

CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO DE VINHAÇA NO
SOLO AGRÍCOLA DO ESTADO DE SÃO PAULO

ARQUIVO TÉCNICO

CETESB - Companhia Ambiental
do Estado de São Paulo

Biblioteca Prof^o Dr^o Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof^o Frederico Hermann Jr., 345 Pinheiros

www.cetesb.sp.gov.br

7401
C338c(RCET)
014826



18829

014826

CETESB – JUNHO DE 2012

SUMÁRIO

Este trabalho foi elaborado com o intuito de subsidiar as informações referentes à prática de aplicação da vinhaça, no solo agrícola do Estado de São Paulo, pelos empreendimentos do setor sucroalcooleiro.

Inicialmente é efetuada uma breve apresentação sobre o processamento da cana-de-açúcar e dos principais resíduos líquidos gerados para a produção do açúcar e do álcool.

Dados sobre a caracterização da vinhaça, sua composição, e a possibilidade de utilização desse subproduto como fertilizante, são mostrados, assim como dos sistemas empregados para o seu uso na lavoura.

Peculiaridades sobre a sua aplicação no solo e fatos que concorreram para a elaboração da NORMA TÉCNICA CETESB – P 4.231: “VINHAÇA – CRITÉRIOS E PROCEDIMENTOS PARA APLICAÇÃO NO SOLO AGRÍCOLA”, são também apresentados.

Considerações são tecidas sobre as atividades voltadas à fiscalização das áreas utilizadas na fertirrigação para acompanhamento das medidas adotadas pelas indústrias do setor em cumprimento aos itens da Norma.

Por fim, é efetuada uma abordagem quanto ao licenciamento ambiental desses empreendimentos no Estado de São Paulo.

INDICE

1 – Introdução	05
2 – O processamento industrial da cana-de-açúcar	07
3 – Fontes de emissão de resíduos líquidos na indústria sucroalcooleira	08
4 – Vinhaça	09
5 – Composição	10
6 – Alternativas para o aproveitamento da vinhaça	13
7 – A utilização da vinhaça como fertilizante	17
8 – Distribuição na lavoura de cana-de-açúcar	18
9 – Sistemas de aplicação	18
10 – A aplicação de vinhaça no solo do Estado de São Paulo	20
11 – A Norma Técnica P 4.231	22
12– Normalização e fiscalização	25
13 – Licenciamento	27
14 – Considerações finais	28
15 – Referências bibliográficas	29

1. Introdução

A cana-de-açúcar destaca-se, entre as plantas cultivadas, na produção de recursos energéticos, de uso alimentar, além de ser utilizada na produção de álcool combustível, denominado de combustível renovável, substituindo em parte os derivados de petróleo.

Do processo de obtenção do álcool resulta como subproduto a vinhaça, que se caracteriza pela elevada proporção em que é produzido. É considerado como o mais significativo efluente líquido gerado nas destilarias. Pelo alto poder poluente, traz graves consequências ao meio, quando lançado nas coleções hídricas.

Sua elevada DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), se por um lado inviabiliza o lançamento nos cursos d'água, por outro justifica quaisquer esforços visando o seu aproveitamento.

Diante da problemática que abrange a disposição desse resíduo, estudos para o uso na fertirrigação foram desenvolvidos, em primeira fase visando a sua destinação final, seguido do aproveitamento de seus elementos como fator de incorporação de nutrientes ao solo, e a otimização de processos de redução de custos com seu manejo.

Os efeitos da aplicação da vinhaça nas características e propriedades químicas do solo, tais como o pH, a disponibilidade de nutrientes, a solubilização de fosfatos, os teores de sais solúveis e a capacidade de troca catiônica, mostraram a viabilidade de seu emprego como fertilizante.

No Estado de São Paulo o sistema sucroalcooleiro vem apresentando expansão nos últimos anos, em especial a partir de 2005, quando de 139 usinas saltou para 201 unidades confirmadas em 2012.

Devido ao grande número de usinas e destilarias existentes, tem-se atualmente no território paulista uma área plantada de 5.339.367 hectares de cana-de-açúcar, dos quais, cerca de 4.650.000 ha, com potencial de ser fertirrigada.

Em face da magnitude desse quadro, faz-se necessária a adoção de medidas, pelo poder público, visando manter e promover o equilíbrio do meio e a melhoria da qualidade ambiental, prevenindo a degradação e impedindo ou minimizando os impactos ambientais negativos que possam advir de tal prática.

Em 2005, a disposição de vinhaça no solo agrícola do Estado de São Paulo foi regulamentada pela Norma Técnica P 4.231, tendo como objetivo estabelecer os critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça, gerada pela atividade sucroalcooleira no processamento de cana-de-açúcar.

Nela procurou-se diminuir os riscos de sua aplicação nos canaviais e o seu aproveitamento racional quando utilizado para a fertilização do solo.

A Norma Técnica P 4.231 procurou disciplinar as faixas com restrições de aplicações, impondo a obrigatoriedade de impermeabilização de tanques de armazenamento de vinhaça e de canais principais de sua condução para a lavoura. (DINIZ, 2010)

Disciplinou também a dosagem a ser utilizada, definindo as taxas de aplicação no solo, por meio de estudos realizados e após exaustivas discussões no âmbito da “Câmara Ambiental do Setor Sucroalcooleiro” do Estado de São Paulo.

Em dezembro de 2006, teve nova versão, sofrendo algumas alterações, fruto de decisão tomada em reuniões da Câmara Ambiental e, também, visando sua adequação aos novos dispositivos legais editados.

2 – O processamento industrial da cana-de-açúcar

A indústria do açúcar e do álcool necessita de consideráveis quantidades de água em seus processos e operações e é imprescindível que esteja próxima à fonte de matéria prima, ou seja, os canaviais. A colheita manual da cana é ainda realizada em 35% dos canaviais do Estado de São Paulo, com a utilização de mão de obra (cortadores de cana).

A fabricação do açúcar e do álcool tem seu processo industrial caracterizado por uma série de operações, descritas a seguir. (PAOLIELLO, 2006)

2.1 – Fabricação do açúcar

O processo de fabricação do açúcar consiste em:

- Pesagem e análise do teor de sacarose; descarregamento; lavagem; picagem e desfibramento; moagem; peneiramento do caldo; sulfitação; calagem; aquecimento; decantação; filtração do lodo decantado; concentração do caldo; cozimento; cristalização; centrifugação; e secagem.

2.2 – Fabricação do álcool

O processo utilizado para obtenção do álcool pode ser subdividido nas seguintes etapas:

I – Quando associado ao processo de fabricação do açúcar:

- Fermentação do mosto (mistura do caldo com o mel de segunda); vinho; centrifugação; destilação, condensação e retificação; desidratação.

II – Quando realizado exclusivamente em destilarias autônomas:

- Extração do caldo; tratamento do caldo; fermentação; destilação; retificação e desidratação.

3 - Fontes de emissão de resíduos líquidos na indústria sucroalcooleira

Decorrentes do processamento industrial da cana são emitidos diversos efluentes líquidos. De um modo geral os principais despejos são assim constituídos:

- Água de lavagem de cana,
- Água de resfriamento de equipamentos (mancais, turbinas, etc.),
- Água condensada dos evaporadores do caldo,
- Água das colunas barométricas e/ou multijatos,
- Água dos condensadores da destilaria,
- Água de lavagem de dornas, pisos e equipamentos,
- Restilo ou vinhaça e,
- Flegmaça.

Com exceção da vinhaça, a maioria desses despejos tem sido reutilizada (água de lavagem de cana, água das colunas barométricas, água condensada dos evaporadores – amoniacaís –, água de resfriamento da destilaria e dornas, água de resfriamento de turbinas, pasteurização, mancais das moendas, turbo geradores e facas), após prévio tratamento visando melhoria da sua qualidade, tais como: remoção de sólidos, acerto do pH, decréscimo de temperatura com a utilização de torres de refrigeração ou tanques com aspersores.

Em algumas unidades, essas águas, depois de submetidas a tratamento prévio, incorporam-se a vinhaça e, conjuntamente, são encaminhadas para fertirrigação dos canaviais.

Provenientes do tratamento empregado para melhoria das condições dos despejos são gerados resíduos sólidos (lodos), utilizados, via de regra, para nivelamento de terrenos.

Na Tabela 1 são mostrados os principais dados referentes ao volume dos despejos e respectiva carga poluidora das usinas e destilarias.

Tabela 1 – Carga poluidora das usinas de açúcar e álcool*

Despejos das usinas de açúcar e álcool	Volume dos despejos (m ³)	DBO PADRÃO E CARGA POLUIDORA			
		DBO Padrão (g/m ³)	Carga de DBO (Kg.)	População Equivalente (hab.)	Porcentagem Relativa (%)
Restilo/vinhaça	360	15.000	5.400	100.000	67,1
Água de lavagem de cana	5.000	220	1.100	20.000	13,4
Água dos condensadores barométricos	11.185	90	1.000	18.500	12,4
Água condensada dos evaporadores	580	800	465	8.600	5,8
Água de lavagem das dornas	20	5.000	100	1.900	1,3

Fonte: Monteiro e Centurión (1980)

* A base de cálculo é de 1.000 t de cana processada para produção de açúcar e álcool de mosto de melaço e os dados referem-se a usinas de açúcar que também produzem álcool, não se tratando de destilaria autônoma. Para o caso de se produzir somente álcool (destilarias), a quantidade de vinhaça seria da ordem de 720 m³ e a carga orgânica (carga de DBO, expressa em kg.DBO) 10.800 kg de DBO.

4 – Vinhaça

A vinhaça (vinhoto, restilo ou ainda, calda da destilaria) é resultante da produção de álcool, após a fermentação do mosto e a destilação do vinho.

É um líquido ácido, de odor característico, cuja coloração varia do amarelo âmbar ao pardo escuro que, ao ser produzido, apresenta elevada temperatura (GASI; SANTOS, 1984; CETESB, 1982).

Trata-se de material com cerca de 2 a 6% de constituintes sólidos, onde se destaca a matéria orgânica, em maior quantidade (PARANHOS, 1987).

Em termos minerais apresenta quantidade apreciável de potássio (0,5%), média de nitrogênio (0,05%) e baixa de fósforo (0,01%), além de cálcio e magnésio. Constitui-se, portanto, em suspensão aquosa contendo sólidos orgânicos e minerais (ANA, 2009; GASI; SANTOS, 1984; ROSSETO, 1987).

Em face da quantidade (12 a 16 litros/litro de álcool produzido) e da significativa carga poluidora (DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio – 15.000 a 23.000 mg/l) é considerada como o principal efluente líquido gerado nos empreendimentos sucroalcooleiros.

No entanto, apesar de sua consistência líquida, a vinhaça, pela NBR 10.004 da ABNT (2004), deve ser tratada como resíduo sólido, pois não há solução técnica e econômica para o tratamento convencional eficiente que permita seu lançamento nos cursos d'água. (DINIZ, 2010)

Na Tabela 2 é possível verificar a relação entre a quantidade de cana processada e o quanto de vinhaça resulta do processo, considerando-se que, do total de cana moída em 2011, aproximadamente 55% destinaram-se à produção de álcool (entre 80 e 90 l/t), onde foram gerados cerca de 12 litros de restilo por litro de álcool produzido.

Tabela 2– Volume de vinhaça

QUANTIDADE PROCESSADA (MILHÕES DE TONELADAS)	VINHAÇA (MILHÕES DE M³)
416	230

Fonte: CETESB (2012)

5– Composição

A vinhaça apresenta composição variável em função dos seguintes fatores: natureza e composição do mosto, teor alcoólico do vinho e sistema de aquecimento do vinho nos aparelhos de destilação.

Já em 1972 e 1973, surgiram trabalhos específicos, que determinaram uma nova visão sobre o uso da vinhaça.

Um desses estudos é apresentado na Tabela 3, cujos dados foram obtidos da vinhaça gerada em usina localizada na região de Ribeirão Preto (SP), proveniente de mosto de melaço e caldo de cana, bem como um mosto misto é citado em estudos realizados durante duas safras consecutivas.

Tabela 3 – Composição média das vinhaças por tipos de mostos

Elementos	1972		1973		
	Melaço	Caldo	Melaço	Caldo	Misto
C (%)	2,29	1,34	1,92	0,59	1,15
Ca (%)	0,37	0,11	0,26	0,05	0,12
Mg (%)	0,09	0,03	0,06	0,01	0,04
K (%)	0,65	0,17	0,65	0,10	0,38
N (%)	0,16	0,06	0,12	0,03	0,07
PO ₄ (%)	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
SO ₄ (%)	0,81	0,25	0,64	0,06	0,37
Resíduo à 40° C	9,45	3,17	7,40	1,61	4,80
pH	4,83	4,08	4,90	4,30	4,60

Fonte: Paranhos (1987).

Na Tabela 4 são apresentados os teores médios dos elementos analisados, em 27 amostras de vinhaça de melaço de diferentes origens.

Tabela 4- Teores médios dos elementos analisados em 27 amostras de vinhaça de melaço de diferentes origens.

Parâmetros Estatísticos	Elementos determinados (% ppm)											
	PO ₄	Ca	Mg	Fe	SO ₄	K	N	Cinzas	C	Cl	pH	Acidez
Média	163,7	0,224	512,9	98,0	0,564	0,426	0,097	2,108	1,627	0,170	4,25	10,48
Erro Padrão da média	15,7	0,04	47,1	7,41	0,03	0,02	0,01	0,10	0,10	0,01	0,07	1,32
Coefficiente de variação	49,8	87,3	47,1	39,4	26,2	26,2	39,2	23,4	33,1	33,5	8,2	62,8

Fonte: Paranhos (1987)

Com base nestes resultados, pesquisadores procuraram estabelecer correlações entre os seus teores de nutrientes com o caldo da cana e as diversas etapas do processo de produção de açúcar.

Verificaram que o único elemento que passa através de todo o processo de fabricação sem sofrer praticamente qualquer alteração é o potássio (K), de modo que seria viável estabelecer um esquema para previsão do teor de K nas vinhaças de mosto de mel final e caldo.

No entanto, como a vinhaça pode ter variação, dependendo do processo de fabricação de álcool e composição do mosto, para um programa visando o seu uso, inclusive na fertilização dos canaviais, seria necessário o controle da qualidade desse subproduto.

Observaram também que a ausência de alterações em porcentual considerável faz com que a conceituação básica para utilização de resíduos não deva sofrer grandes variações, exceto aquelas já conhecidas, como o tipo de matéria prima utilizada na fermentação, fases da safra e manejo dos equipamentos da destilaria. (GRANATO, 2003).

As características físico-químicas da vinhaça, incluindo a produção de biogás, também foram analisadas no resíduo proveniente do caldo puro, misto e melaço, conforme demonstradas na Tabela 5.

Tabela 5 - Características físico/químicas da vinhaça

Parâmetros	Caldo	Misto	Melaço
pH	3,7 - 4,6	4,4 - 4,6	4,2 - 5,0
Temperatura (° C)	80 - 100	80 - 100	80 - 100
DBO (mg / l O ₂)	6.000 - 16.500	19.800 - 25.000	30.000 - 40.000
DQO (mg / l O ₂)	15.000 - 33.000	40.000 - 50.000	60.000 - 75.000
Biogás (mg / l)	6,0 - 14	16 - 20	24 - 30

Fonte: Lamo (1991)

6 – Alternativas para o aproveitamento da vinhaça

6.1 – Tratamento físico-químico

De acordo com a Nota Técnica – “Tecnologia de Controle na Fabricação do Açúcar e do Alcool”, experimentos com tratamento físico-químico demonstraram pouco sucesso, segundo diversos autores. (CETESB, 1987)

A sedimentação, mesmo com a adição de coagulantes e outros aditivos, como alumínio, cal e cloreto férrico, tem se mostrado insatisfatória. Além disso, o sedimento entra em fermentação anaeróbia e produz odores.

Estudos sobre o uso de osmose reversa, eletro floculação, eletro diálise, eletro osmose, também foram realizados, mas com grau de tratamento muito limitado.

6.2 – Emprego como complemento de rações animais

Há proposições para o emprego de vinhaça em pó, a ser utilizada na complementação de ração para animais, nas proporções de até 10% para dieta de ruminantes e em menor proporção para aves e suínos.

Alguns estudos realizados demonstraram que tal utilização vem a incrementar a produção de leite, embora presente, em contrapartida, efeito laxativo no gado.

6.3 – Produção de proteína celular

O restilo vem sendo usado também em estudos para a produção de biomassa de elevado teor proteico para consumo humano e animal (ração).

A obtenção de proteína celular (SCP) é um processo fermentativo aeróbio em que o substrato para a propagação do micro-organismo (*Torulopsis utilis* ou *Candida utilis*) é a vinhaça suplementada.

No entanto, a engenharia de processo ainda requer aprimoramento, especialmente quanto à concepção dos fermentadores, onde, a transferência de massa de oxigênio é fundamental, para que se tenha êxito.

6.4 – Concentração e combustão

A vinhaça pode sofrer processo de evaporação prática (ainda não usual), visando diminuição do volume inicial e facilitar seu manuseio, aproveitando-se sobras de energia na usina ou destilaria. Testes realizados com a utilização do processo, quando misturada a outros efluentes, mostraram resultados ainda insatisfatórios, visto que o produto obtido apresentou-se com consistência excessivamente pastosa.

No entanto, o restilo concentrado pode ser utilizado como fertilizante; como complemento de ração animal; ou ser incinerado para uma possível recuperação de potássio.

As águas condensadas da evaporação, neste caso, deverão ser tratadas e dispostas de acordo com as práticas usuais.

6.5 – Produção de metano

A utilização de vinhaça para produção de metano tem sido cogitada, sendo que o aproveitamento de 1,0 a 5,0% de sólidos pode gerar até 20% das necessidades da destilaria, representando uma fonte auxiliar de combustível.

O metano é um gás produzido durante a decomposição de resíduos orgânicos em decorrência de atividade de bactérias organometanogênicas. A produção de biogás é obtida através de um processo fermentativo anaeróbico, envolvendo diversas fases, sendo que em cada uma atua um agente microbiológico. Estas bactérias, usualmente não são introduzidas através de uma cultura pura, mas sim por inoculação natural.

O processo é realizado em três estágios. No primeiro, os sólidos orgânicos são simplificados através de uma hidrólise enzimática, transformando-se em um meio para atuação dos micro-organismos produtores de ácidos orgânicos. A produção desses ácidos ocorre no segundo estágio. Finalmente, no terceiro estágio, as bactérias metanogênicas atuam sobre os ácidos formados produzindo o metano.

A viabilidade técnica da digestão anaeróbica da vinhaça vem sendo provada, por vários estudos, operando em plantas-piloto nas condições reais de trabalho. Algumas delas foram instaladas em escala de trabalho normal no Brasil. (GRANATO, 2003).

A tecnologia da digestão anaeróbica da vinhaça, chamada de “tecnologia limpa”, contribui diretamente ao desenvolvimento sustentável, diante da possibilidade do uso deste efluente para a obtenção de biogás, que poderia ser queimado numa turbina para acionar um gerador de eletricidade. (SOUZA, 2000).

6.6 – Reciclagem

A reciclagem do resíduo tem por objetivo a redução do volume do despejo a ser disposto que, por decantação intermediária, pode remover uma parte dos constituintes sólidos orgânicos e inorgânicos, diminuindo assim a carga poluidora.

A vinhaça pode, também, ser utilizada para compor uma parcela da água de diluição do melão, durante um determinado número de ciclos, economizando-se então nutrientes e diminuindo-se a vazão do efluente.

6.7 – Aplicação no solo

Segundo levantamento realizado, a disposição de vinhaça no solo é efetuada por todas as destilarias de álcool. A vinhaça, quando disposta na cultura da cana, cumpre as finalidades de irrigação e fertilização, ou seja: a fertirrigação.

Basicamente esta prática visa melhorar as propriedades físicas e químicas do solo, elevar o pH, concorrendo para a neutralização ou alcalinidade, melhorar a fertilidade, aumentar a microflora e produzir condições ideais para cultivo da cana.

No entanto, devem-se considerar as peculiaridades regionais quando se propõe esse tipo de aproveitamento. Assim, em solos com limitações pedológicas e topográficas, a aplicação de vinhaça somente deve ser realizada após cuidadosa avaliação e com adequada supervisão, visto que se trata de material desequilibrado no tocante aos macro nutrientes presentes, com teores elevados de potássio, médios de nitrogênio e baixos de fósforo, além de poder causar odores e a proliferação de moscas.

As taxas de aplicação são variadas, havendo citações desde 12 m³/ha até 1000 m³/ha. As faixas de variação que foram testadas no Estado de São Paulo, em três regiões de solos diferentes, se situaram entre 50 e 150 m³/ha. Embora possa haver utilização de valores acima desta faixa, consideravam-se como taxa aceitável, guardadas as características do solo onde aplicada, aquelas com valores de até 300 m³/ha.

A otimização dessas taxas deve ser determinada em função do tipo de solo, de sua fertilidade e da origem da vinhaça, conforme esta provenha de mosto de melaço, de caldo ou misto. Taxas elevadas podem conduzir a efeitos indesejáveis, como: poluição do lençol freático, salinização do solo, comprometimento da qualidade da cana para produção de açúcar e outros.

O potássio é o único elemento que tem demonstrado causar efeitos na cana, pois aumenta o teor de umidade, tornando-a mais suculenta, amplia a cutícula foliar, diminui a lignificação das fibras e aumenta o teor de cinzas no caldo.

Assim, o uso da vinhaça como fertilizante deve atender às necessidades locais de nutrição do solo, desde que devidamente analisado pelas normas vigentes, sendo que a quantidade recomendada pode variar de acordo com o tempo de utilização do solo e seus tratamentos intermediários (tratos culturais) efetuados durante o ciclo da cana. (GRANATO, 2003).

7 – A utilização da vinhaça como fertilizante

As características da vinhaça a tornam um efluente com elevado potencial poluidor, mas também uma opção como adubo em culturas de cana-de-açúcar (CETESB, 1982).

Em 1934, a vinhaça foi testada em sistemas de irrigação na Usina Catende, na região nordeste do Brasil, mostrando o seu potencial como fertilizante do solo. (AMORIM E LEÃO, 2005).

Na agroindústria sucroalcooleira, sua aplicação no solo atende a três objetivos: disposição de efluentes, sob o ponto de vista do controle da poluição; melhoria das condições do solo para o plantio de cana e; substituição de parte da adubação mineral, com vantagens econômicas (ANA, 2009; CETESB, 1982).

O solo apresenta capacidade biológica de remoção da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio). Como citado, a elevada DBO é uma das principais características poluentes da vinhaça. Sua aplicação no solo deve considerar também as relações físicas e químicas com outras substâncias presentes ou a ele adicionadas (GASI; SANTOS, 1984).

Ao processo conjugado de irrigação e adubação, que se utiliza da própria água de irrigação para conduzir e distribuir o adubo na lavoura, denomina-se fertirrigação. Embora amplamente usado, este termo não é o mais correto, pois a aplicação de vinhaça visa, essencialmente, à substituição de adubação mineral, sendo que a quantidade de água aplicada constitui-se num suprimento mínimo para a cultura. (MATIOLLI, 1989; APUD SANTOS, 2000).

A vinhaça pode fornecer os nutrientes necessários quando aplicado às soqueiras de cana-de-açúcar, uma vez que, a cada corte, é retirada do solo grande quantidade destes. Também melhora suas condições físicas, químicas e bacteriológicas, aumentando as características de retenção de água e de sais minerais.

Apesar da sua natureza ácida, a vinhaça, como já mencionado, eleva o pH a níveis ideais de alcalinidade. Quando depositada no solo, pode promover melhoria em sua fertilidade. Entretanto, as quantidades aplicadas não devem ultrapassar sua capacidade de retenção de íons, isto é, as dosagens devem ser mensuradas de acordo com as características de cada solo, uma vez que possui quantidades desbalanceadas de elementos minerais e orgânicos, podendo ocorrer a lixiviação de vários destes íons, sobretudo do nitrato e do potássio (SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007).

8 – Distribuição na lavoura de cana-de-açúcar

A distribuição tem como objetivo o uso racional da vinhaça, buscando maior rendimento agrícola e a redução no uso de fertilizantes químicos, assim como limitar sua dosagem na aplicação de modo a não causar a poluição das águas superficiais e subterrâneas.

É realizada por meio de canais superficiais que, via de regra, tem o seu início na área industrial se estendendo por vários quilômetros. São constituídos por canais primários (mestres) e secundários formando uma rede de distribuição, de modo a possibilitar a irrigação de vastas áreas de plantio de cana (talhões). Ao longo do seu percurso podem ter tanques intermediários que são utilizados para a contenção e armazenagem temporária da vinhaça a ser aplicada.

Algumas unidades industriais têm optado pela substituição destes dispositivos por dutos e tubulações, com a finalidade de diminuir a manutenção contínua e com a frequência necessária que é exigida durante e após o período de utilização (safra e entressafra).

9 – Sistemas de aplicação

Para a irrigação das lavouras de cana-de-açúcar são utilizados caminhões-tanque convencionais ou equipamentos para aplicação por aspersão.

A vinhaça pode ser aplicada pelos próprios caminhões, após as adaptações necessárias, ou por sistemas de aspersão, sendo o de montagem direta e o autopropelido com carretel enrolador utilizados por diversas usinas e alimentados diretamente dos canais ou a partir dos caminhões.

- Caminhão - tanque convencional

O sistema de fertirrigação com caminhões-tanque era o mais difundido para distribuição de vinhaça até meados da década de noventa.

Apresenta como principal vantagem o tempo necessário para sua implantação, uma vez que basta a aquisição de uma frota e colocá-la em operação, fato este determinante para sua rápida difusão nas usinas e destilarias.

Como fator limitante desse sistema pode ser destacado o agravamento dos problemas de compactação de solos, impossibilidade de aplicação em áreas com cana-planta, dificuldades em dias de chuva, baixa uniformidade de distribuição e a distância para se efetuar a fertirrigação.

- Sistema de montagem direta

Consiste em um conjunto moto bomba acoplado a um aspersor tipo canhão, ambos montados sobre chassis com rodas.

O sistema também pode ser dotado de extensões (tubulações), com o objetivo de aumentar o espaçamento entre canais, ou seja, para diminuir a quantidade de canais que atravessam os talhões de cana.

A principal vantagem, quando comparado com o sistema de caminhões-tanque, é o menor custo por unidade de área fertirrigada.

Sua maior limitação é a exigência de uma rede de canais alimentadores, que implica em sistematização parcial do terreno e na necessidade de

recortes da lavoura de cana, quando a implantação não é realizada na época da reforma do canavial.

- Sistema autopropelido com carretel enrolador

É o mais difundido atualmente nas usinas e destilarias. Foi introduzido com o objetivo de substituir a extensão da montagem direta de aspersão.

Sua vantagem principal é ser semi-mecanizado, requerendo menos mão de obra que a montagem direta (transporte e manuseio das extensões).

Como desvantagem apresenta a exigência de maior potência para o conjunto moto bomba com conseqüente aumento no consumo de combustível.

10 – A aplicação de vinhaça no solo do Estado de São Paulo

Antes da década de 1960 a maior parte da vinhaça era lançada diretamente nos cursos d'água. Esta prática foi coibida em São Paulo, com a interferência do antigo FESB (Fomento Estadual de Saneamento Básico). (DINIZ, 2010)

Com mais rigor, seu lançamento nos cursos d'água foi restringido após a promulgação da Lei nº 997/76 e seu Regulamento, aprovado pelo Decreto nº 8468/76, que dispõe sobre a "Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente" no Estado de São Paulo.

No final dos anos 70, com o advento do Pró-Álcool (1975) e os incentivos proporcionados pelo Governo Federal, instalaram-se no interior do Estado novas destilarias autônomas a partir de associações entre produtores rurais.

Essas unidades, assim como as existentes, quando ampliadas ou reformadas, submeteram-se ao licenciamento ambiental, tendo como parte das exigências técnicas constantes da Licença de Instalação, o disciplinamento e a

obrigatoriedade da não disposição da vinhaça em recursos hídricos. Já àquela época era prática usual a aplicação desse efluente em áreas agrícolas, por meio de aspersão, utilizando-se de caminhões-tanque para o seu transporte.

Em algumas unidades, face ao ineditismo do empreendimento e às dificuldades em dispor a totalidade de restilo nas lavouras, a solução encontrada foi a deposição em locais específicos reservados para tal fim. Esses locais vieram a constituir as chamadas “áreas de sacrifício”.

Em 1986, a CETESB avaliou o potencial poluidor da agroindústria sucroalcooleira nas sub-bacias dos rios, Pardo, Mogi Guaçu, Grande Sapucaí e Sapucaí. Como consequência deste estudo e com embasamento nos artigos 51 e 52 do Decreto Estadual nº 8468/76, que aprovou o Regulamento da Lei nº 997/76, ficou estabelecido que:

- Não mais seria permitida a disposição da vinhaça em áreas de sacrifício.
- Os tanques de armazenamento de vinhaça deveriam ser construídos de forma a eliminar os riscos de contaminação dos mananciais superficiais e do lençol freático e que, visando controlar a emissão de odor e a proliferação de insetos, o volume total do tanque deveria ser suficiente para armazenar a produção correspondente a 5 dias de operação.
- A taxa de aplicação de vinhaça como fertilizante não poderia ultrapassar o equivalente a 400 Kg de K₂O/ ha. ano, sendo que taxas superiores só seriam admitidas mediante aprovação de projeto técnico específico que justificasse a operação.

No nível Federal, o Ministério do Interior publicou a portaria MINTER nº 323, de 29.11.78, proibindo o lançamento, direto ou indireto, da vinhaça, em qualquer coleção hídrica, pelas destilarias de álcool.

Já a portaria MINTER nº 158, de 03.11.1980, permitia às destilarias instaladas até a data de sua publicação, que, comprovadamente, não possuíssem áreas para

aplicação ou disposição do vinhoto, a adoção dos mesmos critérios estabelecidos para o lançamento dos demais efluentes líquidos industriais, desde que autorizadas formalmente pelos respectivos órgãos estaduais de controle do meio ambiente e pela Secretaria Especial do Meio Ambiente – SEMA.

A autorização deveria ser concedida a título precário, após análise da documentação hábil encaminhada pela destilaria interessada, até que fossem definidas as condições tecnicamente viáveis para tratamento ou aproveitamento do vinhoto, aplicáveis a cada caso.

Diante da proibição do lançamento da vinhaça nos cursos d'água, alguns empreendimentos do setor sucroalcooleiro adotaram, na época, a prática de dispor parte desses resíduos em áreas de sacrifício.

Mas, como citado, a destinação final da vinhaça no Estado de São Paulo evoluiu não se permitindo mais em seu território áreas de sacrifício e sim sua distribuição no solo, com o intuito de fertilizar e irrigar a cultura de cana-de-açúcar.

Essa disposição foi regulamentada em 2005 com a Norma P 4.231 (com nova versão em dezembro de 2006) que teve como objetivo estabelecer os critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça, gerada pela atividade sucroalcooleira no processamento de cana-de-açúcar, no solo do Estado de São Paulo.

11 – A Norma Técnica P 4.231

Como visto, em 1986, foram definidos pela CETESB alguns critérios relacionados ao uso da vinhaça, dentre os quais, o limite de sua aplicação no solo (em torno de 400 Kg de K₂O/ha. ano).

Entretanto, por tais critérios, ainda não eram considerados todos os aspectos intrínsecos do local, como a formação geológica, a pedologia e a hidrogeologia. (SANTOS, 2000)

Basicamente, esses critérios devem permitir a longevidade da aplicação, sem que haja a degradação e a contaminação do solo e das águas subterrâneas e não gerar riscos à saúde humana e aos receptores ecológicos. (DINIZ, 2010)

A distribuição racional da vinhaça deve estar fundamentada no conhecimento da sua composição básica, nos estudos das condições do solo, na cultura a ser adubada, nas condições topográficas do terreno, em relação à fonte de vinhaça, e em considerações econômicas relativas aos métodos e sistemas de aplicação utilizados para o seu espargimento no solo. Para diminuir os riscos de sua aplicação nos canais e visando o aproveitamento racional deste resíduo, foram desenvolvidos os sistemas de bio fertilização. (CETESB, 1982)

A Norma Técnica P 4.231 procurou disciplinar as faixas com restrições de aplicações, impondo a obrigatoriedade de impermeabilização de tanques de armazenamento de vinhaça e de canais principais de sua condução para a lavoura. (DINIZ, 2010)

Disciplinou também a dosagem de vinhaça, adotando-se fórmula desenvolvida na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, no âmbito das discussões da Câmara Ambiental Sucroalcooleira do Estado de São Paulo.

Nela, é levado em conta o desenvolvimento radicular da cana (camada saturada com potássio) e as necessidades da planta em termos deste elemento, o nutriente com maior concentração na vinhaça:

$$\text{m}^3 \text{ de vinhaça/ha} = \frac{[(0,05 \times \text{CTC} - \text{ks}) \times 3744 + 185]}{\text{kvi}}$$

Em que:

$\text{m}^3 \text{ de vinhaça/ha}$ = taxa volumétrica de aplicação de vinhaça [m^3/ha].

0,05 = 5% da CTC.

CTC = Capacidade de Troca Catiônica, expressa em cmolc/dm^3 , dada pela análise de fertilidade do solo realizada por laboratório de análise de solo e utilizando metodologia de análise do solo do Instituto Agrônomo - IAC, devidamente assinado por responsável técnico.

K_s = concentração de potássio no solo, expresso em cmolc/dm^3 , à profundidade de 0 a 0,80 metros, dada pela análise de fertilidade do solo realizada por laboratório de análise de solo utilizando metodologia de análise de solo do Instituto Agrônomo – IAC , devidamente assinado por responsável técnico.

3744= constante para transformar os resultados da análise de fertilidade expressos em cmolc/dm^3 ou meq/100 cm^3 , para quilograma de potássio em um volume de um hectare por 0,80 metros de profundidade.

185 = massa, em [Kg] de K_2O extraído pela cultura por ha, por corte.

K_{vi} = concentração de potássio na vinhaça, expressa em [Kg K_2O/m^3], apresentada em boletim de resultado analítico, assinado por responsável técnico.

As dosagens de aplicação de vinhaça variam de acordo com as necessidades nutricionais da planta (em média, 185 Kg K_2O/ha), a concentração do potássio disponível no solo e o seu grau de saturação em relação à CTC que se pretende manter no solo e a concentração de potássio na vinhaça.(DINIZ, 2010)

Considera-se também a profundidade e a fertilidade do solo e a extração média de potássio pela cultura.

As dosagens resultam em taxas volumétricas de aplicação de vinhaça e são baseadas no teor de potássio nela contido e, este, apesar de ter sua concentração variável, de acordo com o tipo de produção (mosto de caldo, melaço ou misto), tem sua carga final similar para a destilaria autônoma ou anexa. (ANA, 2009).

Como visto, o potássio é proveniente da cana. Faz parte do caldo, méis e melaços de forma mais concentrada, passando para a vinhaça. Parte do K fica no bagaço. Uma tonelada de cana, se totalmente processada para gerar etanol, produz cerca de 1 a 1,6 Kg K_2O . (ANA, 2009).

12 – Normalização e fiscalização

Visando limitar e disciplinar o uso do solo, o Poder Público utiliza-se de instrumentos como o estabelecimento de padrões e normas, licenças e zoneamento.

A CETESB, como órgão integrante do SEAQUA, por meio da Lei 9.509 de 20.03.97, ficou com a atribuição da fiscalização, do licenciamento e da padronização sobre a degradação ambiental no Estado de São Paulo.

Em 2005, foi divulgada a Norma Técnica P 4.231, “Vinhaça – Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola”, que alterou e acrescentou diversos pontos nas legislações anteriores, considerando a necessidade de ordenar esse tipo de aplicação e evitar a ocorrência de poluição. Nela consta um conjunto amplo de diretrizes a serem seguidas. (CETESB, 2006)

Por ser autoaplicável, consiste em um ferramental auxiliar à ação fiscal, mormente pelos recursos escassos que se dispõem quando se defronta com extensas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, que constituem os canaviais dos empreendimentos do setor sucroalcooleiro.

Essas áreas perfazem, aproximadamente, cinco milhões, trezentos e quarenta mil hectares (5.339.367 ha – segundo dados da UDOP, referente a abril de 2012), proporcionando, em média, 26.700 ha de canaviais por unidade produtiva.

Pela complexidade que apresentam, devido as suas especificidades e próprias de cenários desse porte, em que há dificuldades de acesso e de deslocamento nas áreas de plantio, não se pode depender, única e exclusivamente, da fiscalização difusa em campo para o acompanhamento pleno de todas as ações voltadas para o controle das atividades lá desenvolvidas. E nem mesmo de um sistema de fiscalização cada vez maior para se obter o necessário equilíbrio do meio, por parte de setores produtivos organizados como o sucroalcooleiro. (CENBIO, 2007).

Nesse sentido, buscou-se, desde a edição da Norma Técnica – P 4.231, o aprimoramento da fiscalização, utilizando-se de outros mecanismos auxiliares para esse acompanhamento, tais como: imagens de satélite em tempo real, geoprocessamento e informações *on-line*, com o objetivo de melhorar o desempenho das ações a serem empreendidas junto a essas unidades produtivas.

Porém, nem todas dessas ferramentas puderam se efetivar, refletindo diretamente nos trabalhos que visavam melhor acompanhar as medidas adotadas pelas unidades do setor, em cumprimento às exigências nela contidas.

Havia também a expectativa de utilização, pelo setor, de todo o aparato disponível, com o devido aporte tecnológico, para nortear as ações voltadas a um sistema de autogestão que viesse a propiciar o acompanhamento dos trabalhos desenvolvidos em campo.

Esses empreendimentos, como amplamente difundido, estão sujeitos não apenas ao cumprimento dos dispositivos legais, mas, também, às exigências de ordem mercadológica, em que são inúmeras as barreiras impostas, por países importadores, aos produtos obtidos sem que sejam observadas condutas ambientalmente aceitáveis, conforme preceitos internacionalmente preconizados e previstos nas normas da série ISO-14.000 (Normas de Gestão Ambiental).

Embora destituídos dessa obrigatoriedade, esses procedimentos, uma vez empregados pelo setor, poderiam vir a se constituir em providenciais instrumentos de suporte à auto fiscalização e também serem utilizados pela CETESB para monitoramento das atividades, validação de dados e checagem da adequação das medidas de controle adotadas.

13 – Licenciamento

No Estado de São Paulo, cumpre também à CETESB analisar impactos ambientais associados aos empreendimentos responsáveis pela produção de açúcar, etanol e energia, dentre outras atividades produtivas. (DINIZ, 2010)

Como previsto em legislação, há três tipos de licenças emitidas pela CETESB: Prévia, de Instalação e de Operação (com as variações: de Operação Parcial, de Operação a Título Precário e de Renovação).

O licenciamento ambiental prévio deve ser realizado com base em estudos ambientais (EAS – Estudo Ambiental Simplificado –, RAP – Relatório Ambiental Preliminar – ou EIA-RIMA – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto no Meio Ambiente), dependendo do volume de cana-de-açúcar a ser processado e da localização no mapa de zoneamento agro ambiental para o setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo.

Neste contexto, são ainda considerados: queima de palha de cana, emissões atmosféricas das caldeiras, emissões da frota a diesel, volume de água consumido e outorga de captação, volume e qualidade do efluente líquido gerado, destinação dos efluentes, destinação adequada de resíduos (torta de filtro, lodo do sistema de lavagem de cana, cinzas da caldeira, lodo do decantador de fuligem, embalagens de agrotóxicos, bagaço de cana, resíduos de serviço de saúde, vinhaça), PGR – Plano de Gerenciamento de Riscos – dos tanques de armazenamento de etanol e produtos químicos e muitas outras especificidades.

Para obtenção das licenças ambientais o empreendedor deve cumprir as exigências formuladas visando à prevenção e o controle da poluição ambiental e também aquelas que dizem respeito aos recursos naturais (Reserva Legal, APP – Área de Preservação Permanente – e supressão de vegetação), uma vez que, em 07.08.2009, entrou em vigor a Lei nº. 13.542, sancionada pelo Governo do Estado em 08 de maio daquele ano.

A partir de então, a CETESB, com a denominação de Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, englobou três departamentos do Sistema Estadual de Meio Ambiente (SISEMA): o Departamento Estadual de Proteção dos Recursos Naturais – DEPRN, o Departamento de Uso do Solo Metropolitano – DUSM e o Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental – DAIA. (CETESB, 2010)

Assim, além de manter a função de órgão fiscalizador de atividades consideradas potencialmente poluidoras, a CETESB passou a licenciar aquelas que implicam no corte de vegetação e intervenções em áreas consideradas de preservação permanente e ambientalmente protegidas, abrindo-se uma nova frente de trabalho, ampla e significativa, com interface das atividades até então desenvolvidas e a de recursos naturais.

Todo o acompanhamento voltado para o controle da poluição, compreendendo o licenciamento ambiental e a fiscalização de fontes poluidoras, ocorreu simultaneamente ao período correspondente à de novas demandas.

14 – Considerações finais

A Norma P.4.231 representa um avanço no gerenciamento do uso da vinhaça no Estado de São Paulo.

Nela está disposta uma série de critérios a serem obedecidos, que se constituem em condutas de boas práticas de proteção ao meio ambiente, resultando, inclusive, em maior rentabilidade agrícola e industrial. (DINIZ, 2010)

No entanto deve-se procurar a otimização da gestão da vinhaça, considerando a expansão do setor sucroalcooleiro e a necessidade de instrumentos que visem certificar e garantir a sustentabilidade ambiental dessa cadeia produtiva.

15 – Referências bibliográficas

AMORIM, H. V.; LEÃO, R. M. Fermentação Alcoólica: ciência e tecnologia. Piracicaba: Fermentec, 2005.

ANA – Agência Nacional de Águas. Manual de Conservação e Reuso de Água na Agroindústria Sucoenergética / Agência Nacional de Águas; Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; União da Indústria da Cana-de-açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira – Brasília, 2009.

CENBIO: Aspectos ambientais na cadeia de biocombustíveis, com ênfase ao etanol e biodiesel. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo – SMA, 15 de agosto de 2007.

CETESB: Utilização de restilo como fertilizante em solos cultivados com cana-de-açúcar: relatório final São Paulo (BR) – 1982. 262p.

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Avaliação do Potencial Poluidor da Agroindústria Sucoalcooleira na 7ª Zona Hidrográfica do Estado de São Paulo. 1986.

DINIZ, K. M. Subsídios para a Gestão dos Planos de Aplicação de Vinhaça (PAV): um estudo de caso da região de Piracicaba. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, 102 f – 2010.

GASI, T. M. T.; SANTOS, J. A. de O. Aspectos do lançamento de vinhaça sobre o solo de São Paulo (BR): USP/FSP, 1984. 47p.

GRANATO, E. F. Geração de Energia Através da Biodigestão Anaeróbica da Vinhaça. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Eng. de Bauru–UNESP, 2003.

LAMO, P. D. Sistema Produtor de Gás Metano Através de Tratamento de Efluentes Industriais. METHAX/BIOPAQ – CODISTIL – Piracicaba/SP, 1991.

MATIOLLI, C. S. Aspectos Econômicos e Critérios básicos para otimização de sistemas de fertirrigação de lavouras canavieiras. Piracicaba, SP, 1989.p.4-105.

MONTEIRO, C. E; CENTURIÓN, B. Nota sobre Tecnologia de Controle – Fabricação de Açúcar e Álcool – CETESB –1985.

NORMA TÉCNICA – P.4.231 – Vinhaça Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola. Dezembro./2006.

NOTA TÉCNICA: Tecnologia de Controle na Fabricação do Açúcar e do Álcool – CETESB – 1987.

PAOLIELLO, J. M. M. Aspectos Ambientais e Potencial Energético no Aproveitamento de Resíduos da Indústria Sucroalcooleira. Bauru, 2006. 180p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia – UNESP.

PARANHOS, S. B. Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Fundação CARGIL – Campinas/SP, 1987.

ROSSETO, A. J. Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: PARANHOS, S. B. (Ed). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.2, p.435-504.

SANTOS, M. B. Proposta metodológica para o planejamento do uso agrícola da vinhaça, considerando os seus aspectos ambientais, por meio de sistema de informações geográficas. Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental – Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos, 237 f, 2000.

SILVA, M. A. da, GRIEBELER, N. P., BORGES, C. Uso de Vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v. 11 n°. 1, p. 108 -114, 2007.

SOUZA, R. M. Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Biogás Através da Bio digestão da Vinhaça e Comparação com Outros Energéticos. Trabalho

apresentado no IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Seguro – BA, 2000.

UDOP – União dos Produtores de Bioenergia: área plantada, área colhida e produção, por ano da safra e produto – abril de 2012.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar: Produção de etanol do Brasil; 2010.

DECRETO ESTADUAL Nº 8468/76, que aprovou o Regulamento da Lei nº 997/76, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente no Estado de São Paulo.