



NORMA TÉCNICA

D3.591

Fev/1989
27 PÁGINAS

Tratamento de águas de lavagem de cana: manual técnico

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Avenida Professor Frederico Hermann Jr., 345
Alto de Pinheiros CEP 05459-900 São Paulo SP
Tel.: (11) 3133 3000 Fax.: (11) 3133 3402

[http: // www.cetesb .sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)

CETESB	TRATAMENTO DE ÁGUAS DE LAVAGEM DE CANA Manual Técnico	D3.591 FEV/89
--------	---	----------------------

<u>SUMÁRIO</u>	<u>Pág.</u>
Introdução.....	1
1 Objetivo.....	2
2 Nomenclatura.....	2
3 Aspectos físicos, químicos e microbiológicos no tratamen to das ALC.....	2
3.1 Aspectos físicos e químicos.....	2
3.2 Caracterização microbiológica das ALC.....	8
4 Sistemas de remoção de sólidos.....	15
4.1 Remoção de sólidos grosseiros por "cush-cush".....	15
4.2 Remoção de sólidos sedimentáveis.....	16
5 Alternativas para tratamento secundário.....	19
5.1 Lagoas de estabilização.....	19
5.2 Lagoas mecanicamente aeradas.....	21
5.3 Digestor anaeróbico de fluxo ascendente.....	22
6 Nota final.....	23
Referências bibliográficas.....	25

INTRODUÇÃO

A implantação do Plano Nacional do Alcool propiciou a instalação de muitas destilarias autônomas, bem como a ampliação de usinas com destilarias anexas já existentes, o que agravou o problema crô- nico do tratamento e disposição dos grandes volumes de efluentes gerados nessas indústrias.

Um dos efluentes de maior importância são as águas de lavagem de cana (ALC), pois a técnica de desfolhamento e colheita utilizada no Estado de São Paulo provoca carreamento de uma quantidade sig- nificativa de terra, podendo chegar em casos extremos a 10% do pe- so total da cana, em épocas de chuva. Como se pode perceber, a la- vagem de cana adquire importância fundamental, pois minimiza pro- blemas do desgaste de equipamentos (picadores, desfribadores, mo- endas, bombas, etc.) e facilita a operação dos decantadores de cal- do e filtros a vácuo. Essa terra contém uma quantidade considera-
rá

vel de matéria orgânica, a qual provém principalmente da exsudação da cana de açúcar.

Assim a ALC contendo uma quantidade considerável de sólidos e matéria orgânica, aliados a grandes vazões, constitui-se num efluente com alto potencial poluidor. As usinas de açúcar e destilarias autônomas possuem algumas alternativas para tratar e/ou dispor esse efluente:

- a) tratamento biológico;
- b) recirculação total ou parcial;
- c) irrigação da lavoura com ou sem mistura de restilo.

Tendo como objetivo melhorar a qualidade das águas dos rios, a CETESB elaborou este Manual que fornece informações que auxiliarão na elaboração de projetos e operação de sistemas de tratamento de ALC dentro de padrões adequados de funcionamento.

1 OBJETIVO

Este Manual fornece orientação e parâmetros para elaboração e avaliação de projetos de sistemas de tratamento de ALC, bem como subsídios para a operação e manutenção desses sistemas.

2 NOMENCLATURA

Para os efeitos deste Manual é adotada a seguinte nomenclatura:

ALC	- Águas de lavagem de cana
NMP	- Número mais provável
DQO	- Demanda química de oxigênio
DBO	- Demanda bioquímica de oxigênio
ST	- Sólidos totais ou resíduo total
RS	- Resíduos sedimentáveis
N _T	- Nitrogênio total
P _T	- Fósforo total
STALC	- Sistema de tratamento de águas de lavagem de cana
DAFA	- Digestor anaeróbio de fluxo ascendente

3 ASPECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS NO TRATAMENTO DAS ALC

3.1 Aspectos físicos e químicos

O conhecimento das características físico-químicas e biológicas das ALC é fundamental para se definir a melhor forma de tratamen

to e disposição que se aplique a esse despejo, bem como para estabelecer parâmetros de projeto, operação e manutenção do sistema de tratamento adotado.

Todos os parâmetros abaixo relacionados são interdependentes e para poder se conceber o STALC e se avaliar a sua eficiência devem ser analisados em conjunto, ao lado de outros fatores como: tipo de mesa de lavagem, condições da matéria prima, boa ou má operação dos circuitos, etc.

3.1.1 pH

É um parâmetro de muita importância e está diretamente ligado à qualidade da água de lavagem de cana, tanto em termos físico-químicos, como em termos microbiológicos. Mantido em uma faixa alta evitará uma série de problemas como: aparecimento de mau cheiro, queda da eficiência na decantação, além de diminuir sensivelmente o desgaste de equipamentos devido à corrosão e possibilidade de contaminação do caldo.

Nas usinas e destilarias que utilizam circuito fechado há a necessidade de se manter o pH da água na faixa de 10,5 a 12,0. Normalmente isso é feito pela adição de leite de cal de forma contínua. Verificou-se em várias usinas e destilarias que o consumo ficava entre 500 e 1 000 g de cal/tonelada de cana. A cal além de diminuir a atividade microbiológica pela elevação do pH, também promove a floculação de parte dos sólidos em suspensão, concorrendo para uma melhor decantação. Nos sistemas abertos, a necessidade do controle do pH será função do destino das ALC.

Normalmente não é feito controle de pH, exceto em alguns sistemas de tratamento biológico. Medições feitas em diferentes usinas e destilarias do Estado de São Paulo mostraram valores que variavam:

- de 4,5 a 12,0 - para sistemas fechados de circuito de ALC.
- de 4,1 a 6,0 - para sistemas abertos de circuito de ALC.

3.1.2 Sólidos

3.1.2.1 A presença de sólidos em águas residuárias industriais indica a presença de materiais em suspensão, inorgânicos e orgânicos, que podem ser removidos por processos físico-químicos. Os sólidos totais compreendem sólidos suspensos e sólidos filtráveis. A fração dos sólidos suspensos inclui os resíduos sedimentáveis. A fração dos sólidos filtráveis compreende os sólidos coloidais e os sólidos dissolvidos.

- a) Sólidos totais - A qualidade e a natureza dos sólidos no processo de lavagem de cana são variáveis. Dependem, por exemplo, do tipo de solo onde está localizado o canavial, do tipo de corte realizado, do volume de água utilizado na lavagem por tonelada de cana e da forma de lavagem (tipo, número e inclinação das mesas de lavagem).
- b) Resíduos sedimentáveis - São os sólidos capazes de ser removidos por decantação durante 1 hora. É necessário o conhecimento de seu teor nas ALC para o dimensionamento das unidades de sedimentação e para medir a eficiência das mesmas. Têm-se encontrado quantidades de terra de 3 a 5% da massa da cana, com densidade aparente de $1,5 \text{ t/m}^3$. A Tabela 1 mostra resultados em duas usinas que operam o sistema de ALC de formas diferentes. A usina A tem um sistema bem operado e a usina B um sistema mal operado.

TABELA 1 - Resultados do teor de resíduos sedimentáveis em ALC antes e após decantação em 2 usinas

RS (mL/L)		
Antes da decantação	Após a decantação	
Usina A	10	4,5
	7,5	1,5
	11,0	4,5
	1,5	0,5
	2,2	0,1
Usina B	< 0,1	< 0,1
	5,0	0,5
	0,5	1,0
	4,5	0,5
	2,5	1,0

- c) Sólidos flutuantes - Uma parcela significativa de sólidos não retida pelo sistema de gradeamento, nem passível de sedimenta

ção, tende a flutuar no decantador. Tais sólidos em geral correspondem a bagacilho, fuligem, pedaços de folhas e colmos, placas de lodo desprendidas do fundo, espuma, etc.

- d) Sólidos filtráveis - Os sólidos coloidais, que correspondem à parte argilosa do solo agregada à cana, são de difícil remoção das ALC. A adição de cal, como agente coagulante, aumenta bastante a eficiência na sua remoção do sistema. Entretanto, apenas um tratamento mais completo asseguraria uma porcentagem maior de remoção dos mesmos. Os sólidos filtráveis são em grande parte representados por matéria orgânica, que conferem às ALC sua carga poluente característica e estão representados por açúcares, gomas, pectinas, amido, etc.

3.1.2.2 A título de controle operacional das STALC os ST e os RS são os mais significativos para verificar suas eficiências. As faixas observadas destes parâmetros foram:

Parâmetro	Sistema aberto	Sistema fechado
ST (mg/L)	600 a 1 800	400 a 32 300
RS (mL/L)	0,1 a 10	0,1 a 60

Para os dois casos, independentemente do sistema de decantação empregado, há necessidade de manter os valores desses parâmetros nos níveis mais baixos possíveis, de modo a garantir um índice de qualidade aceitável da água para a lavagem da cana, para evitar assoreamento de lagoas de tratamento e canais de condução e não causar danos a equipamentos.

No sentido de se evitar problemas com a decantação em sistemas abertos ou fechados recomenda-se:

- melhorar o sistema de colheita e transporte da cana de modo a diminuir os sólidos aderidos;
- ter um sistema de decantação bem dimensionado e principalmente bem operado;
- no caso de sistemas fechados promover um descarte contínuo de aproximadamente 5% da vazão das ALC;
- prover os decantadores de sistema de retenção e remoção dos sólidos flutuantes, o que pode ser feito com anteparos ou cortinas na saída do efluente do sistema de decantação;

3.1.3 Nitrogênio e fósforo

A origem desses nutrientes (N e P) nas águas de lavagem de cana é devida principalmente à presença de fertilizantes na terra que

vêm com a cana. Os teores de N e P de duas STALC são mostradas na Tabela 2. Uma excessiva descarga destes nutrientes em sistemas aquáticos causa, em represas e lagoas, o fenômeno conhecido como eutrofização, isto é, com a introdução contínua de sais nutrientes, há um aumento da produção de algas, trazendo como consequência a elevação da turbidez da água e alteração geral do meio.

TABELA 2 - Resultados de nitrogênio total e fósforo total em ALC em 2 usinas

N _T (mg/L)		P _T (mg/L)	
Antes da decantação	Após a decantação	Antes da decantação	Após a decantação
38	35	23,5	10,9
15	13	3,4	2,3
72	70	15,5	8,38
39	39	11,4	11,5
58	50	6,1	5,3
27,0	33,0	2,0	2,45
5,0	35,0	2,27	1,40
42,0	37,0	2,25	2,85
5,0	7,5	2,0	2,25
22,0	18,0	11,0	9,0

Os valores encontrados para ALC foram:

Parâmetro	Sistema aberto	Sistema fechado
N_T (mg/L)	3,0 a 16,0	5,0 a 220
P_T (mg/L)	0,01 a 3,5	2,0 a 110

Os descartes das ALC de sistemas fechados são hoje predominantemente dispostos no solo. Acredita-se que tais nutrientes, desde que aplicados em taxas de acordo com a necessidade da planta, não devem afetar sobremaneira o solo e o lençol freático.

3.1.4 DQO/DBO

São os parâmetros mais utilizados para a medida do grau de poluição de águas residuárias e superficiais. São também utilizados para o dimensionamento de instalações de tratamento e para avaliar a eficiência das mesmas.

Como a análise de DBO é demorada (5 dias) é comum utilizar a DQO para realizar estes controles. Entretanto para as ALC, onde há uma grande oscilação nos valores desses parâmetros é difícil se estabelecer uma relação DQO/DBO estável.

Ao longo das reciclagens as ALC tendem a aumentar os valores de DQO e DBO, ficando dessa forma sua qualidade comprometida. Paralelamente a essa elevação ocorre aumento da população microbiana, dificuldade no controle do pH e queda da eficiência da clarificação. Nos diversos levantamentos realizados foram encontradas as seguintes faixas de valores.

Parâmetro	Sistema aberto	Sistema fechado
DQO (mg/L)	580 a 2 000	220 a 32 000
DBO (mg/L)	200 a 800	120 a 26 000

3.1.5 Vazão

O parâmetro mais representativo utilizado na quantificação do volume de água gasta na lavagem de cana é a relação volume de água/tonelada de cana moída (m^3/t).

As variações na relação m^3/t estão ligadas principalmente à disponibilidade de água da indústria e ao equipamento utilizado. Tem-se observado que não existe nenhum critério para se definir esta relação, embora seja de grande importância para a qualidade da água de lavagem de cana.

Usinas que trabalham com uma relação de 5 a 8 m^3/t apresentam melhor eficiência de lavagem do que aquelas onde se utilizam relações menores. Entretanto, esta condição está relacionada com a boa operação do sistema.

Nos diversos levantamentos realizados foram encontradas as seguintes faixas de valores para a relação m^3/t :

Parâmetro	Sistema aberto	Sistema fechado
volume/t de cana (m^3/t)	1,76 a 6,0	3,2 a 12,0

3.2 Caracterização microbiológica das ALC

3.2.1 Aspectos gerais

As principais fontes de contaminação microbiana das ALC provêm da própria cana e sua flora epífita, dos solos carregados com os colmos, do pó e dos equipamentos de corte contaminados.

Inúmeros microrganismos (bactérias, fungos, leveduras e outros) encontram nas ALC um meio ideal para sua proliferação pois:

- a) subsiste um teor residual de nutrientes originados em sua maior parte do próprio solo, e que ficam aderidos aos colmos da cana por ocasião da colheita e passam às ALC;
- b) o substrato para tais microrganismos advém principalmente da sacarose e de outras substâncias naturais da cana. Na etapa da queima da cana, uma parcela de açúcares é exsudada pelas rachaduras do caule, ficando aderida a este. Esta matéria orgânica, mais aquela carregável de partes expostas e regiões danificadas dos colmos, é arrastada pelas ALC, indo constituir o substrato ideal para o desenvolvimento microbiano. Cerca de 2,5 kg de açúcar/t de cana são arrastados pelas ALC. Tal índice pode ser maior ou menor em função do tipo de mesa de lavagem, volume de água utilizado, condições de preparo da cana, etc.;
- c) no percurso das ALC existem trechos de oxigenação (chuveiros, alimentação de decantadores, calhas abertas, etc.) e zonas anaeróbias. Tais condições favorecem a contaminação pelos mais variados tipos de microrganismos;
- d) tanto os locais onde se acham as usinas/destilarias, como as épocas de safra, são de temperatura e umidade de ar geralmente favoráveis ao desenvolvimento microbiológico. Além disso, a reposição de água no circuito das ALC, utilizando-se água quente proveniente das colunas barométricas e/ou condensadores da destilaria, concorre para o estabelecimento de uma temperatura adequada ao desenvolvimento microbiano. Nos circuitos fechados há uma inoculação constante de microrganismos num grande meio de cultura, que são as ALC.

Estudos realizados demonstraram que existe uma relação entre o nível de contaminação microbiana do caldo e do mosto de fermentação e a qualidade das águas de lavagem de cana.

Também a qualidade da água de abastecimento dos sistemas de lavagem de cana ou reposição dos circuitos é de fundamental importância.

cia para evitar a proliferação microbiana.

A Tabela 3 mostra os parâmetros: contagem total de bactérias heterótroficas em placas, N.M.P. de coliformes totais e N.M.P. de coliformes fecais das ALC. Os dados apresentados correspondem a um estudo desenvolvido em duas usinas que realizavam a reciclagem das ALC e usavam caixas de decantação para clarificá-las.

3.2.2 Principais microrganismos contaminantes das ALC

Até a data da homologação deste Manual, a CETESB dispunha de resultados concretos sobre a caracterização completa da flora microbiana das ALC. Supõe-se, entretanto, que os microrganismos que contaminam o caldo estão também presentes nas ALC, e mesmo que advêm delas. Se isso realmente ocorrer, os principais microrganismos das ALC seriam:

- várias espécies de sacaromycetos (leveduras, falsas e verdadeiras);
- bactérias mesofílicas (anaeróbias e aeróbias) e, dentre essas:
 - . bactérias formadoras de gomas (Leuconostoc mesenteroides);
 - . bactérias do ácido butírico;
 - . lactobacilos.

O Bacillus subtilis, por exemplo, contamina a usina/destilaria e arredores, podendo igualmente vir com a cana. Fungos como Aspergillus, Monilia e Penicillium, também são normalmente encontrados.

Dentre as bactérias que contaminam a cana, as ALC, o caldo, etc. o Leuconostoc mesenteroides é uma das mais enérgicas consumidoras de sacarose. Além da perda total da sacarose, pois não subsistem sequer açúcares redutores fermentáveis a etanol, esta contaminação produz como metabólito indesejável a dextrana. Este polissacarídeo pode induzir alta viscosidade ao meio (caldos, xaropes, massa cozida, etc.), além de afetar a cristalização e a fermentação alcoólica e gerar outros fatores negativos.

Similarmente às bactérias do tipo Leuconostoc, as leveduras, chamadas por vezes de "selvagens" contaminam a cana, as ALC, etc., e são grandes consumidoras de sacarose.

3.2.3 Principais formas de controle microbiano das ALC

Basicamente existem duas técnicas para se fazer o controle da con

TABELA 3 - Faixas de variação observadas nas análises bacteriológicas realizadas nas usinas A e B

Período: Ago/Nov - 1983

	Contagem de bactérias heterotróficas em placas (UFC/mL)		N.M.P. de coliformes totais (org/100 mL)		N.M.P. de coliformes fecais (org/100 mL)	
	Usina A	Usina B	Usina A	Usina B	Usina A	Usina B
Água de lavagem de cana antes da decantação	$1,2 \times 10^4$	$1,6 \times 10^6$	170	$2,3 \times 10^3$	n.d.	n.d.
	a	a	a	a	a	a
Água de lavagem de cana após a decantação	$1,5 \times 10^5$	$1,8 \times 10^8$	$2,0 \times 10^2$	$3,3 \times 10^7$	$2,0 \times 10^2$	$7,0 \times 10^4$
	a	a	a	a	a	a
Água de lavagem de cana após a decantação	$5,2 \times 10^3$	$1,2 \times 10^7$	33	370	n.d.	n.d.
	a	a	a	a	a	a
Água de lavagem de cana após a decantação	$1,2 \times 10^6$	$1,6 \times 10^8$	$2,0 \times 10^2$	$1,3 \times 10^7$	$4,5 \times 10^4$	$4,5 \times 10^4$
	a	a	a	a	a	a

Obs.: n.d. = não detectado
 UFC = Unidade Formadora de Colônia/mL
 org/100 mL = organismos/100 mL

taminação microbiológica industrial:

a) a esterilização, utilizando principalmente:

- . vapor úmido;
- . calor seco;
- . filtração;
- . pasteurização;
- . tindalização;
- . radiação.

b) desinfecção, através de substâncias químicas.

Nos processos industriais contínuos, como é o caso da lavagem da cana, a manutenção de boas condições é de grande importância, pois a contaminação que se instala, por ser gradativa, é mais persistente e forte que nos processos descontínuos.

3.2.3.1 Medidas preventivas para controlar a contaminação das ALC

Como principais medidas preventivas para controlar a contaminação das ALC podem ser citadas as seguintes:

- a) evitar a formação de filmes microbianos em superfícies de contato com a ALC, através da limpeza constante das mesmas. O item 3.2.3.3 indica os principais agentes utilizados para o controle microbiano;
- b) evitar zonas mortas ou estagnadas, que agem como focos individuais alastradores de contaminação;
- c) evitar trabalhar com pH baixo, nunca inferior a 10,5. As Figuras 1, 2, 3 e 4, apresentadas a seguir, mostram a relação entre os índices de contaminação das ALC e o pH;
- d) assegurar uma boa clarificação das ALC, pois os sólidos em altos teores, sejam eles sedimentáveis ou coloidais, podem agir como suportes bacterianos;
- e) é sempre interessante lavar a cana, por menos suja que esteja, com uma ALC com bons índices de qualidade; ou seja, os cuidados para se ter uma matéria prima mais limpa, e conseqüentemente uma ALC menos contaminada, começam já no campo e continuam com o transporte da mesma, sua estocagem e processamento;
- f) realizar amostragens periódicas das ALC dentro de uma rotina de controle microbiano; alguns autores sugerem a introdução de contagem de bactérias lácticas, leveduras e fungos. O esquema analítico é de fácil adaptação, demandando alguns equipamentos e dependências especiais e treinamento de pessoal.

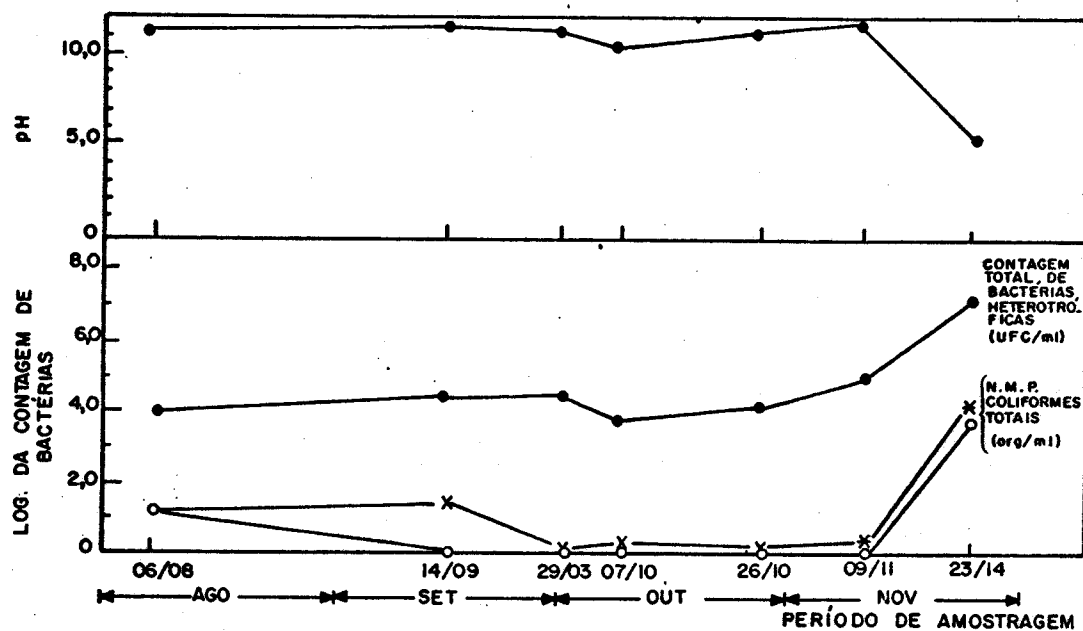


FIGURA 1 - Resultados de análises físico-químicas e bacteriológicas das águas de lavagem de cana antes da decantação - Usina A - Safra 83/84

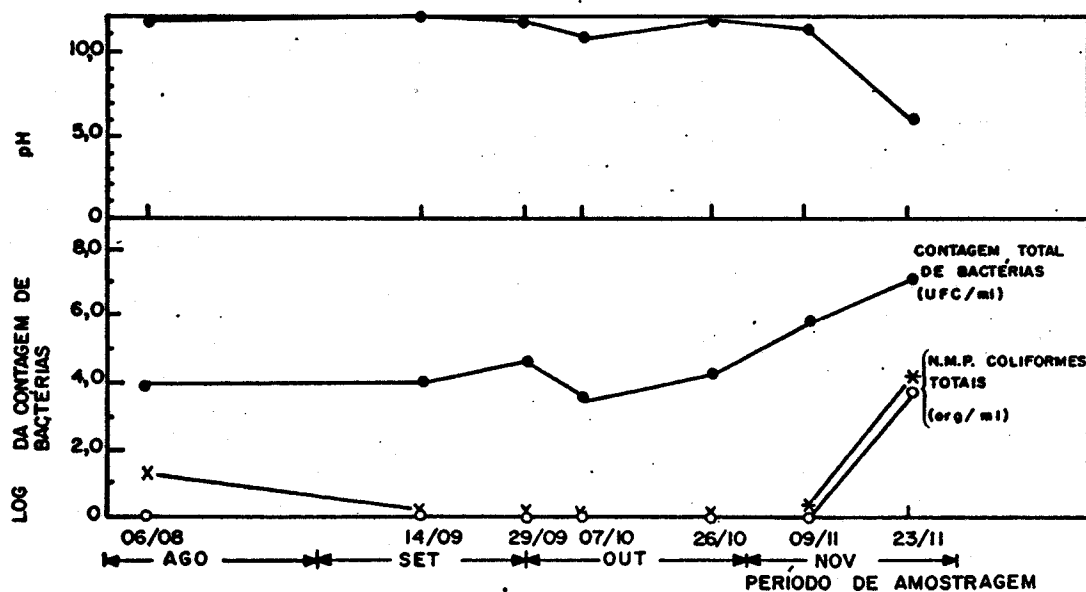


FIGURA 2 - Resultados de análises físico-químicas e bacteriológicas das águas de lavagem de cana após decantação - Usina A - Safra 83/84

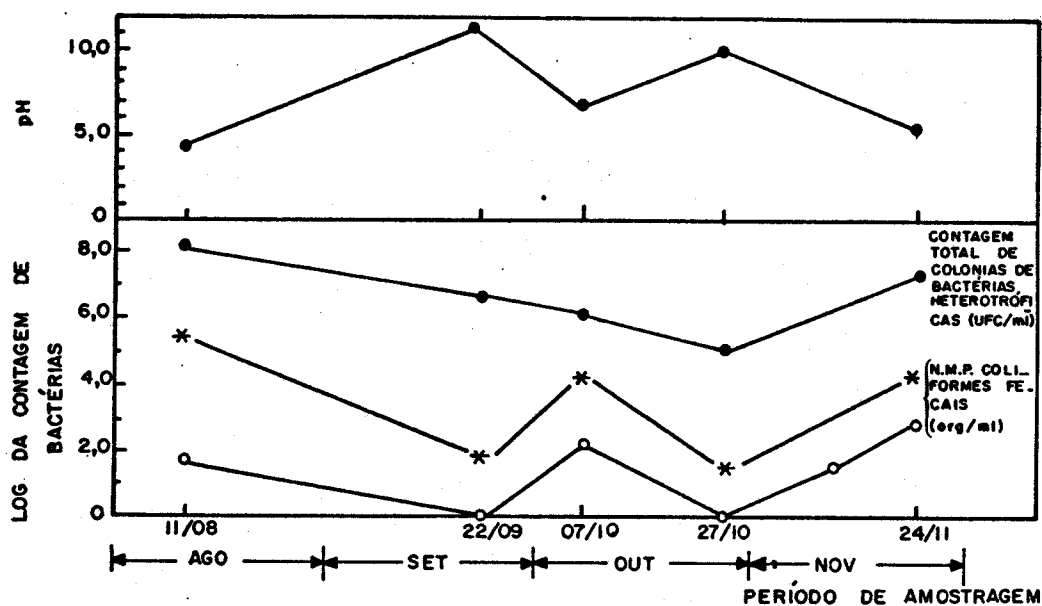


FIGURA 3 - Resultados de análises físico-químicas e bacteriológicas das águas de lavagem de cana antes da decantação - Usina B - Safra 83/84

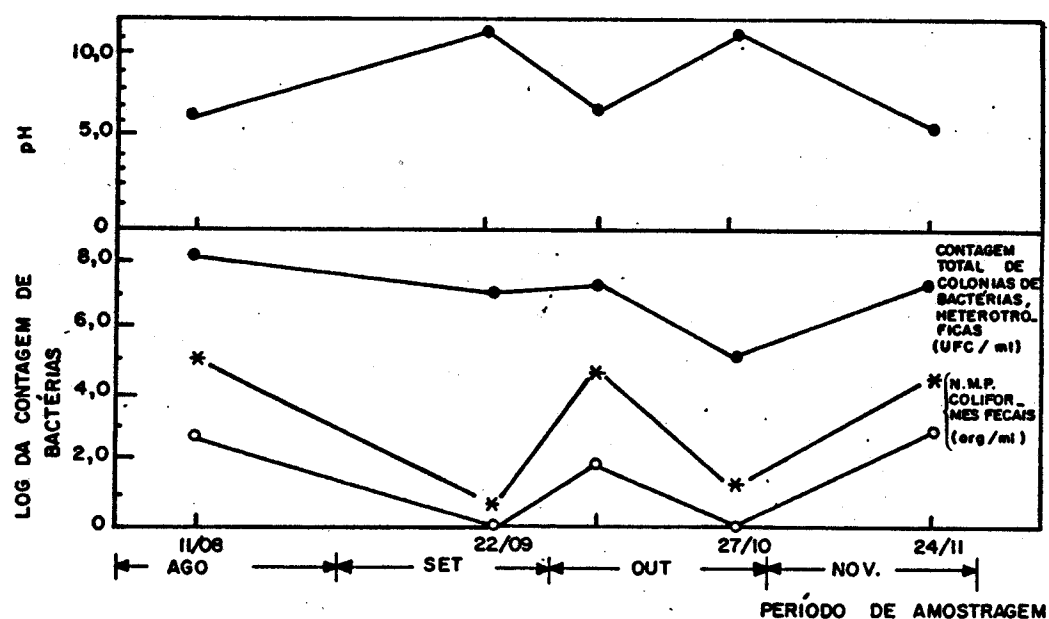


FIGURA 4 - Resultados de análises físico-químicas e bacteriológicas das águas de lavagem de cana após decantação - Usina B - Safra 83/84

3.2.3.2 Uso de agentes desinfetantes

A importância do uso de desinfetantes, mesmo de forma preventiva é já, sabidamente, reconhecida. Em alguns casos apenas o uso regular, e até em quantidades pequenas de produtos anti-contaminantes, tem trazido substanciais ganhos de rendimento industrial.

Diversas substâncias têm sido utilizadas para o controle microbiano do caldo, a saber: ácidos, álcalis, compostos halogenados, compostos denolados, formaldeído, água oxigenada e, mais recentemente, até antibióticos. A seguir apresentam-se alguns compostos químicos passíveis de serem utilizados:

- fenol - é bastante tradicional e utilizado como padrão de contraste para definir o chamado "coeficiente fenólico", que é a intensidade de poder de desinfecção de uma determinada substância;
- formaldeído - age precipitando o protoplasma celular;
- ozona e água oxigenada - agem oxidando substâncias orgânicas contidas na célula;
- anidrido sulfuroso - age modificando o potencial de oxi-redução do meio;
- compostos quaternários de amônio - são tradicionalmente usados na desinfecção de moendas e poderiam ser utilizados no controle microbiano das ALC da mesma que forma o sulfanol (dodecilbenzeno-sulfonato);
- tetraciclina-riboflavina - que agem conjuntamente, podem combater a contaminação por Leuconostoc;
- enzimas - que atuam sobre os metabólitos indesejáveis produzidos pelos microrganismos. É o caso da dextranase; embora, nesses casos, a perda de sacarose já tenha acontecido e se esteja apenas atenuando os possíveis problemas advindos da dextrana. Para as ALC tal tratamento seria talvez muito refinado.

Todos esses produtos e mais os desinfetantes comerciais de fórmulas muitas vezes desconhecidas para os usuários, carecem de estudos especiais quanto à sua eficiência, dosagem, implicações, etc., na desinfecção das ALC (principalmente quando estas são recirculadas), pois até o momento não se dispõe de maiores informações sobre a desinfecção desse efluente.

4 SISTEMAS DE REMOÇÃO DE SÓLIDOS

4.1 Remoção de sólidos grosseiros por "cush-cush"

Os sólidos grosseiros são representados basicamente por folhas e toletes que vêm com a cana de açúcar, e dela se desprendem por ocasião da lavagem, passando às ALC. Tais sólidos, se não removidos previamente podem causar uma série de problemas operacionais no sistema subsequente à decantação (danos em bombas e tubulações, assoreamento, etc.). Tais sólidos podem representar 1 tonelada/1 000 toneladas de cana processada. Para removê-los pode-se empregar o peneiramento mecânico especialmente desenvolvido para tanto (cush-cush).

A ALC a ser peneirada é alimentada no início do cush-cush (base), passando através da tela de chapa perfurada ou telas de barras triangulares (semelhantes às utilizadas em peneiras estáticas). Os sólidos retidos são arrastados por taliscas até um reservatório basculante ou esteiras transportadoras que os levam de volta à etapa de alimentação de cana no processo.

As principais características do cush-cush com placa perfurada são:

- a) taxa de aplicação: 120 a 250 m³/m².h, sendo 200 m³/m².h o valor mais recomendado;
- b) o diâmetro dos furos varia de 5 a 22 mm. Entretanto, a prática tem mostrado que com 9,5 mm não ocorrem entupimentos e tem-se uma boa eficiência de remoção. Quando são empregadas telas de barras triangulares, a abertura é de 1,0 mm;
- c) largura do cush-cush: 0,6 a 1,55 m;
- d) unidades de cush-cush: pode-se trabalhar com uma ou mais unidades em paralelo, em função da tonelagem de cana lavada e tipo de cush-cush empregado;
- e) comprimento: 4,0 a 30 m.

A quantidade de cana processada, o tipo de área vazada utilizada (placa perfurada ou tela de barras) e o desnível a ser vencido vão orientar quanto ao comprimento do cush-cush. Como exemplo, segundo os vários projetos estudados, tem-se a Tabela 4.

- f) área vazada: 30 a 60% da área total; em geral em torno de 45%. A área perfurada deve ter no mínimo 1 m² para cada 1 000 m³/h de vazão de ALC.
- g) inclinação do cush-cush: máxima de 50° para evitar retorno de material.

TABELA 4 - Comprimentos comuns de cush-cush para várias tonelagens de cana

Quantidade de cana (t/dia)	Compr. cush-cush (m)	Tipo	Nº de cush-cush utilizados
4 000	4,5	Placa perfurada	2
4 000	7,0	" "	1
5 000	9,0	" "	1
6 000	9,0	" "	1
8 000	7,0	" "	2
15 000	19	tela	1
15 000	32	"	1

4.2 Remoção de sólidos sedimentáveis

Os sólidos sedimentáveis existentes nas ALC são removidos em sistemas que podem empregar: pré-decantação e decantação ou apenas decantação.

4.2.1 Pré-decantação

Destina-se a remover a parcela de partículas discretas ou mais facilmente decantáveis, em geral de diâmetros maiores que 100 μm e velocidade de sedimentação superior a 0,4 cm/s. Este sistema explora a redução da velocidade de fluxo (através do aumento de área), e assim possibilita a deposição das partículas discretas.

O objetivo deste tratamento é evitar abrasão de equipamentos e tubulações, eliminar ou reduzir a possibilidade de obstrução de tubulações e sobrecarga nos decantadores e até economia de agentes auxiliares de floculação (em geral a própria cal). O lodo obtido nesta pré-decantação é mais compacto e facilmente removível.

Uma vantagem adicional é que seu emprego reduz o tamanho das lagoas de lodo utilizadas para armazenamento do material sedimentado nos decantadores circulares.

A remoção do material decantado deve ser contínua, para evitar o seu acúmulo, e os dispositivos empregados neste caso podem ser: esteiras, caçambas, raspadores ou parafusos-sem-fim.

As taxas de aplicação utilizadas nos pré-decantadores estão em torno de 18 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$.

4.2.2 Decantação

Na decantação dos sólidos contidos nas ALC normalmente empregam-se:

- a) lagoas de decantação;
- b) caixas de decantação;
- c) decantadores circulares com bomba móvel de sucção de lodo.

4.2.2.1 Lagoas de decantação

Trata-se de uma solução não recomendada, pois demanda área e custos operacionais elevados, devido à necessidade de remoção constante do lodo além da dificuldade em manter o pH em índices elevados e da baixa eficiência de clarificação, em especial nos casos de sistemas fechados. Os taludes devem ser suficientemente largos e resistentes para permitir a circulação de dragas e sistemas de remoção de lodo. São lagoas simplesmente escavadas no solo em número que varia de um a três, conforme o caso. Normalmente têm sua capacidade para reter lodo por toda uma safra e, neste caso, já nos primeiros meses ocorre total assoreamento da primeira lagoa (ou área de afluência, se for única) e a eficiência da clarificação vai decair gradativamente. Outra observação é a necessidade de segurança que tais unidades devem ter para evitar danos ambientais por acidente (transbordamentos ou rompimento de taludes).

4.2.2.2 Caixas de decantação

São sistemas muito utilizados que empregam duas ou mais caixas para reter os sólidos decantáveis das ALC. São providas de canal de alimentação comum, onde a vazão afluente a cada caixa é controlada por meio de comportas instaladas neste canal. O número de comportas por caixa pode ser dois ou mais. A experiência tem mostrado que o número ideal de caixas de decantação é 4, pois proporciona maior flexibilidade operacional e permite obter um efluente de boa qualidade. Com três caixas a situação não é muito diferente, podendo-se obter também boa clarificação com esse número de unidades. Os sistemas estudados com apenas duas caixas de decantação em geral apresentam problemas operacionais no manejo do lodo. Partículas discretas com diâmetro superior a 0,05 mm serão removidas neste tipo de decantação.

O projeto destas unidades deve prever:

- a) que a unidade de decantação (geralmente retangular) tenha com

primento mínimo de 20 m e profundidade de 1,3 m, com capacidade para armazenagem do lodo de, pelo menos, sete dias de produção. Para efeito de projeto é comum considerar-se a média de 3% a 5% em peso, para o teor de terra com densidade aparente da mesma de 1 500 kg/m³;

- b) que o vertedor de escoamento em rampa tenha inclinação de 12 a 15% e largura mínima de 6 m, e com estrutura suficientemente resistente para propiciar livre movimentação de tratores e caminhões basculantes, para carregamento e transporte do lodo espessado;
- c) cortina removível, para espuma e material flutuante, na extremidade inclinada, imediatamente antes da rampa de escoamento. Esta cortina poderá ser confeccionada em tela, grade ou outro dispositivo;
- d) que a distribuição das ALC nas caixas seja o mais homogênea possível. A velocidade da água deve ser baixa, para evitar arraste de material decantado;
- e) que a adição de cal para correção do pH e floculação de sólidos das ALC seja feita num ponto que garanta uma boa mistura com as ALC, antes do decantador;
- f) um sistema adequado de drenagem da água contida no lodo, para facilitar sua remoção.

4.2.2.3 Decantadores circulares com bomba de sucção de lodo

Partículas com diâmetros menores que 0,05 mm podem ser melhor removidas em decantadores circulares. Tais partículas, muitas vezes, devem ter sua velocidade de sedimentação aumentada, e isto é conseguido pela sua aglomeração, ou seja, pela utilização de agentes floculantes. A cal produz este efeito e, dentre inúmeros outros produtos coagulantes testados, mostrou-se mais indicada.

Neste tipo de decantador, cuja utilização tem aumentado nos últimos anos, a remoção do lodo é constante, através da sucção por bomba que, presa a um braço giratório, percorre o fundo do decantador, realizando movimentos de vai e vem sobre o braço, o que assegura uma boa varredura de fundo.

A vazão da bomba de lodo, segundo alguns projetistas, pode variar de 5 a 10% da vazão das ALC; entretanto vazões bem maiores já foram observadas em trabalho de campo.

As características e parâmetros de projeto destes decantadores são

as seguintes:

- a) taxa de aplicação: 13 a 60 m³/m².dia;
- b) profundidade útil: 2,0 a 2,5 m;
- c) tempo de detenção: 60 min.
- d) eficiência: 90 - 95%.

Para decantadores com diâmetro acima de 36 m sugere-se o uso de duas bombas de sucção de lodo.

Acoplado ao braço giratório há também um sistema de remoção de sólidos flutuantes.

Quando da adoção de decantadores circulares, é interessante a utilização de um pré-decantador, com as finalidades e características definidas em 4.2.1.

5 ALTERNATIVAS PARA TRATAMENTO SECUNDÁRIO

Serão discutidas alternativas de tratamento para ALC, que devam ser lançadas em corpos receptores, dando-se ênfase a sistemas de tratamento considerados mais viáveis de serem implantados nas usinas e destilarias.

Não se irá aprofundar sobre estes sistemas, mas sim tentar mostrar alguns aspectos técnicos de ordem geral e fornecer algumas informações que ajudem os técnicos das indústrias sucro-alcooleiras na seleção de uma das opções aqui apresentadas.

São apresentadas a seguir opções de tratamento secundário que visam adequar a qualidade das águas de lavagem de cana para seu lançamento em corpos receptores.

5.1 Lagoas de estabilização

O termo lagoa de estabilização é usado para designar qualquer lagoa projetada para tratamento biológico de águas residuárias.

As lagoas de estabilização são grandes tanques de pequena profundidade, escavados na terra, onde as águas residuárias são tratadas por processos biológicos inteiramente naturais, realizados principalmente por bactérias e algas. Necessitam longos tempos de detenção e conseqüentemente grandes áreas de terreno.

É um sistema largamente empregado, desde que existam áreas disponíveis, devido ao seu baixo custo e simplicidade operacional.

5.1.1 Tipos e características de lagoas de estabilização

5.1.1.1 Anaeróbias: são dimensionadas para receberem altas cargas orgânicas. São usadas principalmente como pré-tratamento de águas residuárias, sendo geralmente seguidas de lagoas facultativas (sistema australiano). É importante manter-se o pH acima de 6,5 e as maiores eficiências são conseguidas em temperaturas acima de 20°C.

As principais características das lagoas anaeróbias são:

Profundidade : 2,0 a 4,5 m

Tempo de detenção: 4 a 6 dias

% remoção de DBO : ~ 50%

taxa de aplicação: 1 500 a 2 000 kg DBO/ha.dia

5.1.1.2 Facultativas: apresentam condições aeróbias nas camadas superiores e próximas à superfície da água, e condições anaeróbias no fundo da lagoa; os sólidos sedimentados são decompostos anaerobiamente.

Nestas lagoas, de forma geral, as algas têm a função de fornecer oxigênio, que é utilizado pelas bactérias para a degradação da matéria orgânica, com a conseqüente produção de dióxido de carbono que é utilizado pelas algas para a sua fotossíntese.

A relação entre comprimento e largura é geralmente de 2:1 ou 3:1. As maiores eficiências são conseguidas em temperaturas acima de 20°C. Problemas como curto-circuitos hidráulicos e zonas de estagnação devem ser eliminados ou minimizados. As características principais deste tipo de lagoa são:

Profundidade : 1,0 a 2,0 m

Tempo de detenção: 15 a 20 dias

% remoção de DBO : ~ 80%

Taxa de aplicação: 150 a 200 kg DBO/ha.dia

Observações sobre lagoas de estabilização

- a) o efluente de um conjunto de lagoas em série apresenta melhor qualidade do que o de uma única lagoa de área equivalente;
- b) com a finalidade de melhorar a operação e a eficiência recomenda-se distribuir a vazão em dois ou mais pontos na entrada e na saída da lagoa;
- c) quando o tempo de detenção obtido no projeto de uma lagoa anaeróbia for menor que um dia, esta deve ser excluída, pois a pro

vável pequena concentração de matéria orgânica do despejo se torna incompatível com o processo. Para despejos mais concentrados, a utilização da lagoa anaeróbia pode reduzir bastante a área necessária para o sistema;

- d) os sistemas mais comumente utilizados para ALC são:
 - somente lagoa facultativa (uma ou mais unidades);
 - uma lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa (uma ou mais unidades);
- e) embora, com o passar do tempo, ocorra, naturalmente, a impermeabilização, da lagoa pelo lodo nela sedimentado, recomendam-se providências visando minimizar a infiltração das águas residuais devido à permeabilidade do solo.

Como opção pode-se utilizar lagoas de maturação após a lagoa facultativa quando se desejar uma melhor qualidade do efluente final.

5.1.2 Vantagens das lagoas

- a) não requerem qualquer tipo de energia, exceto a solar;
- b) funcionam bem em climas quentes, típicos da maioria das regiões brasileiras;
- c) são simples de ser operadas, havendo a necessidade apenas de manter as lagoas sob constante manutenção, principalmente os taludes (a colocação de placas de concreto nos taludes facilita a manutenção e atua como barreira à penetração da vegetação);
- d) não há produção de lodo a ser tratado ou disposto;
- e) não requerem pessoal especializado para operação;
- f) apresentam baixos custos de operação e manutenção.

5.1.3 Desvantagens das lagoas

Como principal desvantagem pode-se citar o fato de que, devido à sazonalidade da indústria, a eficiência deste tipo de tratamento não é uniforme durante o período de operação (safra).

5.2 Lagoas mecanicamente aeradas

As lagoas mecanicamente aeradas diferem das lagoas de fotossíntese pela forma como o oxigênio é fornecido às bactérias. Nas lagoas aeradas o oxigênio é fornecido artificialmente por dispositivos mecânicos.

As lagoas mecanicamente aeradas seguidas de um sistema de separa

ção de sólidos fornecem uma eficiência de remoção de DBO muito boa. A área necessária em geral é da ordem de 1 a 10% daquela necessária para lagoas de estabilização convencionais, isto é, podem ser utilizadas quando a área disponível não for suficiente para o emprego de lagoas facultativas de fotossíntese.

Há dois tipos de lagoas mecanicamente aeradas: aeróbias e facultativas:

- a) quando se dispõe de alta turbulência, a lagoa funciona em regime de mistura completa, aproximando-se de um processo completamente aeróbio;
- b) quando o grau de turbulência é baixo, mas suficiente para manter uma aeração adequada, parte da biomassa decanta, sofrendo no fundo da lagoa uma decomposição anaeróbia, enquanto a camada superior tem um comportamento aeróbio.

A utilização de vários aeradores para se obter mistura completa diminui a densidade de potência que seria necessária se se utilizasse apenas um aerador.

Recomenda-se o uso de uma lagoa de decantação após a lagoa aerada, para a sedimentação dos sólidos do efluente. Esta lagoa deverá ter um tempo de detenção de 1 dia (evita o crescimento de algas) e altura mínima de 3 m.

A principal vantagem das lagoas aeradas mecanicamente é a economia de área, comparativamente às lagoas facultativas de fotossíntese, tendo como desvantagens a necessidade de energia elétrica para os aeradores, manutenção dos mesmos e elevados investimentos.

5.3 Digestor anaeróbio de fluxo ascendente

O processo anaeróbio tem sido utilizado para o tratamento de lodo de estações de tratamento de esgoto, exigindo entretanto grandes volumes de digestores, pois os tempos de detenção variavam na faixa de 12 a 60 dias.

Atualmente, um avanço na tecnologia da digestão anaeróbia permitiu o desenvolvimento de um digestor anaeróbio de fluxo ascendente (DAFA) e manto de lodo que permite o tratamento de despejos líquidos industriais e esgotos domésticos. Estes digestores não convencionais são capazes de operar com tempos de detenção hidráulico bastante reduzidos (na faixa de 5 a 24 h, dependendo da concentração de matéria orgânica no resíduo), o que resulta em volumes de digestores bastante reduzidos em relação ao sistema convencio

nal. A principal característica dos DAFA e manto de lodo é a sua capacidade de reter no sistema (ou retornar ao mesmo) a maior parte dos sólidos biológicos formados, impedindo a sua eliminação com o efluente, mesmo quando se trabalha com altas vazões de alimentação, ou seja, baixos tempos de detenção hidráulicos.

O tratamento é feito por microrganismos anaeróbios e facultativos que se concentram no lodo, os quais transformam a matéria orgânica solúvel e insolúvel em sais minerais, novas bactérias e biogás.

Obtém-se um efluente com baixo teor de matéria orgânica e de sólidos e ainda o biogás, que contém cerca de 75% de metano.

Sua utilização traz uma série de vantagens em relação a outros tipos de tratamento:

- a) não exige nenhum equipamento mecânico ou elétrico;
- b) é de simples operação, depois que o sistema entrar em regime estacionário, necessitando apenas descartar periodicamente uma parcela de lodo;
- c) o volume do tanque e, conseqüentemente, a área ocupada são reduzidas;
- d) tempos de detenção baixos (4 - 8 h), comparativamente com as lagoas de estabilização que utilizam cerca de 20 dias;
- e) gera como sub-produto o biogás que pode ser utilizado como combustível.

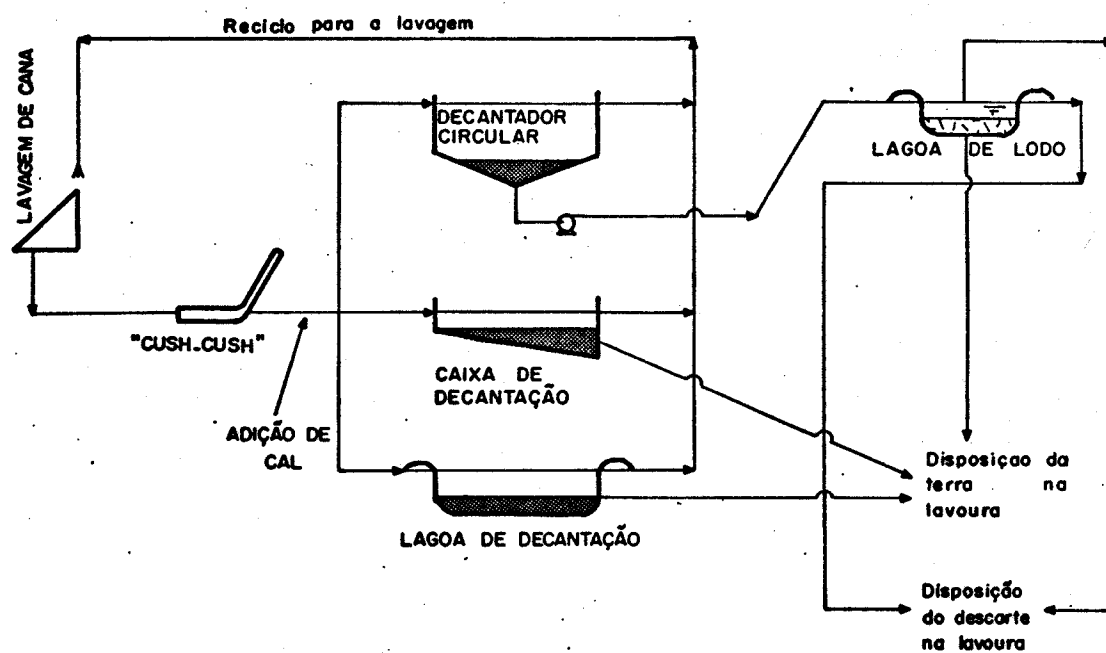
Como todo processo, também apresenta algumas desvantagens em relação a outros tipos de tratamento:

- a) necessita, às vezes, de um sistema de aeração final para resíduos pouco concentrados, ou até mesmo um sistema de tratamento complementar se o resíduo for muito concentrado, antes de sua disposição final;
- b) os custos de construção são relativamente altos principalmente se houver necessidade de manter a temperatura constante.

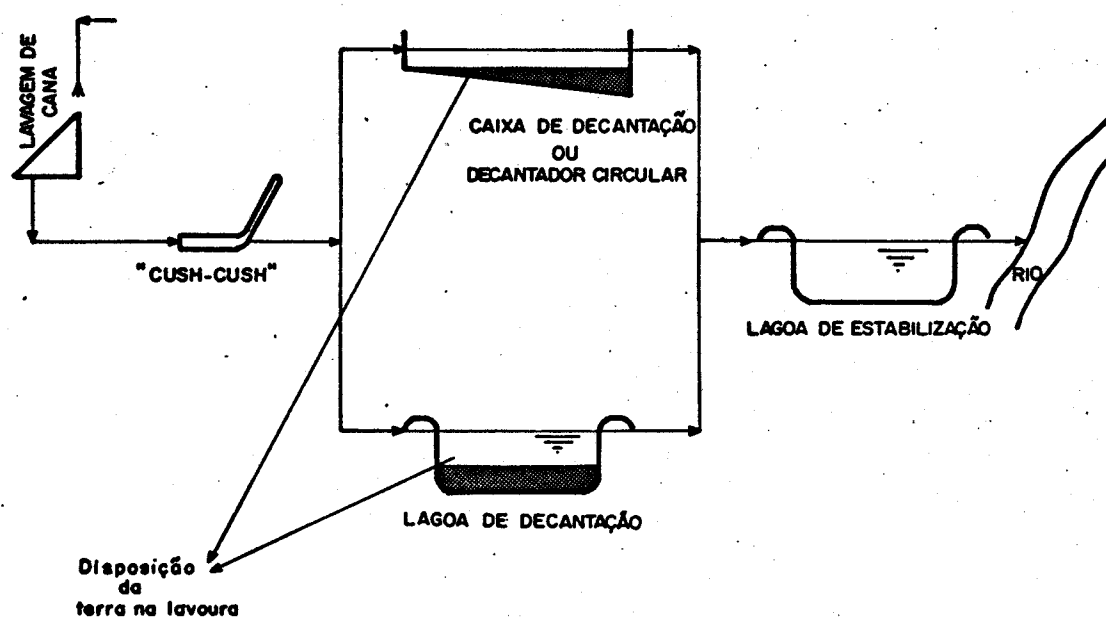
6 NOTA FINAL

O intuito deste Manual não é estabelecer critérios absolutos para projetar e operar um STALC uma vez que cada usina/destilaria deve ser analisada como um caso particular. Como já foi dito anteriormente, sua finalidade é auxiliar técnicos de usinas/destilarias envolvidos com projeto e operação de sistemas de tratamento de ALC e procura abordar de uma maneira genérica todos os aspectos dire

tamente ligados ao problema. A Figura 5 mostra duas alternativas para um STALC.



(a) alternativa 1



(b) alternativa 2

FIGURA 5 - Alternativas para um STALC

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUARONE, E. et alii - Biotecnologia - Tópicos de microbiologia Industrial. São Paulo, Edgar Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo. 1975. Cap. 11, p. 188-191.

MAORIM, H.V., OLIVEIRA, A. J. Infecção na fermentação: como evi-
tá-la. Álcool e Açúcar. São Paulo, Editora Som Verde Ltda., 5
(2): 12-18 julho/agosto 1985.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. Manual de Tratamento de Água Residuária. CETESB, São Paulo, 1979.

CETESB - Superintendência de Pesquisas de Águas e Resíduos. Carac-
terização Bacteriológica e Físico-química das Águas de Lavagem
de cana recirculadas. São Paulo, 1985.

_____ - Sistemas de Recirculação das Águas de Lavagem de Cana.
DAEE, São Paulo, 1981.

_____ - Alternativas de Tratamento e Otimização do Circuito das
Águas de Lavagem de Cana. Usina Açucareira Ester S/A., 1982

_____ - Estudos em Usinas de Açúcar e Álcool visando recicla-
gem de efluentes - DAEE, São Paulo, 1980.

_____ - Opções de Tratamento de Esgotos para Pequenas Comunida-
des. agosto/1985.

_____ - Avaliação dos efeitos das regras operatórias do Alto
Tietê no reservatório de Barra Bonita, fevereiro/1984.

_____ - Norma L5.128 - Determinação de fósforo em águas.

_____ - Norma L5.145 - Determinação de pH em águas.

_____ - Norma L5.120 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)
Método da diluição e incubação.

_____ - Norma L5.139 - Determinação de nitrogênio orgânico e nitrogênio total Kjeldahl em águas.

_____ - Norma L5.148 - Resíduo sedimentável.

_____ - Norma L5.149 - Determinação de resíduos em águas.

COOPERSUCAR - Iº Seminário de Tecnologia Industrial. Piracicaba , agosto/1983. Anais do Iº Seminário de Tecnologia Industrial. Centro de Tecnologia Coopersucar.

GLOYNA, E.F. Waste Estabilization Ponds. World Health Organization. Monogr., Sr. nº 60, Geneva, 1971.

HUNWICK, R.J. Tratamiento del agua de lavado de caña de azúcar. Sugar y Azúcar, Honolulu, 72 (02):7065. fevereiro/1977.

KAWAI, H.; ROCHA, M.J.M. LIMAS, A. Estabelecimento de Critérios de Projeto de lagoa de Estabilização. Trabalho apresentado no XI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Fortaleza, 20 a 25 de setembro de 1981.

MARA, D.D.; SILVA, A.S. Tratamento biológico de águas residuárias lagoas de estabilização, ABES. Julho/1979.

METCALF-EDDY, Tratamiento y depuración de las aguas residuales . Barcelona. Editorial Labor S/a. 1977.

MONTEIRO, C.E. Disposição final dos despejos líquidos da indústria açucareira e alcooleira. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária. México. CETESB, 1974.

MONTEIRO, C.E., Perdas não quantificadas de açúcar. Brasil Açucareiro, IAA 92 (4): 37-39. Outubro/1979.

SOUZA, M.E. Tratamento biológico de efluentes. VI Simpósio Nacional de Fermentação, Fortaleza, novembro/1984.

SPENCER, MEADE G.P. Manual del Azucar de cana. Barcelona, Mataner y Simon S/A. 1977.

STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 15th
Ed. Amer. Public Health Assoc. Amer. Water Works Assoc. Water Poll. Control Fed. Washington D.C.

STOPIELLO, J.P. Qualidade de cana de açúcar para fabricação de açúcar e álcool. Álcool e Açúcar. São Paulo, Editora Som Verde Ltda., 2(2): 28-32, janeiro/1982.

ZARPELON F. et alii Efluentes líquidos de usinas de açúcar. Anais do II Seminário Coopersucar de Indústria Açucareira. Águas de Lindóia 14-18 664-649. abril de 1975.
