

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA  
FILHO”**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTUDO ECONÔMICO DAS DIFERENTES FORMAS DE  
TRANSPORTE DE VINHAÇA EM FERTIRRIGAÇÃO NA  
CANA-DE-AÇÚCAR.**

**Vanessa Lorencini da Silva**  
Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL  
Outubro de 2009

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA  
FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTUDO ECONÔMICO DAS DIFERENTES FORMAS DE  
TRANSPORTE DE VINHAÇA EM FERTIRRIGAÇÃO NA  
CANA-DE-AÇÚCAR.**

Vanessa Lorencini da Silva

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Pitelli Turco

Co-Orientador: Profa. Dra. Maria Inez Espagnoli Geraldo Martins

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL  
Outubro de 2009

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**VANESSA LORENCINI DA SILVA** - nascida em Ribeirão Preto, SP, no dia 30 de outubro de 1981, filha de Antonio Francisco da Silva e Janei Cristina Beneditta Lorencini, solteira, Engenheira Agrônoma, formada pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista- Unesp- Campus de Jaboticabal, em janeiro de 2006. Iniciou o curso de Mestrado em julho de 2007, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista- Unesp- Campus de Jaboticabal e suas atividades profissionais na Usina Santa Adélia, em Jaboticabal, em março de 2006.

### **Dedico**

Aos meus queridos pais, Janei e Antonio,  
Aos meus irmãos, Eduardo e Pedro,  
Pelo amor, carinho e respeito,  
Durante toda minha caminhada até aqui,  
À Deus, razão maior de todas as minhas conquistas.

### **Ofereço**

Com todo meu amor  
Ao meu companheiro  
Gil Farias,  
Pelo carinho e apoio  
Em todos os momentos  
Por tudo que significa pra mim.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por estar presente em minha vida;

Ao Prof. Dr. José Eduardo Pitelli Turco, pela orientação, confiança e amizade;

À Profa. Dra. Maria Inez Espagnoli Geraldo Martins, pela disposição e orientação durante este trabalho;

À Unesp- Campus de Jaboticabal;

À Usina Santa Adélia pela concessão das horas de trabalho para a realização do mestrado;

Ao Arlindo José Lima de Carvalho, pelo auxílio nos cálculos deste trabalho e pela atenção e dedicação despendida.

## SUMÁRIO

|   | Página |
|---|--------|
| 1. INTRODUÇÃO.....  | 1      |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA.....   | 2      |
| 2.1. A vinhaça.....   | 4      |
| 2.2. Uso agrícola da vinhaça.....   | 7      |
| 2.3. Utilização da vinhaça como fertilizante.....   | 9      |
| 2.4. Sistema de aplicação e transporte de vinhaça.....                                      | 10     |
| 2.5. Áreas de segurança.....  | 11     |
| 2.6. Aplicação por fertirrigação.....   | 12     |
| 2.7. Aplicação por inundação.....   | 13     |
| 2.8. Aplicação por infiltração.....   | 14     |
| 2.9. Fertirrigação por aspersão com equipamento semi-fixo.....                              | 15     |
| 2.10. Fertirrigação por aspersão com canhão hidráulico ou montagem<br>direta.....           | 16     |
| 2.11. Veículos tanque.....  | 17     |
| 2.12. Custos e distâncias máximas de aplicação de vinhaça com caminhões-<br>tanque.....     | 23     |
| 2.13. Transporte por circuitos hidráulicos.....   | 24     |
| 2.14. Transporte dutoviário de vinhaça.....   | 25     |
| 2.15. Transporte por canais.....  | 25     |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS.....  | 26     |
| 3.1. Localização da área de estudo.....   | 26     |
| 3.2. Transporte e aplicação.....  | 27     |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 29     |
| 4.1. Sistema de transporte com caminhões tanque.....  | 30     |
| 4.1.1. Descarregamento em caixas de contenção, seguindo por canais para<br>aplicação.....   | 31     |
| 4.1.2. Descarregamento em caixas de contenção, sucção por motobomba<br>e adutora móvel..... | 33     |
| 4.1.3. Engate rápido do mangote do autopropelido na saída lateral do<br>caminhão.....       | 35     |
| 4.2. Sistema de transporte com adutora fixa.....  | 37     |
| 5. CONCLUSÕES.....  | 40     |
| 6. REFERÊNCIAS.....   | 40     |

## **ESTUDO ECONÔMICO DAS DIFERENTES FORMAS DE TRANSPORTE DE VINHAÇA EM FERTIRRIGAÇÃO NA CANA-DE-AÇÚCAR**

**RESUMO:** Este trabalho teve por objetivo analisar o custo do transporte de vinhaça produzida na Usina Santa Adélia - Pereira Barreto. Foram levantados os custos de diferentes formas de transporte: com caminhões tanque, canais aplicadores, adutora móvel e adutora fixa. Foi utilizada uma metodologia que considera a estrutura de custo total de produção para a determinação dos custos de transporte (R\$/m<sup>3</sup>). O custo total para cada sistema foi composto pelos custos fixos e variáveis. Nos custos fixos foram considerados a depreciação e remuneração do capital fixo e, nos custos variáveis, os gastos com operação de cada sistema, representados por: mão-de-obra, consumo de combustível, quando presente, manutenção e reparos. Os resultados desse estudo mostram que o transporte com adutora fixa apresenta as seguintes vantagens quando comparado ao transporte com caminhões: redução do custo com mão de obra, eliminação do custo com combustível, custo total 95 % inferior ao do transporte com caminhões.

**Palavras-chave:** adutora, caminhão, cana-de-açúcar, fertirrigação, transporte, vinhaça

## **ECONOMIC STUDY OF DIFFERENT WAYS OF VINASSE TRANSPORTATION IN FERTIRRIGATION IN SUGAR CANE**

**ABSTRACT:** This work aimed to analyze the cost transportation of the vinasse produced by Santa Adélia Plant - Pereira Barreto. The costs of different ways of transportation were considered: with tank trucks, applicator channels, mobile and fixed pipeline. A methodology which considers the structure of total production cost for the determination of transportation costs (R\$/m<sup>3</sup>). The total cost for each system was composed by the fixed and variable costs. In the fixed costs, it was considered the depreciation and the remuneration of the fixed capital and, in the variable costs, the expenditures with the operation of each system represented by: labor force, fuel consumption (when there is), maintenance and repairs. The results of this study show that the transportation with fixed pipeline presents the following advantages when compared to the transportation by trucks: reduction of the labor force cost, elimination of the fuel cost, and total cost 95 % inferior in relation to the truck transportation.

**KEYWORDS:** fertirrigation, pipeline, sugar cane, transportation, truck vinasse

## 1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar tem quase 500 anos de história no Brasil, sendo que, nos últimos 30 anos, a atividade avançou para muito além do papel tradicional da agricultura como fonte alimentícia, entrando no universo da agroenergia e se tornando novo paradigma da energia limpa e renovável, na área dos combustíveis e da eletricidade.

Segundo a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (ÚNICA, 2009) a safra 2008/09 encerrou com 505 milhões de toneladas moídas na região centro-sul, contra 431 milhões na safra 2007/08 e previsão para a safra de 2009/10 de 550 milhões. Na safra de 2008/09, a produção acumulada de açúcar foi 2,11% superior à produção da safra anterior (2007/08), atingindo 26,75 milhões de toneladas. Isso significa que 39,74% do total de ATR (açúcares totais recuperados) foram destinados à produção de açúcar e 60,26% para a produção de etanol. Do mix de produção das unidades produtoras de açúcar e de etanol, 45,62% da cana foi destinada para a produção de açúcar e 54,38% para etanol. (UNICA, 2009).

A produção de álcool gera como resíduo a vinhaça, hoje tida como subproduto no processo de industrialização.

O uso da vinhaça, como fonte de nutrientes, matéria orgânica e água, foi uma das grandes revoluções no manejo da cultura. Ela constitui o principal efluente das destilarias de álcool. Cada litro de álcool produzido gera cerca de 13 litros de vinhaça que, até no início da década de 80, eram depositados nos rios, poluindo-os (GLÓRIA & ORLANDO FILHO, 1984). Atualmente, toda a vinhaça produzida é reutilizada na adubação dos canaviais (ORLANDO FILHO & RODELLA, 1995, citado por RESENDE et al. 2006).

Segundo TASSO et al. (2007), a importância da vinhaça está também na economia de insumos que se obtêm com a prática de seu aproveitamento na

forma de fertilizante e/ou como condicionadora de solos, em sua maioria, cultivados com cana-de-açúcar.

Na década de 80, a aplicação de vinhaça no campo era realizada de diversas formas, segundo ORLANDO FILHO et al., 1980; ORLANDO FILHO, 1981; ORLANDO FILHO et al., 1983, por inundação, por sulcos de infiltração, com canais principais e sulcos de plantio, por aspersão com equipamento semifixo e por aspersão com canhão hidráulico.

Segundo a COPERSUCAR, 1978, sob o ponto de vista técnico e econômico, a utilização de vinhaça como fertilizante somente era viável quando aplicada com auxílio de veículos, a saber: caminhões tanque (CT) ou sistema conjugado VDV (Veículo Distribuidor de Vinhaça).

Atualmente, a realidade de muitas usinas vem sendo alterada na busca de uma aplicação eficiente, com custo reduzido, que traga ganhos ao solo respeitando, sobretudo, as questões ambientais.

Sendo assim, este trabalho objetiva realizar um estudo econômico de diferentes formas de transporte de vinhaça em fertirrigação de cana-de-açúcar, a fim de determinar os custos do transporte (R\$/m<sup>3</sup>).

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

A vinhaça é o subproduto da fabricação do álcool, sendo composta, em sua maioria, de água (97%). A fração sólida é constituída principalmente de matéria orgânica e elementos minerais, e o K representa cerca de 20% dos elementos presentes e constitui o elemento limitante para a definição da dose a ser aplicada nos solos (MARQUES, 2006).

Os impactos da aplicação da vinhaça no solo e na água subterrânea variam de acordo com as condições fisiográficas da área, da composição química da vinhaça e do volume e da periodicidade de aplicação. Notadamente são

contaminadoras as disposições em áreas de sacrifício, em canais de transporte de vinhaça, lagoas de acumulação e tanques de rejeitos sem impermeabilização. São necessários incentivos ao desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento, redução e usos alternativos da vinhaça, em detrimento da fertirrigação, pois a elevada e crescente geração desse efluente não comportará apenas uma forma de destinação (PEREIRA, 2003).

A evaporação da vinhaça, sem maiores despesas do que a instalação, mão-de-obra e manutenção dos concentradores e seus pertences, foi cogitada, na década de 50, como forma de evitar o lançamento da vinhaça nos cursos d'água (HOLLANDA FILHO, 1955).

A Comissão Permanente de Proteção aos Cursos d'Água, criada por Decreto Estadual do Estado de Pernambuco, já na década de 40, agrupava cinco diferentes métodos para o tratamento e aproveitamento industrial da vinhaça, quais sejam: (a) processo de evaporação ou incineração mediante pulverização da vinhaça nos gases de combustão; (b) processo de destilação destrutiva, ou destilação pirogenosa contínua sob pressão, com recuperação de metanol, acetona, ácido acético, amoníaco e derivados alifáticos; (c) tratamento químico, combinando centrifugação com precipitação química e tratamento químico com depuração biológica; (d) processos biológicos de depuração, fermentação anaeróbica; (e) processo de decantação e irrigação (COUTINHO, 1955).

Partindo da constatação de que os trabalhos pioneiros sobre utilização de vinhaça incorreram em grave erro ao recomendarem a aplicação de quantidades excessivas de vinhaça ao solo, GLORIA (1975) passou a defender a aplicação racional de vinhaça, que deve levar em conta o conhecimento de sua composição básica, o estudo das condições do solo que a recebera assim como da cultura que será fertilizada, o levantamento da topografia dos terrenos e considerações econômicas determinantes.

MATIOLI & MENEZES (1984) e MATIOLI et al.(1988) dedicaram-se ao estudo de otimização dos sistemas de aplicação de resíduos líquidos na lavoura canieira, destacando a necessidade de se elaborar projetos fundamentados em

critérios técnico-econômicos, visando ao máximo aproveitamento do potencial nutricional da vinhaça e o enquadramento dos sistemas de aplicação dentro das exigências dos órgãos responsáveis pelo controle de poluição do meio-ambiente.

### **2.1.A vinhaça**

Segundo SALOMON (2007), a cana chega à usina sendo lavada e moída para extração do caldo. Este caldo contém sacarose, glicose, leveduras, matéria nitrogenada e etc. Posteriormente, este caldo sofre uma clarificação, concentração e centrifugação para obtenção do açúcar comercial e do mel. Segundo BRAILE & CAVALCANTI (1979), este mel depois de passar por um novo processo de cozimento a vácuo para a obtenção do açúcar de segunda, transforma-se em mel final, também chamado mel pobre ou melaço. O mosto diluído é denominado mosto de melaço, e enviado as dornas de fermentação. Após a fermentação, o líquido resultante é chamado de vinho, que também passa por um processo de centrifugação para recuperar o fermento (leveduras) a ser reutilizado no processo de fermentação. Este vinho então é enviado para as colunas de destilação para produção do álcool hidratado, que por sua vez produz como resíduo a vinhaça.

Como produto da destilação, ELIAS NETO (1988) afirmou que se obtêm, basicamente, o álcool e a vinhaça, à qual atribui três origens possíveis, conforme o tipo de mosto:

- vinhaça de mosto de caldo: produzida de caldo direto para a fermentação alcoólica, normalmente em destilarias autônomas,
- vinhaça de mosto de melaço: mosto preparado com melaço, subproduto da produção de açúcar, normalmente em destilarias anexas,
- vinhaça de mosto misto: mosto preparado com caldo direto e melaço, normalmente em destilarias anexas.

De acordo com ALMEIDA (1952), a composição química da vinhaça é bastante variável, dependendo principalmente da composição do vinho submetido à destilação, o qual, por sua vez, está relacionado com outros fatores, tais como: natureza e composição da matéria prima, sistema usado no preparo do mosto, método de fermentação adotado, sistema de condução da fermentação alcoólica, raça da levedura utilizada, tipo de aparelho destilatório empregado e modo de destilação adotado.

Comparada com o bagaço e a torta de filtro, outros resíduos orgânicos produzidos pela indústria sucro-alcooleira, a vinhaça é mais rica em nutrientes, principalmente potássio, além de cálcio, magnésio, fósforo, manganês e nitrogênio orgânico. Sua relação C/N é igual a 15, o que a caracteriza como um material rico em proteínas (CERRI et al., 1988).

Segundo CORTEZ et al., (1996), as principais características da vinhaça estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Características da vinhaça da cana-de-açúcar.

| Parâmetro                                     | Matéria - Prima para o álcool |                 |                |
|---|-------------------------------|-----------------|----------------|
|   | Melaço                        | Caldo           | Mistura        |
| pH  | 4,2 – 5,0                     | 3,7 – 4,6       | 4,4 – 4,6      |
| Temperatura (°C)                              | 80 – 100                      | 80 – 100        | 80 – 100       |
| DBO (mg/l O <sub>2</sub> )                    | 25.000                        | 6.000 – 16.500  | 19.80          |
| DQO (mg/l O <sub>2</sub> )                    | 65.000                        | 15.000 – 33.000 | 45.000         |
| Sólidos totais (mg/l)                         | 81.500                        | 23.700          | 52.700         |
| Material volátil (mg/l)                       | 60.000                        | 20.000          | 40.000         |
| Material fixo (mg/l)                          | 21.500                        | 3.700           | 12.700         |
| Nitrogênio (mg/l N)                           | 450 – 1.600                   | 150 – 700       | 480 – 710      |
| Fósforo (mg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 100 – 290                     | 10 – 210        | 9 – 200        |
| Potássio (mg/l K <sub>2</sub> O)              | 3.740 – 7.830                 | 1.200 – 2.100   | 3.340 – 4.600  |
| Cálcio (mg/l CaO)                             | 450 – 5.180                   | 130 – 1.540     | 1.330 – 4.570  |
| Magnésio (mg/l MgO)                           | 420 – 1.520                   | 200 – 490       | 580 – 700      |
| Sulfato (mg/l SO <sub>4</sub> )               | 6.400                         | 600 – 760       | 3.700 – 3730   |
| Carbono (mg/l C)                              | 11.200 – 22.900               | 5.700 – 13.400  | 8.700 – 12.100 |
| Relação C/N                                   | 16 – 16,27                    | 19,7 – 21,07    | 16,4 – 16,43   |
| Material orgânico (mg/l)                      | 63.400                        | 19.500          | 38.000         |
| Outras Substâncias (mg/l)                     | 9.500                         | 7.900           | 8.300          |

A vinhaça pode ser caracterizada sob diferentes aspectos (ALMEIDA,1955), a saber:

- como fator de poluição dos cursos d'água, a vinhaça possui ação redutora extremamente alta exigindo, conseqüentemente, uma elevadíssima taxa de oxigênio para se estabilizar, oxigênio este retirado da água; resiste tenazmente a quaisquer tipos de tratamento dos usualmente empregados para outros resíduos industriais; é produzida em grandes volumes; é dos mais ácidos e corrosivos resíduos poluidores; encontra-se poluindo uma grande área do Estado de São Paulo;
- como fator ictiológico, a vinhaça apresenta alta nocividade aos grandes animais aquáticos (peixes, sapos e crustáceos); dizima a fauna piscosa da água doce; afugenta a fauna marítima que procura as costas brasileiras para o fenômeno fisiológico da desova; destrói os peixes larvófagos, causando desequilíbrio biológico dos rios; acaba com os seres da microflora e microfauna que forma o plâncton dos rios; mata as plantas aquáticas de vida submersa e flutuante;
- como fator de insalubridade, a vinhaça ocasiona poluição dos cursos d'água; produz mau cheiro, em virtude da formação de gases fétidos; possui DBO superior a 20.000 ppm, tornando as águas nas quais é lançada imprópria para consumo; confere à água cheiro nauseabundo, gosto desagradável, turbidez elevada, cor anormal e alta taxa de resíduo; agrava o problema de doenças endêmicas e aumenta a proliferação de insetos;
- como fator de ordem social, a vinhaça provoca condições odiosas entre a indústria do álcool e da aguardente com o público em geral, que se indigna contra a poluição ambiental;
- como fator de fertilização ou de correção dos solos, a vinhaça é um resíduo rico em matéria orgânica coloidal e em elementos minerais; contribui para elevar o pH dos solos, chegando mesmo a alcalinizá-lo; melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos; aumenta a microflora dos solos, proporcionando mais fácil nitrificação e conferindo-lhe maior índice de fertilidade; propicia a cana-

de-açúcar condições mais favoráveis ao seu ciclo vegetativo, aumentando sua riqueza sacarina e a pureza do caldo, se cortada na ocasião propicia, embora retardando a maturação; modifica os padrões das terras, determinando o aparecimento de ervas características e padrões de solos férteis e produtivos.

No Brasil a vinhaça é aplicada diretamente no solo como fertilizante e fonte de potássio. Mas, para esta prática, deve-se fazer uma análise das características do solo para que se possam aplicar quantidades corretas da mesma. Mas a grande desvantagem disto está associada aos custos de transporte para descarregar a vinhaça no campo. Devido a isto, se estudam novas formas de se utilizar esta vinhaça (SALOMON, 2007).

## **2.2. Uso agrícola da vinhaça**

A aplicação de vinhaça é tida como fertirrigação, processo conjunto de irrigação e adubação que consiste na utilização da própria água para conduzir e distribuir o fertilizante químico ou orgânico na lavoura, podendo ser feita por qualquer sistema de irrigação (VIEIRA, 1986). Dentro deste contexto, o termo fertirrigação, no que concerne a vinhaça não é todo correto, pois se refere mais ao método de irrigação empregado, não se constituindo mais do que um processo de aplicação de fertilizante e molhamento, sem controle prático da lâmina hídrica aplicada e muito menos da frequência das aplicações, interessando mais a quantidade de potássio carregada e transferida para o solo (FREIRE & CORTEZ, 2000).

Porém, segundo a COPERSUCAR (1978), a vinhaça utilizada como fertilizante permite alcançar o objetivo de não poluir o ambiente, uma vez que todo resíduo formado é devolvido à cultura. Podendo assim substituir parte da adubação mineral, diminuindo custos.

Segundo MATIOLI (1989), além do consagrado uso agrícola na fertirrigação de canaviais, existem alternativas para aproveitamento da vinhaça. THIAGO (1980) relata que os principais produtos que podem ser extraídos da vinhaça estão englobados em três grandes grupos: fertilizante, ração animal e gás metano.

ORLANDO FILHO et al. (1983) apresentaram as seguintes alternativas de utilização de vinhaça: produção de proteínas unicelulares, através da fermentação anaeróbica, concentração a aproximadamente 60° Brix, com possibilidade de uso como componente de ração animal, utilização como adubo, queima para produção de fertilizantes e, ainda, a utilização "in natura" em substituição total ou parcial a adubações minerais.

Uma nova forma alternativa de tratamento e utilização agroindustrial de vinhaça, foi proposta por SILVA (1981a, 1981b), forma esta que dependia um mínimo consumo de energia e utiliza equipamentos já empregados na indústria açucareira, ou seja, tanques de clarificação, decantadores tipo Dorr e filtro a vácuo tipo Oliver. O processo começa com a clarificação da vinhaça, em tanques de clarificação, mediante adições de leite de cal (3,0 a 3,5 kg/m<sup>3</sup> de vinhaça) e de fósforo (200 ppm), elevando o pH a 11,0. Em seguida, a vinhaça clarificada é enviada a um decantador tipo Dorr, onde, sob decantação contínua durante aproximadamente três horas, resulta na obtenção de um clarificado de baixo poder poluidor e de pH 9,5, e de um lodo decantado (7kg/m<sup>3</sup> de vinhaça), rico em matéria orgânica e em elementos minerais, principalmente cálcio.

A aplicação indiscriminada de vinhaça na lavoura canavieira pode acarretar resultados negativos à industrialização do açúcar, pois eleva os teores de potássio e de amido no caldo, cujos efeitos são altamente prejudiciais à qualidade do açúcar obtido e à esgotabilidade dos melaços (CESAR et al., 1978).

### 2.3. Utilização da vinhaça como fertilizante

ALMEIDA et al. (1950), concluíram que a aplicação de vinhaça ao solo não aumenta a sua acidez, muito pelo contrário, provoca uma elevação do pH, elevação esta tanto mais pronunciada quanto maior a quantidade de vinhaça aplicada no solo. Observaram os autores que, em aplicações maiores ou iguais à 500 m<sup>3</sup>/ha, ocorreria um aumento progressivo do poder de embebição do solo e uma melhoria nas propriedades físicas do solo.

A aplicação, por aspersão, de 300 m<sup>3</sup>/ha/ano de vinhaça a um Latossolo Vermelho Escuro álico, ao longo de 15 anos, provocou elevação do pH do solo, diminuição da acidez potencial, redução do teor de alumínio trocável, aumento da soma de bases e da porcentagem de saturação de bases (CRUZ et al., 1993).

Recentemente, a CETESB lançou as normas para aplicação da vinhaça no solo segundo a CETESB ARTIGO 1º DA DECISÃO DE DIRETORIA, Nº 035/2005/E, DE 9-3-2005. NORMA TÉCNICA CETESB - P4.231 (Versão Janeiro/2005) - Vinhaça - Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola a ser seguido em todo estado de São Paulo (SALOMON, 2007).

SENGIK et al. (1988), estudando os efeitos da aplicação de doses crescentes de vinhaça sobre algumas propriedades químicas de dois solos diferentes concluíram que os efeitos da aplicação de vinhaça sobre as propriedades químicas de ambos os solos estudados se restringiram à camadas superficiais dos mesmos, com a ocorrência de maiores acréscimos de bases trocáveis, redução de teores de alumínio e hidrogênio trocáveis e aumento de pH. Foi observado, também, um desbalanceamento catiônico entre potássio, presente em elevado teor na vinhaça, e cálcio e magnésio.

A aplicação de vinhaça na soqueira da cana-de-açúcar pode influenciar, positiva ou negativamente, algumas características do solo e do produto, entre elas, SANTANA (1985) citou: elevação do pH, aumento da disponibilidade de alguns nutrientes, aumento da capacidade de retenção de água, melhoria da

estrutura física do solo, aumento da população microbiana, imobilização de certos nutrientes, aumento da produtividade, aumento do número de cortes da cana, redução no teor de sacarose, atraso na maturação e um certo acúmulo de cinzas e amido no caldo.

A aglutinação das partículas do solo que recebeu a vinhaça se dá principalmente em função da mucilagem excretada pelos microrganismos que metabolizam açúcares de cadeia pequena, presentes em grande quantidade na vinhaça, de tal forma que a aplicação de altas taxas de resíduo mais o tempo adequado de incubação no solo, são os responsáveis pelo aumento da estabilidade estrutural dos agregados do Latossolo Vermelho Escuro textura média (CAMARGO et al., 1983).

Todavia, o pequeno efeito da vinhaça sobre a estabilidade de agregados em água, álcool e benzeno, é atribuído a quantidade de material orgânico contido na vinhaça que não é suficiente para promover agregação das partículas do solo, ou, por ser altamente biodegradável, não consegue atuar como agente cimentante. Mesmo assim, aplicada ao solo, a vinhaça promove melhoria nos seus atributos físicos, principalmente na sua porosidade total (LONGO et al., 1986).

A necessidade da adubação das soqueiras de cana de açúcar é indiscutível, tendo em vista que, em cada ciclo, a planta retira do solo quantidades apreciáveis de nutrientes, que necessitam ser restituídos através da adubação. A vinhaça tem possibilidades de fornecer parte desses nutrientes requeridos pela soqueira, onde seu emprego deve ser prioritário, pelo fato de sua disponibilidade ocorrer no período da safra (SANTANA, 1985).

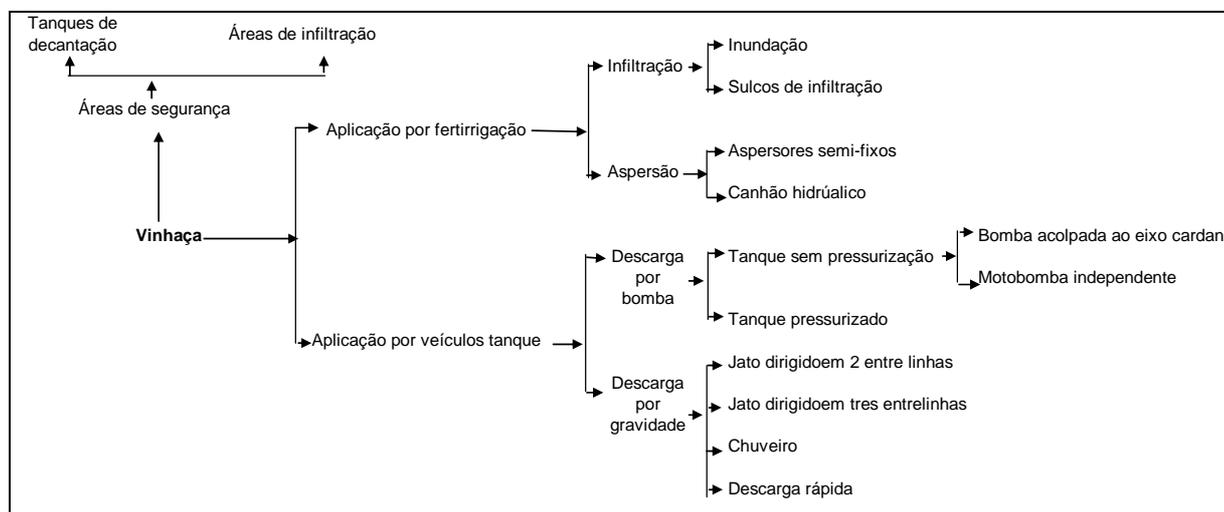
#### **2.4. Sistema de aplicação e transporte de vinhaça**

De todas as formas de distribuição de vinhaça in natura ao solo, a mais desvantajosa é a distribuição indiscriminada sobre o terreno não-preparado para o

plântio, a que apresenta maiores vantagens é a utilização da vinhaça in natura como fertilizante a curtíssimo e em curto prazo (LIMA, 1976).

Segundo ORLANDO FILHO (1981), a fertirrigação exige normalmente recalque de efluente para pontos de cotas mais elevadas, sendo o mesmo conduzido para os talhões por gravidade, através de canais. A construção dos canais e o estabelecimento de bombas e tubulações exigem investimentos elevados, como também cuidados e alto custo de manutenção.

A FIGURA 1 indica segundo ORLANDO FILHO et al. (1983) uma representação esquemática dos diversos sistemas de aplicação da vinhaça “in natura” na cultura da cana de açúcar.



**Figura 1:** Representação esquemática dos diversos sistemas de aplicação da vinhaça “in natura” na cultura da cana de açúcar.

## 2.5. Áreas de segurança

São locais onde vinhaça é aplicada sem uma imediata finalidade agrícola. Essas áreas são indispensáveis nas unidades produtoras, pois funcionam como setores de segurança, onde a vinhaça é depositada quando das demais opções

de utilização não estão em funcionamento, evitando-se com isso a descarga do resíduo em cursos de água, com conseqüentes problemas de poluição (ORLANDO FILHO, 1983).

## **2.6. Aplicação por fertirrigação**

A utilização da vinhaça na fertirrigação promove a adição de nutrientes ao solo, elevação da umidade e do pH e melhora a resistência do solo à erosão, resultando no acréscimo da produtividade agrícola (CAMBUIM, 1983, citado por LYRA et al., 2003).

Devido à sua origem, a vinhaça pode ser considerada um “extrato de levedura” diluído, constituindo um meio complexo que favorece o desenvolvimento de uma gama variada de microrganismos, especialmente quando de sua aplicação ao solo como fertilizante (CAMARGO, 1954 & CALDAS, 1960 citado por SANTOS, 2009).

PENATTI et al. (1988) citam que o uso de vinhaça traz resultados positivos na produtividade agrícola da cana, além de gerar economia com a aquisição de fertilizantes. FREIRE & CORTEZ (2000) citam que a vinhaça proporciona benefícios biológicos, físicos e químicos ao solo, refletindo em maiores produtividades.

A vinhaça pode ser empregada como fertilizante orgânico, contendo alto teor de matéria orgânica potássio e água, sendo relativamente pobre em nitrogênio e cálcio, com baixos teores de fósforo e magnésio (PENATTI et al., 1988, citado por PAULINO et al., 2002).

A cana é altamente exigente em potássio e sua carência reflete não apenas na diminuição da biomassa produzida, como também no menor acúmulo de açúcares no colmo, explicado pela menor fotossíntese e pela menor translocação (GLÓRIA, 1985).

A aplicação de vinhaça nas lavouras aumenta a produtividade da cultura, e, paralelamente, reduz a concentração de açúcar no caldo (FREIRE & CORTEZ, 2000). Este efeito depreciativo pode ser devido, justamente, ao crescimento vegetativo mais vigoroso, o que leva ao atraso na maturação (KORNDORFER, 1990).

SANTANA (1985) afirma que, em alguns casos, o custo do sistema de distribuição de vinhaça por aspersão torna-se elevado demais, a tal ponto de inviabilizar tal prática, principalmente nos casos em que o plantio de cana é feito em áreas não contínuas, associado à topografia desfavorável, impedindo a construção de canais longos e mais eficientes.

SILVA et al. (1978) citam que, ao se aplicar vinhaça, deve-se ter prévio conhecimento da dose adequada, pois tanto a produtividade, quanto a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar são influenciadas por estas aplicações.

## **2.7. Aplicação por inundação**

Segundo ORLANDO FILHO et al. (1993), a fertirrigação por inundação é um dos processos mais empíricos de distribuição do efluente. A vinhaça, geralmente diluída, tem entrada pela parte mais elevada do talhão e daí é distribuída, inundando o terreno de forma bastante heterogênea. Não existe controle da quantidade de vinhaça aplicada, e a distribuição no terreno é totalmente irregular, principalmente em solos arenosos, sendo que, no início da distribuição e em especial nos locais de empoçamento, poderão ocorrer danos à planta, devido à elevada quantidade aplicada, com conseqüentes problemas de salinização do solo.

## 2.8. Aplicação por infiltração

ORLANDO FILHO (1981) e ORLANDO FILHO et al. (1993) demonstraram que este sistema exige uma prévia preparação do terreno com canais principais trapezoidais ou triangulares, com declividades máximas de 0,5 a 1,0 %, os sulcos formando pequenos ângulos com os canais, o quase a eles paralelos. De acordo com a topografia do terreno, os canais principais poderão estar distanciados de 200 a 500 m. O tráfego de veículos entre os talhões de ser feito através de carregadores situados ao lado e a montante dos canais principais, facilitando a manutenção dos mesmos.

MATIOLI & MENEZES (1984) afirmaram que a implantação deste sistema de aplicação racional de resíduo líquido deve ser encarada como um sistema de irrigação por sulcos de infiltração propriamente dito, ou seja, executando-se uma rigorosa sistematização do terreno, de acordo com a topografia e tipo de solo. Somente assim é possível atingir a eficiência de aplicação e facilidade operacional.

Os autores citados ainda afirmam que o sistema de sulcos de infiltração, quando implantados sem considerar as exigências retro-mencionadas, provoca demanda de muita mão de obra, além de aplicação de dosagens excessivas e desuniformes, que podem implicar em graves prejuízos para a cultura e o solo.

SILVA (1992) afirma que o grande volume de resíduo produzido numa agroindústria sucro-alcooleira exige extensas áreas para aplicação racional. Diante da dificuldade de se dispor dessas áreas com características adequadas ao sistema de sulcos de infiltração, sua difusão pode ser considerada bastante restrita.

## 2.9. Fertirrigação por aspersão com equipamento semi-fixo.

Neste sistema constam canais principais para a condução da vinhaça, com declives inferiores a 0,2% e vazão máxima de 0,2 m<sup>3</sup>/s, pois canais com maior capacidade de vazão necessariamente deverão possuir maior secção e menor declividade, aspectos que resultarão num maior custo de implantação. A vinhaça diluída é recalçada aos canais principais que margeiam os talhões, através de uma motobomba (geralmente movida a óleo diesel) que, por sua vez, alimenta tubulações, principais e laterais, de alumínio com acoplamento rápido e com diâmetros variados. Na tubulação lateral são acoplados aspersores que geralmente operam com pressão até 6 kg/cm<sup>2</sup>, fornecendo uma vazão de, no máximo, 80 m<sup>3</sup> hora<sup>-1</sup> (ORLANDO FILHO et al, 1983).

LORENZETTI & FREITAS (1978) apresentam com detalhes esse sistema de aplicação, inclusive com custos, muito usado na Usina São José de Macatuba, SP. As motobombas a Diesel de 140 HP, operando a 1.800 rpm e a uma altura manométrica de 40 mca, recalçam a vinhaça diluída para a tubulação principal de 600 m de comprimento, numa vazão de 300 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, e são posicionadas a cada 360 m de distância do canal. As linhas laterais, com 180 m de comprimento, operam com três aspersores simultaneamente no espaçamento de 60 x 60 m, aplicando cada aspersor uma lâmina de 20, 8 mm numa área de 3.600 m<sup>2</sup>. As dosagens de vinhaça que podem ser aplicadas por esse sistema são 208 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> em uma hora, 416 m<sup>3</sup> ha em 2 horas, e assim por diante.

Segundo ORLANDO FILHO et al. (1983), a principal vantagem do processo é permitir um melhor controle da quantidade de resíduo aplicada, homogeneidade de distribuição e não exigir preparo especial (sulcos em desnível) do solo. Possibilita também várias aplicações durante o ciclo da cultura, principalmente no início do desenvolvimento da mesma.

## **2.10. Fertirrigação por aspersão com canhão hidráulico ou montagem direta**

Montagem direta, segundo MATIOLI & MENEZES (1984) e MATIOLI et al. (1988), consiste basicamente num conjunto moto-bomba, acoplado a um aspersor tipo canhão, montados em chassis com rodas. O sistema, quando em funcionamento, atinge um diâmetro molhado de aproximadamente 140 m. Ele é estacionário e succiona a vinhaça diretamente de canais, espaçados entre si de aproximadamente 100 m, dependendo das características topográficas do terreno. Os pontos de estação da montagem direta ao longo dos canais também são espaçados entre si de aproximadamente 100 m, de modo que as mudanças da máquina perfazem uma rede com malhas de 100 m x 100 m e, conseqüentemente, em cada posição, a máquina irriga uma área de aproximadamente um hectare.

Segundo LEME et al, 1979, o método de aplicação de vinhaça por aspersão com canhão hidráulico (conjunto de montagem direta), apresenta as seguintes vantagens:

- não há necessidade de sistematização do terreno ou sulcação em desnível;
- pode ser usado em áreas com declive acentuado e operado em qualquer tipo de solo;
- pode ser usado em todos os ciclos e fases da cultura;
- permite perfeito controle da quantidade de vinhaça aplicada, irrigando extensas áreas por unidade de tempo;
- apresenta baixo custo operacional e economia de mão-de-obra.

Por outro lado, apresenta, também, as seguintes desvantagens:

- desuniformidade de chuva em conseqüência das variações instantâneas da direção do vento,
- exige um sistema de distribuição da vinhaça por canais adequados,
- requer alta pressão de serviço,
- necessita de mão-de-obra operacional adequada.

LEME (1987) propôs um sistema otimizado de operação do equipamento montagem direta para fertirrigação das soqueiras de cana-de-açúcar que, segundo ele, resulta em economia de combustível, redução da pressão de operação, aumento da vida útil dos equipamentos e maior eficiência operacional.

Muito embora este sistema otimizado tenha proporcionado maior frequência operacional em função da redução das posições de estacionamento do equipamento ou redução da área perdida com canais, por outro lado ele também deu origem a alguns problemas de ordem técnico-operacionais, tais como a desuniformidade da distribuição de pressão, a maior necessidade de mão de obra para transporte da tubulação componente da extensão e a dificuldade de operar o sistema no período noturno. Por isso, LEME et al. (1987) apresentaram nova alternativa para aplicação de vinhaça por aspersão através de equipamento autopropelido com tubulação de polietileno de média densidade (FREIRE & CORTEZ, 2000).

ORLANDO FILHO et al. (1983) afirmaram que a fertirrigação por aspersores setoriais (canhão) na época era uma prática que estava se difundindo entre os produtores de álcool, ocupando áreas que anteriormente recebiam aplicações de vinhaça pelo sistema de sulcos de infiltração.

### **2.11. Veículos tanque**

Transportam a vinhaça das destilarias aos talhões, onde realizam a aplicação com considerável uniformidade. Requer estradas e carreadores em bom estado de conservação, uma frota de veículos, sistematização dos talhões, sem barrancos e obstáculos para melhor movimentação dos veículos e um planejamento de corte de cana de modo a permitir a aplicação 24 horas por dia. As desvantagens desse sistema são: a compactação do solo pelos veículos, a impossibilidade de aplicação em cana-planta, a inviabilidade da diluição da

vinhaça e as dificuldades de aplicação em dias de chuva (ORLANDO FILHO et al.1983).

O sistema de aplicação com caminhões-tanques, segundo MATIOLI & MENEZES (1984), é o mais difundido para a distribuição de vinhaça pura, realizando uma aplicação com certo controle e considerável uniformidade, sendo ele normalmente conjugado com outros sistemas, principalmente com uma área de despejo. Esta área destina-se a receber a totalidade das águas residuárias e o excedente de vinhaça que os caminhões não aplicam por motivos adversos à perfeita operação da frota.

#### a) Características do sistema

Os primeiros tanques, atualmente fora de uso, eram construídos em madeira. Segundo ORLANDO et al. (1983), os tanques poderiam ser de aço carbono, de aço carbono naval ou de aço inox e para a época os tanques em fibra de vidro apresentavam problemas de corrosão em decorrência do pH ácido da vinhaça (pH em torno de 4,0).

A capacidade do tanque, segundo os autores, é variável, oscilante entre 7 e 18m<sup>3</sup>, e, em função do volume do tanque, os caminhões poderão ser com dois ou três eixos. Os veículos de maior capacidade transportam e aplicam o resíduo mais economicamente, porém os de menor capacidade apresentam maior versatilidade, principalmente para manobras nos talhões, assim como para movimentação em terrenos acidentados.

#### b) Distribuição por gravidade

Segundo MATIOLI & MENEZES (1984), utiliza-se de tanques com barras aplicadoras sendo o descarregamento da vinhaça feito por gravidade. Apresenta, como fator limitante, o efeito da variação da carga hidráulica na uniformidade de aplicação, cujas conseqüências são agravadas com o uso de baixas dosagens (vinhaça concentrada). Este sistema, de acordo com ORLANDO FILHO et al. (1983) e ORLANDO FILHO & LEME (1984), permite a aplicação da vinhaça

através do escoamento por gravidade. Como se pode deduzir, esta técnica apresenta, sob ponto de vista bastante rigoroso, certa heterogeneidade de aplicação, pois no início há maior volume de vinhaça no tanque, maior pressão e, por conseguinte, maior vazão. Com a diminuição do volume de vinhaça no tanque, registra-se menor pressão. Este fator impede a uniformidade de aplicação, cujas conseqüências são maiores quando se utiliza baixa quantidade do resíduo. Uma forma de contornar o problema da distribuição de vinhaça por gravidade é diminuir a velocidade do veículo após a aplicação de metade da carga do tanque. Outro fator considerado é o baixo rendimento operacional, levando-se maior tempo para a completa aplicação da carga. Os terrenos mais acidentados apresentam maiores limitações para o uso desse sistema.

Para a COPERSUCAR (1979), ORLANDO FILHO et al. (1980), ORLANDO FILHO et al. (1980), ORLANDO FILHO et al. (1983), ORLANDO FILHO E LEME (1984) e MATIOLI & MENEZES (1984), dentre as variações do processo de aplicação de vinhaça por gravidade destacam-se quatro:

b1) Jato dirigido em duas linhas: tal sistema consiste em aplicar vinhaça em jatos dirigidos, visando duas entrelinhas de cana. Este processo foi inicialmente desenvolvido objetivando diminuir o contato da vinhaça quente com a planta, nos casos de aplicações tardias do resíduo, evitando-se com isso possível queima das folhas. Posteriormente, verificou-se que os danos sobre a superfície foliar, mesmo com a vinhaça quente, são mínimos e, com as recomendações de utilização de resíduo logo após a colheita e tratamento do palhiço residual, tal efeito é praticamente eliminado. Atualmente, o mencionado processo encontra-se em desuso pelas unidades produtoras, pelo fato de que, dependendo da quantidade a ser aplicada por hectare e do diâmetro da saída da aplicação, poderá haver ligeira erosão do solo.

b2) Jato dirigido em três linhas: neste caso, a descarga do tanque é realizada por três jatos dirigidos, objetivando alcançar três linhas de cana. Os

apologistas deste sistema destacam as seguintes vantagens: o fato de se concentrar a aplicação do resíduo (água +nutrientes+matéria orgânica) em uma região onde haverá maximização do aproveitamento do mesmo, inclusive forçando uma melhor brotação da soca, principalmente para início da safra, quando ocorre déficit hídrico no solo. A outra vantagem seria menor germinação de plantas daninhas em virtude da vinhaça não atingir a entrelinha, facilitando, portanto, o seu controle. Não se encontra, na bibliografia disponível, trabalhos que realmente comprovem tais vantagens, devendo as mesmas ser testadas experimentalmente. A principal desvantagem, está na aplicação de quantidade elevadas, quando então as saídas deverão ser de maior diâmetro o que poderá, também, dependendo do tipo de solo, causar problemas de erosão,

b3) Chuveiro: o processo de distribuição da vinhaça por gravidade através de “chuveiro” é um dos mais difundidos na região centro-sul do país. Consiste em utilizar a barra aplicadora com perfurações que permitem a distribuição do resíduo em toda superfície do solo. Normalmente, a tubulação de saída do tanque é de 4 polegadas, valor igual ao somatório dos diâmetros das perfurações. Os primeiros chuveiros eram compostos de barra reta, de largura em torno de 2,20 m. Atualmente, visando atingir uma área maior em cada passada, as barras tem suas extremidades recurvadas, (“meia-lua”), permitindo atingir faixas com cerca de 4,00 m de largura. Neste sistema, ocorrendo menor impacto do líquido no solo, os problemas de erosão são minimizados.

À irrigação com caminhões de descarga por meio de barra irrigadora, todavia, estavam associados vários problemas, dentre os quais Gentil (1979) listou os seguintes:

- necessidade de grande quantidade de veículos e motoristas;
- dificuldade de trabalhar em dias de chuva e terreno úmido;
- incapacidade de trabalhar em terrenos acidentados e com sulcos;
- pequeno rendimento diário;
- vazão desuniforme à medida que o tanque vai se esvaziando;

- elevado custo operacional;
- reduzida vida útil dos veículos;
- dificuldade de trabalho ao final das safras quando tem início o período chuvoso que pode saturar o solo.

b4) Descarga rápida: o processo de descarga rápida é utilizado apenas em tanques de maior capacidade (14 a 18 m<sup>3</sup>). Uma tubulação de 12" alimenta a barra aplicadora de 6", de onde emergem 6 saídas de 3", sendo a vinhaça defletida em pratos. Com isso há formação de um leque, atingindo em média cinco linhas de cana. A principal desvantagem do sistema é a heterogeneidade de aplicação, ou seja, a distribuição é melhor quando o tanque está cheio e, à medida que a carga vai sendo aplicada, há uma diminuição da largura da faixa atingida pelo resíduo,

#### c) Distribuição por bombas

Há diferentes sistemas de bombas que aplicam vinhaça com pressão, implicando relativa uniformidade, além de menor compactação do solo devido ao veículo, pelo fato de atingir uma faixa de aplicação de maior largura. A desvantagem desta técnica está associada à aquisição de mais um equipamento e, portanto, à existência de mais uma peça sujeita a sofrer defeitos e desgastes na aplicação, exigindo maior manutenção do sistema. Outra particularidade desse sistema reside na aplicação da vinhaça mesmo com o terreno molhado, quando é impossível a entrada de veículo no talhão. Através de simples modificação na direção do jato, pode-se aplicar vinhaça nas bordas dos talhões, com o veículo percorrendo apenas os carregadores (ORLANDO FILHO et al., 1983).

MATIOLI & MENEZES (1984) e MATIOLI et al.(1988) dedicaram-se ao estudo de otimização dos sistemas de aplicação de resíduos líquidos na lavoura canavieira, destacando a necessidade de se elaborar projetos fundamentados em critérios técnico-econômicos, visando ao máximo aproveitamento do potencial nutricional da vinhaça e o enquadramento dos sistemas de aplicação dentro das exigências dos órgãos responsáveis pelo controle de poluição do meio-ambiente.

Os autores consideraram, de início, que todos os sistemas de aplicação apresentam certas limitações que resultam em desperdício de vinhaça e prejuízo no custo global de produção do açúcar e álcool. Por exemplo, o sistema de aplicação de vinhaça in natura através de sulcos de infiltração, embora se caracterize por certa facilidade operacional, exige uma rigorosa sistematização do terreno além de extensas áreas para sua aplicação racional. O sistema de aplicação de vinhaça através de irrigação por aspersão através do sistema convencional, ou seja, succionado-a de canais que margeiam os talhões, com o auxílio de uma motobomba, e distribuindo-a através de aspersores convencionais, se por um lado permite melhor controle da quantidade de resíduo líquido aplicado (vinhaça diluída ou não em águas residuais) e maior uniformidade de aplicação, por outro lado abrevia a vida útil dos aspersores e das tubulações de aço zincado ou alumínio devido ao elevado poder corrosivo da vinhaça. O sistema montagem direta, que compreende um conjunto motobomba acoplado a um aspersor tipo canhão, montado em chassi com rodas, é a melhor alternativa para o sistema de vinhaça por aspersão; este processo exige, todavia, a construção de canais com carregadores laterais para a locomoção de equipamentos do sistema, além de uma reformulação do formato dos talhões; o sistema apresenta, no entanto, vantagens como o maior controle de quantidade de resíduos aplicada, a possibilidade de realizar várias aplicações durante a mesma safra, dispensa grandes sistematizações do terreno e irriga, em cada posição, uma área aproximadamente de um hectare. O sistema de aplicação com caminhões-tanque promove a distribuição de vinhaça através de dois processos: por gravidade e por bomba (ou por saída forçada) e está limitado pela distância econômica do ponto de carregamento às áreas de aplicação; trata-se de um sistema que normalmente está conjugado com outros sistemas, principalmente com uma área de despejo. Isto posto, concluíram os autores que a não otimização dos sistemas de aplicação dos resíduos líquidos na lavoura canavieira leva geralmente a um desperdício de vinhaça e de sua riqueza mineral e orgânica, deixando de beneficiar outras áreas carentes e podendo até mesmo provocar prejuízos na qualidade tecnológica da

cana-de-açúcar proveniente das áreas fertirrigadas por aspersão e/ou infiltração, devido ao excesso de filtros aplicados.

## **2.12. Custos e distâncias máximas de aplicação de vinhaça com caminhões-tanque.**

A aplicação de vinhaça com caminhões tanque, segundo (MATIOLI et al., 1988), é prática comum na grande maioria das usinas e destilarias, podendo-se afirmar que atualmente o volume de vinhaça aplicado por este sistema supera de maneira relevante os demais sistemas alternativos, como aspersão (montagem direta, convencional, autopropelido) e sulcos de infiltração.

MATIOLI & MENEZES (1984) afirmam que o sistema de caminhões tanque convencionais está limitado principalmente pela distância econômica do ponto de carregamento às áreas de aplicação. Esta distância econômica é calculada em função do custo da adubação mineral substituída, existindo, portanto, uma distância máxima a partir da qual a fertirrigação torna-se anti-econômica. Outra limitação apontada é a baixa uniformidade de distribuição, proporcionada por este sistema, quando comparado com o sistema de aspersão por montagem direta.

Os custos do sistema de caminhões tanque foram estudados por ORLANDO FILHO et al. (1980), que mostraram a vantagem da utilização de tanques de maiores capacidades (15 m<sup>3</sup>), resultando em implicações diretas na redução do número de viagens por dia, com conseqüente diminuição da frota caminhoneira e dos custos de aplicação por unidade de área.

Para uma aplicação de 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, SANTANA (1985) calculou os custos em função da distância, para caminhões tanque movidos a álcool aditivado, tipo Mercedes Bens 2213, com 3 eixos, equipados com tanque de 15 m<sup>3</sup> em PVC revestidos com fibra de vidro. O autor optou pelo sistema “por gravidade”, justificando que, embora não apresente boas características em termos de

uniformidade de aplicação do fluido, é um dos mais econômicos e apresenta o menor custo por hectare em função da distância percorrida.

De acordo com MAGRO et al. (1977), a aplicação de  $35 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinhaça de mosto de melaço, em 1976, permitia uma economicidade de distribuição até a distância de 10 km, enquanto que, em 1980, com a elevação dos custos dos fertilizantes minerais e a produção de vinhaça de mosto misto, a dosagem variável seria de  $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , numa distância máxima de 16 km, demonstrando inclusive a dinamicidade dos custos de aplicação em função do tipo de vinhaça e do preço de fertilizante minerais. Os autores mostram também os benefícios da aplicação da vinhaça através da fertirrigação, que, em 1980, representava uma economia de 30% em termos de rentabilidade agrícola, 9% em termos de rentabilidade industrial e 12% considerando-se os benefícios no aumento do número de cortes do canal fertilizado com vinhaça.

### **2.13. Transporte por circuitos hidráulicos**

Dentro das atividades de uma usina, o custo que mais se agravou nos últimos tempos foi, sem dúvida, do transporte rodoviário. O que mais contribuiu para essa situação foi o aumento o preço do combustível (SILVA, 1992). Uma alternativa para diminuição dos custos de transporte de vinhaça por caminhões tanques, segundo MENEZES et al. (1984), é o transporte dutoviário que consiste na substituição de parte do percurso por tubulações e/ou canais. Assim, em vez de um ponto de carregamento, normalmente centralizado nas proximidades da unidade industrial, passa-se para uma situação de vários pontos de distribuição. Isto permite que a aplicação de vinhaça numa área se processe com menor número de caminhões, uma vez que a distância média das áreas de aplicação ao ponto de carregamento é substancialmente reduzida.

PIZARRO et al. (1988) descreveram sobre projeto e operação de circuitos hidráulicos para transporte de resíduos líquidos. Segundo os autores, o principal problema no dimensionamento de canais consiste em verificar com qual altura escoará certa vazão, em um canal suficientemente liso, para que seja estabelecido o regime uniforme. Os canais utilizados nos circuitos hidráulicos são em geral longos e a seção está pré-determinada pelo implemento de abertura do canal. Cabe, então, verificar com qual altura escoará a vazão de projeto, para uma determinada declividade, e verificar se a velocidade está dentro dos limites adequados. Os autores afirmaram que a seção de um canal será mais econômica se para a mesma área (escavação) e mesma declividade do canal a vazão for a maior possível.

#### **2.14. Transporte dutoviário de vinhaça**

MATIOLI (1989) salienta que a literatura pouco aborda os cuidados necessários para um rigoroso dimensionamento das obras hidráulicas envolvidas no transporte dutoviário, o qual deve ser elaborado por técnicos especialistas no assunto. Outro fator importante está relacionado com a perda de vinhaça conduzida por canais construídos em leito natural, MATIOLI & GUAZZELLI (1988), citados por MATIOLI (1989), baseados em levantamentos preliminares, colhidos na Usina Santa Luzia, localizada no município de Matão, S.P., apresentaram alguns resultados de perda de vinhaça em canais de uso contínuo.

#### **2.15. Transporte por canais**

Segundo LOURENCETTI (2007), recentemente, uma Decisão de Diretoria da Cetesb (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo) (Decisão de Diretoria 35, de 09/31 de 2005) homologou a Norma Técnica P4.231 – Vinhaça – Critérios e Procedimentos para aplicação no solo agrícola. Esta norma apresenta como objetivo dispor sobre os critérios e procedimentos para a aplicação da vinhaça, gerada pela atividade sucroalcooleira no processamento de cana-de-açúcar, no solo do Estado de São Paulo. A norma suspende, imediatamente, a prática de armazenamento e/ou disposição de vinhaça ou lodo em áreas de sacrifício, eliminando-se aquelas que ainda estão sendo utilizadas nas unidades produtoras. Outra consideração é sobre a impermeabilização dos canais mestres ou primários de uso permanente para distribuição de vinhaça durante o período da safra, que deverá ser feita com geomembrana impermeabilizante ou outra técnica de efeito igual ou superior.

BANDINI (1966) fornece equações de custo para canais revestidos e não revestidos através da análise de elementos geométricos e hidráulicos dos canais das condições topográficas do terreno, porém, deixou de considerar alguns fatores, como o custo de energia e seção transversal, que podem ser variáveis com método de construção e condições de trabalho.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Localização da área de estudo**

A pesquisa foi desenvolvida na Usina Santa Adélia S/A, produtora de álcool, localizada no município de Pereira Barreto, a 621 km da capital São Paulo. A Usina iniciou suas atividades industriais em maio de 2007, e encerrou a primeira

safrá com um total de 1.000.000 de toneladas de cana moídas. A unidade industrial destina-se apenas a produção de álcool.

As áreas de aplicação de vinhaça estão localizadas na região de Pereira Barreto e a distância média de aplicação até a unidade industrial é de 25 km.

### 3.2. Transporte e aplicação

As formas de transporte e aplicação estudadas serão as que seguem:

A). Transporte com caminhões tanque em PRFV (poliéster reforçado com fibra de vidro) até a área de aplicação, havendo duas possibilidades de descarregamento:

a) Descarregamento em caixas de contenção, sendo que a partir desta caixa a vinhaça pode:

a<sub>1</sub>) seguir por canais para aplicação,

a<sub>2</sub>) ser succionada por motobomba de alta pressão e pressurizada em adutora móvel acima do nível do solo para posterior aplicação.

b) Engate rápido do mangote do autopropelido na saída lateral do caminhão e aplicação direta na área.

B). Transporte, por gravidade através de adutora fixa, até um canal para posterior aplicação na área.

Ressalta-se que, após o transporte o modo de aplicação é o mesmo para as formas avaliadas.

Entende-se por:

Caminhões de tanque: caminhões em PRFV tipo Rodotrem, com dois tanques de 36m<sup>3</sup> cada tanque e duas saídas de descarga de 8" em cada um dos tanques.

Adutora fixa: tubulação de 350 mm e 250 mm de PVC+PRFV enterrada abaixo do nível do solo.

Adutora móvel: tubulação em alumínio de 8" em barras de 6 metros com capacidade de suportar vazão de 270m<sup>3</sup>/hora.

Caixas de contenção: caixas de 600m<sup>3</sup> com sistema de descarregamento de caminhões tanque (próprio da Usina).

A metodologia utilizada no estudo se constitui na determinação dos custos de transporte (R\$/m<sup>3</sup>) utilizando-se a estrutura do custo total de produção descrito por MARTIN et al.(1998).

Foram levantados os custos de transporte com veículos tanque e do transporte utilizando adutora fixa.

Foram quantificados os investimentos necessários para cada método de transporte.

O custo total (CT) para cada sistema foi composto pelos custos fixos e variáveis. Nos custos fixos (Cf) foram consideradas a depreciação (D) e remuneração do capital fixo (Rk) e, nos custos variáveis (Cv), os gastos com operação de cada sistema, representados por: mão-de-obra (Mo), consumo de combustível (C), quando presente, manutenção (M) e reparos (R).

$$CT = Cf (D + Rk) + Cv (Mo + C + M + R)$$

A depreciação, que representa o custo necessário para a substituição dos bens de capital quando se tornam inúteis, foi calculada pelo método linear, conforme orientação de MARTIN et al. (1998) e que pode ser mensurado pela equação 1.

$$D = (( Ci (1-f))/n).....1$$

Em que:

D= depreciação,

Ci= custo inicial (preço de aquisição, novo ou usado),

f = percentagem do Ci, como valor final presumido de sucata,

n = vida útil adicional do bem de capital (anos).

Segundo MARTIN et al. (1998), a todo capital investido em bens de capital atribui-se um juro calculado a uma taxa normal de mercado para emprego de risco equivalente, como uma remuneração do capital investido pelo empresário. Os

juros são calculados sobre o valor médio do bem de capital ao longo da vida útil. Sendo calculado pela equação 2.

$$J \text{ ou } R_k = ((C_i (1 + f))/2) \times i \dots\dots\dots 2$$

Em que:

J: Juros,

R<sub>k</sub>: remuneração do capital,

C<sub>i</sub>: custo inicial (preço de aquisição novo ou usado),

f : percentagem do C<sub>i</sub>, como valor final presumido de sucata,

i: a taxa anual de juros em decimal.

A taxa de juros anual considerada foi de 11,25%, valor mantido pelo COPOM, Comitê de Política Monetária durante o ano de 2007 (BNDES, 2009).

Para o cálculo da mão de obra (Mo) foram considerados além do salário pago ao trabalhador os encargos recolhidos pela usina sobre a folha de pagamento que totaliza 58,78%, mais plano de saúde, refeição e programa de participação nos resultados (PPR).

Por ausência de apontamentos, no transporte com caminhão, para determinação dos gastos com manutenção (M) e lubrificantes utilizou-se 20% dos gastos com combustíveis. Para estimar o valor dos reparos foi considerada uma taxa de 10% do valor do bem novo (MARTINS & BORBA, 2004). Em suma, para efeito do cálculo de manutenção e reparos tem-se a equação 3.

$$M + R = 0,2 \times \text{Gasto de combustível} + 0,1 \times C_i \dots\dots\dots 3$$

Em que:

M: Gastos com manutenção,

R: Reparos,

C<sub>i</sub>: custo inicial (preço de aquisição novo ou usado).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distância média até a área de aplicação considerada foi de 25 km, sendo a velocidade de deslocamento do caminhão de  $50 \text{ km h}^{-1}$ .

A quantidade de vinhaça a ser transportada foi calculada utilizando-se uma moagem/dia de 10.000 t, sendo que, para cada tonelada moída são gerados 90 litros de álcool, e para cada litro de álcool são gerados 13 litros de vinhaça, resultando num transporte diário de vinhaça de 11.170.0000 litros de vinhaça, ou  $11.700 \text{ m}^3$ .

#### **4.1. Sistema de transporte com caminhões tanque**

Dimensionamento da frota de caminhões:

Foi considerada a distância média, até a caixa de contenção, de 21 km a uma velocidade de média de  $50 \text{ km h}^{-1}$ , o tempo de percurso do caminhão de ida e volta é de 50 minutos. Para o carregamento dos tanques, dois de  $36 \text{ m}^3$  cada, são gastos 10 minutos e para descarregamento na caixa de contenção são gastos mais 10 minutos, o que resulta em 70 minutos para o transporte de  $72 \text{ m}^3$  até a área de aplicação.

Sendo assim, em um dia, um caminhão é capaz de fazer em média 20 viagens. Para transportar  $11.700 \text{ m}^3$  por dia são necessários 325 tanques de  $36 \text{ m}^3$ , como cada caminhão apresenta dois tanques de  $36 \text{ m}^3$ , um caminhão, fazendo 20 viagens por dia transporta  $1.440 \text{ m}^3$ , então para transportar  $11.700 \text{ m}^3$  são necessários 9 caminhões. Considerando dois veículos reserva, são necessários um total de 11 caminhões.

Caixa de contenção

As caixas de contenção possuem um volume que suporta 20 viagens dos caminhões, ou seja,  $1.440 \text{ m}^3$ . São revestidas com polietileno de alta densidade (PEAD) conforme determina norma técnica CETESB - P4.231 (Versão Janeiro/2005).

A locação da caixa foi realizada pela usina e o revestimento foi feito por empresa terceirizada. Foi construído um sistema de alvenaria e canos para descarregamento do caminhão, sendo este custo incluso na construção da caixa.

#### 4.1.1. Descarregamento da vinhaça em caixas de contenção, seguindo por canais para aplicação.

Os canais com 4 km de extensão a partir da caixa de contenção, totalizando 25 km de transporte até a área de aplicação, também foram revestidos com PEAD, sendo estes custos contabilizados no custo de instalação do canal.

Na tabela 2 estão os valores das aquisições feitas para este sistema de transporte.

**Tabela 02:** Aquisições feitas para o sistema de transporte com caminhões e canais aplicadores.

| Equipamentos                    | Quantidade | Unidade        |
|---------------------------------|------------|----------------|
| Caminhões Volvo 420 cv          | 11         | unitário       |
| Doly                            | 11         | unitário       |
| Semi reboque                    | 22         | unitário       |
| Tanques                         | 22         | unitário       |
| Revestimento Caixas             | 1.440      | m <sup>3</sup> |
| Construção e revestimento canal | 4.000      | m              |
| Carregamento                    | 1          | unitário       |

Na tabela 3 encontram-se a participação percentual de cada item no custo total de transporte de vinhaça com caminhão e canais aplicadores.

**Tabela 03:** Valor % do custo total para o transporte de vinhaça utilizando caminhões tanque.

| Item                   | % do total |
|------------------------|------------|
| Depreciação            | 9,7        |
| Remuneração do capital | 11,5       |
| Mão de obra            | 11,3       |
| Combustíveis           | 47,5       |
| Manutenção             | 9,5        |
| Reparos                | 10,5       |
| Total                  | 100,0      |

Através destes valores, para o transporte de 1.170.000 m<sup>3</sup> de vinhaça, quantidade gerada através da moagem de 1.000.000 t de cana, chegou-se a R\$ 2,94 por metro cúbico transportado com caminhão.

MATIOLI & MENEZES (1984) afirmaram que o sistema de caminhões está limitado principalmente pela distância econômica do ponto de carregamento às áreas de aplicação.

Como desvantagens do sistema de transporte com caminhões, CORTEZ et al. (1992) citaram a compactação do solo e alto investimento na frota de carros-tanque, na manutenção e no gasto de combustível, além deste sistema não permitir a utilização do vinhoto (não concentrado) em distâncias superiores a 15 km, pois seria inviável economicamente.

ORLANDO FILHO et al. (1980) mostraram a vantagem da utilização de tanques de maiores capacidades (15 m<sup>3</sup>), resultando em implicações diretas na redução número de viagens por dia, com conseqüente diminuição da frota caminhoneira e dos custos de aplicação por unidade de área.

**4.1.2. Descarregamento da vinhaça em caixas de contenção, sendo succionada por motobomba de alta pressão e pressurizada em adutora móvel acima do nível do solo para posterior aplicação.**

A motobomba utilizada é de alta pressão, pressurizando a rede, proporcionando o uso da adutora em locais em nível. A adutora possui 4 km de extensão a partir da caixa de contenção, totalizando 25 km de transporte até a área de aplicação, é feita de alumínio e possui diâmetro de 6 polegadas.

A adutora é composta por unidades menores de 3 metros, sendo necessários, um trator e uma carreta para transporte e um funcionário para a montagem da rede.

Na tabela 4 estão os valores das aquisições feitas para este sistema de transporte.

**Tabela 04:** Aquisições feitas para o sistema de transporte com caminhões e adutora móvel.

| Equipamentos              | Quantidade | Unidade        |
|---------------------------|------------|----------------|
| Caminhões Volvo 420 cv    | 11         | unitário       |
| Doly                      | 11         | unitário       |
| Semi reboque              | 22         | unitário       |
| Trator (180 cv) + carreta | 1          | unitário       |
| Tanques                   | 22         | unitário       |
| Revestimento Caixas       | 1.440      | m <sup>3</sup> |
| Adutora móvel             | 4.000      | m              |
| Motobomba                 | 1          | unitário       |
| Carregamento              | 1          | unitário       |

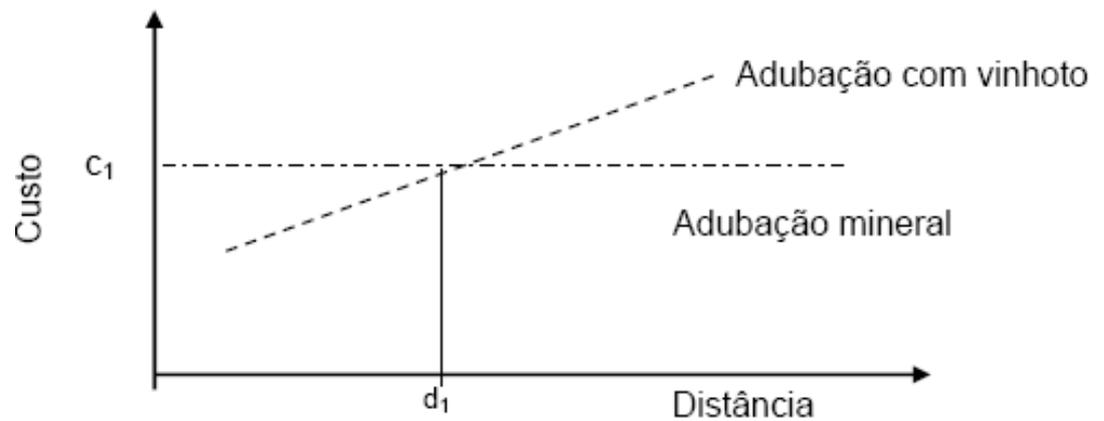
Na tabela 5 encontram-se a participação percentual de cada item no custo total de transporte de vinhaça com caminhão.

**Tabela 05:** Valor % do custo total para o transporte de vinhaça utilizando caminhões e adutora móvel.

| Item                   | % do total |
|------------------------|------------|
| Depreciação            | 9,3        |
| Remuneração do capital | 10,8       |
| Mão de obra            | 13,4       |
| Combustíveis           | 47,2       |
| Manutenção             | 9,4        |
| Reparos                | 9,9        |
| Total                  | 100,0      |

Através destes valores, para o transporte de 1.170.0000 m<sup>3</sup> de vinhaça, quantidade gerada através da moagem de 1.000.000 t de cana, chegou-se a R\$ 3,37 por metro cúbico transportado com caminhão.

A aplicação do vinhoto através de caminhões-tanque, em total substituição da adubação mineral, pode ser analisada mediante confronto dos custos de ambas alternativas. O custo de aplicação de vinhoto cresce com a distância entre os pontos de carregamento e de aplicação, enquanto o custo para a adubação mineral varia muito pouco, sendo representados esquematicamente na Figura 2. Deste modo, era conveniente a utilização do vinhoto como fertilizante até uma distância d1, considerando-se os mesmos ganhos de produtividade. A partir deste ponto, o custo por hectare decorrente da adubação mineral (c1) seria menor, incluindo preços do insumo, transporte e aplicação, desestimulando a utilização do vinhoto (ORLANDO FILHO et al., 1980, citado por SIMÕES et al., 2004).



**Figura 2:** Curvas de custos de adubação e aplicação de vinhoto

#### 4.1.3. Engate rápido do mangote do autopropelido na saída lateral do caminhão e aplicação direta na área.

Para este sistema de transporte faz-se necessário apenas a aquisição dos caminhões para o transporte, já que a forma de aplicação é a mesma utilizada nas outras formas de transporte estudadas, sendo desconsiderada para efeito do cálculo do custo do transporte.

Na tabela 6 estão os valores das aquisições feitas para este sistema de transporte.

**Tabela 06:** Aquisições feitas para o sistema de transporte com caminhões e aplicação com engate rápido do autopropelido.

| Equipamentos           | Quantidade | Unidade  |
|------------------------|------------|----------|
| Caminhões Volvo 420 cv | 11         | unitário |
| Doly                   | 11         | unitário |
| Semi reboque           | 22         | unitário |

Na tabela 7 encontram-se a participação percentual de cada item no custo total de transporte de vinhaça com caminhão.

**Tabela 07:** Valor % do custo total para o transporte de vinhaça utilizando caminhões e aplicação com engate rápido do autopropelido.

| Item                   | % do total |
|------------------------|------------|
| Depreciação            | 6,2        |
| Remuneração do capital | 9,1        |
| Mão de obra            | 12,1       |
| Combustíveis           | 51,1       |
| Manutenção             | 10,2       |
| Reparos                | 11,3       |
| Total                  | 100,0      |

Através destes valores, para o transporte de 1.170.0000 m<sup>3</sup> de vinhaça, quantidade gerada através da moagem de 1.000.000 t de cana, chegou-se a R\$ 2,74 por metro cúbico transportado com caminhão.

Segundo CAMHI (1979), a distribuição da vinhaça através de caminhões com chuveiro a razão de 30 a 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> complementada com 0,5 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectare, era, então, o único sistema racional e econômico de utilização de vinhaça para fins de irrigação.

GERALDI FILHO et al. (1988), realizaram testes com um sistema de transporte e aplicação que compreendia um caminhão tanque com reboque de dois eixos e um conjunto de aplicação de vinhaça por aspersão tipo montagem direta. Os resultados dos testes mostraram-se promissores, tanto sob o aspecto técnico como econômico, com os custos fixos e variáveis correspondendo a 75% dos custos com caminhão tanque convencional, embora os custos com mão de obra de aplicação fossem 5,7 vezes maiores, se referidos aos custos de aplicação

por área, por volume aplicado e volume por distância percorrida, estes sempre foram menores.

#### **4.2..Sistema de transporte com adutora fixa**

A vinhaça segue da unidade industrial pela adutora fixa na qual percorre 10 km a partir daí segue por canais por 15 km até a área de aplicação.

A adutora fixa apresenta duas tubulações, uma externa de PVC com 350 mm e uma interna de PRFV com 250 mm, enterradas abaixo do nível do solo e o canal apresenta 15 km de extensão, sendo revestido com PEAD.

Na tabela 8 estão os valores das aquisições feitas para este sistema de transporte.

**Tabela 08:** Aquisições feitas para o sistema de transporte com adutora fixa.

| Equipamentos       | Quantidade | Unidade |
|--------------------|------------|---------|
| Adutora fixa       | 10.000     | m       |
| Revestimento Canal | 15.000     | m       |

Na tabela 9 está a participação percentual de cada item no custo total de transporte de vinhaça com adutora fixa.

**Tabela 09:** Valor % do custo total para o transporte de vinhaça utilizando adutora fixa.

| Item                   | % do total |
|------------------------|------------|
| Remuneração do capital | 29,7       |
| Depreciação            | 39,1       |
| Mão de obra            | 30,5       |
| Manutenção e reparos   | 0,7        |
| Total                  | 100,0      |

Através destes valores, para o transporte de 1.170.0000 m<sup>3</sup> de vinhaça utilizando adutora fixa, chegou-se a R\$ 0,25 por metro cúbico transportado com adutora fixa.

MENEZES et al. (1984) afirma que uma alternativa para a diminuição dos custos de transporte de vinhaça por caminhões tanque é o transporte dutoviário, que consiste na substituição de parte de percurso por tubulações e/ou canais. Assim, em vez de um ponto de carregamento, normalmente centralizado nas proximidades da unidade industrial, passa-se para uma situação de vários pontos de distribuição. Isto permite que a aplicação de vinhaça numa área se processe com menor número de caminhões, uma vez que a distância média das áreas de aplicação ao ponto de carregamento é substancialmente reduzida.

SILVA (1992), analisando o sistema de transporte de duas Usinas, verificou que a diversificação dos pontos de carregamento dos caminhões com vinhaça, através do transporte utilizando adutoras, apresenta-se altamente compensadora, com redução de aproximadamente 40% nos custos.

Com relação à escolha de um ou outro sistema de transporte de vinhaça, FREIRE & CORTEZ (2000) afirmam que esta escolha deve ser feita, todavia, em função da avaliação das condições locais de operações e do manejo da área de fertirrigação. Sendo assim para os sistemas estudados torna-se necessário a verificação do manejo em cada área, bem como as limitações para a implantação

de cada sistema, antes da escolha pelo método mais viável economicamente, com menor custo de transporte.

A tabela 10 mostra um resumo dos gastos para implantação de cada sistema estudado.

**Tabela 10:** Valores levantados para implantação de cada sistema.

| Item                      | Caminhão                         |                           |  |                       |
|---------------------------|----------------------------------|---------------------------|--|-----------------------|
|                           | Caminhão<br>caixa<br>canal (R\$) | engate<br>rápido<br>(R\$) | Caminhão caixa<br>motobomba adutora<br>móvel (R\$) | Adutora fixa<br>(R\$) |
| Depreciação               | 334.642                          | 198.880                   | 366.140  | 113.967               |
| Remuneração<br>do capital | 397.566                          | 291.493                   | 426.718  | 86.550                |
| Mão de obra               | 387.684                          | 387.684                   | 526.718  | 88.892                |
| Combustíveis              | 1.634.819                        | 1.634.819                 | 1.860.334  |                       |
| Manutenção                | 326.964                          | 326.964                   | 372.067  |                       |
| Reparos                   | 361.350                          | 361.350                   | 391.306  | 2.000                 |
| <b>Total</b>              | <b>3.443.025</b>                 | <b>3.201.190</b>          | <b>3.943.282</b>                                   | <b>291.409</b>        |

Verifica-se um custo total de implantação maior para o sistema transporte com caminhões, descarregamento da vinhaça em caixas de contenção, sucção por motobomba de alta pressão e transporte por adutora móvel acima do nível do solo para posterior aplicação.

Os maiores gastos com combustíveis e mão de obra são verificados nos sistemas de transporte com caminhões.

## 5. CONCLUSÕES

Verifica-se que, para as condições em que este estudo foi desenvolvido, em áreas que se apresentam abaixo do nível da unidade industrial e permite o uso de adutora utilizando a gravidade, o custo do transporte de vinhaça para fertirrigação de cana-de-açúcar utilizando adutora fixa apresenta as seguintes vantagens:

- Redução do custo com mão de obra,
- Eliminação do custo com combustível,
- Custo total 95 % inferior ao do transporte com caminhões.

Conclui-se que, para o transporte com caminhão, o sistema caixa, motobomba, canal, apresenta gasto de combustível 12% inferior aos demais sistemas, sendo o sistema caminhão, engate rápido o mais viável economicamente, com menor custo de transporte, para as condições em que o estudo foi realizado.

## 6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J.R. de. O problema da vinhaça em São Paulo. Boletim do Instituto Zimotécnico, Piracicaba, n.3: p. 1-24, 1952.

ALMEIDA, J.R. O problema da vinhaça. Brasil Açucareiro, v.46, n.2, p.72-77, 1955.

ALMEIDA, J.R., RANZANI, G., VALSECHI, O. La vinasse dans l'agriculture. Piracicaba: USP, ESALQ, Instituto Zimotécnico, 1950. 21 p. (Boletim 1).

BANDINI, A. Economic Problems of Irrigation Canals: Seepage Losses. Journal of the Irrigation and Drainage Division, New York, n. 92, n. IR4, p.35-57, dec, 1966.

- BRAILE, P.M., CAVALCANTI, J.E.W.A. Manual de tratamento de águas residuárias industriais. Usinas de Açúcar e Álcool. São Paulo: CETESB, Cap.9, 175-218 p. 1979.
- CALDAS, H.E. Os fenômenos microbiológicos nos solos tratados com calda de destilaria. Recife, Instituto Agrônomo do Nordeste, Boletim Técnico n. 10, p. 42-81, 1960.
- CAMARGO, O. A. VALADARES, J.M.A.S., GERALDI, R. N. Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 30 p. (Boletim Técnico 76).
- CAMARGO, R. de. O Desenvolvimento da Flora Microbiana nos Solos Tratados com Vinhaça. Boletim nº 9, Instituto Zimotécnico da ESALQ, Piracicaba, SP, 44 p, 1954.
- CAMBUIM, F.A. A ação da vinhaça sobre a retenção de umidade, pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes, em solo arenoso. Recife: UFRPE, 1983, 133p. Dissertação Mestrado.
- CESAR, M.A.A.; DELGADO, A.A., GABAN, L.C. Aumento do nível de amido e de potássio no caldo de cana, decorrente da aplicação sistemática de vinhaça ao solo. Brasil Açucareiro, v.92, n.1, p.24-29, 1978.
- COPERSUCAR. Aproveitamento da vinhaça: viabilidade técnico-econômica. Boletim Técnico Copersucar, p. 1-66, 1978.
- CORTEZ, L., MAGALHÃES, P. & HAPPI, J. (1992) - Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. Revista brasileira de energia, Vol. 2, nº 2.
- CORTEZ, L.A.B., FREIRE, W.J., ROSILLO-CALLE, F., (1996), "Biodigestion of vinasse in Brazil". Int. Sugar Jnl., v.100, nº 1196, pp. 403-413.
- COUTINHO, N. Tratamento de resíduos das destilarias. Brasil Açucareiro, v.45, n.5, p.52-58, 1955.
- CRUZ, R.L.; RIGHETTO, A. M.; LEOPOLDO, P.R. Efeito da aplicação de vinhaça sobre a acidez do solo (Latossolo Vermelho Escuro, álico). In: Congresso

- Brasileiro de Engenharia agrícola, 22. Ilhéus, 1993. Anais. Ilhéus: Sbea/Ceplac, 1993. p. 4-53; 4-57.
- ELIAS NETO, A. Biodigestão da vinhaça com reator anaeróbio de manta de lodo. São Carlos, EESC/USP, 1988. 30p.
- FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. Vinhaça de cana-de-açúcar. Guaíra: Livraria e Editora Agropecuária, 2000.
- GERALDI FILHO, L., CORREA, W.J., HENRIQUE, J.L.P., MIKLOS, J.E.W. Aplicação de vinhaça através do caminhão-extensão. STAB, v.6, n.93, p.28-33, 1988.
- GLÓRIA, N. A. Efeito do potássio na acumulação de sacarose pela cana-de-açúcar. Álcool & Açúcar, São Paulo, v.5, n.23, p.20-25, 1985.
- GLÓRIA, N., ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça: Um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. R. Álcool Açúcar, 16:32-39, 1984.
- GLORIA, N.A. Utilização agrícola da vinhaça. Brasil Açucareiro, v.86, n.5, p.11-17, 1975.
- HOLLANDA FILHO, M.M. Sugestão para solucionar o problema das caldas residuais das destilarias. Brasil Açucareiro, v.46, n.6, p.60-61, 1955.
- KORNDORFER, G. H. O potássio e a qualidade da cana-de-açúcar. Informações Agronômicas, Piracicaba, v.49, p.1-3, 1990.
- LEME, E.J.A. SILVA, V.C., HENRIQUE, J.L.P., MICKLOS, J.E. O uso do autopropelido na aplicação de vinhaça por aspersão: viabilidade técnico econômica. Piracicaba: IAA, Planalsucar, 1987. 65 p. (Boletim).
- LEME, E.J.A., ROSENFELD, V. BAPTISTELLA, J.R. Aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar por aspersão. Boletim Técnico Planalsucar, série B, v.1., n.4., p. 3-42, 1979.
- LIMA, U.A. Utilização da vinhaça "in natura" como fertilizante. In: SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE TRATAMENTO DE VINHOTO. Anais. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 1976. p.4-59; 4-60.
- LONGO, R.M., BONI, N.R., ESPÍNDOLA, C.R. Efeito da vinhaça "in natura" e biodigerida em propriedades físicas de um solo cultivado com cana-de-açúcar. In:

Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 25., Bauru, 1996. Resumos. Bauru: Unesp/Sbea, 1996. 10p.

LORENZETTI, J.M, FREITAS, P.G.R. Aplicação de vinhaça por aspersão. Saccharum STAB, São Paulo, p.16-22. Set 1978.

LOURENCETTI, M.L.R., PEREIRA, S.Y., MARCHI, M.R.R. Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas. Rev.Quim. Nova, vol.30, nº 3, 688-694, 2007.

LOW, E.J. Economic Problems of Irrigation Canals: Seepage Losses. Journal of the Irrigation and Drainage Division, New York, n. 93, n. IR2, p.98-91, jun, 1967.

LYRA, M.R.C.C, ROLIM, M.M., SILVA, J.A.A. Toposseqüência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.525-532, 2003.

MAGRO, J.A. A distribuição de vinhaça na Usina as Pedra. Piracicaba, ESALQ, 1977. 12p. (Seminário sobre a aplicação de vinhaça).

MARQUES, M.O. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. (Org.). Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: Editorial 2006. p.369-375.

MARTIN, B., N.; SERRA, R.; OLIVEIRA, M. D. M.; ÂNGELO, J. <sup>a</sup>; OKAWA, H. Informações Agronômicas, SP, v.28, n.1, p.7 a 28, 1998.

MATIOLI, C. S. Aspectos técnicos-econômicos e critérios básicos para otimização de sistemas de fertirrigação de lavoura canavieiras com vinhaça. Piracicaba, 1989. Tese (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Depto de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Univ. de São Paulo. 1989. 195f.

MATIOLI, C.S.; GUAZZELLI, M.A.N.; LAZO, M.E.P.; GAVA, D.A. Uniformidade de distribuição de vinhaça com caminhão-tanque. In: SEMINARIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., Piracicaba, 1988. Anais. Piracicaba: Copersucar, 1988; p.249-269.

- MATIOLI, C.S.; MENEZES, J.A. Otimização dos sistemas de aplicação de resíduos líquidos na lavoura. In: REUNIAO TECNICA AGRONÔMICA, Piracicaba, 1984. Anais. Piracicaba: Copersucar, 1984. p.67-70.
- MENEZES, J.A., PAIXÃO, A.C.S., SIRIO, K.J. Transporte dutoviário de vinhaça. Boletim Técnico. COPERSUCAR, Piracicaba, n.25, p.21-23, jan. 1984.
- ORLANDO FILHO, J. Nutrição e adubação da cana de açúcar no Brasil. Piracicaba. 1993.
- ORLANDO FILHO, J. Sistemas de aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar. Álcool e Açúcar, v.1, n.1, p.28-36, 1981.
- ORLANDO FILHO, J., LEME, E.J. de A. Utilização dos resíduos da agroindústria canavieira. In: Simpósio sobre fertilizantes na agricultura canavieira. 1984, Brasília. D.F. Anais. Brasília: EMBRAPA, Depto de Estudos e Pesquisas, 1984, p. 451-75.
- ORLANDO FILHO, J., RODELLA, A.A. Adubação nitrogenada em cana-planta: Perfilhamento e produtividade agrícola. R. STAB, 3:16-18, 1995.
- ORLANDO FILHO, J.; SILVA, G.M.A.; LEME, E.J.A. Utilização agrícola dos resíduos da agroindústria canavieira. In: PROGRAMA NACIONAL DE MELHORAMENTOS DA CANA-DE-AÇUCAR. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba, 1983. cap.10, p.229-264. (Coleção Planausucar, 2).
- ORLANDO, J.; SOUZA, I.C.; ZAMBELO, J.R., L. Aplicação de vinhaça em soqueiras de cana-de-açúcar: economicidade do sistema caminhões tanque. Boletim Técnico Planalsucar, v.2, n.5, p.1-35, 1980.
- PAULINO, A.F., MEDINA, C.C., ROBAINA, C.R.P., LAURANI, R.A. Produções agrícola e industrial de cana-de-açúcar submetida a doses de vinhaça. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 23, n.2, p.145-150, jul./dez. 2002.
- PENATTI, C. P. et al. Efeitos da aplicação da vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. Boletim Técnico Copersucar, São Paulo, v.44, p.32-38, 1988.
- PEREIRA, S. Y. Impactos da aplicação da vinhaça na água subterrânea. In: HAMADA, E. (Ed.). Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo:

- avanços e desafios. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. cap. II, 1 CD-ROM.
- PIZARRO, M.E., GUAZZELLI, M.A.N., MATIOLI, C.S. Circuitos hidráulicos para transporte de resíduos líquidos: projeto e operação: In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, Piracicaba, 1988. Anais. Piracicaba: Copersucar, 1988, p. 187-247.
- RESENDE, A.S., SANTOS, A., XAVIER, R.P., COELHO, C.H., GONDIM, A., OLIVEIRA, O.C., ALVES, B.J.R., BODDEY, R.M., URQUIAGA, S. Efeito da queima da palha da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. Rev. Brasileira de. Ciência do Solo, 30:937-941, 2006.
- SALOMON, K.R. Avaliação Técnico Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade. 2007. 219 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2007.
- SANTANA, S.S. Economicidade da aplicação de vinhaça em comparação a adubação mineral. Álcool e Açúcar, São Paulo, v. 5, n. 23, p. 26-38, 1985.
- SANTOS, T.M.C., SANTOS, M.A.L., SANTOS, C.G., SANTOS, V.R., PACHECO, D.S. Fertirrigação com vinhaça e seus efeitos sobre a evolução e liberação de CO<sub>2</sub> no solo. Caatinga (Mossoró, Brasil), v.22, n.1, p.141-145, janeiro/março de 2009.
- SENGIK, E.; RIBEIRO, A.C.; CONDÉ, A.R. Efeito da vinhaça em algumas propriedades de amostras de dois solos de Viçosa (MG). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.12, p. 11-15, 1988.
- SILVA, G. M. A. et al. Efeitos da aplicação da vinhaça como fertilizante em cana-de-açúcar. Boletim Técnico Copersucar, São Paulo, v.7, p.9-14, 1978.
- SILVA, G.M.A. Tratamento e utilização agroindustrial da vinhaça. Saccharum, v.4, n.15, p.30-32, 1981a.
- SILVA, G.M.A. Tratamento e utilização agroindustrial da vinhaça. Brasil Açucareiro, v.97, n.6, p.38-41, 1981b.

SILVA, M E.T. Solo-cimento e solo-vinhaça no revestimento de canais de irrigação para transporte de vinhaça: adequação física e parâmetros hidráulicos. 1992. 108 p. Tese (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

SIMÕES, C.L.N., SENA, M.E.R., CAMPOS, R. Estudo da viabilidade econômica da concentração de vinhoto através de osmose inversa.

TASSO JÚNIOR, L. C., MARQUES, M. O., FRANCO, A., NOGUEIRA, G.A., NOBILE, F. O., CAMILOTTI, F., SILVA, A. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. Eng. Agríc. Jaboticabal, v.27, n.1, p. 276-283, jan./abr. 2007.

THIAGO, L.R.L. de S. Alternativas para utilização do vinhoto. Miscelânea. EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte. Campo Grande, M.S., n.2, p.1-12, dez. 1980.

UNICA. Disponível em [www.unica.com.br](http://www.unica.com.br) em 20 de junho de 2007.

VIEIRA, D. B. Fertirrigação sistemática da cana-de-açúcar com vinhaça. Álcool e Açúcar, v.6, n.28, p.26-30, 1986.