de 1991	0,27	0,54	0,45	0,25	0,34	0,29
Janeiro de 1992	ND	0,13	0,10	ND	ND	0,05
Julho de 1992	ND	0,49	0,51	0,21	0,27	0,20
Média	0,15	0,36	0,36	0,18	0,25	0,15

ND - Não-detectado

Pelas concentrações apresentadas nas análises (Tabela 12) esse elemento poderia também ser excluído dos monitoramentos, por apresentar valores muito baixos em qualquer ponto ou época de coleta. Ele é mantido pelo fato de fazer parte dos elementos contidos nos micronutrientes, necessário à formação da clorofila nas plantas, catalisando vários processos do metabolismo vegetal e é necessário, também, à promoção de diversas reações, apesar de, geralmente, não fazer parte dos produtos formados.

A Tabela 12 apresenta a série histórica do cobre, em cada ponto de coleta, nos monitoramentos realizados.

Verifica-se, através dos resultados apresentados no ponto P5, que a água do rio São Mateus é isenta do elemento cobre. A presença de traços nos pontos seguintes leva a crer, seguindo análise dos técnicos da Cetesb, que esse elemento seja oriundo do material beneficiado ou de um possível desgaste de peça mecânica desse material no processo industrial.

Braile (1979) não relaciona o cobre entre os elementos poluentes mais comuns da água. É um cátion que se torna tóxico quando em concentração elevada. À luz da resolução do Conama n.º 20, verifica-se que para as classes 1 e 2 exige-se uma concentração máxima de $0,02 \text{ mg L}^{-1} \text{ Cu}$; para a classe 3 essa concentração é elevada para $0,5 \text{ mg L}^{-1} \text{ Cu}$ e que, para lançamento do efluente no corpo d'água, a concentração máxima aceitável é de $1,0 \text{ mg L}^{-1} \text{ Cu}$. Assim, os valores na Tabela 3 são insignificantes aos valores máximos determinados pela resolução.

A reação desse elemento no solo, segundo Brady (1983), sofre influência marcante do pH, do montante de matéria orgânica e das circunstâncias de oxidação-redução do solo. Via de regra, valores de pH iguais ou superiores a 6,5 apresentam tendência à lenta assimilação pelos vegetais.

Tabela 12. Concentração de Cobre nos monitoramentos realizados (mg L^{-1})

Cobre	Pontos de Coleta					
	P0	P1	P2	P3	P4	P5
Datas de coleta						
Janeiro de 1990	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Julho de 1990	0,01	0,01	0,01	0,08	0,05	ND
Janeiro de 1991	0,01	ND	ND	ND	ND	ND
Julho de 1991	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	ND
Janeiro de 1992	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Julho de 1992	ND	ND	ND	0,01	0,01	ND
Média	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03	ND

(ND) Não-detectado

O elemento sódio não é poluente (tanto o é que o Conama não considera nem determina o valor máximo permitido para nenhuma das classes de águas, em especial a classe 3 com fins de irrigação).

Interessante verificar que se criou o mito de que o efluente oriundo do beneficiamento da mandioca (seja para obtenção da farinha ou para a fécula) teria um potencial salinizador de solo; provavelmente por fazer uma correlação equivocada entre sal e acidez em função do cianeto. Assim, analisou-se esse parâmetro como forma de se certificar de que não há riscos de salinização do solo utilizado para recepção do efluente maturado, monitorado para uso da fertirrigação.

Observa-se que o risco de se salinizar um solo, por meio agrícola, percorre de duas ações: ou o solo contém na sua composição elementos químicos formadores de sais (o que não é o caso do solo estudado que se caracteriza por ser um Podzólico Vermelho Amarelo) ou a água que se adiciona, via irrigação, contém radicais livres formadores de sais; o que, também, não é o caso do presente estudo uma vez que as águas do rio São Mateus são classificadas como C₁S₁, quanto à salinidade e à sodicidade. Ou seja, tanto a relação de absorção de sódio (RAS) como a percentagem intercambial de sódio (PIS) são baixas.

O terceiro parâmetro pelo qual se fundamenta tal afirmativa é que a condutividade elétrica desse efluente é baixa.

Na Tabela 13, observa-se no ponto P5 que as concentrações de sódio são flutuantes, coincidindo com a época das estações de chuva e de seca. Outrossim, verifica-se, ainda, que as médias das concentrações dos pontos P5 e P0 (relação entre o que entra e sai da processo industrial) assemelham-se, não apresentando riscos de salinidade e sodicidade se aplicadas ao solo agrícola.

Tabela 13. Concentração de Sódio nos monitoramentos realizados (mg L⁻¹)

Sódio	Pontos de Coleta					
	P0	P1	P2	P3	P4	P5
Datas de coleta						
Janeiro de 1990	22,0	27,0	27,0	25,0	23,0	19,0
Julho de 1990	27,0	28,0	28,0	37,0	23,0	27,0
Janeiro de 1991	29,0	30,0	30,0	30,0	30,0	21,0
Julho de 1991	31,6	27,1	16,8	35,0	30,0	29,3
Janeiro de 1992	3,0	8,1	9,3	6,2	4,3	2,9
Julho de 1992	15,0	13,0	19,0	28,0	26,0	24,0
Média	21,27	22,20	21,68	26,87	22,72	20,53

Observa-se na Tabela 14 que, por maior que venha a ser a concentração dessa substância no ponto P4 (saída da indústria), ele se volatiliza muito facilmente resultando na sua significativa redução no ponto imediato de coleta (P3) e, praticamente em todos os monitoramentos, ausentes nos pontos P2 e P1.

Explorando um pouco mais a Tabela 14, verifica-se, ainda, no ponto P4 que a concentração do cianeto flutua em função da época de coleta. Os seus valores são maiores, para esse caso e região estudada, no período das águas (início do ano) do que quando comparado com os monitoramentos realizados no meio do ano (estação da seca), período que corresponde à máxima concentração de amido nas raízes.

Verifica-se ainda que os valores encontrados no ponto P1 (efluente maturado e à superfície da lagoa)

apresentam comportamento semelhante ao do ponto P5 (rio São Mateus), para o mesmo período.

Verifica-se, também, que as concentrações encontradas ainda no ponto P1 atendem às normas vigentes do Conama, inclusive para a classe 1 de águas (concentração máxima de 0,01 mg L⁻¹) (Cetesb, 1980), onde o mesmo não pode ser dito no ponto P5 para o 5º monitoramento; provavelmente, em função de despejos clandestinos de indústrias de mandioca à montante da estação de captação da água da indústria.

Tabela 14. Concentração de Cianeto nos monitoramentos realizados (mg L⁻¹)

Cianeto	Pontos de Coleta					
	P0	P1	P2	P3	P4	P5
Datas de coleta						
Janeiro de 1990	ND	ND	ND	0,023	3,3	ND
Julho de 1990	ND	ND	ND	0,13	2,2	ND
Janeiro de 1991	ND	ND	ND	0,019	2,9	ND
Julho de 1991	ND	0,011	0,020	0,01	2,3	0,010
Janeiro de 1992	0,007	0,010	0,028	0,037	3,0	0,021
Julho de 1992	ND	ND	ND	0,19	2,2	ND
Média	0,01	0,01	0,02	0,07	2,65	0,02

(ND) Não-detectado

Observando todos resultados, de acordo com as todas as exigências do órgãos ambientais, as análises realizadas no P3 e P4 permitiriam que o efluente, após permanecer na lagoa de estabilização por determinado período, fosse lançado no curso d'água. Mas do ponto de vista agrônomo, o lançamento do efluente no curso de água seria uma incoerência em termos econômicos, pois o efluente poderia ser utilizado com fonte de nutrientes que poderiam ser adicionados ao solo para produção agrícola.

Referências

- AIKMAN, D.I. Wastewater reuse from the standpoint of irrigated agriculture. *Public Health Eng. Abstr.*, Washington, DC, v.11, n.1, p.35-41, 1983.
- ALEXANDER, K.E.F. Filter Care. *S. Afr. Sugar J.*, Pretória, v.56, n.28, p.71-77, 1972.
- BERGAMIN, F. A poluição pelos resíduos de mandioca. *Lavoura e Criação*, São Paulo, v. 8, no. 53, p. 9-10., 1953.
- BRADY, N.C. *Natureza e Propriedade dos solos*. 2 ed. Rio de Janeiro: Biblioteca Universitária Freitas Bastos, 1983.
- BRAILE, P.M. *Manual de tratamento de águas residuárias industriais*. São Paulo Cetesb, 1979.
- CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela cultura da soja no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. *Bragantia*, Campinas, v.59, n.2, p-213-220, 2000.
- CEREDA, M.P. Caracterização dos resíduos da industrialização da mandioca. In: *Resíduos da industrialização da mandioca no Brasil*. São Paulo: Editora Paulicéia, 1994, p. 11-50.

- CETESB. Legislação estadual: Leis, decretos, etc. Controle de poluição ambiental - Estado de São Paulo (atualizado até julho, 1990) - Série Documentos, São Paulo: Cetesb, 1990.
- DAN REGION SEWAGE TREATMENT AND RECLAMATION PROJECT edited by Mekorot Water Company Ltd, 1978. 12p.
- FIORETTO, R.A. Uso direto da manipueira em fertirrigação. In: *Resíduos da industrialização da mandioca no Brasil*. São Paulo: Editora Paulicéia, 1994. p. 51-80.
- GLÓRIA, N.A. et al. Composição mineral das tortas de filtro rotativo. *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, v.84, n.3, p.37-44, 1974.
- HEALEY, M.J. *The development of a land disposal treatment system for the disposal of industrial wastewater*. Melbourne: Water Wastewater Association, p. 329-337, 1983.
- MEADE, G.P. *Manual del Azucar de Caña*. Barcelona, 1967.
- NOVIKOV, V.M. *Use of wasterwater for irrigation of soils*. Moscou: Ed. Kolos, 1983.
- PATZA, M.G.B. et al. *Estudo do pós-tratamento dos efluentes de biodigestão tratando vinhoto de mandioca*. Curitiba: Surehma, 1993.
- SAGARRA, A.F. Bagaço: Composição, conservação, armazenamento e aproveitamento industrial em 1983. In: SEMANA DE FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA, 3., 1966, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Instituto Zimotécnico, Esalq, 1966, p. 280-294.
- SOBRINHO, P.A. Autodepuração dos corpos d'água. In: Curso poluição das águas. São Paulo: Cetesb/Abes/BNH, 1975. cap.8, p. 6-9.
- SILVA, J.R. et al. Agroindústria de farinha de mandioca nos estados de São Paulo e do Paraná, 1995. *Informações Econômicas*, São Paulo, v.26, n. 3, p. 69-83, 1996.
- TAKAHASHI, M. Aproveitamento da manipueira e de resíduos do processamento da mandioca. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.13, n.145, p.83-87, 1987.

Received on June 11, 2002.

Accepted on May 30, 2003.