**ASPECTOS TÉCNICO-ECONÔMICOS E CRITÉRIOS BÁSICOS
PARA OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE FERTIRRIGAÇÃO
DE LAVOURAS CANAVIEIRAS COM VINHAÇA**

CLEBIO SANTO MATIOLI

Engenheiro Agrícola

Orientador: Prof. Dr. ANTONIO FERNANDO LORDELO OLITTA

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para
obtenção de título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Novembro - 1989

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

M433a Matioli, Clebio Santo
Aspectos técnicos-econômicos e critérios básicos
para otimização de sistemas de fertirrigação de la-
vouras canavieiras com vinhaça. Piracicaba, 1989.
195p. ilustr.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Cana-de-açúcar - Fertirrigação - Aspecto téc-
nico-econômico 2. Fertirrigação 3. Vinhaça como adu-
bo I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,
Piracicaba

CDD 633.61

ASPECTOS TÉCNICO-ECONÔMICOS E CRITÉRIOS BÁSICOS
PARA OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE FERTIRRIGAÇÃO
DE LAVOURAS CANAVIEIRAS COM VINHAÇA

CLEBIO SANTO MATIOLI

Aprovada em: 12/12/89

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Antonio Fernando Lordelo Olitta ESALQ/USP

Prof. Dr. Marcos Vinicius Folegatti ESALQ/USP

Prof. Dr. Dirceu Brasil Vieira UNICAMP

Prof. Dr. Antonio Fernando Lordelo Olitta

Orientador

D E D I C A T Ó R I A

Aos meus pais, Olívio e Alecia

Aos meus avós: David e Divina,
Pedro e Maria, com profunda recordação

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Antonio Fernando Lordelo Olitta, pelo incentivo, orientação na realização deste trabalho
- Aos Eng^{os} Angelo Domingos Banchi, Luis Rodrigues e ao Técnico Agrícola José Roberto Lopes, pelas valiosas informações prestadas.
- Ao Prof. Dr. Nilson Villa Nova, pelas valiosas críticas e sugestões apresentadas.
- Ao Prof. Dr. Marcos Vinícius Folegatti e aos Eng^{os} Miguel palavras de estímulo.
- À COPERSUCAR, pela oportunidade de aperfeiçoamento oferecida.
- Ao Eng^o Uriel Aparecido Rosa e ao Técnico Agrícola Oswaldo Teixeira Santos Filho, pelas valiosas colaborações prestadas.
- Às Srtas. Márcia Regina da Silva e Georgete Negri, pelo empenho na digitação deste trabalho.

- Ao colega Pedro Luiz Pelizari Pinto, pela dedicação na confecção deste trabalho.
- A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xiii
RESUMO	xxiv
SUMMARY	xxvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Caracterização da Vinhaça	6
2.1.1. Produção	6
2.1.2. Composição	9
2.1.3. Alternativas de uso	12
2.1.4. Utilização agrícola	19
2.2. Sistemas de Transporte e Aplicação de Vinhaça	30
2.2.1. Área de sacrifício	30
a) Descrição do sistema	30
b) Vantagens e limitações	32
c) Custos	32
2.2.2. Sulcos de infiltração.....	32
a) Descrição do sistema	32
b) Vantagens e limitações	34
c) Custos	35

2.2.3. Veículos-tanques convencionais.....	36
a) Descrição do sistema	36
b) Variações e aprimoramentos	38
b.1) Processo por gravidade	38
b.2) Processo por saída forçada	42
c) Vantagens e limitações	47
d) Uniformidade de distribuição ...	48
e) Custos	49
f) Distâncias máximas econômicas ..	59
2.2.4. Montagem direta de aspersão.....	62
a) Descrição do sistema	62
b) Variações e aprimoramentos.....	66
c) Vantagens e limitações	71
d) Uniformidade de distribuição....	72
e) Controle e manejo do sistema ...	76
f) Custos.....	76
2.2.5. Transporte dutoviário.....	81
a) Descrição do sistema.....	81
b) Vantagens e limitações.....	89
c) Custos.....	92
2.2.6. Bi-carga.....	99
a) Descrição do sistema.....	100
b) Vantagens e limitações	102
c) Custos	104

2.2.7. Caminhão-Áspersão.....	104
a) Descrição do sistema.....	105
b) Vantagens e limitações	107
c) Custos	108
2.2.8. Auto-propelido com carretel enrola dor	116
a) Descrição do sistema.....	117
b) Vantagens e limitações	119
c) Custos	122
3. METODOLOGIA	125
3.1 Ordenação das características técnicas	125
3.2 Conversão dos custos	128
3.3 Critérios básicos para otimização dos sistemas de fertirrigação	132
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	133
4.1. Ordenação das características técnicas	133
4.1.1. Limitações gerais	134
4.1.2. Implantação	136
4.1.3. Operação	137
4.1.4. Controle	139
4.1.5. Segurança	141
4.1.6. Compactação	143
4.1.7. Uniformidade	145
4.1.8. Resumo dos resultados obtidos.	146

4.2. Conversão dos custos	148
4.2.1. Sistema veículos-tanques com vencionais	148
4.2.2. Sistema montagem direta de aspersão	156
4.2.3. Sistema transporte dutoviário	161
4.2.4. Sistema bi-carga	166
a) Custo anual do investimento (CI)	166
b) Custo anual com operação e manutenção dos tanques fle- xíveis (CM)	167
c) Custo anual com aumento de consumo de combustível (CC)	168
d) Custo anual com aumento de reparos no caminhão romeu- -juíeta (CR)	168
4.2.5. Sistema caminhão-aspersão	171
4.2.6. Sistema auto-propelido com car- retel enrolador	174
4.2.7. Resumo dos resultados obtidos	175
4.3. Critérios básicos para otimização dos sistemas de fertirrigação	178
4.3.1. Critérios técnicos	178
4.3.2. Critérios econômicos	180
4.3.3. Critérios técnico-econômicos..	182

5. CONCLUSÕES	185
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	189

LISTA DE FIGURAS

Página

1. Fluxograma básico do processo de fabricação de álcool hidratado a partir de caldo direto, segundo ELIAS NETO (1988)	8
2. Área de sacrifício sistematizada por terraços de infiltração	31
3. Sistema de sulcos de infiltração de vinhaça.	34
4. Veículo-tanque convencional, com tanque de fibra-de-vidro de 15 m ³ e processo de descarga por gravidade	39
5a. Veículos-tanques convencionais, com tanques de fibra-de-vidro de 15 m ³ e processo de descarga por bomba	43
5b. Veículo-tanque convencional, com tanque de aço carbono de 15 m ³ e processo de descarga por bomba	43

6a. Sistema montagem direta de aspersão sem extensões (detalhe)	64
6b. Sistema montagem direta de aspersão sem extensões (vista geral)	65
7. Sistema montagem direta de aspersão dotado de extensões	67
8. Esquema de operação do sistema montagem direta bilateral, segundo LEME et alii (1987) ..	68
9. Esquema de operação do sistema montagem direta otimizado, segundo LEME et alii (1987) ..	69
10. Esquema de operação do sistema montagem direta trevo, segundo LEME et alii (1987)	70
11. Estação de bombeamento de vinhaça, mostrando as tubulações de sucção e pressão em aço inox, para resistir o poder corrosivo desse resíduo	83
12. Instalação de adutora de recalque de vinhaça para a lavoura	84

13. Construção de canal com sulcador gigante, tracionado com trator de esteiras tipo CAT-D6	87
14. Canal construído em leito natural com sulcador gigante	88
15. Sistema bi-carga descarregando vinhaça em tanque pulmão de 2.000 m ³	101
16. Sistema caminhão-aspersão, também denominado caminhão-extensão	105
17. Custo de aplicação de 110 m ³ /ha de vinhaça, através dos sistemas caminhão-tanque convencional e caminhão-aspersão, segundo MATIOLI & COURY [®] (1988)	114
18. Distâncias econômicas para aplicação de 110 m ³ /ha de vinhaça, através dos sistemas caminhão-tanque convencional e caminhão-aspersão, segundo MATIOLI & COURY [®] (1988)	115
19. Sistema auto-propelido com carretel enrolador, alimentado diretamente por moto-bomba..	117

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Composição química da vinhaça segundo CETESB, citada por ELIAS NETO (1988)	10
2. Composição química da vinhaça, segundo ORLANDO Fº & LEME (1984)	11
3. Instalações de reatores anaeróbicos com manta lodo, para biodigestação de vinhaça, segundo ELIAS NETO (1988)	18
4. Tratamentos aplicados para os solos LVA e LR, segundo experimento de PENNATTI et alii (1988)	24
5. Produtividade de cana no solo LVA, com aplicação das doses de vinhaça e nitrogênio, segundo PENNATTI e alii (1988)	25
6. Produtividade de cana no solo LR, com aplicação das doses de vinhaça e nitrogênio, segundo PENNATTI et alii (1988)	26

7. Resultados da análise tecnológica da cana colhida nas áreas experimentais, segundo PENNATTI et alii (1988)	27
8. Resultados econômicos da aplicação de vinhaça e nitrogênio para os solos LVA e LR, segundo PENNATTI et alii (1988)	28
9. Durabilidade de tanques para transporte e aplicação de vinhaça, segundo ORLANDO F ^o et alii (1983)	37
10. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CC), para veículos-tanques convencionais, segundo MATIOLI et alii (1988c)	49
11. Custos de veículos-tanques convencionais, segundo COPERSUCAR (1979a)	50
12. Custos de fertirrigação com veículos-tanques convencionais, segundo COPERSUCAR (1979a)	51
13. Custos de aplicação de 75 m ³ /ha de vinhaça, com caminhões-tanques de 15 m ³ , segundo ORLANDO F ^o et alii (1980)	53

14. Custos de aplicação de 150 m ³ /ha de vinhaça, com caminhões-tanques de 15 m ³ , segundo ORLANDO F ^o et alii (1980)	54
15. Custos de aplicação de 75 m ³ /ha de vinhaça, com caminhões-tanques de 8 m ³ , segundo ORLANDO F ^o et alii (1980)	55
16. Custos de aplicação de 150 m ³ /ha de vinhaça, com caminhões-tanques de 8 m ³ , segundo ORLANDO F ^o et alii (1980)	56
17. Custos de aplicação de vinhaça com caminhões-tanques convencionais de 15 m ³ , segundo SANTANA (1985)	57
18. Custos de aplicação de vinhaça com caminhões-tanques convencionais de 15 m ³ , segundo MATIOLI et alii (1988a)	58
19. Distâncias máximas econômicas para aplicação de vinhaça com veículos-tanques convencionais, segundo ORLANDO F ^o et alii (1980)	60

20. Distâncias máximas de aplicação de vinhaça com caminhões-tanques convencionais, para aumentos de produtividade de 0, +2 e +5 t/ha, segundo MATIOLI et alii (1988a)	61
21. Características técnicas de aspersores tipo canhão, segundo LEME et alii (1979)	74
22. Valores de intensidade de média de chuva (Im), Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CC) e respectivas áreas irrigadas, para aspersor tipo canhão, segundo BAPTISTELLA et alii (1980)	75
23. Custos do sistema montagem direta de aspersão sem extensões, segundo LEME et alii (1979) ...	78
24. Custos do sistema de montagem direta de aspersão e adubação, segundo LEME et alii (1979)	79
25. Custos do sistema montagem direta de aspersão dotada de extensões, segundo SANTANA (1985) ..	80

26. Dados operacionais do sulcador gigante, para dois tipos de tratores, segundo PERTICARRARI (1983)	89
27. Perdas de vinhaça em canal de uso contínuo (4 safras), segundo MATIOLI & GUZZELLI (1988) ..	91
28. Perdas de vinhaça em canal de uso intermitente (1 aplicação por safra), segundo MATIOLI & GUZZELLI (1988)	92
29. Características dos bombeamentos da Usina Santa Adélia, estudados por MENEZES et alii (1984) ..	93
30. Características dos bombeamentos da Usina São Geraldo, estudados por MENEZES et alii (1984) ..	94
31. Resumo dos resultados do estudo da Usina Santa Adélia, segundo MENEZES et alii (1984)	95
32. Resumo dos resultados do estudo da Usina São Geraldo, segundo MENEZES et alii (1984)	96
33. Custos do sistema de transporte dutoviário, segundo SANTANA (1985)	98

34. Custos médios de sistemas de transporte e aplicação de vinhaça, segundo MATIOLI et alii (1988b)	99
35. Custos comparativos dos sistemas caminhão-tanque convencional e caminhão-aspersão, segundo GERALDI Fo et alii (1988)	109
36. Principais características técnicas do sistema caminhão-aspersão, avaliado por MATIOLI & COURY2 (1988)	112
37. Principais características técnicas do sistema caminhão-tanque convencional, avaliado por MATIOLI & COURY2 (1988)	112
38. Custos de aplicação de 110 m ³ /ha de vinhaça, através dos sistemas caminhão-tanque convencional e caminhão-aspersão, segundo MATIOLI & COURY ² (1988)	113
39. Distâncias econômicas para aplicação de 110 m ³ /ha de vinhaça, através dos sistemas caminhão-tanque convencional e caminhão-aspersão, segundo MATIOLI & COURY ² (1988)	116

40. Custos de aplicação de vinhaça numa área de 6.400 ha, com os sistemas auto-propelido e montagem direta de aspersão, segundo LEME et alii (1987)	123
41. Valores mensais das Obrigações do Tesouro Nacional (ORTN e OTN)	130
42. Fatores de conversão de cruzeiro, cruzado e cruzado novo, para dólar oficial (médias mensais), segundo SUMA ECONÔMICA (1989)	131
43. Comportamento dos sistemas quanto à característica "limitações gerais"	135
44. Comportamento dos sistemas quanto à característica "implantação"	137
45. Comportamento dos sistemas quanto à característica "operação"	139
46. Comportamento dos sistemas quanto à característica "controle"	141
47. Comportamento dos sistemas quanto à característica "segurança"	143

48. Comportamento dos sistemas quanto à característica "compactação"	144
49. Comportamento dos sistemas quanto à característica "uniformidade"	146
50. Quantificação das características técnicas dos sistemas de fertirrigação	147
51. Custos do sistema de veículos-tanques convencionais de 15 m ³ , segundo COPERSUCAR (1979a) ..	148
52. Custos do sistema de veículos-tanques convencionais de 15 m ³ , segundo ORLANDO F ^o et alii (1980)	149
53. Custos do sistema de veículos-tanques convencionais de 15 m ³ , segundo MENEZES et alii (1984)	150
54. Custos do sistema de veículos-tanques convencionais de 15 m ³ , segundo SANTANA (1985)	151

55. Custos do sistema de veículos-tanques convencionais de 15 m ³ , segundo MATIOLI et alii (1988a)	153
56. Custos do sistema de veículos-tanques convencionais de 16 m ³ , segundo MATIOLI & COURY ² (1988)	155
57. Resumo dos custos médios do sistema de veículos-tanques convencionais, segundo vários autores	156
58. Custos do sistema montagem direta de aspersão sem extensões, segundo LEME et alii (1979) ...	157
59. Custos do sistema montagem direta de aspersão com extensões, segundo SANTANA (1985)	158
60. Custos do sistema montagem direta de aspersão com extensões, segundo LEME et alii (1987) ...	159
61. Resumo dos custos médios do sistema montagem direta de aspersão, segundo vários autores ...	160
62. Custos médios do sistema transporte dutoviário, segundo MENEZES et alii (1984)	162

63. Custos do sistema transporte dutoviário, segundo do SANTANA (1985)	163
64. Custos médios do sistema transporte dutoviário, segundo MATIOLI et alii (1988a)	164
65. Resumo dos custos médios do sistema transporte dutoviário, segundo vários autores	165
66. Custos médios do sistema caminhão-aspersão, em comparação ao caminhão-tanque convencional, segundo GERALDI Fo et alii (1988)	172
67. Custos médios do sistema caminhão-aspersão de 28 m ³ , segundo MATIOLI & COURY ^{2a} (1988)	173
68. Resumo dos custos médios do sistema caminhão-aspersão, segundo vários autores	174
69. Custos médios do sistema auto-propelido com carretel enrolador, segundo LEME et alii (1987)	175
70. Custos dos sistemas de fertirrigação	177

71. Critérios técnicos para otimização dos sistemas de fertirrigação	179
72. Custos e critérios econômicos para otimização dos sistemas de fertirrigação	181
73. Critérios técnico-econômicos para otimização dos sistemas de fertirrigação, para distâncias > 15 km	183
74. Critérios técnico-econômicos para otimização dos sistemas de fertirrigação, para distâncias < 15 km	184

ASPECTOS TÉCNICO-ECONÔMICOS E CRITÉRIOS BÁSICOS
PARA OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE FERTIRRIGAÇÃO
DE LAVOURAS CANAVIEIRAS COM VINHAÇA

Autor: CLERIO SANTO MATIOLI

Orientador: PROF. DR. ANTONIO FERNANDO LORDELO OLITTA

RESUMO

Com o objetivo de definir critérios básicos para direcionamento de projetistas e usuários, quanto a elaboração e implantação de projetos otimizados de fertirrigação, elaborou-se uma extensa revisão na literatura especializada e alicerçando-se nela executou-se a ordenação das características técnicas e a conversão (atualização) dos custos dos sistemas atualmente empregados para aplicação racional de vinhaça, em substituição a adubação mineral tradicional de lavouras canavieiras.

A ordenação técnica, foi realizada com base em sete características principais, que contribuem decisivamente na performance dos sistemas estudados, ou

sejam: limitações gerais pertinentes e as condições de implantação, operação, controle, segurança, compactação de solo e uniformidade de distribuição. A estas características foram atribuídas as notas 1 ou 2, determinando-se somatórias que definiram os critérios para escolha dos melhores sistemas de fertirrigação, sob o ponto de vista técnico.

Para atualização dos custos dos sistemas de fertirrigação, converteu-se para a moeda dólar oficial (US\$), os dados econômicos de vários trabalhos realizados na última década, obtendo-se resultados econômicos nas unidades (US\$/m³.km) e (US\$/m³), que permitem a comparação direta dos sistemas estudados e conseqüentemente, a definição dos critérios econômicos para a otimização almejada.

De acordo com a finalidade de cada sistema (aplicação, transporte e transporte/aplicação), relacionou-se dez possíveis combinações dos sistemas de fertirrigação e com base nos resultados da ordenação técnica e da conversão dos custos, determinou-se os critérios técnicos, econômicos e de maneira conjunta, também os critérios técnico-econômicos.

Os resultados obtidos permitem concluir, sob a óptica técnico-econômica, que o sistema montagem direta de aspersão combinado com o sistema transporte dutoviário (MD+TD), mostrou-se vantajoso em relação aos

demais. Por outro lado, o caminhão-aspersão (CA) apresentou-se como o pior sistema, dentre os estudados.

TECHNICAL-ECONOMICAL ASPECTS AND BASIC CRITERIONS FOR
OPTIMIZATION OF FERTIRRIGATION SYSTEMS IN THE SUGAR
CANE FIELD AREAS USING VINASSE

Author: CLEBIO SANTO NATIOLI

Adviser: PROF. DR. ANTONIO FERNANDO LORDELO OLITTA

SUMMARY

An extensive review of specialized literature has been made in order to define basic criterions to guide designers and customers about the desining and installation of fertirrigation optimized projects. A classification of the technical characteristics and the cost conversion (transformation) of the systems used nowadays for rational vinasse application in substitution to the conventional mineral fertilizer on the sugar cane fields has been made on the basis of this study.

The technical arrangement was based on seven main characteristics that decisively contribute to the performance of the studied systems, that are: pertinent overall limitations and conditions for installation,

operation, control, safety, compactation of soil and distribution uniformity. For those characteristics the marks 1 or 2 were given, where the sum of these results determined the criterions for technical choice of the best fertirrigation system.

For cost conversion of fertirrigation systems, the economic data from many systems designed or analysed during the last decade were converted to U.S.A. dollars (US\$). Economic results were expressed in the units (US\$/m².km) and (US\$/m²) that were compared. Then, the economic criterions of the desired optimization were defined.

According to the function of each system (application, transportation and transportation/application), ten possible fertirrigation system arrangements were related based on the results of the technical classification and/or costs conversion. Then, technical-economical criterions were determined for each system.

The results obtained permit to conclude, from the economic point of view, that the system "montagem direta de aspersão (MD)" with the system "transporte dutoviário (TD)" (MD+TD) showed better results than the others and the system "caminhão-aspersão (CA)" showed worse results.

1. INTRODUÇÃO

A utilização agrícola da vinhaça para fertirrigação de lavouras canavieiras constitui-se, atualmente, numa tecnologia consagrada perante o setor alcooleiro do Brasil. Na última década, em razão da implantação do Programa Nacional do Alcool (PRÓ-ÁLCOOL), a fertirrigação, tal qual tantas outras tecnologias do setor, sofreu inovações técnicas através do aprimoramento e desenvolvimento de sistemas para aplicação de vinhaça "in natura".

Atualmente, existe uma gama de sistemas empregados nas destilarias de todo o país, que de acordo com suas funções específicas, podem ser classificados em sistemas de aplicação, transporte e transporte/aplicação conjuntos. Na prática, obedecendo esta classificação, os sistemas de aplicação são: o montagem direta de aspersão e o auto-propelido com carretel enrolador; os sistemas de transporte constituem-se do transporte dutoviário e o bi-carga; os sistemas de transporte/aplicação conjuntos são: o veículo-tanque convencional e o caminhão-aspersão. Todos

esses sistemas apresentam características técnicas próprias, com vantagens e limitações específicas, em função da localização geográfica, condições topográficas e do tipo de solo das áreas abrangidas num projeto global de fertirrigação com vinhaça.

A literatura é vasta em dados, resultados e recomendações sobre a resposta agrônômica da cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça, mas não é suficientemente transparente quanto a viabilidade técnico-econômica dos sistemas empregados. A falta de informações técnico-econômicas gera sérias dificuldades, mesmo para projetistas especializados em fertirrigação, por ocasião da definição do "lay-out" do sistema global a ser projetado e conseqüentemente, acarretando incertezas quanto a otimização do projeto elaborado. Assim, as próprias unidades produtoras de álcool (destilarias) acabam sendo prejudicadas, uma vez que correm o risco de implantar um projeto, que mesmo sendo economicamente viável, pode não apresentar o mínimo custo.

As dificuldades dos especialistas, citadas anteriormente, devem-se basicamente a três fatores:

- Primeiro, as características técnicas próprias de cada sistema em adaptar-se às condições das áreas objeto do projeto de fertirrigação;

- Segundo, o fato da literatura, de modo geral, abordar a economicidade dos sistemas de maneira

singular, isto é, apenas demonstram a viabilidade de um sistema sobre outro, operando em determinadas condições; ou a viabilidade de um sistema em relação a uma adubação mineral substituída, para certas condições operacionais;

- Terceiro, conforme descrito anteriormente, a acentuada evolução da fertirrigação deu-se na última década e conseqüentemente, os aspectos econômicos dos sistemas de aplicação de vinhaça, enfocados nos trabalhos publicados ao longo desses anos, foram deteriorados pela própria conjuntura econômica do país nesse período.

O objetivo do presente trabalho é caracterizar na literatura especializada, as características técnicas e os aspectos econômicos dos sistemas empregados para fertirrigação de lavouras canavieiras com vinhaça. Além disso, procurar ordenar as características técnicas e converter os custos dos sistemas estudados, para fins comparativos dos mesmos. Por último, de posse dos parâmetros técnicos ordenados e dos resultados econômicos convertidos, tentar definir critérios básicos para o emprego de sistemas conjugados num mesmo "lay-out", de modo a obter subsídios técnico-econômicos escalonados que direcionem a elaboração, implantação e operação de projetos otimizados de fertirrigação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A presente dissertação trata de sistemas de aplicação de vinhaça, devendo-se destacar que o conteúdo principal dessa revisão, isto é, os temas diretamente relacionados com os objetivos propostos, constam no item 2.2 (Sistemas de Transporte e Aplicação de Vinhaça). No entanto, incluiu-se também o item 2.1 (Caracterização da Vinhaça), visando apresentar as características principais da vinhaça, de modo a fornecer maiores subsídios para melhor compreensão do problema em questão. Assim, apesar desse item constituir-se em tema amplamente abordado na literatura especializada, procurou-se citar apenas alguns trabalhos mais ilustrativos.

Como preâmbulo desta revisão de literatura, deve-se esclarecer o significado do termo "fertirrigação". VIEIRA (1986) definiu fertirrigação como sendo o processo conjunto de irrigação e adubação, que se utiliza da própria água de irrigação para conduzir e distribuir o adubo na lavoura. Com relação a aplicação de vinhaça na lavoura canavieira, o autor afirma que a denominação "fertirrigação", embora de uso generalizado, não é de todo

correta, porque essa técnica visa essencialmente a substituição de adubação mineral, sendo que a quantidade de água aplicada através da vinhaça constitui-se num suprimento mínimo para a cultura (10 a 15 mm), bastante aquém de sua deficiência hídrica anual. Em alguns casos que a vinhaça é diluída com águas residuárias, normalmente na proporção de 1:3, a lâmina d'água aplicada é maior (30 a 45 mm), mas ainda inferior à necessidade da cultura.

Vale ressaltar a importância do esclarecimento de VIEIRA (1986) sobre o significado do termo "fertirrigação" mas, também cabe ressaltar que existem benefícios com a água aplicada através da vinhaça, mesmo em lâminas pequenas de 10 a 15 mm (100 a 150 m³/ha). Tais benefícios estão relacionados com melhores condições de umidade do solo para o posterior cultivo de soqueiras e para a rebrota de canaviais, especialmente quando utilizam-se determinadas variedades mais sensíveis à falta de água nesse período de seu ciclo. Portanto, embora não mensuráveis economicamente, esses benefícios têm provocado atualmente atenção especial no manejo da fertirrigação por parte de técnicos e empresários do setor alcooleiro, principalmente em anos que ocorrem secas mais acentuadas.

2.1. Caracterização da Vinhaça

2.1.1. Produção

A Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo (COPERSUCAR - 1979b) considera que, em média, a produção de 1 litro de álcool gera 15 litros de vinhaça. Por outro lado, ORLANDO F^o et alii (1983), afirmam que a vinhaça é produzida, em média, na proporção de 13 litros para cada litro de álcool.

ELIAS NETO (1988) apresenta, de maneira quantificada e convenientemente didática, a produção de vinhaça em destilarias de álcool. O autor descreve que a cana é esmagada nas moendas, produzindo o caldo que é encaminhado para a fermentação. Na fermentação o caldo é tratado e misturado com fermento (leveduras), passando a chamar mosto. As leveduras transformam os açúcares (glicose e sacarose) do mosto em álcoois, principalmente álcool etílico. O processo de fermentação se esgota quando o grau alcoólico atingir de 7 a 9%. A este produto dá-se o nome de vinho, que é encaminhado a colunas de destilação, onde o álcool é separado do vinho. Como produto da destilação obtém-se, basicamente, o álcool e a vinhaça, a qual também é conhecida conforme a região do país como vinhoto, restilo, tiborna, garapão ou caxixi.

Para exemplificar a determinação da relação vinhaça/álcool, ELIAS NETO (1988) afirma que a quantidade de vinhaça pode ser estimada em uma primeira aproximação, levando-se em conta o teor alcoólico do vinho:

$$\text{Vinho} = \text{álcool} + \text{vinhaça}$$

$$100\% = 8\% + 92\%$$

$$Q \text{ vinhaça} = \frac{92}{8} = 11,5 \text{ l/l álcool}$$

O autor salienta ainda que deve-se considerar também o vapor injetado nas colunas que varia de 2 a 4 kg/l álcool, conforme a recuperação de calor e do tipo de álcool produzido (hidratado ou anidro), ficando:

$$Q \text{ vinhaça} = 13,5 \text{ a } 15,5 \text{ l/l álcool}$$

Por último, descreve sobre as três origens possíveis da vinhaça, conforme o tipo de mosto:

- Vinhaça de mosto de caldo: é produzida de caldo direto para a fermentação alcoólica, normalmente em destilarias autônomas (ver figura 1);

- Vinhaça de mosto de melaço: o mosto é preparado com o melaço, que é um subproduto da produção de açúcar, normalmente em destilarias anexas;

- Vinhaça de mosto misto: o mosto é preparado com caldo direto e melaço, normalmente em destilarias anexas.

Figura 1 – Fluxograma básico do processo de fabricação de álcool hidratado a partir de caldo direto, segundo ELIAS NETO (1988).

Na mesma safra, uma destilaria anexa pode apresentar vinhaça dos 3 tipos, operando só com caldo, só com melação ou com mistura (caldo + melação).

2.1.2. Composição

Várias são as citações bibliográficas sobre a composição da vinhaça. Uma das mais completas, que contempla inclusive o potencial poluidor desse resíduo está apresentada na tabela 1, cuja fonte é a Companhia de Tecnologia de Saneamento do Estado de São Paulo (CETESB), conforme citação de ELIAS NETO (1988).

Dado o grande potencial poluidor da vinhaça, o autor salienta que existe legislação federal específica, proibindo o lançamento direto e indireto desse resíduo em curso d'água (portaria MI-323 de 29/11/78). Explica também a magnitude do problema, considerando o exemplo de uma destilaria de porte pequeno que produz 100.000 l/dia de álcool, correspondente a 1.500.000 l/dia ou 1.500 m³/dia de vinhaça. Com uma concentração média de 20.000 mg/l, tem-se uma carga orgânica de 30 t/dia de DQO, que equivale a uma população de 550.000 habitantes.

Outra importante apresentação da composição da vinhaça enfocando o potencial fertilizante da mesma, é a de ORLANDO F^{co} & LEME (1984) que consta na tabela 2 a seguir.

Tabela 1 - Composição química da vinhaça segundo CETESB, citada por ELIAS NETO (1988)

Parâmetros	Unidade	Mosto		
		Melaço	Misto	Caldo
pH	-	4,2 - 5,0	4,4 - 4,6	3,7 - 4,6
Temperatura	°C	80 - 100	80 - 100	80 - 100
DBO ₅	mg/l	25.000	19.800	6.000 - 16.500
DQO	mg/l	65.000	45.000	15.000 - 33.000
Sólidos totais	mg/l	81.500	52.700	23.700
Sólidos voláteis	mg/l	60.000	40.000	20.000
Sólidos fixos	mg/l	21.500	12.700	3.700
Nitrogênio	mg/l	450 - 1.610	480 - 710	150 - 700
Fósforo	mg/l	100 - 290	9 - 200	10 - 210
Potássio	mg/l	3.740 - 7.830	3.340 - 4.600	1.200 - 2.100
Cálcio	mg/l	450 - 5.180	1.330 - 4.510	130 - 1.540
Magnésio	mg/l	420 - 1.520	580 - 700	250 - 490
Sulfato	mg/l	6.400	3.700 - 3.730	600 - 760
Carbono	mg/l	11.200 - 22.900	8.700 - 12.100	5.700 - 13.400
Matéria orgânica	mg/l	63.400	38.000	19.500
Subst. redutoras	mg/l	9.500	8.300	7.900
Relação C/N	-	16 - 16,27	16,4 - 16,43	19,7 - 21,07

Tabela 2 - Composição química da vinhaça, segundo ORLANDO F° & LEKE (1984)

Parâmetros	Unidade	Mosto					
		Melaço		Histo		Caldo	
pH	-	4,2	- 4,4	3,6	- 4,4	3,5	- 3,7
Nitrogênio (N)	kg/m ³	0,57	- 0,79	0,33	- 0,48	0,25	- 0,35
Fósforo (P ₂ O ₅)	kg/m ³	0,10	- 0,34	0,09	- 0,61	0,09	- 0,49
Potássio (K ₂ O)	kg/m ³	3,95	- 7,59	2,18	- 3,34	1,15	- 1,94
Cálcio (CaO)	kg/m ³	1,85	- 2,41	0,57	- 1,46	0,13	- 0,76
Magnésio (MgO)	kg/m ³	0,84	- 1,40	0,33	- 0,58	0,21	- 0,41
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	kg/m ³	1,05		1,60		2,03	
Matéria orgânica	kg/m ³	37,30	- 56,90	19,10	- 45,10	15,30	- 34,70
Ferro (Fe)	ppm	52	- 120	47	- 130	45	- 110
Cobre (Cu)	ppm	3	- 9	2	- 57	1	- 18
Zinco (Zn)	ppm	3	- 4	3	- 50	2	- 3
Manganês (Mn)	ppm	6	- 11	5	- 6	5	- 10

Pelos dados da tabela 2 verifica-se que a vinhaça constitui-se num resíduo rico em matéria orgânica e potássio, relativamente pobre em nitrogênio e bastante

pobre em fósforo. Apresenta também, razoáveis teores de cálcio, magnésio e enxofre.

2.1.3. Alternativas de uso

Além do consagrado uso agrícola na fertirrigação de canaviais, existem outras alternativas para aproveitamento da vinhaça. Tais alternativas apresentam-se bastante polêmicas, algumas sob a óptica técnica, enquanto outras sob o ponto de vista econômico.

COPERSUCAR (1979a) fez algumas considerações sobre a exequibilidade das alternativas de uso da vinhaça:

- Produção de proteína celular: deve ser encarada como uma opção complementar, porque é necessário um tratamento especial dos resíduos a serem descartados após o processo de fermentação aeróbica da vinhaça. Salienta também que a biomassa produzida por esse processo, quando destinada ao uso como ração animal, deve ser consumida em regiões próximas às destilarias, tanto pelo alto custo do transporte como pelas dificuldades de estocagem do produto. Além disso, a proteína obtida a partir da soja apresenta-se como uma forte concorrente da elaborada a partir da biomassa, em função do seu menor custo de produção;

- Produção de metano: devido aos baixos teores de sólidos na vinhaça "in natura", o rendimento da

produção de metano pelo processo de fermentação anaeróbica é baixo, acarretando elevado custo do produto. Além disso, a produção de biogás a partir da vinhaça constitui-se numa solução parcial do problema, uma vez que o efluente final apresenta-se com elevado valor de DBO, tornando necessária a aplicação de um outro processo associado;

- Vinhaça como fertilizante: a fertirrigação permite alcançar o objetivo de não poluir o meio-ambiente, uma vez que todo o resíduo produzido é devolvido ao solo. A possibilidade de arraste superficial pela chuva e consequente contaminação dos cursos de água é desprezível, se a aplicação na lavoura for realizada dentro dos critérios técnicos comprovados na prática;

- Concentração de vinhaça a 60°Brix: industrialmente, consiste num pré-tratamento térmico e de vários estágios de evaporação, bem como de uma série de outras medidas que visam economizar vapor. O produto teria emprego na fabricação de ração para alimentação animal ou mesmo no solo como fertilizante.

Conclui a entidade que das alternativas existentes, a que apresenta melhores perspectivas de viabilidade técnico-econômica é a utilização da vinhaça "in natura" como fertilizante, ou seja, fertirrigação da cultura canavieira.

COPERSUCAR (1979a) também apresenta sugestões para redução do volume de vinhaça, admitindo-se a

fertirrigação da cultura da cana-de-açúcar como destino para esse resíduo. As sugestões são as seguintes:

- Redução na própria destilaria:

. Controlar o grau alcoólico do vinho, em níveis mais altos (8° GL);

. Eliminação da diluição da vinhaça pelo vapor de borbotagem;

. Recirculação de vinhaça resfriada (30° C) no mosto, podendo-se alcançar reduções de 20 a 50% no volume produzido;

- Evaporação com fontes externas de calorias:

. Concentração com evaporador de quádruplo efeito, advertindo, no entanto, que além dos elevados custos, diversas experiências industriais não revelaram bons resultados;

. Concentração por contato direto com gases das caldeiras.

Posteriormente, ORLANDO Fº et alii (1983) reafirmam as alternativas apresentadas pela COPERSUCAR (1979a), ou sejam:

- Produção de proteínas unicelulares, através da fermentação aeróbica;

- Produção de gás metano, através de fermentação anaeróbica;

- Concentração, ao redor de 60° Brix, com as seguintes possibilidades de uso do concentrado:

- . componente de rações animais;
- . utilização na lavoura como adubo;
- . queima para produção de fertilizante;

- Utilização agrícola do resíduo "in natura" na lavoura, substituindo total ou parcialmente as adubações minerais.

ÁLCOOL & AÇÚCAR (1982) apresenta o processo Biostil, implantado no Brasil pelo Grupo Dedini, que visa melhorar o rendimento na produção de álcool e reduzir a produção de vinhaça. O processo previa a produção de menos de 1 litro de vinhaça por 1 litro de álcool, demonstrando ser economicamente viável quando considerava a redução de custos da fertirrigação com um menor volume de vinhaça (sistema de veículos-tanques convencionais). No entanto, a verdade é que a disseminação do processo Biostil até hoje não evoluiu, possivelmente por problemas técnico-econômicos não esclarecidos e nem divulgados. Alguns especialistas acreditam que o maior problema são as leveduras da fermentação alcoólica, que não estão suficientemente desenvolvidas para trabalhar com alto teor alcoólico (aproximadamente 20°GL).

KIYAN (1988), estudando a utilização da vinhaça para produção de biomassa de *Aspergillus niger* e *A. oryzae*, obteve bons resultados experimentais referentes a

produção de biomassa e a conseqüente redução da DBO do efluente. Porém, tais resultados não são conclusivos e não abordam os aspectos econômicos do processo em escala comercial.

ROCHA (1988) afirma que desde meados da década passada têm sido desenvolvidas pesquisas no Brasil, visando a utilização comercial da biodigestão anaeróbica no tratamento de efluentes industriais. No caso da vinhaça, a partir de 1981, investigações em escala piloto e posteriormente em escala industrial, demonstraram a viabilidade técnica deste tratamento, para produção de gás combustível.

No entanto, o autor salienta que para utilização da biodigestão anaeróbica em destilarias de álcool, para tratamento da vinhaça, existem dois fatores determinantes:

- Quando não existir a possibilidade de sua aplicação no campo, ou seja, mediante a localização e as condições topográficas das fazendas, a fertirrigação tornar-se inviável;

- Quando o objetivo de produzir gás para substituição de diesel ou álcool, mostrar-se economicamente atraente. Mesmo assim, ressalva-se que ainda não existem informações comprovativas da utilização agrícola de vinhaça biodigerida versus vinhaça "in natura".

ELIAS NETO (1988), estudando a biodigestão da vinhaça com reator anaeróbico de manta de lodo, aponta as vantagens desse processo destacando alguns aspectos favoráveis para fertirrigação com a vinhaça biodigerida:

- Não perde o seu poder fertilizante para a lavoura em termos de sais (NPK);

- A vinhaça fica mais neutra e mais fria, contribuindo com a redução de custos referentes aos desgastes de equipamentos, tanques de caminhões, tubulações e bombas, exigindo materiais menos nobres como o aço carbono;

- O armazenamento da vinhaça biodigerida provoca menos impacto ambiental;

- O biogás pode ser utilizado na própria frota de caminhões-tanques, ou em sistemas estacionários de bombeamentos, reduzindo os custos da fertirrigação.

O autor demonstra a evolução do processo na última década, apresentando uma relação de algumas instalações de reator anaeróbico com manta de lodo para biodigestão de vinhaça (tabela 3). Essa evolução permite concluir que a biodigestão anaeróbica consiste num processo com boas perspectivas para implantação em escala industrial a médio/longo prazo mas, importante é salientar que os sistemas de fertirrigação continuam sendo necessários e certamente, continuarão a ser economicamente viáveis.

Tabela 3 - Instalações de reatores anaeróbicos com manta de lodo, para biodigestão de vinhaça, segundo ELIAS NETO (1988)

Ano	Local	Operação ou projeto	Volume do reator	Taxa kg DQO/m ³ x dia	Observação
1981	Destilaria Paissa Penedo - AL	IPT/Paissa	11 m ³	8,4 - 30	Piloto
1982	CETESB - SP	CETESB	186 l	9,4 - 16,2	Laboratório
1983	Destilaria Paissa Penedo - AL	MATT	7,5 m ³	10,5 - 21,4	Piloto (filtro)
1983	Centro de Tecnologia Copersucar Piracicaba - SP	Copersucar	52 l	11	Laboratório
1984	Usina Iracema Iracemópolis - SP	Copersucar	12 m ³	8,8	Piloto
1984	Usina São Luiz Pirassununga - SP	Codistil	120 m ³	15	Piloto/Industrial
1985	Destilaria Adalcool Adamantina - SP	IPT/Sopral/ /Santin	100 m ³	6	Piloto
1986	Destilaria São João São João da Boa Vista - SP	Codistil	1500 m ³	15	Industrial
1986	Destilaria Paissa Penedo - AL	IPT/Paissa	500 m ³	-	Industrial
1987	Usina São Martinho Pradópolis - SP	São Martinho M.E. Souza	70 m ³	-	Piloto-termofílica

Tabela 3 - Instalações de reatores anaeróbicos com manta de lodo, para biodigestão de vinhaça, segundo ELIAS NETO (1988)

Ano	Local	Operação ou projeto	Volume do reator	Taxa kg DQO/m ³ x dia	Observação
-	Destilaria Aquarius Pedro Gomes - AL	IPT	30 m ³	-	Piloto
-	Usina Barão de Suassuna - PE	Rischbieter	128 m ³	-	Industrial
-	Destilaria Alcoovale - SC	Rischbieter	1300 m ³	-	Industrial-Álcool Mandioca

2.1.4. Utilização agrícola

COPERSUCAR (1979b) afirma que a fertilização mineral da cana-de-açúcar, tanto no plantio como nas socas e ressocas subsequentes, é prática indispensável e limitante na produção agrícola. A crescente elevação dos preços dos fertilizantes, determina uma participação cada vez maior deste insumo no custo de produção da cana, gerando a necessidade de novos estudos que visem outras fontes alternativas de nutrientes, ou práticas que permitam

maior eficiência no aproveitamento dos produtos atualmente usados.

A entidade cita que a ciência agrônômica vem atentando para a marcante participação da matéria orgânica na manutenção da fertilidade do solo. Sabe-se, por exemplo, que a matéria orgânica no solo contribui grandemente para elevação das cargas negativas do complexo coloidal, determinando em consequência, um correspondente aumento da capacidade de troca catiônica. Esse aumento de carga faz com que os íons naturais do solo adicionados através de fertilizantes químicos, sejam absorvidos com maior intensidade pelos colóides do solo, melhorando a eficiência do seu aproveitamento e minimizando consideravelmente os processos de lixiviação.

COPERSUCAR (1979b) cita também que a adição de matéria orgânica, atuando como material cimentante beneficia a reestruturação do solo, com acentuada melhoria das suas propriedades físicas. A alta capacidade de retenção de água em potenciais elevados de água no solo (portanto em maior disponibilidade às plantas) é outra qualidade da matéria orgânica que beneficia diretamente as culturas pela preservação da água no solo e indiretamente por favorecer o desenvolvimento da microflora e microfauna, fator primordial para diversos processos vitais à preservação da fertilidade do solo e disponibilidade de elementos essenciais às plantas.

A entidade afirma ainda que:

- Além dos aspectos puramente técnicos, a aplicação dos resíduos nas lavouras estaria pondo em prática a filosofia de retornar ao campo, senão tudo pelo menos parte do que dele havia sido extraído;

- Embora com pH baixo, os processos de transformação pelos quais passa a vinhaça no solo, lhe garantem uma reação de elevação de pH, portanto não conferindo um esperado aumento de acidez;

- A fração orgânica e coloidal, desempenha papel importantíssimo não só pela sua própria contribuição para os conhecidos efeitos da matéria orgânica, mas também pelo aumento do poder de adsorção do solo, minimizando ou mesmo evitando, a lixiviação de elementos minerais, como por exemplo o K, Ca, etc., que poderiam ser transportados fora do alcance do sistema radicular. Estes fatos, aliados à alta exploração de elementos minerais, principalmente o K, pela cultura da cana (cerca de 150-200 kg/ha), constituem uma garantia de que a aplicação da vinhaça à cultura da cana não cria problemas de poluição ambiental;

- Sob o ponto de vista da própria planta, deve-se considerar que a vinhaça é um produto desbalanceado do ponto de vista fertilizante e portanto, sua utilização deverá obrigatoriamente levar em consideração os tipos de solo, época e doses de aplicação, bem como possíveis complementações com outros fertilizantes;

- A aplicação de doses exageradas de vinhaça, provenientes principalmente do mosto de melaço ou misto, geralmente acima de 100 m³/ha (para solos argilosos) ou 150 m³/ha (solos arenosos), além de provocarem exuberante desenvolvimento vegetativo, acarretam marcantes alterações na curva de maturação, retardando ou mesmo evitando a maturação da cana e contribuindo para aumento de cinzas no caldo e no açúcar produzido. Estes fatos porém, de forma alguma anulam ou reduzem o potencial de utilização deste resíduo das destilarias como fertilizante para a cana-de-açúcar, mas simplesmente enfatizam a necessidade do seu uso racional.

FERREIRA & MONTEIRO (1987), realizaram uma extensa revisão bibliográfica sobre os efeitos da vinhaça nas propriedades do solo. Os autores afirmam que a adição da vinhaça "in natura" aos solos é, sem dúvida, uma boa opção para o aproveitamento deste resíduo, visto que ele é um excelente fertilizante e proporciona inúmeros benefícios nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Os autores concluem que as vantagens decorrentes da utilização da vinhaça são elevação do pH, aumento da Capacidade de Troca Catiônica (CTC), aumento da disponibilidade de certos nutrientes, melhoria da estruturação do solo (formação de estruturas mais estáveis pela adição de matéria orgânica), aumento na retenção de água e no desenvolvimento na microflora e microfauna do

solo. Eventuais efeitos maléficos causados aos solos e/ou às plantas foram normalmente decorrentes de seu uso inadequado, isto é, doses excessivas ou aplicação em solos não apropriados.

PENATTI et alii (1988) desenvolveram um experimento na Usina São Manoel, localizada no município de São Manoel/SP, com o objetivo de estudar o efeito de doses crescentes de vinhaça e nitrogênio na produção da cana-soca, na qualidade tecnológica da matéria-prima, além do maior retorno econômico da aplicação.

Os autores aplicaram os tratamentos apresentados na tabela 4 e obtiveram os resultados mostrados nas tabelas 5, 6, 7 e 8.

Tabela 4 - Tratamentos aplicados para os solos LVA e LR,
segundo experimento de PENATTI et alii (1988)

Tratamento	Vinhaca (m ³ /ha)	Nitrogênio (kg/ha)
1	0	0
2	0	50
3	0	100
4	0	150
5	50	0
6	50	50
7	50	100
8	50	150
9	100	0
10	100	50
11	100	100
12	100	150
13	150	0
14	150	50
15	150	100
16	150	150

Tabela 5 - Produtividade* de cana no solo LVA, com aplicação das doses de vinhaça e nitrogênio, segundo PENATTI et alii (1988)

Vinhaça (m ³ /ha)	Nitrogênio (kg/ha)				Média
	0	50	100	150	
0	54	69	64	71	64
50	57	65	73	75	68
100	72	79	76	86	78
150	75	80	77	78	78
Média	65	73	72	78	-

* Valores em t/ha

Tabela 6 - Produtividade* de cana no solo LR, com aplicação das doses de vinhaça e nitrogênio, segundo PENATTI et alii (1989)

Vinhaça (m³/ha)	Nitrogênio (kg/ha)				Média
	0	50	100	150	
0	96	115	110	113	108
50	105	111	115	127	114
100	106	115	122	127	118
150	112	114	124	114	116
Média	105	114	118	120	-

* Valores em t/ha

Tabela 7 - Resultados da análise tecnológica da cana colhida nas áreas experimentais, segundo PENATTI et alii (1988)

Tratamentos		LVA		LR	
Vinhaça	Nitrogênio	Pol	TAH	Pol	TAH
(m ³ /ha)	(kg/ha)	% cana		% cana	
0	0	16,8	7,6	16,0	13,1
0	50	16,6	9,4	16,5	16,1
0	100	16,2	8,5	16,4	15,2
0	150	16,3	9,6	16,5	15,8
50	0	16,7	8,0	16,6	14,8
50	50	16,1	8,6	16,0	14,8
50	100	16,4	10,0	16,1	15,6
50	150	16,3	10,2	16,4	17,8
100	0	16,3	9,6	16,2	14,4
100	50	16,0	10,4	16,5	16,1
100	100	16,3	10,3	16,5	16,9
100	150	16,2	11,4	16,3	17,5
150	0	16,1	10,0	16,0	15,1
150	50	16,4	10,8	15,8	15,1
150	100	16,3	10,2	16,2	17,0
150	150	16,8	11,1	16,3	15,8

Tabela 8 - Resultados econômicos da aplicação de vinhaça e nitrogênio para os solos LVA e LR, segundo PENATTI et alii (1988)

Vinhaça(V) (m ³ /ha)	Nitrogênio(N) (kg/ha)	Renda bruta*		Custo V+N*		Lucro líquido*	
		LVA	LR	LVA	LR	LVA	LR
0	0	72,5	128,9	-	-	72,5	128,9
0	50	92,7	154,4	2,4	2,4	90,3	152,0
0	100	85,9	147,7	4,7	4,7	81,2	143,0
0	150	95,3	151,7	7,1	7,1	88,2	144,6
50	0	76,5	141,0	3,8	2,9	72,7	138,1
50	50	87,3	149,1	6,2	5,2	81,1	143,9
50	100	98,0	154,4	8,6	7,6	89,4	146,8
50	150	100,7	170,5	10,9	10,0	89,8	160,5
100	0	96,7	142,3	7,7	5,7	89,0	136,6
100	50	106,1	154,4	10,0	8,1	96,1	146,3
100	100	102,1	163,8	12,4	10,1	89,7	153,7
100	150	115,5	170,1	14,8	12,8	100,7	157,3
150	0	100,7	150,4	11,5	8,6	89,2	141,8
150	50	107,4	153,1	13,9	10,9	93,5	142,2
150	100	103,4	166,5	16,2	13,3	87,2	153,2
150	150	104,7	153,1	18,6	15,7	86,2	137,4

* Valores em OTN, referentes a Março/88

Os autores tiraram as seguintes conclusões:

- A vinhaça proporcionou aumentos significativos de produção tanto para o solo LVA como para o LR. Os maiores incrementos foram observados no solo LVA, de textura mais arenosa;

- Nas doses de 50 e 100 m³/ha de vinhaça, houve resposta linearmente significativa para a complementação nitrogenada. Na dose de 150 m³/ha, a vinhaça foi suficiente para a produtividade alcançada;

- A qualidade da matéria-prima não foi influenciada pelas doses de vinhaça e/ou nitrogênio;

- Nas condições em que se realizou o trabalho obteve-se os maiores retornos econômicos (lucros) para as seguintes aplicações:

- . Solo LVA:
 - 0 m³/ha de vinhaça + 50 kg/ha de N
 - 50 m³/ha de vinhaça + 150 kg/ha de N
 - 100 m³/ha de vinhaça + 150 kg/ha de N
 - 150 m³/ha de vinhaça + 50 kg/ha de N
- . Solo LR:
 - 0 m³/ha de vinhaça + 50 kg/ha de N
 - 50 m³/ha de vinhaça + 150 kg/ha de N
 - 100 m³/ha de vinhaça + 150 kg/ha de N
 - 150 m³/ha de vinhaça + 100 kg/ha de N

Vale comentar que os lucros líquidos determinados por PENNATTI et alii (1988), refere-se a aplicação de vinhaça com veículos-tanques convencionais, isto é, se o sistema de fertirrigação considerado no

trabalho fosse outro, os resultados econômicos obtidos poderiam ser diferentes.

2.2. Sistemas de Transporte e Aplicação de Vinhaça

Os sistemas utilizados atualmente para transporte e aplicação de vinhaça na lavoura canavieira são os seguintes: área de sacrifício, sulcos de infiltração, veículos-tanques convencionais, montagem direta de aspersão, transporte dutoviário, bi-carga, caminhão-aspersão e auto-propelido com carretel enrolador.

2.2.1. Área de sacrifício

a) Descrição do sistema

MATIOLI (1983) e posteriormente MATIOLI & MENEZES (1984) afirmam que as áreas de sacrifício também denominadas áreas de despejo de efluentes, funcionam como órgãos de segurança para os outros sistemas de aplicação. Normalmente, estas áreas localizam-se próximas ao parque industrial, apresentando-se sem cana e com a finalidade exclusiva de dar aos resíduos um destino anti-poluente.

MATIOLI & MENEZES (1984) afirmam também que a aplicação de vinhaça em áreas de despejo, além de não constituir-se em uso racional desse resíduo, atualmente tende a ser considerada, por parte da CETESB, uma prática

de risco de contaminação de lençóis freáticos. Para amenizar esses riscos deve-se alternar a localização das áreas de sacrifício a cada safra.

Os autores descrevem ainda que esse sistema é dimensionado em função da capacidade de absorção do solo e do volume de efluentes produzidos, resultando áreas relativamente pequenas geralmente variando de 20 a 100 ha. O manejo dos resíduos é realizado manualmente, segundo um esquema de rodízio estabelecido para enchimento dos sulcos ou terraços (ver Figura 2).

Figura 2 - Área de sacrifício sistematizada por terraços de infiltração

b) Vantagens e limitações

MATIOLI & MENEZES (1984) apontam como vantagem do sistema área de sacrifício o controle de poluição ambiental, uma vez que normalmente opera como órgão de segurança de outros sistemas de aplicação de vinhaça, especialmente do sistema veículos-tanques convencionais. As limitações estão associadas aos desperdícios de vinhaça que poderia adubar extensas áreas, além dos riscos de contaminação do lençol freático devido as altas taxas aplicadas.

c) Custos

A literatura não aborda os aspectos econômicos de tal sistema, uma vez que nele caracterizam-se custos, mas os benefícios não são economicamente mensuráveis.

2.2.2. Sulcos de Infiltração

a) Descrição do sistema

ORLANDO F^o (1981) e posteriormente ORLANDO F^o et alli (1983) afirmam que o sistema exige a preparação

prévia do terreno com canais principais trapezoidais ou triangulares com declividades máximas de 0,2% e com sulcos de plantio com declives variando de 0,5 a 1,0%, sulcados geralmente formando pequenos ângulos com os canais, ou seja, quase paralelos. Conforme o relevo do terreno seja de plano a suavemente ondulado, ou até mesmo ondulado, os canais principais poderão estar distanciados de 200 a 500 m. O tráfego de veículos entre os talhões deve ser através de carregadores situados ao lado e a montante dos canais principais, permitindo a manutenção dos mesmos.

Com o objetivo de evitar possíveis erosões, os autores citam que a alimentação dos sulcos pode ser feita através de chicanas (canais em zigue-zague) perpendiculares à "cabeças" dos sulcos de plantio, canais diagonais a partir do canal principal, ou tubulação janelada de PVC flexível, que é posicionada no talhão em condição semelhante à das chicanas e dos canais diagonais, porém com a vantagem de permitir a sua transferência para outros locais de alimentação..

ORLANDO Fº et alii (1984) sugerem que os sulcos de infiltração tenham comprimento variável de 80 a 100 m para solos arenosos e superior a 150 m para solos argilosos. A vazão de entrada na "cabeça" dos sulcos nunca deve exceder a 3 l/s. A figura 3 elucida o sistema descrito.

Figura 3 - Sistema de sulcos de infiltração de vinhaça

b) Vantagens e limitações

A vantagem reside no fato desse sistema ser uma evolução da área de sacrifício, na busca de um destino mais racional para a vinhaça. Por outro lado, com relação às suas limitações MATIOLI (1983) e posteriormente MATIOLI & MENEZES (1984) afirmam que a implantação deste sistema para aplicação racional de resíduos líquidos, deve ser encarado como um sistema de irrigação por sulcos de infiltração propriamente dito, ou seja, executando-se uma rigorosa sistematização do terreno, de acordo com as condições disponíveis de topografia e solo. Somente assim é possível atingir eficiência de aplicação e facilidade operacional.

Os autores pregam que o sistema de sulcos de infiltração, quando implantado sem considerar as exigências citadas, provoca demanda de muita mão-de-obra além de aplicações de doses excessivas e desuniformes, que podem implicar em graves prejuízos para a cultura e o solo.

Os autores afirmam ainda que o grande volume de resíduos produzidos numa agroindústria sucro-alcooleira, exige extensas áreas para sua 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. Tanto assim, que algumas usinas que no passado adotaram tal sistema, decidiram substituí-lo pela montagem direta de aspersão.

c) Custos

A literatura praticamente não aborda os aspectos econômicos desse sistema provavelmente, devido as limitações técnicas apresentadas no item (b) anterior. Essas limitações impediram a evolução do sistema "sulcos de infiltração", reduzindo seu objetivo de aplicação racional da vinhaça à mesma finalidade das áreas de sacrifício, ou seja, descarte anti-polvente dos resíduos líquidos produzidos.

Dentre os poucos trabalhos existentes destaca-se o realizado pela COPER SUCAR (1979a), que estudou os custos do sistema de sulcos de infiltração para uma área de 840 ha, aplicando-se uma dose total de 900 m³/ha de

vinhaça diluída com águas residuárias na proporção de 1:5, ou seja, 150 m³/ha de vinhaça. O custo total dessa fertirrigação foi calculado em Cr\$ 1.619.201,20, correspondente a Cr\$ 1.927,62/ha, para valores de Dezembro/78.

3.2.3. Veículos-tanques convencionais

a) Descrição do sistema

ORLANDO F^o (1981) e posteriormente ORLANDO F^o et alii (1983) afirmam que os veículos-tanques transportam a vinhaça das destilarias aos talhões de cana, onde realizam a aplicação com certo controle e considerável uniformidade. Normalmente, a abertura da válvula aplicadora é realizada dentro ou próximo da cabina do motorista, a fim de melhor racionalizar o processo de distribuição.

Os autores descreveram que o sistema consta de um tanque acoplado a um chassi de caminhão ou sobre carreta. Assim, 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 da vinhaça durante 24 h/dia.

Segundo ORLANDO F^o et alii (1983), a durabilidade média dos tanques depende da manutenção e do

próprio material empregado. A tabela 9 apresenta uma estimativa das durabilidades prováveis.

Tabela 9 - Durabilidade de tanques para transporte e aplicação de vinhaça, segundo ORLANDO F^o et alii (1983)

Material	Durabilidade
Aço carbono 1010 e 1020	2 a 3 safras
Aço carbono naval	3 a 4 safras
Aço inox	7 a 8 safras
Fibra-de-vidro	sem estimativa

Os autores afirmam ainda que a capacidade do tanque é variável entre 7 e 18 m³, e, em função desse volume, os caminhões podem 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 mais acidentados.

MATIOLI (1983) e posteriormente MATIOLI & MENEZES (1984) afirmam que o sistema de aplicação com caminhões-tanques é o mais difundido para a distribuição de vinhaça pura, sendo normalmente conjugado com outros sistemas, principalmente com área de sacrifício. Esta área, muitas vezes, destina-se a receber a totalidade das águas residuais e o excedente de vinhaça que os caminhões não aplicam por motivos adversos à perfeita operação da frota como: dias chuvosos e paradas para manutenção preventiva ou corretiva.

b) Variações e aprimoramentos

No sistema veículos-tanques convencionais destacam-se dois processos: por gravidade e por saída forçada.

b1) Processo por gravidade

MATIOLI & MENEZES (1984) afirmam que nesse processo utiliza-se caminhões dotados de tanques com barra aplicadora e o descarregamento da vinhaça é por gravidade, sendo a válvula de abertura geralmente comandada pelo motorista, através de uma alavanca existente no interior da cabine do caminhão (Figura 4). O processo apresenta como principal fator limitante, o efeito da variação da carga hidráulica na uniformidade de aplicação, cujas consequências são agravadas quando utiliza-se baixas dosagens (vinhaça concentrada). Por outro lado, a aplicação por gravidade é bastante simples e apresenta baixos custos,

quando comparada aos veículos-tanques com aplicação por saída forçada.

Figura 4 - Veículo-tanque convencional, com tanque de fibra-de-vidro de 15 m³ e processo de descarga por gravidade

COPERSUCAR (1979a), ORLANDO F^o (1981), ORLANDO F^o et alii (1983), MATIOLI (1983) e MATIOLI & MENEZES (1984) citam que no processo por gravidade destacam-se três variações principais: jato dirigido em duas entrelinhas, três linhas, chuveiro e descarga rápida.

ORLANDO F^o et alii (1983) descrevem tais variações de maneira bastante elucidativa:

- Jato dirigido em duas entrelinhas:

Tal sistema consiste em se aplicar a vinhaça, com jatos dirigidos, visando duas entrelinhas de cana. Esse processo foi desenvolvido objetivando inicialmente diminuir o contato de 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 do resíduo logo após a colheita e o tratamento do palhico residual tal efeito é praticamente eliminado. O mencionado processo encontra-se em desuso pelas unidades produtoras, pelo fato de abranger duas entrelinhas que acarreta em baixo rendimento de trabalho.

- Jato dirigido em três linhas

Nesse caso, a descarga do tanque é realizada por três jatos dirigidos, objetivando alcançar três linhas de cana. Os apologistas desse sistema destacam como 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 na época de início da safra, quando ocorre

deficiência hídrica no solo. Outra vantagem apregoada seria a menor germinação de ervas daninhas em virtude da vinhaça não atingir a entrelinha, facilitando, portanto, o seu controle.

Os autores não encontraram na bibliografia disponível trabalhos que realmente comprovam tais vantagens, e as citadas hipóteses deverão ainda ser testadas experimentalmente. A principal desvantagem está na aplicação de quantidades elevadas, quando as saídas deverão ser de maior diâmetro, o que poderá também, dependendo do tipo de solo, provocar problemas de erosão.

- Chuveiro:

O processo de distribuição da vinhaça por gravidade através de "chuveiros" 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 a superfície do solo. Normalmente, a tubulação de saída do tanque é de 100 mm, devendo ser igual à somatória dos diâmetros das perfurações.

Os primeiros chuveiros eram compostos de barras retas e atingiam faixas em torno de 2,20 m de largura. Atualmente, visando atingir uma área maior em cada passada, as barras têm suas extremidades recurvadas, também denominadas de "meia-lua", permitindo atingir faixas com cerca de 4,00 m de largura. Nesse processo, ocorrendo menor

impacto do líquido com o solo, os problemas de erosão são minimizados.

- Descarga rápida:

O método de descarga rápida é utilizado apenas em tanques de maior capacidade (14-18 m³). Uma tubulação de 300 mm alimenta uma barra aplicadora de 150 mm, de onde emergem seis saídas de 75 mm, sendo a vinhaça defletida em pratos. Com isso há a formação de um leque, atingindo em média cinco linhas de cana.

O tempo de descarga é abreviado (até 4 m³/minuto) e, dentre os sistemas de aplicação do resíduo por gravidade, é o que alcança faixas mais largas. 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.

b2) Processo por saída forçada

Este processo consiste na aplicação da vinhaça sob pressão geralmente através de bicos defletores, utilizando-se de bomba ou compressor (Figuras 5a e 5b).

Figura 5a - Veículos-tanques convencionais, com tanque de fibra-de-vidro de 15 m³ e descarga por bomba.

Figura 5b - Veículo-tanque convencional, com tanque de aço carbono de 15 m³ e descarga por bomba.

COPERSUCAR (1979a), ORLANDO F^o (1981), ORLANDO F^o et alii (1983), MATIOLI (1983) e MATIOLI & MENEZES (1984), citam que no processo por saída forçada, foram desenvolvidos quatro variações principais: com bomba acionada pela tomada-de-força do caminhão, com grupo moto-bomba independente, com compressor acionado pela tomada-de-força do caminhão e Veículo Distribuidor de Vinhaça (VDV). Os autores descrevem as quatro variações do processo e salientam que a utilização de caminhão-tanque com bomba acionada pela tomada-de-força é, atualmente, o sistema mais utilizado.

- Bomba acionada pela tomada-de-força do caminhão:

O processo consiste na distribuição da vinhaça sob pressão através de um bico defletor, utilizando-se uma bomba acionada pela tomada-de-força da caixa de transmissão do motor do próprio caminhão.

As vantagens desse processo consistem numa aplicação rápida com rendimento maior e a princípio apresenta melhor uniformidade de distribuição, que no caso de aplicação por gravidade. No entanto, a influência do vento sobre o jato e a variação da aceleração do motor do caminhão podem afetar essa uniformidade. Por outro lado, a vinhaça é distribuída numa larga faixa de terreno (10-11 m) diminuindo as possibilidades de compactação, uma vez que os caminhões perfazem uma passada a cada 8 ruas de cana.

A desvantagem principal está associada à aquisição de mais equipamentos (tubulação, bomba e acessórios), que resultam em maior investimento inicial e maior custo de manutenção. Esta desvantagem, está desestimulando a difusão do processo e em alguns casos levando ao retrocesso da aplicação por gravidade.

- Grupo moto-bomba independente:

Caracteriza-se pelo acoplamento ao caminhão-tanque de um grupo moto-bomba independente do motor do caminhão, que recalca a vinhaça através da barra aplicadora dotada de bicos com defletores.

O processo apresenta praticamente as mesmas vantagens salientadas no caso da aplicação com bomba acionada pela tomada-de-força, não apresentando no entanto, o inconveniente da desuniformidade em função da aceleração do caminhão.

As desvantagens deste processo constituem-se na exigência de um maior investimento inicial devido ao grupo moto-bomba, associado ao aumento das despesas de manutenção com o mesmo, e ao maior consumo de combustível. Essas desvantagens foram suficientes para o desinteresse por parte das usinas e destilarias pelo processo, o qual não é considerado atualmente uma opção viável.

- Compressor acionado pela tomada-de-força do caminhão:

O processo consiste de um caminhão-tanque provido de um sistema de pressurização do tanque através de compressor, que distribui a vinhaça através de um bico com defletor. A largura da faixa de aplicação é de 7,0 m e o sistema de pressurização do tanque é acionado pela tomada-de-força do caminhão.

As poucas usinas que experimentaram esse processo constataram inúmeros inconvenientes, especialmente elevados custos de manutenção, tornando-se desaconselhável sua utilização, a exemplo do processo com grupo moto-bomba independente.

- Veículo distribuidor de vinhaça (VDV):

O veículo distribuidor de vinhaça, designado como VDV, consiste de uma carreta-tanque com capacidade para aproximadamente 15 m³, a qual é tracionada por um trator que trabalha somente com as rodas traseiras, sendo que a carreta opera com pneus de baixa pressão (pneus de avião), proporcionando menor compactação do solo. O conjunto é dotado de um sistema propulsor, composto de uma bomba acoplada no trator que recalca a vinhaça, distribuindo-a através de um bico defletor localizado na extremidade superior do tanque. A vinhaça é transportada através de caminhões-tanques, da indústria para os talhões de cana onde encontram-se os conjuntos VDV e a

transferência da vinhaça é realizada pela própria bomba acionada pelo trator de cada conjunto.

Apresenta como vantagens: a redução da compactação do solo em função do uso de pneus de baixa pressão; é de fácil manejo, melhorando sobre maneira o retorno ao talhão; suas manobras são rápidas nos carregadores, evitando o "pisoteamento" das soqueiras; permite aplicação em dias poucos chuvosos pois os caminhões-tanques transitam somente em estradas e carregadores principais, não entrando em talhões de cana; a aplicação é numa faixa de aproximadamente 10 m de largura.

Apresenta como desvantagens: um maior investimento inicial, visto que para um bom rendimento do sistema em distâncias médias de 10 km é necessário dispor de 3 caminhões para transportar a vinhaça a um VDV, necessidade esta que aumenta com a distância média das áreas de aplicação; exige carregadores bem conservados para o trânsito dos caminhões em dias chuvosos; os pneus, por serem de baixa pressão, furam com certa facilidade mas podem ser substituídos por pneus de trator. Todavia, este processo é muito pouco difundido nas usinas e destilarias do país.

c) Vantagens e limitações

O sistema de veículos-tanques convencionais, independentemente do processo empregado, apresenta como vantagem o curto tempo exigido para sua implantação, isto

é, praticamente basta adquirir a frota e colocá-la em operação. Possivelmente, este fato foi determinante para sua rápida difusão, principalmente na época dos primórdios do PRÓ-ÁLCOL.

Como desvantagens desse sistema destacam-se: o agravamento dos problemas de compactação de solos, impossibilidade de aplicação em cana-planta e dificuldades em dias de chuva. MATIOLI & MENEZES (1984) afirmam que o sistema de caminhões-tanques 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 e portanto, existe uma distância máxima, a partir da qual a fertirrigação torna-se anti-econômica. Outra limitação apontada pelos especialistas do setor é a baixa uniformidade de distribuição, proporcionada por esse sistema, quando comparado com o sistema de aspersão com montagens diretas.

d) Uniformidade de distribuição

MATIOLI et alii (1988c) estudando a uniformidade de distribuição de vinhaça com caminhões-tanques convencionais, determinaram os Coeficientes de Christiansen (CC) para cinco tipos de descarga, conforme mostra a tabela 10.

Tabela 10 - Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CC), para veículos-tanques convencionais, segundo MATIOLI et alii (1988c)

Tipo de Descarga	CC (%)
Gravidade - chuveiro	41,2
Gravidade - prato defletor transversal	49,5
Gravidade - prato defletor longitudinal	41,3
Bomba - prato defletor	60,8
Bomba - chuveiro	63,1

Os autores concluíram que um melhor equacionamento hidráulico da barra aplicadora do tipo de descarga por gravidade com pratos defletores transversais, pode torná-lo tão uniforme quanto quaisquer dos dois tipos por bomba ensaiados.

e) Custos

COPERSUCAR (1979a) estudou os custos da aplicação de vinhaça com o sistema de veículos-tanques convencionais, considerando os veículos dotados com tanques de aço carbono de 15 m³ de capacidade. A tabela 11 apresenta os custos determinados.

Tabela 11 - Custos de veículos-tanques convencionais,
segundo COPERSUCAR (1979a)

Sistema	*Custo Médio (Cr\$/km)
<hr/>	
Gravidade tipo 1	7,89
Gravidade tipo 2	8,41
Grupo moto-bomba independente	8,47
Bomba acionada pela tomada-de-força	8,18

* Valores referentes a Dezembro/78

Para demonstrar a viabilidade desse sistema comparado à adubação mineral substituída, a entidade recorreu ao exemplo de uma destilaria com capacidade nominal de 60 m³ de álcool/dia, alicerçando-se nos seguintes parâmetros técnicos:

- Volume de vinhaça : 126.000 m³/safra
- Origem da vinhaça : mosto misto
- Dose aplicada : 70 m³/ha
- Área necessária (soqueira) : 1.800 ha
- Distância destilaria-lavoura: 10 km

Os resultados econômicos estão apresentados na tabela 12 a seguir.

Tabela 12 - Custos de fertirrigação com veículos-tanques convencionais segundo, COPERSUCAR
(1979a)

Sistema	Custo Total*	Custo por ha*
	(Cr\$)	(Cr\$/ha)
Gravidade tipo 1	1.590.480,00	883,60
Gravidade tipo 2	1.677.888,00	932,16
Grupo moto-bomba independente	1.687.986,00	937,77
Bomba acionada pela tomada-de-força	1.639.224,00	910,68
V.D.V.	2.029.302,00	1.127,39
Adubação Mineral**	3.835.854,00	2.131,03

* Valores referentes a Dezembro/78

** 450 kg/ha da fórmula NPK 18-00-27, incluindo os custos de transporte e aplicação do adubo

ORLANDO F^{co} et alii (1980), estudaram os custos do sistema de veículos-tanques convencionais e mostraram a vantagem de utilização de tanques de maior capacidade (15 m³), com implicações diretas na redução do número de viagens por dia, com conseqüente diminuição da frota e dos custos de aplicação por unidade de área. Da

mesma forma que COPERSUCAR (1979a), os autores também observaram a vantagem de utilização do tanque de aço carbono (naval) e da descarga por gravidade como o sistema mais econômico, em relação aos demais. Entretanto, ressaltam que o sistema de aplicação através de bombas, embora com custo um pouco mais elevado, pode ser recomendado em virtude das vantagens citadas anteriormente no item b2. Os resultados obtidos constam nas tabelas 13, 14, 15 e 16 a seguir.

Tabela 13 - Custos* de aplicação de 75 m³/ha de vinhaça, com caminhões-tanques de 15 m³, segundo
 ORLANDO F^o et alii (1980)

Descarga	Material do tanque	Distância (km)						
		5	10	15	20	25	30	Média
Gravidade	Aço carbono naval	3,71	2,33	1,90	1,82	1,91	2,31	2,33
	Aço inox	3,95	2,47	2,01	1,92	2,02	2,45	2,47
	Média	3,83	2,40	1,96	1,87	1,97	2,38	2,40
Bomba	Aço carbono naval	4,03	2,51	2,04	1,95	2,06	2,50	2,52
	Aço inox	4,27	2,65	2,14	2,05	2,16	2,65	2,65
	Média	4,15	2,58	2,09	2,00	2,11	2,58	2,59

* Valores em (Cr\$/m³.km), adotados referentes a Julho/80, ou seja, dois meses antes da publicação do trabalho.

Tabela 14 - Custos* de aplicação de 150 m³/ha de vinhaça, com caminhões-tanques de 15 m³, segundo
ORLANDO F^o et alii (1980)

Descarga	Material do	Distância (km)						
		5	10	15	20	25	30	Média
Gravidade	Aço carbono naval	3,53	2,24	1,84	1,77	1,87	2,28	2,26
	Aço inox	3,77	2,37	1,94	1,87	1,98	2,42	2,39
	Média	3,65	2,31	1,89	1,82	1,93	2,35	2,33
Bomba	Aço carbono naval	3,85	2,42	1,98	1,90	2,02	2,47	2,44
	Aço inox	4,09	2,55	2,08	2,00	2,13	2,61	2,58
	Média	3,97	2,49	2,03	1,95	2,08	2,54	2,51

* Valores em (Cr\$/m³.km), adotados referentes a Julho/80, ou seja, dois meses antes da publicação do trabalho.

Tabela 15 - Custos* de aplicação de 75 m³/ha de vinhaça, com caminhões-tanques de 8 m³, segundo ORLANDO F^o et alii (1980)

Descarga	Material do	Distância (km)						
		5	10	15	20	25	30	Média
Gravidade	Aço carbono naval	4,83	3,17	2,65	2,51	2,54	2,78	3,08
	Aço inox	5,08	3,31	2,75	2,60	2,64	2,90	3,21
	Média	4,96	3,24	2,70	2,56	2,59	2,84	3,15
Bomba	Aço carbono naval	5,37	3,47	2,87	2,72	2,76	3,04	3,37
	Aço inox	5,62	3,61	2,97	2,81	2,85	3,16	3,50
	Média	5,50	3,54	2,92	2,77	2,81	3,10	3,44

* Valores em (Cr\$/m³.km), adotados referentes a Julho/80, ou seja, dois meses antes da publicação do trabalho.

Tabela 16 - Custos* de aplicação de 150 m³/ha de vinhaça, com caminhões-tanques de 8 m³, segundo
 ORLANDO F^o et alii (1980)

Descarga	Material do	Distância (km)						
		5	10	15	20	25	30	Média
Gravidade	Aço carbono naval	4,65	3,08	2,58	2,46	2,50	2,75	3,00
	Aço inox	4,89	3,21	2,69	2,69	2,56	2,87	3,14
	Média	4,77	3,15	2,64	2,51	2,55	2,81	3,07
Bomba	Aço carbono naval	5,19	3,38	2,81	2,67	2,72	3,01	3,30
	Aço inox	5,43	3,51	2,91	2,76	2,82	3,12	3,43
	Média	5,31	3,45	2,86	2,72	2,77	3,07	3,37

* Valores em (Cr\$/m³.km), adotados referentes a Julho/80, ou seja, dois meses antes da publicação do trabalho.

SANTANA (1985) determinou custos de aplicação de 150 m³/ha de vinhaça em função de distâncias, para caminhões-tanques movidos a álcool aditivado do tipo Mercedes-Benz 2213 com 3 eixos, equipados com tanques de fibra-de-vidro de 15 m³ de capacidade. Os resultados estão apresentados na tabela 17.

Tabela 17 - Custos de aplicação de vinhaça com caminhões-tanques convencionais de 15 m³, segundo SANTANA (1985)

Distância (km)	* Custo/ha (ORTN)
2	5,7639
4	11,5209
6	17,2909
8	23,0909
10	28,9009
12	34,5409
14	40,3409

* Valores adotados referentes a Maio/85, ou seja, dois meses antes da publicação do trabalho

MATIOLI et alii (1988a) levantaram dados referentes a 329 viagens representativas do ciclo de aplicação de vinhaça com caminhões-tanques convencionais. Os autores desenvolveram um modelo matemático para micro-computador e com ele analisaram o desempenho do caminhão MB-2213 a diesel com tanque de 15 m³. Os resultados constam na tabela 18 a seguir.

Tabela 18 - Custos da aplicação de vinhaça com veículos-
tanques convencionais de 15m³, segundo MATIOLI
et alii (1988a)

Distância	Custo (*)
(km)	((OTN/m ³ .km) x 100)
1,5	0,580
4,5	0,419
7,5	0,381
10,5	0,365
13,5	0,350
16,5	0,345
19,5	0,339
22,5	0,346
25,5	0,337
28,5	0,338
31,5	0,345

* Valores referentes a Setembro/87

f) Distâncias máximas econômicas

COPERSUCAR (1979a) estudando os custos da aplicação de vinhaça com veículos-tanques convencionais de 15 m³, contra os custos da adubação mineral substituída de 450 kg/ha da fórmula NPK 18-00-27, determinou que:

- Para dose de 40 m³/ha, a distância máxima econômica é superior a 30 km;
- Para dose de 70 m³/ha, a distância máxima econômica está compreendida entre 20 e 30 km;
- Para dose de 150 m³/ha, a distância máxima econômica está compreendida entre 10 a 20 km.

Para determinar distâncias máximas econômicas de veículos-tanques, ORLANDO F^o et alii (1980) compararam os custos de diferentes caminhões contra os custos da adubação mineral de 500 kg/ha da fórmula NPK 12-06-24. Os resultados são apresentados na tabela 19.

SANTANA (1985) comparando os custos dos veículos-tanques apresentados no item d anterior, contra os custos da adubação mineral de 500 kg/ha da fórmula NPK 08-06-44, a qual equivale à dose de vinhaça de 150 m³/ha, concluiu que nas condições estudadas a distância máxima econômica é 6,94 km.

Tabela 19 - Distâncias^a máximas econômicas para aplicação de vinhaça com veículos-tanques convencionais, segundo ORLANDO F^a et alii (1980)

Capacidade do tanque (m ³)	Dose de Vinhaça (m ³ /ha)	Tanque aço carbono naval		Tanque aço inox	
		Gravidade	Bomba	Gravidade	Bomba
15	75	34	32	33	31
15	150	22	20	21	19
8	75	29	27	28	26
8	150	16	14	15	13

* Valores em km

MATIOLI et alii (1988a) determinaram as distâncias máximas economicamente viáveis, para aplicação de vinhaça com três tipos de caminhões-tanques convencionais. Para essa determinação, os autores consideraram três sistemas de adubação (A, B e C), os efeitos da concentração dos nutrientes na dose aplicada, além de possíveis aumentos de produtividade de +2 e +5 t/ha, proporcionados pela fertirrigação com vinhaça "in natura". Os resultados estão apresentados a seguir na tabela 20.

Tabela 20 - Distâncias** exatimas de aplicação de vinhaça com caminhões-tanques convencionais, para aumentos de produtividade de 0, +2 e +5 t/ha, segundo MATIOLI et alii (1988a)

Sistema de Adubação		Caminhão-tanque	Dose de vinhaça(m ³ /ha)/concentração de K ₂ O(kg/m ³)											
			(200)/(1,5)			(150)/(2)			(100)/(3)			(75)/(4)		
		0	+2	+5	0	+2	+5	0	+2	+5	0	+2	+5	
A	MB2213 diesel - 15 m ³	2,5	4,1	6,5	3,7	5,0	8,9	5,0	9,3	13,8	8,5	12,6	18,4	
	E21 alc.hidr. - 15 m ³	0,4	1,7	3,6	1,3	3,4	5,6	3,2	5,8	9,5	5,1	8,4	13,2	
	F700 diesel - 8,5 m ³	0,5	1,9	3,8	1,5	3,2	5,8	3,4	6,0	9,8	5,3	8,7	13,6	
B	MB2213 diesel - 15 m ³	2,7	4,3	6,7	4,0	6,1	9,2	5,4	9,7	14,3	9,1	13,2	19,0	
	E21 alc.hidr. - 15 m ³	0,5	1,8	3,8	1,5	3,3	5,8	3,6	6,1	9,9	5,6	8,9	13,7	
	F700 diesel - 8,5 m ³	0,7	2,0	4,0	1,7	3,5	6,0	3,3	6,4	10,1	5,8	9,2	14,0	
C	MB2213 diesel - 15 m ³	3,8	5,4	7,8	5,4	7,5	10,6	8,7	11,9	16,4	11,9	16,0	21,7	
	E21 alc.hidr. - 15 m ³	1,4	2,7	4,6	2,7	4,4	7,0	5,3	7,9	11,5	7,8	11,1	15,7	
	F700 diesel - 8,5 m ³	1,6	2,9	4,9	2,9	4,6	7,2	5,6	8,1	11,8	8,1	11,5	16,3	

* Valores em ha

A = (vinhaça + 495 kg/ha de aqua-amônia) x (1650 kg/ha de 06-04-09)

B = (vinhaça + 225 kg/ha de uréia) x (550 kg/ha de 18-04-27)

C = (vinhaça + 495 kg/ha de aqua-amônia) x (550 kg/ha de 18-04-27)

Os autores concluíram que os resultados obtidos mostram que as distâncias máximas calculadas são reduzidas para vinhaça com baixas concentrações de K_2O (1,5 a 2,0 kg/m³), e sem considerar aumentos de produtividade. Quando ocorre algum aumento de produtividade, por menor que seja (por ex.: +2 t/ha), as distâncias máximas aumentam significativamente, indicando a grande importância deste fator na viabilidade do sistema caminhões-tanques.

Concluíram também, que as reduzidas distâncias máximas encontradas, alertam para a necessidade de otimização dos sistemas de aplicação de vinhaça através de circuitos hidráulicos dispostos pela lavoura, de modo a abranger áreas com condições topográficas adequadas aos sistemas de aspersão e diversificação de estações de carregamento de caminhões-tanques em pontos estratégicos na lavoura. Com essa diversificação, busca-se a redução das distâncias percorridas pela frota e conseqüentemente, a redução dos custos da fertirrigação com vinhaça.

2.2.4 Montagem direta de aspersão

a) Descrição do sistema

LEME et alii (1979), ORLANDO F^o et alii (1983) e MATIOLI & MENEZES (1984) afirmaram que a vinhaça, diluída com águas residuárias ou não, pode ser aplicada através de sistemas de irrigação por aspersão, com destaque

para o sistema montagem direta. Esse sistema consiste basicamente de um conjunto moto-bomba acoplado a um aspersor tipo canhão, montados em chassi com rodas, conforme ilustrado nas figuras 6a e 6b.

De acordo com os referidos autores, a máquina opera com características técnicas compreendidas nas seguintes faixas:

- Motor : 65 a 75 cv na rotação de 1700 a 2000 rpm;
- Bomba : $Q = 120$ a $170 \text{ m}^3/\text{h}$ e $P = 6$ a 8 kg/cm^2 ;
- Aspersor: $P = 5$ a 7 kg/cm^2 , Precipitação = 13 a 20 mm/h
e Espaçamento = 84 x 84 m a 96 x 96 m (quadrado, retangular ou triangular).

Figura 6a - Sistema montagem direta de aspersão sem extensões (detalhe)

Figura 6b - Sistema montagem direta de aspersão sem extensões (vista geral)

Os autores afirmam ainda que a montagem direta quando em funcionamento atinge um diâmetro molhado de até 140 m. Ela é estacionária e succiona os resíduos diretamente de canais, espaçados entre si de 85 a 100 m, dependendo essencialmente das características topográficas do terreno. Os pontos de estação da montagem direta ao longo dos canais também são espaçados entre si de 85 a 100 m, de modo que, as posições da máquina perfazem uma rede com malhas de dimensões entre 85 x 85 m até 100 x 100 m e

consequentemente, em cada posição, a máquina irriga uma área entre 0,7 a 1 ha.

MATIOLI E MENEZES (1984) explicam que os canais são abastecidos através de linhas adutoras de recalque ou gravidade, sendo que, as derivações são normalmente comandadas por registros inseridos na própria adutora. Nos canais em que o abastecimento deriva de outros canais, este pode ser feito através de tubulações móveis de lona plástica. Para movimentar a montagem direta de um ponto de estação a outro, recorre-se ao uso de tratores de baixa potência ou qualquer trator temporariamente não utilizado para os trabalhos agrícolas normais.

Os autores afirmam ainda que o processo não exige grandes sistematizações de terreno, como no caso de sulcos de infiltração, mas a construção de canais com carreadores ao lado para locomoção dos equipamentos do sistema, implica numa reformulação da lavoura no tocante ao formato dos talhões. Estes carreadores não devem ser exclusivos do sistema, mas traçados de forma a atender também o trânsito normal de caminhões e máquinas agrícolas.

b) Variações do sistema

MATIOLI et alii (1988b) afirmam, que quando a área sistematizada por aspersão com montagens diretas destina-se a receber somente vinhaça, isto é, não havendo necessidade de aplicação de resíduos com cana alta, os canais podem apresentar um espaçamento maior entre si,

objetivando diminuir a área perdida com os mesmos. Para tanto, basta recorrer ao emprego de extensões constituídas de tubos de alumínio com engate rápido e o aspersor canhão móvel (ver figura 7).

Figura 7 - Sistema montagem direta de aspersão dotado de extensões

A disposição dessas extensões no campo podem tomar várias formas. LEME et alii (1987) apresentam três disposições mais usuais: bilateral (figura 8), otimizado (figura 9) e trevo (figura 10).

PMD = Posição da montagem direta.

PAS(1,2,3,4 e 5) = Posições do aspersor canhão ao longo das extensões.

Figura 9 – Esquema de operação do sistema montagem direta otimizado, segundo LEME et alii (1987).

PMD = Posição da montagem direta.

PAS (1, 2 e 3) = Posições do aspersor canhão ao longo das extensões.

Figura 10 - Esquema de operação do sistema montagem direta trevo, segundo LEME et alii (1987).

LEME (1987) estudando a disposição otimizada para extensões em duas usinas do Estado de São Paulo, definiu o seu esquema ideal de manejo, ou seja:

- 60% das posições de aspersão (extensão em declive) acionada pela bomba com rotação de 1.600 rpm, vazão de 128m³/h, pressão de saída de 62 a 69 mca, correspondendo a um consumo de diesel de 9,24 l/h;

- 40% restantes das posições de aspersão em aclave com acionamento da unidade de bombeamento a 1.750 rpm, vazão de 140 m³/h, pressão de saída de 75 mca e consumo de óleo diesel de 12,24 l/h;

- posições de aspersão espaçadas de 72 a 84 m, conforme a condição de vento da região.

Nessas condições, o autor concluiu que houve aumento da vida útil dos equipamentos, melhor eficiência de operação e uma redução média de consumo de combustível de 22,9%, em relação ao obtido com o manejo tradicional das usinas consideradas.

c) Vantagens e limitações

LEME et alii (1979) apresentaram algumas vantagens do sistema montagem direta de aspersão sem extensões, em relação ao sistema de sulcos de infiltração.

- Não há necessidade de grande sistematização do terreno ou sulcação em desnível;

- Pode ser usado em áreas com declives mais acentuados;

- Pode operar em qualquer tipo de solo;
- Pode ser usado em todas as fases da cultura;
- Proporciona melhores condições para controle da quantidade de vinhaça aplicada;
- Irriga extensas áreas por unidade de tempo, ou seja, maior rendimento operacional;
- Economia de mão-de-obra;
- Baixo custo operacional por unidade de área beneficiada.

Como limitações os autores apontaram as seguintes:

- Variações instantâneas da direção do vento podem comprometer a uniformidade de distribuição;
- Exige a construção de uma rede de canais para distribuição da vinhaça;
- Requer alta pressão de serviço, geralmente superior a 60 mca;
- Necessidade de mão-de-obra mais especializada;
- Durabilidade do equipamento sujeito à vinhaça, ainda desconhecida.

d) Uniformidade de distribuição

MATIOLI & MENEZES (1984) afirmam que a distribuição de vinhaça com o sistema de montagem direta pode ser considerada uniforme, mas está em função do

paralelismo dos canais, que por sua vez depende da topografia do terreno. De conformidade com LEME et alii (1979), os autores afirmam também que por tratar-se de um sistema de aspersão que opera com aspersor tipo canhão hidráulico trabalhando em alta pressão (7 kg/cm^2), a uniformidade de distribuição é bastante afetada pelas condições de vento.

LEME et alii (1979) apresentam características técnicas de aspersores tipo super canhão, utilizados em montagens diretas de aspersão. Dentre essas características destacam-se os Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CC), conforme mostra-se na tabela 21.

Tabela 21 - Características técnicas de aspersores tipo canhão, segundo LEME et alii (1979)

Marca e modelo	Bocal (mm)	Pressão (kg/cm ²)	Vazão (m ³ /h)	Diâmetro (m)	Espaçamento (m x m)	Precipitação (mm/h)	CC (%)
ASBRASIL	42,1	7,0	164	138	108 x 108	15,43	70,88
SC - 77	44,2	7,0	182	132	108 x 108	16,16	69,61
RAINBOW	42,2	7,0	162	130	108 x 108	14,90	67,91
660	44,2	7,0	186	145	108 x 108	17,40	68,61
FRANKEL	30,2	7,0	140	138	108 x 108	13,96	77,41
	e						
	15,8	7,0	140	132	108 x 108	14,46	65,00
Média	-	-	-	-	-	-	69,80

BAPTISTELLA et alii (1980) também determinaram Coeficientes de Christiansen (CC) ensaiando o aspersor super canhão setorial, com bocal principal de 32 mm, bocais auxiliares de 16 e 7 mm de diâmetros e pressão de serviço de 7 kg/cm². Os resultados constam na tabela 22 a seguir.

Tabela 22 - Valores de intensidade média de chuva (Im), Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CC) e respectivas áreas irrigadas, para aspersor tipo canhão, segundo BAPTISTELLA et alii (1980)

Espaçamento (m x m)	Im (mm/h)	CC (%)	Área irrigada (m ²)
84 x 84 R	24,00	82,25	7.056,00
84 x 84 T	24,00	82,21	7.056,00
96 x 96 R	18,37	80,62	9.216,00
96 x 96 T	18,37	82,59	9.216,00
108 x 108 R	14,52	73,72	11.664,00
108 x 108 T	14,52	77,41	11.664,00
120 x 120 R	11,76	63,28	14.400,00
120 x 120 T	11,76	64,04	14.400,00
Média	-	75,77	-

R = disposição retangular dos aspersores

T = disposição triangular dos aspersores

e) Controle e manejo do sistema

MATIOLI et alii (1989) desenvolveram um plano para controle e manejo de sistemas de fertirrigação com montagens diretas dotadas de extensões. O plano visa a melhor uniformidade de distribuição de resíduos líquidos industriais (vinhaça e águas residuárias), através do monitoramento da dose distribuída, da composição química dos resíduos e do tempo de aplicação.

Os autores afirmam que para atingir os objetivos propostos, são necessários: esquema de disposição dos aspersores no talhão, calibração das montagens diretas e emprego de fatores de correção para o declive do terreno e para as perdas de carga ao longo das extensões.

MATIOLI et alii (1989) concluem que o plano é bastante simples, de fácil implantação e proporciona um constante acompanhamento da fertirrigação durante a safra. A prática das usinas Santa Luiza (localizada no município de Matão, S.P.) e São Manoel (localizada no município de São Manoel, S.P.), comprovam tais conclusões.

f) Custos

LEME et alii (1979) realizaram os primeiros estudos sobre os custos do sistema de aspersão com montagem direta sem extensões, comparando-os com os custos da adubação mineral de 500 kg/ha da fórmula NPK 15-09-18. Para o sistema aplicar uma dose de vinhaça de 200 m³/ha em 1980 ha, operando 20 h/dia, durante 180 dias/ano (período de

safrá), os resultados obtidos são os apresentados nas tabelas 23 e 24.

Os autores salientam que a avaliação econômica que resultou os valores das tabelas 23 e 24, não contempla os custos com estações de bombeamentos, adutoras de recalque e gravidade, energia elétrica dos bombeamentos, construção de canais alimentadores e manutenção dessas obras e equipamentos.

Posteriormente, SANTANA (1985) estudando a economicidade da aplicação de 150 m³/ha de vinhaça numa área total de 1870 ha, em comparação à adubação mineral correspondente a 500 kg/ha da fórmula NPK 08-06-44 obteve, para o sistema de aspersão com montagens diretas dotadas de extensões com 200 m de comprimento (12 h/dia), os custos apresentados na tabela 25.

Tabela 23 - Custos* do sistema montagem direta de aspersão sem extensões, segundo LENE et alii
(1979)

Custos	Componentes	Vida útil do Equipamento		
		1 ano	2 anos	3 anos
Fixos	Depreciação	125.000,00	100.000,00	75.000,00
	Juros	28.130,00	22.500,00	20.630,00
	Manutenção	131.316,00	97.816,00	85.316,00
	Subtotal A	284.446,00	220.320,00	180.950,00
Operacionais	M.O. operador	96.336,00	96.336,00	96.336,00
	M.O. tratorista	59.544,00	59.544,00	59.544,00
	Trator	270.000,00	270.000,00	270.000,00
	Combustível canhão	242.164,00	241.164,00	241.164,00
	Subtotal B	667.044,00	667.044,00	667.044,00
Total (A + B)		951.490,00	887.364,00	847.994,00

* Valores em (Cr\$/ano), adotados referentes a julho/79, ou seja, dois meses antes da publicação do trabalho

Tabela 24 - Custos* do sistema de montagem direta aspersão e adubação, segundo LEME et alii (1979)

Sistema	Dose	Vida Útil do Equipamento		
		1 ano	2 anos	3 anos
Aspersão	200 m ³ /ha	480,55	448,16	428,28
	400 m ³ /ha	961,10	896,33	856,56
	600 m ³ /ha	1.441,61	1.344,49	1.284,84
Adubação	500 kg/ha		2.657,50	

* Valores em (Cr\$/ha) adotados referentes a Julho/79, ou seja, dois meses antes da publicação do trabalho.

Tabela 25 - Custos do sistema montagem direta de aspersão
dotada de extensões, segundo SANTANA (1985)

Componentes do Sistema	Custo/ha*
	(ORTN)
<hr/>	
Montagem Direta	1,2370
Extensão	0,0986
Comportas	0,0022
Tubulação Flexível	0,1591
Trator de Reboque	0,1230
Mão-de-obra	0,2230
Canais	0,0520
Reservatórios	0,1860
<hr/>	
Total	2,0809
<hr/>	

* Valores adotados referentes a Maio/85, ou seja, dois meses antes da publicação do trabalho

2.2.5. Transporte dutoviário

a) Descrição do sistema

MATIOLI (1983) e posteriormente MATIOLI & MENEZES (1984), visando a redução dos custos da fertirrigação com vinhaça, além de melhor controle de poluição ambiental, demonstram qualitativamente as vantagens e os critérios básicos para otimização da fertirrigação, através da introdução da técnica do transporte dutoviário da vinhaça (bombeamentos, adutoras e canais), combinado com os sistemas convencionais de aplicação (caminhão e aspersão).

MENEZES et alii (1984) propuseram uma alternativa para diminuição dos custos da fertirrigação com veículos tanques convencionais, que consiste na substituição de parte do percurso por transporte dutoviário, isto é, transporte de vinhaça através de tubulações e canais. Assim, em vez de um carregamento, normalmente localizado nas proximidades da unidade industrial, passa-se para uma situação de vários carregamentos estrategicamente distribuídos pelas terras de lavoura da usina. Isto permite que a aplicação de vinhaça processe-se com menor número de caminhões, uma vez que a distância média das áreas de aplicação aos pontos de carregamento fica substancialmente reduzida.

Os autores afirmaram ainda que a energia consumida no transporte por caminhão está associada principalmente com a resistência ao rolamento dos pneus sobre a estrada. No caso do caminhão tipo MB-2213 utilizado no transporte de vinhaça, o consumo de combustível é da ordem de 35 ml/t.km, ou 28 t.km/l. No transporte dutoviário, a energia consumida está associada principalmente com o atrito entre partículas ao longo da tubulação. Para bombeamentos com motores diesel, o consumo específico de combustível é da ordem de 190 g/cv.h.

Os autores compararam os dois tipos de transporte considerando um bombeamento em nível com perdas de carga de 13 m/km, que resulta um consumo específico de 63,5 t.km/l, ou seja, 66% inferior ao transporte rodoviário equivalente (ver figuras 11 e 12).

Figura 11 - Estação de bombeamento de vinhaça, mostrando as tubulações de sucção e pressão em aço inox, para resistir o poder corrosivo desse resíduo

Figura 12 - Instalação de adutora de recalque de vinhaça para a lavoura

A proposta de MENEZES et alii (1984) ficou melhor alicerçada sob o ponto de vista hidráulico, após os estudos de PERES & SUZAKI (1988) sobre perda de carga em bombeamento de vinhaça, que caracterizam algumas propriedades físicas e alguns parâmetros hidráulicos desse resíduo como:

- Massa específica;
- Viscosidades dinâmica e cinemática;
- Fator de atrito "f" para as interações vinhaça x tubo hidráulicamente liso e água limpa x tubo hidráulicamente liso;
- Comparação dos valores medidos e teóricos do fator de atrito "f";
- Análise do desempenho da fórmula Universal, da fórmula de Hazen-Williams e de uma fórmula específica para PVC (Norma ISO-International Standard Organization).

PEREZ & SUZAKI (1988) tiraram as seguintes conclusões:

- A vinhaça apresenta massa específica muito próxima à da água limpa, podendo ser utilizadas para os projetos de bombeamento de vinhaça, as informações disponíveis na literatura para água limpa;
- A vinhaça apresenta viscosidade dinâmica cerca de 10% superior à da água limpa no intervalo de 20 a

40°C. A partir de 40°C a diferença diminui rapidamente para 3%;

- A fórmula teórica de Prandtl pode ser utilizada para cálculo do fator de atrito "f", para tubos hidraulicamente lisos conduzindo vinhaça. Os valores calculados foram aproximadamente 4,2% superiores aos medidos;

- Para tubos hidraulicamente lisos, o fator de atrito "f" pode ser considerado o mesmo para bombeamento de vinhaça ou água limpa.

LAZO et alii (1988), alicerçados na prática obtida em várias usinas e destilarias e nas determinações de PERES & SUZAKI (1988), esplanaram amplamente sobre projeto e operação de transporte dutoviário de vinhaça. Os autores apresentam as tecnologias disponíveis para dimensionamento de bombeamentos, adutoras e canais condutores de vinhaça, incluindo a análise e dispositivos de proteção de adutoras contra transientes hidráulicos (Golpe de Aríete).

O transporte de vinhaça através de canais construídos em leito natural constitui-se no meio mais barato de dutovia. PERTICARRARI (1983) aprimorou um implemento bastante satisfatório para a abertura de canais encontrado na Usina Barra Grande localizada no município de Lençóis Paulista, S.P., que trabalha acoplado à barra de tração de um trator de esteiras tipo CAT-D6, ou trator de

pneus com tração nas quatro rodas do tipo Engesa, Case ou Müller, existentes no mercado nacional. Baseado neste implemento, conservou-se os pontos favoráveis e aprimorou-se os pontos desfavoráveis, chegando-se ao projeto final de um sulcador para a abertura de canais (ver figuras 13 e 14).

Figura 13 - Construção de canal com sulcador gigante, tracionado com trator de esteiras tipo CAT-D6

Figura 14 - Canal construído em leito natural com sulcador gigante

PERTICARRARI (1983) apresentou também o desempenho operacional do sulcador gigante desenvolvido e as dimensões aproximadas da secção transversal média do canal construído com esse implemento, conforme mostra a tabela 26. Assim, se o canal for construído com declividade de 1:1000, pode conduzir uma vazão de até 300 m³/h e abastecer duas montagens diretas funcionando simultaneamente.

Tabela 26 - Dados operacionais do sulcador gigante, para dois tipos de tratores, segundo PERTICARRARI (1983)

Itens	Unidade	Trator utilizado	
		Caterpillar D6D	Case-4490
Marcha utilizada	-	2a	1a/2a
Velocidade	km/h	4,0	4,4
Eficiência	%	60	70
Capacidade operacional	m/h	1.200*	1.540*
Forma do canal	-	trapezoidal	trapezoidal
Profundidade	m	0,60 a 0,70	0,60 a 0,70
Largura da boca	m	1,3 a 1,5	1,3 a 1,5
Largura do fundo	m	0,2 a 0,3	0,2 a 0,3

* Estes valores são referentes a duas passadas do trator para a construção de um mesmo canal.

b) Vantagens e limitações

MENEZES et alii (1984) apresentaram as seguintes vantagens para o transporte dutoviário de vinhaça:

- Redução dos custos da fertirrigação;
- Redução do consumo de combustíveis;

- Redução da frota de caminhões-tanques aplicadores de vinhaça;

- Maior uso de energia elétrica produzida pela usina, substituindo os combustíveis automotivos, uma vez que na maior parte dos casos, o transporte dutoviário depende de recalques cujas bombas são acionadas por motores elétricos.

Com relação às limitações, a literatura pouco aborda. Mesmo assim, pode-se salientar 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 fato importante está relacionado com as perdas de vinhaça conduzida por canais construídos em leito natural. Essas perdas podem implicar em prejuízos, uma vez que incorre-se na redução da área beneficiada com a substituição da adubação mineral.

MATIOLI & GUAZZELLI¹ (1988), baseados em levantamentos preliminares na Usina Santa Luiza, localizada no município de Matão, S.P., apresentaram alguns resultados conforme mostram as tabelas 27 e 28.

¹MATIOLI, C.S. & GUAZZELLI, M.A.N. Perdas de vinhaça em canais de terra. Trabalho apresentado ao 4º Seminário de Tecnologia Agronômica da Copersucar, Piracicaba, 1988.

Tabela 27 - Perdas de vinhaça em canal* de uso contínuo (4 safras), segundo MATIOLI & GUAZZELLI¹ (1988)

Tipo de solo	Vazão (m ³ /h)	Perdas/km (m ³ /h)	Perdas/km (%)
LVE-4	124	1,8	1,5
LVE-4	173	5,0	2,9
LVE-4	159	1,9	1,2
Média	152	2,9	1,9

* Canal construído com sulcador gigante.

Tabela 28 - Perdas de vinhaça em canal* de uso intermitente
(1 aplicação/safra), segundo MATIOLI &
GUAZZELLI¹ (1988)

Tipo de solo	Vazão (m ³ /h)	Perdas/km (m ³ /h)	Perdas/km (%)
LVE-4	100	4,3	4,3
LVE-4	131	5,9	4,5
Média	115,5	5,1	4,4

* Canal construído com sulcador gigante

c) Custos

MENEZES et alii (1984) estudaram a viabilidade do transporte dutoviário de vinhaça para duas usinas do Estado de São Paulo: usina Santa Adélia (situada no município de Jabotical, S.P.) e usina São Geraldo (situada no município de Sertãozinho, S.P.).

O estudo para a usina Santa Adélia foi elaborado para uma área de 7.500 ha e previa a instalação de duas estações de carregamento de caminhões-tanques de vinhaça, localizadas a 3 e 15 km da unidade industrial,

local do carregamento atual. Nesse estudo, o transporte dutoviário constituía-se de dois bombeamentos com casas de bombas e linhas de recalques, além de duas caixas em terra de 30.000 m³ cada. As características técnicas dos bombeamentos estão apresentadas na tabela 29.

Tabela 29 - Características dos bombeamentos da usina Santa Adélia, estudados por KENEZES et alii (1984)

Bombeamento	Vazão (m ³ /h)	Pressão (m.c.a.)	Potência	Tubulação de Recalque	
			Instalada (c.v.)	Diâmetro (mm)	Comprimento(m)
I	125	93	150	250	2.500
II	125	136	200	250	12.000

O projeto da usina São Geraldo contemplou uma área de 4.950 ha, com a instalação de três estações de carregamento de caminhões-tanques de vinhaça, localizadas a 2, 12 e 17 km do antigo carregamento. Nesse projeto, o transporte dutoviário compunha-se de três bombeamentos, 12.080 m de canal em terra e 3.400 m de manilha cerâmica vitrificada nos diâmetros de 250 e 200 mm. As

características técnicas dos bombeamentos estão apresentadas na tabela 30.

Tabela 30 - Características dos bombeamentos da usina São Geraldo, estudados por MENEZES et alii (1984)

Bombeamento	Vazão (m ³ /h)	Pressão (m.c.a.)	Potência	Tubulação de Recalque	
			Instalada (c.v.)	Diâmetro (mm)	Comprimento(m)
I	85	20	15	150	310
II	150	25	30	200	700
III	200	80	100	200	820

Os autores obtiveram os resultados mostrados nas tabelas 31 e 32, concluindo que em ambos os casos, o transporte dutoviário de vinhaça proporcionou redução do custo da fertirrigação da ordem de 40%.

Tabela 31 - Resumo dos resultados* do estudo da usina Santa Adélia, segundo MENEZES et alii (1984)

Itens	Situação		
	Sem Bombeamentos(A)	Com Bombeamentos(B)	(A-B)
Investimentos			
. Caminhões	171.153,00	50.093,60	-
. Bombeamentos	-	91.377,00	-
. Total	171.153,00	141.470,60	29.682,40
Quilometragem			
anual percorrida	2.929.280	1.497.600	1.441.680
Custo anual			
. Caminhões	288.315,60	146.900,40	-
. Bombeamentos	-	27.454,00	-
. Total	288.315,60	174.354,40	113.961,20

* Valores em ORTN, referentes a Setembro/83

- Custo/km do caminhão Mercedes Benz 2213 diesel = 0,098 ORTN, para distância média de 15 km

Tabela 32 - Resumo dos resultados* do estudo da usina São Geraldo, segundo MENEZES et alii (1984)

Itens	Situação		
	Sem Bombeamentos(A)	Com Bombeamentos(B)	(A-B)
Investimentos			
. Caminhões	74.505,40	16.566,70	-
. Bombeamentos	-	18.624,40	-
. Total	74.505,40	35.181,10	39.324,40
Quilometragem			
anual percorrida	1.284.200	701.302	582.898
Custo anual			
. Caminhões	188.891,00	64.926,40	-
. Bombeamentos	-	6.145,10	-
. Total	188.891,00	71.071,50	47.819,50

* Valores em ORTN, referentes a Setembro/83

- Custo/km do caminhão Dodge E21 álcool = 0,093 ORTN, para distância média de 15 km

SANTANA (1985) determinou também custos de bombeamento de vinhaça para abastecimento de uma área com 1870 ha, sistematizada por aspersão com montagens diretas (dose = $150 \text{ m}^3/\text{ha}$). O recalque estudado apresenta-se com as seguintes características técnicas:

- Tubulação e acessórios: 1500 m de tubulação com diâmetro = 200 mm, mais válvulas borboletas e retenção no mesmo diâmetro;

- Moto-bomba: duas em paralelo com potência de 60 cv à 1750 rpm, sendo uma titular e outra reserva para evitar paradas por quebra e/ou manutenção;

- Eletificação: 5000 m de cabo, um transportador de 75 KVA e chaves de partida.

Os resultados obtidos por SANTANA (1985), constam na tabela 33 a seguir.

Tabela 33 - Custos do sistema de transporte dutoviário,
segundo SANTANA (1985)

Componentes do Sistema	Custo*
<hr/>	
(ORTN/m ³ .km)×100	
<hr/>	
Tubulação e acessórios	0,38
Bombas centrífugas	0,02
Motores elétricos	0,01
Eletificação	0,16
Energia elétrica	0,06
<hr/>	
Total	0,63

* Valores adotados referentes a Maio/85, ou seja, dois meses antes da publicação do trabalho

MATIOLI et alii (1988b) apresentaram custos médios de sistemas de transporte e aplicação de vinhaça. Os resultados constam na tabela 34, demonstrando o grande potencial para introdução dos sistemas de bombeamentos e canais, para otimização da fertirrigação.

Tabela 34 - Custos médios de sistemas de transporte e aplicação de vinhaça, segundo MATIOLI et alii (1988b)

Sistema	Finalidade	Custo* (OTN/m ³ x 100)	Custo Relativo
Caminhão-tanque de 15 m ³ **	transporte e aplicação	7,55	378
Aspersão com montagem direta	aplicação	0,72	36
Bombeamento**	transporte	0,48	24
Canal em terra**	transporte	0,02	1***

* Valores referentes a Novembro/87

** Distância ou comprimento considerado = 10 km

*** Valor referência

2.2.6. Bi-carga

GLÓRIA (1987) afirma que a usina Costa Pinto S.A., localizada no município de Piracicaba, S.P., visando a ampliação do programa de fertirrigação com vinhaça em substituição à adubação química tradicional, analisou a localização geográfica de suas terras e o custo de implantação de um sistema de transporte dutoviário, e optou por dar início a um estudo pioneiro do sistema bi-carga. Esse sistema visa aproveitar o retorno dos caminhões

canavieiros tipo romeu-julieta que trazem cana para a indústria, para transportar vinhaça à frente de corte, através de tanques flexíveis de 10 m³.

a) Descrição do sistema

GLÓRIA (1987) afirma que com a safra em andamento tem-se, normalmente, a frota de caminhões canavieiros trabalhando em três setores, dos quais dois localizam-se em áreas a média e longa distâncias, que geralmente recebem vinhaça via caminhões-tanques convencionais ou simplesmente não recebem. A terceira frente opera próximo à usina em áreas onde se faz a aplicação da vinhaça com montagens diretas de aspersão.

O autor afirma também que 96 caminhões canavieiros foram equipados com tanques flexíveis de vinilona, os quais passaram a transportar vinhaça até as frentes de corte a custo bastante reduzido. A vinhaça transportada por esse sistema é depositada em tanques pulmões localizados em pontos estratégicos, próximos a estradas mestres que atravessam as diversas fazendas da usina, visando não prejudicar o transporte da cana e facilitar a posterior aplicação da vinhaça por aspersão com montagens diretas ou caminhões-tanques convencionais. Esses tanques são escavados no solo, sem revestimento e apresentam capacidade para armazenar aproximadamente 2.000 m³ de vinhaça. Para descarga, eles dispõem de uma estrutura

tipo bueiro, sobre a qual o caminhão pára e descarrega a vinhaça por gravidade (ver figura 15).

Figura 15 - Sistema bi-carga descarregando vinhaça em tanque pulmão de 2.000 m³

O autor explica ainda que os tanques flexíveis quando vazios são enrolados e depositados nas partes traseiras do caminhão e da julieta, protegidos por chapas metálicas e ocupando volumes reduzidos. Depois que os caminhões descarregam a cana na indústria, eles passam na estação de carregamento de vinhaça, onde os ajudantes desenrolam os tanques sobre as carrocerias, prendem as cintas de fixação e iniciam o processo de enchimento. Para expulsar bolsas de ar que ficam retidas dentro dos tanques

diminuindo sua capacidade de carga, existem válvulas especiais tipo ventosa.

b) Vantagens e limitações

GLÓRIA (1987) observou ainda que o tempo perdido com o carregamento dos tanques flexíveis e a descarga no campo é praticamente insignificante quando comparado com os tempos totais do transporte de cana. O autor concluiu que:

- Quando compara-se as horas gastas com as operações de vinhaça e o total de horas da frota canavieira, observa-se que em média perde-se apenas 0,01% do tempo global com o carregamento, descarregamento e oficina para os tanques de vinhaça, o que sem dúvida é muito pouco representativo;

- Um termo que aumenta bastante a representatividade do tempo perdido com vinhaça é o tempo de oficina mecânica para os tanques flexíveis e portanto, salienta-se sobre a necessidade de agilizar estes reparos, evitando a entrada do caminhão na referida oficina;

- O tempo gasto com carregamento e descarregamento de vinhaça representa apenas 0,00018% do tempo total da frota (ida + volta + fila + aguardando carregamento + descarregamento);

- Para distâncias superiores a 49,0 km (ida e volta) praticamente não há perdas, pois os poucos minutos perdidos nas operações relativas ao carregamento de

vinhaça, nada significam face a magnitude dos demais tempos envolvidos no transporte de cana em tais distâncias;

- Os problemas com danos ao equipamento como furos, com as válvulas de descarga, cintas de fixação e outros, precisam ser reparados com bastante rapidez, exigindo que junto à estação de carregamento de vinhaça exista um posto para pequenos reparos dos tanques flexíveis, evitando-se que o caminhão tenha que ir até a oficina mecânica, onde via de regra perde-se tempo demais;

- Quanto ao operacional do sistema, a disciplina dos motoristas no sentido de evitar atrasos desnecessários ou danos propositais ao equipamento, deve ser muito bem observada por encarregados de campo e por um eficiente sistema de apontamentos, através dos quais seja possível identificar redução na eficiência do transporte da cana.

SACCOMANDO et alii (1989) analisaram o sistema bi-carga para três faixas de distâncias:

- Curtas: de 13 a 28 km;
- Médias: de 33 a 48 km;
- Longas: de 55 a 68 km.

O sistema estudado também constitui-se de dois tanques flexíveis de 10 m³ cada, adaptados em caminhões canavieiros tipo romeu-julieta com capacidade de carga de 25 t.

Os autores concluíram que o transporte de vinhaça através desse sistema não acarreta redução de eficiência no ciclo operacional da frota canavieira. Ressaltam também, que não houve aumento significativo no consumo de óleo diesel por parte dos caminhões dotados do sistema bi-carga, em relação às testemunhas sem o referido sistema.

c) Custos

A literatura não aborda sobre custos do sistema bi-carga. Apenas no trabalho de SACCOMANO et alii (1989), citado anteriormente no item b, os autores concluíram que: se os depósitos para descarregamento da vinhaça na lavoura, forem localizados estrategicamente com relação aos trajetos preferenciais da frota canavieira, o transporte de vinhaça com o sistema bi-carga praticamente apresenta "custo zero". No entanto, ressaltam que tal conclusão merece maiores estudos.

2.2.7. Caminhão-aspersão

GERALDI F^o et alii (1988), com o objetivo de buscar um equipamento para aplicação de vinhaça que eliminasse as restrições dos sistemas convencionais de caminhão-tanque e montagem direta de aspersão, desenvolveram e testaram um novo sistema de aplicação de vinhaça denominado de caminhão-extensão (ou caminhão-

aspersão). O sistema foi projetado e montado na usina da Barra S.A., localizada em Barra Bonita, S.P., sendo testado durante os últimos meses da safra 1985/86 e durante toda a safra de 1986/87.

a) Descrição do sistema

Segundo GERALDI F^o et alii (1988), o sistema compõe-se de um caminhão trucado com reboque de dois eixos tipo "julieta", dotados com tanques de 15 m³. Esse conjunto caminhão e reboque transporta a vinhaça até os talhões de cana, onde encontra-se outro conjunto de aplicação por aspersão tipo montagem direta com extensões (ver figura 16).

Figura 16 - Sistema caminhão-aspersão, também denominado caminhão-extensão

Os autores completam a descrição do sistema afirmando que:

- Na lateral de cada tanque foi adaptada uma conexão com válvula borboleta e engate rápido tipo ponta, que permite o acoplamento com a bolsa do mangote de sucção da moto-bomba. Utilizou-se um mangote flexível com 5 m de comprimento e diâmetro nominal de 150 mm;

- O outro componente do sistema, o equipamento de aplicação de vinhaça por aspersão tipo montagem direta com extensões, é composto por um conjunto moto-bomba diesel montado sobre carreta de 4 rodas. A bomba KSB ETA 100/40 operando com apenas um rotor de 405 mm de diâmetro e rotação de 1710 rpm, fornece uma vazão de 150 m³/h a uma pressão de 73 mca. O motor usado foi o Mercedes Benz OM - 352 ou o BMW D229-6, desenvolvendo aproximadamente 70 cv nessa rotação;

- A montagem direta trabalha com extensões constituídas de tubulação de alumínio com engate rápido, com diâmetro nominal de 150 mm, permitindo que um aspersor tipo super canhão hidráulico opere distante do conjunto moto-bomba a distâncias de até 300 m. O aspersor operando com pressão no bocal entre 60 a 70 mca, fornece uma vazão de 125 a 150 m³/h e um raio de alcance de 60 a 70 metros.

b) Vantagens e limitações

GERALDI F^o et alii (1988) afirmam que as principais vantagens do novo sistema são:

- O caminhão-tanque com reboque só trafega nos carreadores, proporcionando redução do custo de transporte devido ao maior volume transportado por viagem e a menor necessidade de reparos/manutenção do veículo;

- Com a retirada dos caminhões das áreas de soqueiras, evita-se a compactação dos solos provocada pelo intenso tráfego desses veículos nos talhões de cana;

- O novo sistema permite a aplicação de vinhaça em soqueiras brotadas e em áreas de 1^o corte, onde o sistema convencional de veículos-tanques não consegue trabalhar;

- Possibilita a aplicação de vinhaça em áreas de maiores declives e em solos mais úmidos, condições que geralmente não permitem a operação do sistema de veículos-tanques convencionais;

- Permite que o cultivo das soqueiras seja realizado antes da fertirrigação, contribuindo para uma maior infiltração da vinhaça no solo;

- Proporciona redução de custos tanto a nível de investimento inicial, como a nível de manutenção, mão-de-obra (motoristas) e outros aspectos, devido a redução da quantidade de caminhões para o transporte da vinhaça;

- Como projeção, espera-se que a vida útil de todo o equipamento se prolongue, pois o caminhão transita apenas nos carreadores, enquanto as bombas, tubulação e aspersores recalcam vinhaça sem os sedimentos que normalmente ocorrem nos canais do sistema montagem direta de aspersão;

- Sendo o sistema conjugado com a aspersão espera-se que a eficiência de aplicação da vinhaça seja maior.

Como desvantagens do sistema caminhão-aspersão, os autores apontam as seguintes:

- Para condições de vento muito forte a uniformidade e eficiência de aplicação poderá ser afetada;

- O equipamento de aspersão requer uma pressão de operação acima de 70 mca, implicando num consumo adicional de combustível;

- Necessidade de mão-de-obra para o transporte de tubos, nas áreas de soqueiras recém-cortadas.

c) Custos

GERALDI F^o et alii (1988) compararam os custos do sistema caminhão-aspersão com os do caminhão-tanque convencional e obtiveram os resultados apresentados na tabela 35. Os autores concluíram que a operação do sistema caminhão-aspersão durante 3 meses da safra 1985/86 e 6 meses da safra 1986/87, mostrou que esse novo sistema é

perfeitamente viável e econômico, para as condições da usina da Barra S.A.

Tabela 35 - Custos comparativos dos sistemas caminhão-tanque convencional e caminhão-aspersão, segundo GERALDI F^o et alii (1988)

Itens	Convencional(1)	C.-aspersão(2)	Variação
	HB 2213	HB 2219	(1 - 2)
Elementos físicos			
- Área aplicada (ha)	4.524,50	1.178,17	-
- Quantidade de viagens	27.147	7.069	-
. Caminhão	-	3.886	-
. Julieta	-	3.183	-
- m ³ por viagem	15,00	27,29	-
- m ³ por hectare	90,00	90,00	-
- m ³ total aplicado	407.205	106.035	-
- km percorridos	815.729	99.563	-
- Distância média/viagem	15,0	12,8	-

Tabela 35 - Custos comparativos dos sistemas caminhão-tanque convencional e caminhão-aspersão, segundo GERALDI F^o et alii (1988)

Itens	Convencional(1) MB 2213	C.-aspersão(2) MB 2219	Variação (1 - 2)
Custos			
- Veículos	<u>1.499,16</u>	<u>1.130,21</u>	<u>368,95</u>
. Custos fixos	442,65	300,36	142,29
. Custos variáveis	1.056,51	829,85	226,66
- Mão-de-obra na aplicação	<u>35,31</u>	<u>200,31</u>	<u>(165,18)</u>
- Moto-bomba	-	<u>94,64</u>	<u>(94,64)</u>
. Custos fixos	-	7,44	(7,44)
. Custos variáveis	-	46,67	(46,67)
. Reboque de moto-bomba	-	40,53	(40,53)
Custo total por hectare*	1.534,29	1.425,16	109,13
Custo por m ² aplicado*	17,05	15,83	1,22
Custo por m ³ /km*	1,14	1,24	(0,10)

* Valores adotados referentes a Setembro/88, conforme conclui-se do texto do trabalho

MATIOLI & CORY[#] (1988) também avaliaram o sistema caminhão-aspersão durante a safra 88/89 nas usinas Santa Helena e Bom Jesus, situadas no município de Rio das Pedras, S.P.. Os autores compararam os custos de tal sistema contra os custos do caminhão-tanque convencional, sendo que a partir dos dados apresentados nas tabelas 36 e 37, obtiveram os resultados mostrados na tabela 38 e nas figuras 17 e 18. A partir da figura 18 obteve-se também, os resultados apresentados na tabela 39.

Os autores concluíram que até 7,5 km de distância, o sistema caminhão-tanque convencional é mais econômico que o caminhão-aspersão. A partir dessa distância, a situação se inverte.

[#]MATIOLI, C.S. & CORY, R. Sistema caminhão-aspersão. Trabalho apresentado no 4º Seminário de Tecnologia Agrônômica da Copersucar, Piracicaba, 1988.

Tabela 36 - Principais características técnicas do sistema caminhão-aspersão, avaliado por MATIOLI & COURY[®] (1988)

Componentes	Características técnicas
Romeu	MB-2220 diesel com tanque de 18 m ³
Julieta	Chassi FNV com tanque de 10 m ³
Moto-bomba	Vazão = 180 m ³ /h e Potência = 75 cv
Extensão	Comprimento = 300 m e Diâmetro = 4"

Tabela 37 - Principais características técnicas do sistema caminhão-tanque convencional, avaliado por MATIOLI & COURY[®] (1988)

Componentes	Características técnicas
Caminhão	Modelo Dodge - 1400 diesel
Tanque	Capacidade de 16 m ³
Descarga	Processo por gravidade

Tabela 38 - Custos* de aplicação de 110 m³/ha de vinhaça, através dos sistemas caminhão-tanque convencional e caminhão-aspersão, segundo MATIOLI & COURY² (1988)

Sistema	Distância (km)						
	3	6	9	12	15	18	21
Convencional	5,03	8,61	12,38	16,18	20,04	24,05	27,34
Cam.aspersão	7,36	9,51	11,57	13,91	16,70	18,99	21,52

* Valores em (OTN/ha), referentes a Setembro/88

Figura 17 - Custo de aplicação de $110 \text{ m}^3/\text{ha}$ de vinhaça, através dos sistemas caminhão-tanque convencional e caminhão-aspersão, segundo MATIOLI e COURY² (1988).

Figura 18 - Distâncias econômicas para aplicação de $110 \text{ m}^3/\text{ha}$ de vinhaça, através dos sistemas caminhão-tanque convencional e caminhão-aspersão, segundo MATIOLI e COURY² (1988).

Tabela 39 - Distâncias* econômicas para aplicação de 110 m³/ha de vinhaça, através dos sistemas caminhão-tanque convencional e caminhão-aspersão, segundo MATIOLI & COURY[®] (1988)

Sistema	Aumento de Produtividade (t/ha)		
	0	+2	+5
Caminhão convencional	6,4	8,4	11,5
Caminhão-aspersão	5,3	9,0	13,7

* Valores em km

2.2.8. Auto-propelido com carretel enrolador

LEME et alii (1987) afirmam que o equipamento auto-propelido tipo enrolador é praticamente uma edição mais moderna e melhorada do auto-propelido convencional, apresentando as mesmas características. A diferença básica, considerada como vantagem, é que apenas o tubo de polietileno conectado ao carrinho com aspersor são tracionados pela máquina. Com isso evita-se que o chassi, turbina, redutores, bobina e demais materiais sejam

tracionados como acontece no auto-propelido convencional. A máquina dispensa o uso de cabo de aço e o equipamento de ancoragem.

a) Descrição do sistema

Segundo os autores citados, o sistema compõe-se basicamente de uma máquina montada sobre chassi de formato circular, com até 4 rodas que sustenta o tambor, permitindo giros de até 360°. O tambor também possibilita o enrolamento e armazenamento do tubo de polietileno com extensão de até 400 m e com diâmetro máximo de 140 mm. Fazem parte do equipamento uma turbina, redutores de velocidade, válvulas e também um carrinho com aspersor super canhão (ver figura 19).

Figura 19 - Sistema auto-propelido com carretel enrolador, alimentado diretamente por moto-bomba

Os autores continuam a descrição do sistema, afirmando que:

- A máquina pode ser acoplada a um hidrante ou diretamente a moto-bomba. Pequena parte de água é desviada para a turbina através de um "by-pass". A vazão de água na entrada da turbina é controlada por válvula, permitindo a regulação da velocidade de rotação da turbina e consequentemente, a velocidade do carrinho aspersor. As máquinas também possuem um braço controlador do número de camadas de tubo a serem armazenadas no tambor;

- O chassis permite ao tambor movimento circular de até 360° , embora apenas 180° sejam suficientes para a mudança de uma para outra faixa de fertirrigação. Pinos colocados em pontos estratégicos no chassis circular, se encarregam de travar a máquina por ocasião do seu estacionamento na posição desejada;

- O carrinho com aspersor é puxado pelo tubo de polietileno, através do seu enrolamento pelo tambor. Desta forma, a intensidade de aplicação de água no solo depende diretamente da velocidade de rebocamento do carrinho, do diâmetro de alcance do jato e da vazão de água do aspersor. Por sua vez, a lâmina aplicada depende destes fatores e também da largura da faixa fertirrigada.

b) Vantagens e limitações

LEME et alii (1987) comparando esse sistema com o montagem direta dotada de extensões, apontaram as seguintes vantagens:

- Redução da mão-de-obra empregada em toda a área de aplicação;
- Maior automatização na operação do sistema;
- Possibilidade de aplicação de vinhaça no período noturno, com condições operacionais mais facilitadas do que no sistema montagem direta;
- Menor perda de área com canais de vinhaça, devido ao maior espaçamento entre os mesmos;
- Rendimento operacional maior, tendo em vista o maior tempo efetivo de aplicação de vinhaça;
- Menor quantidade de mudanças e transporte da máquina, assim como do conjunto moto-bomba;
- Necessidade de menor quantidade de tubulação de alumínio e acessórios;
- Possibilidade de aplicação de vinhaça com pressão de aspersão mais equilibrada, uma vez que o tubo de polietileno pode operar em nível, acompanhando as curvas ou linhas de plantio;
- Fossui razoável flexibilidade de trabalho, o que facilita a operação nas áreas de formato irregular.

Por outro lado, os autores apontaram as seguintes limitações:

- Requer maior pressão na entrada da máquina, exigindo um conjunto moto-bomba de maior potência;
- O sistema apresenta um consumo horário de óleo diesel maior que o montagem direta;
- Necessidade de transporte da máquina e do conjunto moto-bomba, por ocasião das mudanças de posições;
- É um equipamento mais pesado que o montagem direta e portanto, apresenta maior dificuldade de transporte quando da mudança de faixa de fertirrigação, principalmente em condições de solo muito úmido.

Os autores estabeleceram também várias considerações técnicas sobre o sistema auto-propelido com carretel enrolador, ou sejam:

- A qualidade da irrigação está diretamente ligada com a velocidade do aspersor, que é governada por:
 - . pressão de entrada na máquina;
 - . velocidade de rotação da turbina;
 - . grau de pegajosidade do solo;
 - . regulador de velocidade de rotação do tambor;
- A máquina requer uma pressão mínima de 110 mca, para um adequado funcionamento. Portanto, requer 30 a 40 mca adicionais de pressão, comparada com o sistema montagem direta;

- O aspersor está localizado numa posição muito alta (2 m) do carrinho que lhe dá sustentação. Tal fato origina uma curvatura de jato muito elevada, favorecendo a ação do vento na deriva das gotículas, com prejuízo na qualidade da fertirrigação;

- Em qualquer condição de trabalho dentro das áreas de vinhaça, a máquina necessita de um conjunto moto-bomba para seu próprio suprimento de vazão e pressão;

- Durante o desenvolvimento dos testes operacionais observou-se que o sistema requer dois operadores, sendo um para o conjunto moto-bomba e o outro para a máquina. Portanto, menor mão-de-obra que o montagem direta. Por outro lado, a relação trator x máquina, será a mesma do sistema montagem direta, ou seja, um tratorista para cada três máquinas;

- Ao que tudo indica, o grande problema do equipamento está relacionado com a durabilidade do tubo de polietileno de média densidade. Ao ser tracionado, o tubo é submetido a flexão, tração, pressão interna, fricção, exposição aos raios solares e às condições climáticas de frio e calor. Em alguns casos, vários desses efeitos interagem simultaneamente, dificultando uma afirmação concreta sobre a vida útil do tubo. Para operação com vinhaça estima-se uma vida útil máxima de 3 anos.

c) Custos

LEME et alii (1987) também determinaram os custos de dois auto-propelidos com carreteis enroladores existentes no mercado nacional, comparando-os com os sistemas de montagem direta otimizado, bilateral e trevo. Os resultados constam na tabela 40.

Os autores, com base nos resultados obtidos, verificaram que os equipamentos programados para operar durante 2 turnos, levaram vantagem sobre os demais. No entanto, sob o ponto de vista prático, é reconhecida a dificuldade de se operar durante o período noturno, principalmente os sistemas de aplicação de vinhaça que requerem muita mão-de-obra para constantes mudanças de tubulação e do próprio conjunto moto-bomba, que no caso são representados pelos sistemas com montagem direta. Essa dificuldade tem reduzido e até mesmo inviabilizado o uso do equipamento para a aplicação de vinhaça nesse período.

Tabela 48 - Custos* de aplicação de vinhaca numa área de 6.400 ha, com os sistemas auto-propelido e montagem direta de aspersão, segundo LEME et alii (1987)

Parâmetros	Auto-propelido (2 turnos)		H.D. Otimizeado		H.D. Bilateral		H.D. Trevo	
	Turboasa	Chuvaneática	1 Turno	2 Turnos	1 Turno	2 Turnos	1 Turno	2 Turnos
Econômicos								
125/55/250		125 x 400						
Invest. inicial	17.490.453,00	24.033.858,00	18.165.475,00	9.567.577,00	28.135.270,00	14.136.522,00	17.417.683,00	9.158.649,00
Invest. inicial/ha	2.732,88	3.755,29	2.828,98	1.494,93	4.396.13,00	2.229,83	2.721,51	1.431,83
Depreciação	2.674.774,00	3.810.685,00	2.810.495,00	1.466.849,00	4.771.386,00	2.389.826,00	2.399.690,00	1.262.481,00
Eventuais	437.261,00	600.946,00	452.637,00	239.189,00	703.362,00	353.413,00	435.442,00	228.966,00
Mão-de-obra**	2.784.216,00	3.042.792,00	4.364.248,00	4.612.824,00	4.612.824,00	4.612.824,00	4.841.400,00	5.069.976,00
Mão-de-obra***	1.511.217,00	1.510.417,00	1.038.083,00	1.511.217,00	1.038.083,00	1.511.217,00	1.038.083,00	1.511.217,00
Combustível	4.528.017,00	5.869.094,00	2.791.620,00	2.934.360,00	3.613.896,00	3.613.896,00	3.796.416,00	3.978.936,00
Lubrificantes	156.134,00	182.842,00	186.950,00	197.222,00	177.500,00	177.500,00	186.745,00	195.990,00
Manutenção	1.458.959,00	1.871.594,00	2.356.239,00	1.243.848,00	3.416.440,00	1.709.593,00	2.332.892,00	1.224.787,00
Juros	1.749.845,00	2.403.386,00	1.810.548,00	956.759,00	2.813.527,00	1.413.652,00	1.741.769,00	915.865,00
Custo anual	15.299.653,00	19.261.566,00	15.830.820,00	13.182.267,00	21.147.038,00	15.781.926,00	16.772.437,00	14.388.218,00
Custo anual/ha	2.390,56	3.009,61	2.473,56	2.059,75,00	3.304,22	2.465,92	2.628,69	2.248,15
Dose (g ² /ha)	450	420	500	510	520	520	520	520

* Valores em UTM, referentes a Agosto/87

** Mão-de-obra para operação de equipamentos

*** Mão-de-obra com os sistemas

Os autores, tendo em vista que a nova alternativa de aplicação de vinhaça através do sistema auto-propelido com carretel enrolador, possibilita pela sua menor exigência de mão-de-obra e melhor condição de automatização, a operação noturna com certa facilidade, realizaram outra comparação. Assim, avaliou-se a performance econômica dos sistemas operando durante o dia, ou seja, comparando as montagens diretas de 1 turno, contra os auto-propelidos com autonomia para operar durante 2 turnos. Nesse caso, o equipamento auto-propelido Turbomaq, juntamente com a montagem direta otimizada 1 turno, tiveram nítida vantagem sobre os demais, tanto no aspecto de investimento inicial como em custo anual.

LEME et alii (1987) concluíram ainda que se a usina ou destilaria tiver experiência e facilidade com o manejo e operação da fertirrigação por aspersão nos períodos diurno e noturno, recomenda-se o emprego dos sistemas tipo montagem direta otimizado 2 turnos, trevo 2 turnos ou ainda o auto-propelido Turbomaq 125/GS/250 2 turnos. Por outro lado, se para a unidade agrícola for impraticável a aplicação de vinhaça com montagem direta no período noturno, recomenda-se o uso dos sistemas tipo montagem direta trevo 1 turno e montagem direta otimizado 1 turno. Tendo em vista as vantagens apresentadas pelo Turbomaq 125/GS/250, também recomenda-se o estudo de tal alternativa.

3. METODOLOGIA

3.1. Ordenação das características técnicas

Para ordenar as características técnicas dos sistemas de fertirrigação, inicialmente excluiu-se os sistemas que não apresentam potencial para o aproveitamento racional da vinhaça, isto é, aqueles que não proporcionam condições para substituição de adubação mineral com doses tecnicamente compatíveis e/ou não oferecem a devida segurança de acordo com as normas de controle de poluição ambiental.

Em segundo lugar, os sistemas foram agrupados em grandes grupos conforme a própria composição da revisão de literatura, por exemplo, o sistema de veículos-tanques convencionais apesar de apresentar diversas variações (com bomba, por gravidade, jato dirigido, chuveiro, etc.), foi considerado no global, uma vez que suas características principais não se alteram, mesmo com as variações existentes.

Com os sistemas agrupados e classificados segundo suas funções de aplicação, transporte e transporte/

aplicação conjuntos, procedeu-se a ordenação técnica pretendida, contemplando suas características principais, ou seja, aquelas que realmente podem contribuir decisivamente na comparação dos mesmos. Tais características e suas respectivas definições são as seguintes:

- Limitações gerais: tratam-se das limitações do sistema quanto à localização geográfica, condições topográficas e tipo de solo das áreas contempladas pela fertirrigação;

- Implantação: refere-se à dificuldade na implantação do sistema, ou seja, ao tempo mínimo necessário para o sistema entrar em operação a partir da elaboração do projeto executivo do mesmo. Essa dificuldade está intimamente relacionada com a quantidade e complexidade das obras a construir e das máquinas/equipamentos a adquirir/installar;

- Operação: trata-se da facilidade e flexibilidade em operar o sistema, incluindo os aspectos de manutenção preventiva e corretiva, além da quantidade e qualidade da mão-de-obra necessária para o perfeito funcionamento do sistema projetado;

- Controle: refere-se ao gerenciamento do sistema, isto é, à facilidade de controlar as doses aplicadas, em função da composição da vinhaça e das

análises químicas dos solos, de modo a garantir a perfeita substituição da adubação mineral equivalente;

- Segurança: trata-se do grau de proteção contra riscos de acidentes de poluição ambiental, considerando possíveis situações adversas à perfeita operação do sistema, como por exemplo, dias chuvosos, disponibilidade de áreas para fertirrigação num determinado momento da safra e complexidade dos equipamentos utilizados. Nessas circunstâncias, dependendo do sistema adotado, exige-se maior ou menor rigor no dimensionamento de órgãos de segurança, como depósitos de armazenamento, valas de contenção e equipamentos de reserva;

- Compactação: refere-se ao agravamento dos problemas de compactação de solos, através da intensificação do tráfego de máquinas e implementos dentro dos talhões de cana, tendo como consequência redução na produtividade e longevidade dos canaviais;

- Uniformidade: trata-se da qualidade da fertirrigação, ou seja, do grau de uniformidade da distribuição da vinhaça na área fertirrigada;

Como os sistemas de fertirrigação são comparáveis dois a dois, de acordo com a classificação citada anteriormente, atribuiu-se notas 1 ou 2 às sete características técnicas definidas, isto é, quando um sistema supera o outro numa determinada característica, este recebeu a nota 2 (melhor), enquanto que o sistema

superado recebeu a nota 1 (pior). Com a somatória destas notas definiu-se uma escala ordenada dos sistemas individuais de fertirrigação sob o ponto de vista técnico. Tal escala, embora um tanto quanto subjetiva, é suficientemente quantitativa e compreensiva para efeitos comparativos dos sistemas analisados de maneira individual, ou seja, sem combinações.

3.2. Conversão dos custos

Os dados levantados na literatura especializada, referentes aos custos dos sistemas de fertirrigação, foram convertidos para a moeda dólar oficial (US\$). Segundo RODRIGUES^a (1989), apesar de ter ocorrido na última década flutuação do valor do dólar oficial em relação ao cruzeiro, cruzado e cruzado novo, esta moeda pode ser considerada o melhor índice para conversão de custos de máquinas, equipamentos e insumos agrícolas, levantados ou calculados nos últimos dez anos.

Além disso, visando eliminar a interferência do fator dose, que depende da composição da vinhaça e do tipo de solo da área a ser fertirrigada, a unidade econômica utilizada para os sistemas de aplicação foi o custo por unidade de volume aplicado (m^3), ou seja, US\$/ m^3 .

^aRODRIGUES, L. (Centro de Tecnologia Copersucar, Piracicaba, S.P.). Comunicação pessoal, 1989.

Para os sistemas de transporte e transporte/aplicação conjuntos, que seus custos estão diretamente relacionados com a variável distância (km), a unidade econômica empregada foi US\$/m³.km. Torna-se importante ressaltar que a unidade km considerada refere-se à distância até as áreas de fertirrigação, isto é, quando o transporte é por via rodoviária os resultados contemplam os custos de ida e volta a essas áreas.

Para conversão dos custos dos sistemas citados na revisão de literatura em DRTN e OTN, utilizou-se os índices oficiais mensais rotineiramente divulgados nos jornais e revistas do país, conforme constam na tabela 41. Utilizou-se também a tabela 42, extraída da publicação mensal SUMA ECONÔMICA (1989), a qual contém os fatores de conversão de cruzeiro, cruzado e cruzado novo para dólar oficial, referentes aos valores médios mensais ocorridos nos últimos anos.

Após a conversão dos custos determinados por vários autores de trabalhos publicados na última década, obteve-se os custos convertidos de cada sistema individualmente, cujas médias definiram a escala econômica dos sistemas de fertirrigação estudados.

Tabela 41 - Valores mensais das Obrigações do Tesouro Nacional (ORTN e OTN)

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1973	239,32	243,35	243,99	253,41	262,27	270,83	279,04	287,38	295,57	303,29	310,49	318,44
1974	326,82	334,20	341,97	350,51	363,64	377,54	390,10	400,71	412,24	423,30	440,47	463,71
1975	457,83	500,33	527,14	545,64	566,86	586,13	604,89	624,25	644,23	663,56	684,79	706,70
1976	733,50	775,43	825,83	877,86	930,53	986,36	1.045,54	1.108,27	1.172,55	1.239,39	1.310,04	1.382,09
1977	1.453,96	1.526,66	1.602,99	1.683,14	1.775,71	1.873,37	1.976,41	2.094,99	2.241,64	2.396,55	2.556,45	2.733,27
1978	2.910,93	3.025,59	3.222,32	3.503,63	3.911,61	4.324,54	4.754,05	5.203,91	5.685,64	6.197,49	6.749,55	7.342,99
1979	7.545,98	8.225,49	9.344,61	10.237,07	11.145,99	12.137,98	13.254,67	14.419,99	16.109,61	17.867,42	20.113,71	22.110,46
1980	24.432,06	27.510,50	30.316,57	34.166,77	38.268,46	42.931,56	48.901,91	49.396,88	53.437,40	58.200,20	63.547,22	70.612,67
1981	80.947,66	93.039,40	106,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRO-LATA	-	-	77,39	140,16	101,57	102,86	104,00	125,33	107,65	100,70	113,30	119,49
1982	123,97	151,82	181,61	207,97	251,56	310,53	366,49	377,67	401,69	424,51	463,48	522,99
1983	576,94	695,50	820,42	951,77	1.135,27	1.337,12	1.596,26	1.922,48	2.392,06	2.966,39	3.774,73	4.7993,89

Tabela 42 - Fatores de conversão de cruzeiro, cruzado e cruzado novo, para dólar oficial (médias mensais), segundo SIKA ECONÔMICA (1988)

Ano	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1978	16,198	16,355	16,672	16,998	17,431	17,799	18,116	18,586	19,023	19,338	19,790	20,547
1979	21,215	21,954	22,652	23,416	24,546	25,655	26,100	26,943	28,748	30,149	31,476	33,521
1980	42,523	44,828	46,512	48,173	49,759	51,334	52,838	54,645	56,640	58,732	61,321	64,938
1981	57,364	70,416	74,888	79,864	83,921	88,757	93,774	99,868	105,147	111,345	117,748	125,042
1982	139,896	137,863	145,989	151,946	159,831	168,141	177,549	189,113	202,062	215,239	230,033	244,798
1983	222,958	311,908	481,451	434,238	475,129	516,819	571,176	644,736	699,800	782,774	868,433	945,387
1984	1,029,419	1,139,040	1,253,129	1,387,167	1,507,129	1,644,400	1,814,387	1,992,484	2,201,900	2,452,553	2,728,400	3,010,577
1985	3,351,419	3,756,925	4,162,129	4,709,567	5,212,484	5,728,667	6,222,581	6,736,452	7,462,167	8,181,935	8,913,333	9,959,890
1986	11,543,682	1,256,108	13,940	13,840	13,840	13,840	13,840	13,840	13,840	13,870	14,110	14,560
1987	15,650	19,020	20,820	23,670	30,450	37,360	44,890	47,180	49,820	53,640	59,160	67,750
1988	77,380	91,140	187,450	124,810	150,020	177,880	216,010	267,970	323,400	411,750	525,770	669,110

3.3. Critérios básicos para otimização dos sistemas de fertirrigação

Com os resultados obtidos através do emprego das metodologias descritas nos itens 3.1 e 3.2, ou seja, características técnicas ordenadas e aspectos econômicos equiparados, proceder-se-á as possíveis combinações dos sistemas estudados, de modo a compor as alternativas para projeto de fertirrigação e quantificar técnica e economicamente essas alternativas. Posteriormente, através de comparações dos resultados técnico-econômicos escalonados, definir critérios básicos necessários ao direcionamento de projetistas e usuários, quanto à implantação de sistemas otimizados de fertirrigação da lavoura canavieira com vinhaça.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Ordenação das características técnicas

De acordo com o item 2.2 da revisão de literatura, os sistemas de "Área de Sacrifício" (item 2.2.1) e "Sulcos de Infiltração" (item 2.2.2) apresentam sérias limitações quanto ao aproveitamento racional da vinhaça, ou seja, quanto à substituição criteriosa da adubação mineral recomendada e ao controle de poluição ambiental. Assim, tais sistemas estão excluídos do objetivo do presente trabalho, ficando a ordenação das características técnicas principais restrita a seis sistemas considerados a nível de grande grupo: veículos-tanques convencionais, montagem direta de aspersão, transporte dutoviário, bi-carga, caminhão-aspersão e auto-propelido com carretel enrolador.

Esses sistemas podem ainda ser classificados segundo suas funções específicas de aplicação, transporte ou transporte e aplicação de vinhaça. Assim, pela própria concepção dos seis sistemas considerados, estes obedecem a seguinte classificação:

- Sistemas de aplicação: montagem direta de aspersão (MD) e auto-propelido com carretel enrolador (AP);
- Sistemas de transporte: transporte dutoviário (TD) e bi-carga (BC);
- Sistemas de transporte e aplicação: veículos-tanques convencionais (VT) e caminhão-aspersão (CA).

4.1.1. Limitações gerais

O sistema MD apresenta menores limitações quanto às condições topográficas das áreas fertirrigadas quando comparado ao sistema AP, devido ao "lay-out" do sistema que é mais flexível quanto à disposição dos equipamentos no campo, conforme apresentado na revisão de literatura.

Por outro lado, a comparação entre os sistemas TD e BC é bastante difícil, pois podem apresentar sérias limitações principalmente quanto a aspectos topográficos (sistema TD) e geográficos (sistema BC). O sistema TD por poder contemplar canais dispostos na lavoura que aumentam a dificuldade do seu emprego e o sistema BC pela localização estratégica dos tanques pulmões em relação as áreas de fertirrigação. Outra importante limitação do sistema BC consiste na relação dos transportes de cana e vinhaça, a qual resulta que apenas parte das áreas colhidas

podem ser contempladas com vinhaça. Assim, pode-se afirmar que o sistema TD prevalece nessa comparação.

Por último, o sistema VT supera inquestionavelmente o sistema CA, pois não trabalha com carretas que dificultam manobras principalmente em terrenos acidentados.

Os resultados do comportamento dos sistemas com relação à característica "limitações gerais", constam na tabela 43 a seguir.

Tabela 43 - Comportamento dos sistemas quanto à característica "limitações gerais"

Classificação				
do	Sistema tipo	Abreviatura	Quantificação	Observação
sistema				
Aplicação	Montagem direta de aspersão	MD	2	Melhor
	Auto-propelido car. enrol.	AP	1	Pior
Transporte	Transporte dutoviário	TD	2	Melhor
	Bi-carga	BC	1	Pior
Transporte e	Veículo-tanque convencional	VT	2	Melhor
Aplicação	Caminhão-aspersão	CA	1	Pior

4.1.2. Implantação

No sistema MD os equipamentos são menos complexos que no AP e isto se justifica pelo menor grau de mecanização do sistema MD em comparação ao AP. Quanto a rede de canais, os dois sistemas apresentam praticamente o mesmo grau de exigência. Portanto, o sistema MD supera o AP nessa característica.

Com relação aos sistemas de transporte TD e BC, pode-se afirmar que se trata de uma difícil comparação, mas prevalece o curto tempo necessário para implantação do sistema BC.

Nos sistemas de transporte e aplicação a vantagem é nítida para o sistema VT, que trabalha sem carreta e desvinculado de conjunto de aspersão, como ocorre no sistema CA. Portanto, os equipamentos utilizados no sistema VT apresentam menor complexidade, quando comparados aos do sistema CA.

Os resultados do comportamento dos sistemas com relação à característica "implantação", constam na tabela 44 a seguir.

Tabela 44 - Comportamento dos sistemas quanto à característica "implantação"

Classificação				
do	Sistema tipo	Abreviatura	Quantificação	Observação
sistema				
Aplicação	Montagem direta de aspersão	MD	2	Melhor
	Auto-propelido car. enrol.	AP	1	Pior
Transporte	Transporte dutoviário	TD	1	Pior
	Bi-carga	BC	2	Melhor
Transporte e	Veículo-tanque convencional	VT	2	Melhor
Aplicação	Caminhão-aspersão	CA	1	Pior

4.1.3. Operação

Nos sistemas de aplicação, a comparação é difícil em razão do tipo AP ser ainda pouco difundido em escala comercial junto às destilarias do país e portanto, não existe atualmente informações seguras sobre a praticidade operacional do mesmo. No entanto, é comprovada a menor exigência do sistema AP, em quantidade de mão-de-obra, o que atualmente é suficiente para apontar esse

sistema vantajoso quando comparado ao sistema MD, apesar do seu maior consumo de energia.

Nos sistemas de transporte prevalece a facilidade operacional do tipo TD, apesar deste constituir-se num sistema estático com o traçado de adutoras e canais pré-estabelecidos por ocasião da elaboração do projeto executivo. Além disso, deve-se considerar as limitações do sistema BC com relação ao volume de vinhaça transportada, que é insuficiente para substituir a adubação mineral em toda área de cana colhida. Portanto, o sistema BC exige um rigoroso planejamento no projeto executivo e principalmente na operação do sistema projetado, conjugando o transporte de vinhaça com a colheita da cana a ser processada no complexo industrial.

Nos sistemas de transporte e aplicação, o tipo VT apresenta nítidas vantagens sobre o tipo CA, porque além de não utilizar carreta, também não está conjugado com a distribuição por aspersão na área de fertirrigação.

Os resultados do comportamento dos sistemas com relação à característica "operação", constam na tabela 45 a seguir.

Tabela 45 - Comportamento dos sistemas quanto à característica "operação"

Classificação				
do	Sistema tipo	Abreviatura	Quantificação	Observação
sistema				

Aplicação	Montagem direta de aspersão	MD	1	Pior
	Auto-propelido car. enrol.	AP	2	Melhor

Transporte	Transporte dutoviário	TD	2	Melhor
	Bi-carga	BC	1	Pior

Transporte e	Veículo-tanque convencional	VT	2	Melhor
Aplicação	Caminhão-aspersão	CA	1	Pior

4.1.4. Controle

Com relação aos sistemas de aplicação, existe para o tipo MD um plano para controle e manejo desenvolvido por MATIOLI et alii (1989). Por outro lado, para o tipo AP ainda não existem estudos sobre seu controle mas, se futuramente for desenvolvido um plano, pode-se afirmar que ele será mais complexo ou menos versátil, a exemplo dos equipamentos envolvidos no sistema AP.

Portanto, o sistema MD supera o AP com relação a essa característica.

Nos sistemas de transporte, o tipo TD pela sua própria concepção estática, apresenta melhores condições de controle, quando comparado ao tipo BC.

Já nos sistemas de transporte e aplicação, o tipo VT é incontestavelmente de controle mais simples que o tipo CA, porque não depende de conjuntos de aspersão no campo, isto é, o sistema CA exige um controle duplo, tanto para os romeus-julietas como também para a aplicação por aspersão que o acompanha.

Os resultados do comportamento dos sistemas com relação à característica "controle", constam na tabela 46 a seguir.

Tabela 46 - Comportamento dos sistemas quanto à característica "controle"

Classificação				
do	Sistema tipo	Abreviatura	Quantificação	Observação
sistema				
Aplicação	Montagem direta de aspersão	MD	2	Melhor
	Auto-propelido car. enrol.	AP	1	Pior
Transporte	Transporte dutoviário	TD	2	Melhor
	Bi-carga	BC	1	Pior
Transporte e Aplicação	Veículo-tanque convencional	VT	2	Melhor
	Caminhão-aspersão	CA	1	Pior

4.1.5. Segurança

Quanto aos sistemas de aplicação, essa característica tem comportamento semelhante para os dois tipos MD e AP. No entanto, pela menor complexidade e maior conhecimento (mais prática) dos equipamentos envolvidos, pode-se afirmar que o sistema MD apresenta-se vantajoso quando comparado ao AP.

Com relação aos sistemas de transporte, o tipo TD se sobressai, quando consideram-se as limitações do tipo BC em operar em dias chuvosos. No entanto, torna-se importante salientar que o sucesso do sistema TD depende da competência do projetista e da implantação criteriosa do projeto, segundo as especificações e recomendações técnicas do mesmo.

Nos sistemas de transporte e aplicação a comparação é difícil, pois ambos (VT e CA) utilizam-se de caminhões. No entanto, como no sistema CA os caminhões não entram nos talhões de cana (apenas transitam em estradas e carregadores), este apresenta-se com uma boa vantagem sobre o sistema VT, uma vez que os tempos de paradas por quebras dos caminhões são menores.

Os resultados do comportamento dos sistemas com relação à característica "segurança", constam na tabela 47 a seguir.

Tabela 47 - Comportamento dos sistemas quanto à característica "segurança"

Classificação				
do	Sistema tipo	Abreviatura	Quantificação	Observação
sistema				

Aplicação	Montagem direta de aspersão	MD	2	Melhor
	Auto-propelido car. enrol.	AP	1	Pior

Transporte	Transporte dutoviário	TD	2	Melhor
	Bi-carga	BC	1	Pior

Transporte e	Veículo-tanque convencional	VT	1	Pior
Aplicação	Caminhão-aspersão	CA	2	Melhor

4.1.6. Compactação

Essa característica não faz parte do contexto dos sistemas com função de transporte.

Nos sistemas de aplicação, o tipo MD supera o tipo AP, uma vez que no sistema MD não há tráfego de máquinas e implementos dentro dos talhões de cana.

Com relação aos sistemas de transporte e aplicação, o tipo CA leva nítida vantagem sobre o tipo VT, pelos mesmos motivos citados anteriormente a respeito dos sistemas de aplicação.

Os resultados do comportamento dos sistemas com relação à característica "compactação", constam na tabela 48 a seguir.

Tabela 48 - Comportamento dos sistemas quanto à característica "compactação"

Classificação				
do	Sistema tipo	Abreviatura	Quantificação	Observação
sistema				
Aplicação	Montagem direta de aspersão	MD	2	Melhor
	Auto-propelido car. enrol.	AP	1	Pior
Transporte	Transporte dutoviário	TD	-	-
	Bi-carga	BC	-	-
Transporte e	Veículo-tanque convencional	VT	1	Pior
Aplicação	Caminhão-aspersão	CA	2	Melhor

4.1.7. Uniformidade

Esta característica também não é contemplada nos sistemas de transporte.

Nos sistemas de aplicação a comparação é difícil porque os dois tipos MD e AP são por aspersão e normalmente, empregam o mesmo tipo de aspersor canhão. No entanto, como no sistema AP o aspersor irriga faixas contínuas e não pontos isolados como no sistema MD, pode-se afirmar que o sistema AP apresenta via de regra melhor uniformidade de distribuição da vinhaça.

Nos sistemas de transporte e aplicação a vantagem é evidente para o tipo CA, uma vez que ele contempla aspersão com canhão hidráulico, o qual apresenta uniformidade superior até dos caminhões-tanques com descarga por bomba.

Os resultados do comportamento dos sistemas com relação à característica "uniformidade", constam na tabela 49 a seguir.

Tabela 49 - Comportamento dos sistemas quanto à característica "uniformidade"

Classificação				
do	Sistema tipo	Abreviatura	Quantificação	Observação
sistema				

Aplicação	Montagem direta de aspersão	MD	1	Pior
	Auto-propelido car. enrol.	AP	2	Melhor

Transporte	Transporte dutoviário	TD	-	-
	Bi-carga	BC	-	-

Transporte e	Veículo-tanque convencional	VT	1	Pior
Aplicação	Caminhão aspersão	CA	2	Melhor

4.1.8. Resumo dos resultados obtidos

A tabela 50 resume os resultados obtidos quanto a ordenação das características técnicas principais dos sistemas estudados. Os resultados quantitativos de tais características, permitem a comparação técnica direta dos sistemas que apresentam a mesma classificação (finalidade).

Tabela 50 - Quantificação das características técnicas dos sistemas de fertirrigação

Característica	Classificação dos Sistemas					
	Aplicação		Transporte		Transporte e Aplicação	
	MD	AP	TD	BC	VT	CA
Limitações gerais	2	1	2	1	2	1
Implantação	2	1	1	2	2	1
Operação	1	2	2	1	2	1
Controle	2	1	2	1	2	1
Segurança	2	1	2	1	1	2
Compactação	2	1	-	-	1	2
Uniformidade	1	2	-	-	1	2
Total	12	9	9	6	11	10

MD = Sistema Montagem Direta de Aspersão

BC = Sistema Bi-Carga

AP = Sistema Auto-Propelido c/Carretel Enrolador

VT = Sistema Veículo-Tanque Convencional

TD = Sistema Transporte Dutoviário

CA = Sistema Caminhão-Aspersão

4.2. Conversão dos custos

4.2.1. Sistema veículos-tanques convencionais

Os dados da tabela 11, levantados por COPERSUCAR (1979a), foram convertidos de acordo com os critérios descritos na metodologia do trabalho e os resultados obtidos constam na tabela 51 a seguir.

Tabela 51 - Custos do sistema de veículos-tanques convencionais de 15 m³, segundo COPERSUCAR (1979a)

Sistema tipo	Custo médio levantado*	Custo médio convertido*
	(Cr\$/m ³ .km)	(US\$/m ³ .km) x 100
Gravidade tipo 1	1,05	5,11
Gravidade tipo 2	1,12	5,45
Grupo moto-bomba independente	1,13	5,50
Bomba acionada pela tomada-de-força	1,09	5,30
Média	1,10	5,34

* Valores referentes a Dezembro/78

A partir dos dados das tabelas 13 e 14, levantados por ORLANDO F^o et alii (1980), pode-se compor o custo médio do caminhão-tanque de 15 m³. Convertendo esses dados conforme critério estabelecido, obtém-se os resultados apresentados na tabela 52.

Tabela 52 - Custos do sistemas de veículos-tanques convencionais de 15 m³, segundo ORLANDO F^o et alii (1980)

Dose aplicada (m ³ /ha)	Processo de descarga	Custo médio levantando* (Cr\$/m ³ .km)	Custo médio convertido* (US\$/m ³ .km) x 100
75	Gravidade	2,40	4,45
	Bomba	2,59	4,81
150	Gravidade	2,33	4,32
	Bomba	2,51	4,66
Média	-	2,46	4,56

* Valores referentes a Julho/80

Convertendo os dados de MENEZES et alii (1984) que constam nas tabelas 31 e 32, referentes a custos do sistema veículos-tanques convencionais de 15 m³, obteve-se os resultados apresentados na tabela 53.

Tabela 53 - Custos do sistema de veículos-tanques convencionais de 15 m³, segundo MENEZES et alii (1984)

Caminhão tipo	Custo médio levantado*	Custo médio convertido*
	(Cr\$/m ³ .km)	(US\$/m ³ .km) x 100
MB - 2213 diesel	35,22	5,03
E - 21 álcool	33,24	4,75
Média	34,23	4,89

* Valores referentes a Setembro/83

Convertendo os dados de SANTANA (1985) que constam na tabela 17, obteve-se os resultados apresentados na tabela 54

Tabela 54 - Custos do sistema de veículos-tanques convencionais de 15 m³, segundo SANTANA (1985)

Distância	Custo médio levantado*	Custo médio convertido*
(km)	(ORTN/m ³ .km) × 100	(US\$/m ³ .km) × 100
2	1,92	14,07
4	1,92	14,07
6	1,92	14,07
8	1,92	14,07
10	1,92	14,07
12	1,92	14,07
14	1,92	14,07
Média	1,92	14,07

* Valores referentes a Maio/85

Os valores da tabela 54 são constantes porque o autor desconsiderou a variação do consumo de combustível com a distância da área de fertirrigação, adotando no seu trabalho um consumo médio. Na verdade essa

variação existe e interfere no custo final do sistema, conforme demonstrado por MATIOLI et alii (1988a).

Convertendo o dado levantado por GERALDI F^o et alii (1988), extraído da tabela 35, obteve-se para o sistema de veículos-tanques convencionais de 15 m³ o resultado de 16,48, correspondente à unidade ((US\$/m³.km) x 100).

Convertendo os dados de MATIOLI et alii (1988a) que constam na tabela 18, obteve-se os resultados apresentados na tabela 55.

Tabela 55 - Custos do sistema de veículos-tanques convencionais de 15 m³, segundo MATIOLI et alii (1988a).

Distância (km)	Custo médio levantado* (ORTN/m ³ .km) × 100	Custo médio convertido* (US\$/m ³ .km) × 100
1,5	1,16	9,35
4,5	0,84	6,77
7,5	0,76	6,13
10,5	0,73	5,89
13,5	0,70	5,64
16,5	0,69	5,56
19,5	0,68	5,48
22,5	0,69	5,56
25,5	0,67	5,40
28,5	0,68	5,48
31,5	0,69	5,56
Média	0,75	6,07

* Valores referentes a Setembro/87

Convertendo o dado apresentado por MATIOLI et alii (1988b), extraído da tabela 34, obteve-se para o sistema de veículos-tanques convencionais de 15 m³ o resultado de 5,91, correspondente à unidade ((US\$/m³.km) x 100).

Por outro lado, convertendo os dados levantados por MATIOLI e COURY² (1988), extraídos da tabela 38, obteve-se os resultados apresentados na tabela 56.

Tabela 56 - Custos do sistema de veículos-tanques convencionais de 16 m³, segundo NATIOLI e COURY^a
(1988)

Distância (km)	Custo médio levantado* (ORTN/m ³ .km) x 100	Custo médio convertido* (US\$/m ³ .km) x 100
3	1,52	11,24
6	1,30	9,62
9	1,25	9,25
12	1,23	9,10
15	1,21	8,95
18	1,21	8,95
21	1,18	8,73
Média	1,27	9,41

* Valores referentes a Setembro/88

O resumo dos resultados obtidos constam na tabela 57 a seguir.

Tabela 57 - Resumo dos custos médios do sistema de veículos-tanques convencionais, segundo vários autores

Autores	Custo médio convertido (US\$/m ² .km) x 100
COPERSUCAR (1979a)	5,34
ORLANDO F ^o et alii (1979)	4,56
MENEZES et alii (1984)	4,89
SANTANA (1985)	14,07
GERALDI F ^o et alii (1988)	16,48
MATIOLI et alii (1988a)	6,07
MATIOLI et alii (1988b)	5,91
MATIOLI e COURY ^o (1988)	9,41
Média	8,34

4.2.2. Sistema montagem direta de aspersão

Convertendo os dados de LEME et alii (1979) que constam nas tabelas 23 e 24, referentes a custos do sistema montagem direta de aspersão sem extensões e com

vida útil estimada em 3 anos, obteve-se os resultados apresentados na tabela 58.

Tabela 58 - Custos do sistema montagem direta de aspersão sem extensões, segundo LEME et alii (1979).

Dose (m ³ /ha)	Custo médio levantado* (Cr\$/m ³)	Custo médio convertido* (US\$/m ³) x 100
200	2,14	8,20
400	2,14	8,20
600	2,14	8,20
Média	2,14	8,20

* Valores referentes a Julho/79

A partir dos dados de SANTANA (1985) que constam na tabela 25, pode-se converter os componentes de custos referentes a aplicação de vinhaça com montagens diretas de aspersão dotadas de extensões. Os resultados constam na tabela 59 a seguir.

Tabela 59 - Custos do sistema montagem direta de aspersão com extensões, segundo SANTANA (1985)

Componentes do sistema	Custo médio levantado* (ORTN/m ²) x 100	Custo médio convertido* (US\$/m ²) x 100
Montagem direta	8,25	6,05
Extensão	0,66	0,48
Comportas	0,02	0,01
Tubulação flexível	1,06	0,78
Trator de reboque	0,82	0,60
Mão-de-obra	1,49	1,09
Canais	0,35	0,26
Reservatórios	1,24	0,91
Total	13,89	10,18

* Valores referentes a Maio/85

A partir dos dados de LEME et alii (1987) que constam na tabela 40, pode-se extrair os custos do sistema montagem direta com extensões. Convertendo esses custos obteve-se os resultados apresentados na tabela 60.

Tabela 60 - Custos do sistema montagem direta de aspersão com extensões, segundo LEME et alii (1987)

Sistema Tipo	Nº turnos	Custo médio levantado (*) (Cr\$/m²)	Custo médio convertido (*) (US\$/m²) x 100
M.D. otimizado	1	4,95	10,51
	2	4,12	8,75
M.D. bilateral	1	6,35	13,48
	2	4,74	10,06
M.D. trevo	1	5,04	10,70
	2	4,32	9,17
Média	-	4,92	10,45

* Valores referentes a Agosto/87

MATIOLI et alii (1988b) apresentou também o custo de 0,72 ((OTN/m³)x100) para o sistema de montagem direta, conforme consta na tabela 34. Esse valor é referente a Novembro/87 e quando convertido para a unidade ((US\$/m³) x 100), resulta o valor de 5,64.

O resumo dos resultados obtidos consta na tabela 61 a seguir.

Tabela 61 - Resumo dos custos médios do sistema montagem direta de aspersão, segundo vários autores

Autores	Custo médio convertido (US\$/m ³) x 100
LEME et alii (1979)	8,20
SANTANA (1985)	10,18
LEME et alii (1987)	10,45
MATIOLI et alii (1988b)	5,64
Média	8,62

O sistema montagem direta de aspersão utiliza-se de canais construídos em leito natural que trabalham intermitentemente, ou seja, uma ou duas vezes por

safra. De acordo com MATIOLI & GUAZZELLI¹ (1988), citados na revisão de literatura, a vinhaça conduzida por esses canais está sujeita a perdas da ordem de 4,4% por km. Considerando que o comprimento médio dos canais que atravessam uma área sistematizada por esse sistema seja de 3,0 km, tem-se uma perda de vinhaça da ordem de 14% do volume total conduzido ou aplicado.

Portanto, em razão desse prejuízo, há necessidade de penalizar o custo médio do sistema montagem direta de aspersão em 14%, resultando o valor de 9,83 ((US\$ /m³.km)×100).

4.2.3. Sistema transporte dutoviário

Extraíndo das tabelas 31 e 32 os dados de MENEZES et alii (1984), referentes aos custos do sistema transporte dutoviário, obteve-se os resultados mostrados na tabela 62.

Tabela 62 - Custos médios do sistema transporte dutoviário, segundo MENEZES et alii (1984)

Caso estudado	Transporte (km)	Custo médio levantado* (Cr\$/m ³ .km)	Custo médio convertido* (US\$/m ³ .km) x 100
Usina Santa Adélia	13,5	24,34	3,48
Usina São Geraldo	17,3	3,66	0,52
Média	15,4	14,00	2,00

* Valores referentes a Setembro/83

A partir dos dados levantados por SANTANA (1985) que constam na tabela 33, pode-se converter os custos referentes aos componentes do sistema de transporte dutoviário. Os resultados constam na tabela 63.

Tabela 63 - Custos do sistema transporte dutoviário, segundo SANTANA (1985)

Componentes	Custo médio levantado*	Custo médio convertido*
	(ORTN/m ³ .km) x 100	(US\$/m ³ .km) x 100
Tubulação e acessórios	0,38	2,79
Bombas centrífugas	0,02	0,15
Motores elétricos	0,01	0,07
Eletificação	0,16	1,17
Energia elétrica	0,06	0,44
Total	0,63	4,62

* Valores referentes a Maio/85

MATIOLI et alii (1988b) apresentam custos de bombeamentos e canais conforme constam na tabela 34. Convertendo esses valores obteve-se os resultados mostrados na tabela 64.

Tabela 64 - Custos médios do sistema transporte dutoviário, segundo MATIOLI et alii (1988b)

Tipo	Transporte	Custo médio levantado*	Custo médio convertido*
	(km)	(Cr\$/m ³ .km)	(US\$/m ³ .km) x 100
Bombeamento	10	0,48	0,38
Canal em terra	10	0,02	0,02
Média	10	0,25	0,20

* Valores referentes a Novembro/87

O resumo dos resultados obtidos consta na tabela 65 a seguir.

Tabela 65 - Resumo dos custos médios do sistema transporte dutoviário, segundo vários autores

Autores	Custo médio convertido (US\$/m ³ .km) x 100
MENEZES et alii (1984)	2,00
SANTANA (1985)	4,62
MATIOLI et alii (1988b)	0,20
Média	2,27

Um dos componentes do sistema de transporte dutoviário é o canal em terra que praticamente trabalha em regime de uso contínuo durante a safra. MATIOLI & GUZZELLI⁴ (1988) determinaram para esse tipo de canal, perdas de vinhaça da ordem de 1,9% da vazão conduzida, por km de canal. Portanto, analogamente ao critério adotado para o sistema montagem direta de aspersão, o custo médio do sistema de transporte dutoviário também deve ser penalizado em 10%, considerando que num transporte dutoviário global contempla-se em média 5 km de canais construídos em leito natural. Assim, o custo médio desse sistema resulta 2,50 na unidade ((US\$/m³.km)x100).

4.2.4. Sistema bi-carga

De acordo com SACCOMANO et alii (1989), o sistema bi-carga apresenta custos operacionais praticamente iguais a "zero", para distâncias superiores a 13 km. Por outro lado, por menor que sejam, existem custos fixos referentes à aquisição dos tanques flexíveis e certamente, existe também alguma parcela de custos variáveis com operação e manutenção dos tanques, aumento de consumo de combustível e reparos dos caminhões.

Assim, visando quantificar o custo médio do sistema bi-carga, a fim de obter parâmetros comparativos com os demais sistemas estudados, considerou-se a seguinte composição para o custo médio desse sistema:

- Custo anual do investimento (CI);
- Custo anual com operação e manutenção dos tanques flexíveis (CM);
- Custo anual com aumento do consumo de combustível (CC);
- Custo anual com aumento de reparos no caminhão romeu-julieta (CR).

Portanto, o custo médio do sistema bi-carga (CBC) pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$CBC = CI + CM + CC + CR$$

a) Custo anual do investimento (CI)

Para calcular este custo utilizou-se a fórmula citada por HIRSCHFELD (1986):

$$CI = \left(I - \frac{VR}{(1+i)^n} \right) \cdot \left(\frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \right)$$

CI = custo anual do investimento;

I = valor do investimento inicial;

i = taxa de atratividade do capital = 15%
ao ano;

n = vida útil dos tanques flexíveis = 5
anos (estimada);

VR = valor residual dos tanques flexíveis =
0.

Os dois tanques flexíveis de 10 m³ cada, com todos os acessórios para carregamento e descarga, necessários para equipar um caminhão canavieiro tipo romeu-julieta com o sistema bi-carga, foi orçado por NCz\$ 30.000,00, valor este correspondente a Outubro/89. Com esses dados calculou-se o CI:

$$CI = 30.000,00 \cdot \left(\frac{(1 + 0,15)^5 \cdot 0,15}{(1 + 0,15)^5 - 1} \right)$$

$$CI = \text{NCz\$ } 8.949,45/\text{ano}$$

b) Custo anual com operação e manutenção dos tanques flexíveis (CM)

Esse custo foi estimado como sendo igual a 10% do investimento inicial (I). Portanto:

$$CM = 0,10 \times 30.000,00 = \text{NCz\$ } 3.000,00/\text{ano}$$

c) Custo anual com aumento de consumo de combustível (CC)

Esse custo foi estimado como sendo igual a 20% do valor inicial dos tanques flexíveis, ou seja:

$$CC = 0,20 \times 30.000,00 = \text{NCz\$ } 6.000,00/\text{ano}$$

Vale comentar que esse valor corresponde a aproximadamente 6.452 l de diesel ao preço de NCz\$ 0,93/litro (Outubro/89). Para um caminhão canavieiro tipo romeu-julieta, que de acordo com BANCHI & LOPES⁴ (1989) roda em média 40.000 km/safra (30.000 km com julieta e 10.000 km sem julieta), esse aumento de consumo de combustível equivale a 0,16 l/km e corresponde a um aumento de 27% do consumo médio normal de um caminhão romeu-julieta operando sem o sistema bi-carga, que é de 0,59 l/km segundo BANCHI & MACHADO (1988).

d) Custo anual com aumento de reparos no caminhão romeu-julieta (CR)

⁴BANCHI, A.D. & LOPES, J.R. (Centro de Tecnologia Copersucar, Piracicaba, S.P.). Comunicação pessoal, 1989.

Esse custo foi estimado como sendo igual a 15% do valor inicial dos tanques flexíveis, ou seja:

$$CR = 0,15 \times 30.000,00 = \text{NCz\$ } 4.500,00/\text{ano}$$

Com relação a esse custo vale ressaltar que ele corresponde a NCz\$ 0,11/km, se considerar a premissa anterior do caminhão romeu-julieta percorrer 40.000 km/safra.

BANCHI & LOPES⁴ (1989) informaram também que o custo médio com reparos e manutenção de um caminhão canavieiro romeu-julieta é da ordem de NCz\$ 0,61/km (Outubro/89). Assim, o custo CR estimado em NCz\$ 0,11/km, corresponde a um aumento de 18% no custo médio normal do caminhão operando sem o sistema bi-carga e portanto, existe boa coerência na estimativa efetuada.

Com os condicionalismos postos e os cálculos executados, o custo médio do sistema bi-carga (CBC) é de:

$$CBC = CI + CM + CC + CR$$

$$CBC = 8.949,45 + 3.000,00 + 6.000,00 + 4.500,00$$

$$CBC = \text{NCz\$ } 22.449,50/\text{ano}$$

BANCHI & LOPES⁴ (1989) informaram ainda que um caminhão canavieiro percorrendo 40.000 km/safra, executa em média 750 viagens/safra numa distância média de 27 km, sendo 563 viagens transportando 20 m³ (romeu-julieta) e 187 viagens transportando 10 m³ (romeu).

Portanto, o custo CBC calculado anteriormente pode ser convertido para a unidade de NCz\$/m³.km, obtendo-se o resultado CBC'.

$$CBC' = \frac{CBC}{((20\text{m}^3/\text{viagem}) \cdot 563\text{viagens}) + ((10\text{m}^3/\text{viagem}) \cdot 187\text{viagens})} \cdot 27\text{km}$$

$$CBC' = (\text{NCz\$ } 6,33/\text{m}^3.\text{km}) \times 100$$

Considerando para conversão o valor do dólar oficial igual a R\$ 4,21, referente a 11/10/89, obtém-se como resultado:

$$CBC' = (US\$ 1,50/m^3.km) \times 100$$

Para efeito de aproximação e maior segurança sobre a conclusão de SACCOMANO et alii (1989), a distância mínima considerada para operação do sistema bi-carga será de 15 km. Torna-se importante salientar que para distâncias inferiores a 15 km, o sistema bi-carga pode interferir drasticamente na capacidade do transporte de cana e nessas condições, a viabilidade do emprego do referido sistema necessita maiores estudos.

4.2.5. Sistema caminhão-aspersão

Os dados da tabela 35, levantados por GERALDI F^{co} et alii (1988), referentes a custos do sistema caminhão-aspersão, foram convertidos e os resultados constam na tabela 66 a seguir.

Tabela 66 - Custos médios do sistema caminhão-aspersão, em comparação ao caminhão-tanque convencional, segundo GERALDI F^o et alii (1988)

Sistema	Custo médio levantado* (Cz\$/m ³ . km)	Custo médio convertido* (US\$/m ³) x 100
Caminhão-tanque convencional (15m ³)	2,28	16,48
Caminhão-aspersão (27 m ³)	2,48	17,92

* Valores referentes a Setembro/86

Os dados da tabela 38 apresentados por MATIOLI & COURY² (1988), referentes a custos do sistema caminhão-aspersão, também foram convertidos e os resultados constam na tabela 67 a seguir.

Tabela 67 - Custos médios do sistema caminhão-aspersão de 28 m³, segundo MATIOLI & CORY² (1988)

Distância (km)	Custo médio levantado* (OTN/m ³ .km) × 100	Custo médio convertido* (US\$/m ³ .km) × 100
3	2,23	16,49
6	1,44	10,65
9	1,17	8,65
12	1,05	7,77
15	1,01	7,47
18	0,96	7,10
21	0,93	6,88
Média	1,26	9,29

* Valores referentes a Setembro/88

O resumo dos resultados obtidos consta na tabela 68 a seguir.

Tabela 68 - Resumo dos custos médios do sistema caminhão
-aspersão, segundo vários autores

Autor	Custo médio convertido (US\$/m ³ .km) × 100
<hr/>	
GERALDI et alii (1988)	17,92
MATIOLI & COURY [®] (1988)	9,29
<hr/>	
Média	13,61

4.2.6. Sistema auto-propelido com carretel, enrolador

Extraíndo da tabela 40 os dados levantados por LEME et alii (1987) referentes a custos do sistema auto-propelido e fazendo as conversões dos mesmos, obteve-se os resultados apresentados na tabela 69.

Tabela 69 - Custos médios do sistema auto-propelido com carretel enrolador, segundo LEME et alii (1987)

Equipamento	Custo médio levantado* (Cz\$/m ²)	Custo médio convertido* (US\$/m ²) x 100
Turbomaq	4,60	9,76
Chuvamática	5,79	12,29
Média	5,20	11,03

* Valores referentes a Agosto/87

O sistema auto-propelido com carretel enrolador utiliza-se de canais da mesma forma que o sistema montagem direta de aspersão. Consequentemente, o seu custo médio também deve ser penalizado em 14%, resultando o valor de 12,68 na unidade ((US\$/m².km) x 100).

4.2.7. Resumo dos resultados

A tabela 70 apresenta o resumo dos resultados obtidos referentes à conversão dos custos médios dos sistemas de fertirrigação, levantados por vários

autores ao longo da última década. Vale ressaltar que o custo de cada sistema depende essencialmente das condições consideradas para sua implantação e operação e consequentemente, os resultados obtidos apenas representam a tendência dos custos médios dos sistemas, para efeito de comparação dos mesmos.

Tabela 70 - Custos dos sistemas de fertirrigação

Sistema	Abreviatura	Finalidade	Custos médios	
			(US\$/m ³ .km)x100	(US/m ³)x100
Montagem direta de aspersão	MD	Aplicação	-	9,83
Auto-propelido car. enrol.	AP		-	12,68
Transporte dutoviário	TD	Transporte	2,50	-
Bi-carga	BC		1,50*	-
Veículos-tanques convencionais	VT	Transporte	8,34	-
Caminhão-aspersão	CA	e Aplicação	13,61	-

*Valor válido para distâncias iguais ou superiores a 15 km.

4.3. Critérios básicos para otimização dos sistemas de fertirrigação

4.3.1. Critérios técnicos

Os sistemas de aplicação necessitam de sistemas de transporte para serem abastecidos e promoverem a fertirrigação. Por outro lado, os sistemas de transporte também podem abastecer sistemas de transporte e aplicação. Portanto, executando-se essas combinações, obtém-se 10 composições possíveis para os sistemas de fertirrigação. A tabela 71 apresenta essas dez composições com suas respectivas quantificações técnicas, calculadas a partir dos resultados da tabela 50 e demonstra também, a ordenação técnica obtida com tais combinações.

Tabela 71 - Critérios técnicos para otimização dos sistemas de fertirrigação

Composição	Combinação	Quantificação Técnica		Ordenação Técnica		Utilização
	dos	-----		-----		Prática
	Sistemas	Cálculo*	Total	Dist. > 15 km	Dist. < 15 km	Atual
1	VT	11 : 1	11,0	4º	4º	elevada
2	CA	10 : 1	10,0	7º	6º	média
3	MD + TD	(12+9) : 1,71	12,3	1º	1º	elevada
4	MD + BC	(12+6) : 1,71	10,5	5º	-	média
5	AP + TD	(9+9) : 1,71	10,5	6º	5º	baixa
6	AP + BC	(9+6) : 1,71	8,8	10º	-	desconhecida
7	VT + TD	(11+9) : 1,71	11,7	2º	2º	elevada
8	VT + BC	(11+6) : 1,71	9,9	8º	-	baixa
9	CA + TD	(10+9) : 1,71	11,1	3º	3º	baixa
10	CA + BC	(10+6) : 1,71	9,4	9º	-	baixa

* Para o cálculo da quantificação técnica empregou-se no cociente da operação, fatores proporcionais à quantidade de características técnicas contempladas em cada sistema. Assim, para os sistemas de aplicação e transporte/aplicação o fator empregado foi 1, enquanto que para os sistemas de transporte o fator foi 0,71 (5:7).

4.3.2. Critérios econômicos

Para comparação econômica dos sistemas, de acordo com as possíveis composições descritas no item 4.3.1., calculou-se os custos para várias distâncias, obtendo-se os resultados mostrados na tabela 72.

Tabela 72 - Custos* e critérios econômicos para otimização dos sistemas de fertirrigação

Conjugação dos Sistemas	Distância (km)							Ordenação Econômica	
	5	10	15	20	25	30	35	Dist. > 15 km	Dist. < 15 km
HD + TD	22,33	34,83	47,33	59,83	72,33	84,83	97,33	3º	1º
VT + TD**	27,10	54,20	81,30	108,40	135,50	162,60	188,70	6º	3º
CA + TD**	40,28	80,55	120,83	161,10	201,38	241,65	281,93	8º	4º
VT	41,70	83,40	125,10	166,80	208,50	250,20	291,90	9º	5º
HD + BC	-	-	32,33	39,83	47,33	54,83	62,33	1º	-
AP + TD	25,18	37,68	50,18	62,68	75,18	87,68	100,18	5º	2º
CA	68,05	136,10	204,15	272,20	340,25	408,30	476,35	10º	6º
VT + BC**	-	-	73,80	98,40	123,00	147,60	172,20	4º	-
CA + BC**	-	-	113,33	151,10	188,88	226,65	264,43	7º	-
AP + BC	-	-	35,18	42,68	50,18	57,68	65,18	2º	-

* Valores em $((US\$/m^3) \times 100)$

** Para essas combinações de sistemas de transporte com sistemas de transporte/aplicação, considerou-se que cada um dos dois sistemas envolvidos, é responsável por metade do transporte de vinhaça na distância considerada.

4.3.3. Critérios técnico-econômicos

Compondo os critérios técnicos com os econômicos, obtém os critérios básicos para otimização da fertirrigação. Assim, para distâncias iguais ou superiores a 15 km, definiu-se uma escala quantitativa para os sistemas combinados, atribuindo notas de 1 a 10 referentes às colocações de 10º a 1º, respectivamente. Analogamente, para distâncias inferiores a 15 km, definiu-se outra escala quantitativa, atribuindo as notas 1 a 6 referentes às colocações de 6º a 1º, respectivamente. Os resultados constam nas tabelas 73 e 74 a seguir.

Tabela 73 - Critérios técnico-econômicos para otimização dos sistemas de fertirrigação, para distâncias ≥ 15 km

Sistemas	Ordenação	Nota Técnica	Ordenação	Nota Econômica	Nota Total	Ordenação
Combinados	Técnica	(1)	Econômica	(2)	(1)+(2)	Global
MD + TD	1º	10	3º	8	18	1º
VT + TD	2º	9	6º	5	14	3º
CA + TD	3º	8	8º	3	11	5º*
VT	4º	7	9º	2	9	8º
MD + BC	5º	6	1º	10	16	2º
AP + TD	6º	5	5º	6	11	4º*
CA	7º	4	10º	1	5	10º
VT + BC	8º	3	4º	7	10	7º*
CA + BC	9º	2	7º	4	6	9º
AP + BC	10º	1	2º	9	10	6º*

* Para essas colocações prevaleceram os aspectos econômicos

Tabela 74 - Critérios técnico-econômicos para otimização dos sistemas de fertirrigação, para distâncias < 15 km

Sistemas	Ordenação	Nota Técnica	Ordenação	Nota Econômica	Nota Total	Ordenação
Combinados	Técnica	(1)	Econômica	(2)	(1)+(2)	Global
HD + TD	1º	6	1º	6	12	1º
VT + TD	2º	5	3º	4	9	2º
CA + TD	3º	4	4º	3	7	4º*
VT	4º	3	5º	2	5	5º
AP + TD	5º	2	2º	5	7	3º*
CA	6º	1	6º	1	2	6º

* Para essas colocações prevaleceram os aspectos econômicos

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos através da ordenação técnica, conversão de custos e combinações dos sistemas para fertirrigação de lavouras canavieiras com vinhaça, permitem as seguintes conclusões:

- Os sistemas de aplicação (montagem direta de aspersão e auto-propelido com carretel enrolador) e os sistemas de transporte (transporte dutoviário e bi-carga), necessitam ser combinados com outros sistemas para promoverem a fertirrigação;

- Os sistemas de transporte e aplicação (veículo-tanque convencional e caminhão-aspersão), promovem a fertirrigação sem necessidade de combinações mas, podem ser combinados com sistemas de transporte visando a redução de custos da aplicação de vinhaça e consequentemente, a otimização do sistema global de fertirrigação;

- A viabilidade do sistema bi-carga está comprovado para distâncias iguais ou superiores a 15 km. Para distâncias inferiores a 15 km, o referido sistema pode interferir (prejudicar) no transporte de cana e

consequentemente, nessas condições necessita de maiores estudos;

- Para distâncias > 15 km:

. Sob o ponto de vista técnico o sistema montagem direta de aspersão combinado com o sistema transporte dutoviário (MD+TD), apresentou-se como o melhor. O sistema auto-propelido com carretel enrolador combinado com o sistema bi-carga (AP+BC), mostrou ser o pior e os oito demais sistemas analisados obedecem a ordenação técnica mostrada na tabela 71;

. Sob a óptica econômica o melhor sistema é o montagem direta de aspersão combinado com o sistema bi-carga (MD+BC), o sistema caminhão-aspersão mostrou-se como o pior, enquanto que os oito demais sistemas obedecem a escala apresentada na tabela 72;

. Os aspectos técnicos e econômicos analisados conjuntamente, demonstram que o sistema MD+TD prevalece como o melhor, o sistema CA continua sendo o pior e os oito demais obedecem o escalonamento demonstrado na tabela 73;

- Para distâncias < 15 km:

. Sob o ponto de vista técnico o sistema MD+TD apresentou-se como o melhor, enquanto o sistema CA foi o pior. Os quatro demais sistemas analisados obedecem a ordenação técnica mostrada na tabela 71;

. Sob a óptica econômica o sistema MD+TD também apresentou-se como o melhor, enquanto o sistema CA continuou sendo o pior. Os quatro demais sistemas considerados obedecem a escala apresentada na tabela 72;

. Os aspectos técnicos e econômicos analisados conjuntamente, demonstram que o sistema MD+TD prevalece como o melhor, o sistema CA continua sendo o pior e os quatro demais obedecem o escalonamento apresentado na tabela 74;

- As tabelas 71, 72, 73 e 74 fornecem aos projetistas e usuários os critérios básicos necessários para elaboração e implantação de projetos otimizados, os quais podem contemplar vários sistemas de fertirrigação simultaneamente, sejam eles combinados ou não;

- Os critérios básicos definidos nesse trabalho, podem não valer para determinadas unidades produtoras de álcool (destilarias), cujas lavouras apresentem condições geográficas e topográficas específicas, que destoem das condições médias consideradas para determinação dos resultados obtidos neste trabalho. Mesmo assim, os critérios são válidos para os estudos e observações preliminares, necessários à elaboração do projeto executivo do sistema global de fertirrigação a ser adotado;

- Os resultados obtidos constituem-se em subsídios para futuros trabalhos sobre o assunto abordado,

aos quais recomenda-se o emprego da técnica de "Pesquisa Operacional", visando o desenvolvimento de modelo técnico-econômico alicerçado em equacionamentos que busquem a otimização dos sistemas, independentemente das condições geográficas e topográficas das áreas a serem fertirrigadas com vinhaça.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANCHI, A.D. & MACHADO, M.C. Controle computadorizado de frotas. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., Piracicaba, 1988. *Anais*. Piracicaba, Centro de Tecnologia Copersucar, 1988. p. 431-92.

BAPTISTELLA, J.R.; LEME, E.J.A.; ROSENFELD, U.; CAMPOS, H. Uniformidade de aspersão; avaliação da eficiência de aplicação e de armazenamento. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 5., São Paulo, 1980. *Anais*. São Paulo, ABID, 1980. v. 2, p. 355-91.

COOPERATIVA CENTRAL DOS PRODUTORES DE AÇÚCAR E ALCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Centro de Tecnologia. *Aproveitamento da vinhaça; viabilidade técnico-econômica*. 2. ed. São Paulo, 1979a. 71 p.

COOPERATIVA CENTRAL DOS PRODUTORES DE AÇÚCAR E ALCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Centro de Tecnologia. *Combate à poluição; avaliação do programa Copersucar*. São Paulo, 1979b. 45 p.

ELIAS NETO, A. *Biodigestão da vinhaça com reator anaeróbico de manta de lodo*. São Carlos, USP/EESC, 1988. 30 P.

FERREIRA, E.S. & MONTEIRO, A.O. Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. *Boletim Técnico. COPERSUCAR*, Piracicaba, (37):3-7, jan. 1987.

GERALDI F^o, L.; CORRÊA, W.J.; HENRIQUE, J.L.P. & MICKLOS, J.E.W. Aplicação de vinhaça através do caminhão extensão. *STAB. Açúcar, Alcool e Sub-produtos*, Piracicaba, 4(3):28-33, jan./fev. 1988.

GLÓRIA, A.M. Usina Costa Pinto; o sistema bi-carga. *Revista Usineiro*, São Paulo, 2(7):21-7, jan./fev. 1987.

HIRSCHFELD, H. Matemática financeira e introdução à engenharia econômica. In: _____ *Engenharia econômica*. 3^a ed.. São Paulo, Atlas, 1986. cap. 1, p. 17-79.

KIYAN, C. Utilização de vinhaça de cana para produção de biomassa de *Aspergillus niger* e *A. oryzae*. *STAB. Açúcar, Alcool e Subprodutos*, Piracicaba, 2(2):55-8, nov./dez. 1988.

LAZO, M.E.P.; GUAZZELLI, M.A.N.; MATIOLI, C.S. Circuitos hidráulicos para transporte de resíduos líquidos - projeto e operação. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., Piracicaba, 1988. *Anais*. Piracicaba, Centro de Tecnologia Copersucar, 1988. p. 187-247.

LEME, E.J.A. Montagem direta otimizado; o sistema para reduzir consumo de energia. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE INOVAÇÕES TÉCNICAS NA APLICAÇÃO DE VINHAÇA POR ASPERSÃO, Araras, 1987. Araras, Aspersolo, 1987. p. 21-56.

LEME, E.J.A.; ROSENFELD, U.; BAPTISTELLA, J.R. Aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar por aspersão. *Boletim Técnico. PLANALSUCAR*, Araras, 1(4):1-42, set. 1979.

LEME, E.J.A.; SILVA, V.C.; HENRIQUE, J.L.P.; MICKLOS, J.E.W. *O uso do auto-propelido na aplicação de vinhaça por aspersão; viabilidade técnico-econômica*. Piracicaba, Coordenadoria Regional Sul do Planalsucar, 1987. 65 p.

MAIS álcool, menos vinhaça. *Álcool & Açúcar*, São Paulo, 2(7):24-6, nov./dez. 1982.

MATIOLI, C.S. *Otimização de sistemas de aplicação de resíduos líquidos industriais em lavouras de cana-de-açúcar*. Piracicaba, USP/ESALQ/Depto Engenharia Rural, 1983. 33 p.

MATIOLI, C.S. & MENEZES, J.A. Otimização dos sistemas de aplicação de resíduos líquidos na lavoura. In: REUNIÃO TÉCNICA AGRONÔMICA, Piracicaba, 1984. *Anais*. Piracicaba, Centro de Tecnologia Copersucar, 1984. p. 67-70.

MATIOLI, C.S.; LAZO, M.E.P.; OLIVEIRA, M.A.; GUAZZELLI, M.A.N. Distâncias máximas de aplicação de vinhaça com caminhões-tanques. *Boletim Técnico. COPERSUCAR*, Piracicaba, (41):41-9, abr. 1988a.

MATIOLI, C.S.; LAZO, M.E.P.; GUAZZELLI, M.A.N. Otimização de sistemas de aplicação de resíduos líquidos. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., Piracicaba, 1988b. *Anais*. Piracicaba, Centro de Tecnologia Copersucar, 1988. p. 159-68.

MATIOLI, C.S.; GUAZZELLI, M.A.N.; LAZO, M.E.P.; GAVA, D.A. Uniformidade de distribuição de vinhaça com caminhões-tanques. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., Piracicaba, 1988c. *Anais*. Piracicaba, Centro de Tecnologia Copersucar, 1988. p. 249-69.

MATIOLI, C.S.; GUAZZELLI, M.A.N.; GAZON, A.L.; MANOEL, A.L.; GAVA, D.A. Controle e manejo de sistemas de fertirrigação. *Boletim Técnico. COPERSUCAR*, Piracicaba, (48):3-7, 1989.

MENEZES, J.A.; PAIXÃO, A.C.S.; SIRIO, K.J. Transporte dutoviário de vinhaça. *Boletim Técnico. COPERSUCAR*, Piracicaba, (25):21-3, jan. 1984.

ORLANDO Fº, J. Sistemas de aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar. *Alcool e Açúcar*, São Paulo, 1(1):28-36, nov. 1981.

ORLANDO Fº, J.; SOUZA, I.C.; ZAMBELLO JR., E. Aplicação de vinhaça em soqueiras de cana-de-açúcar; economicidade do sistema caminhões-tanques. *Boletim Técnico. PLANALSUCAR*, Piracicaba, 2(5):1-35, set. 1980.

ORLANDO F^o, J.; SILVA, G.M.A.; LEME, E.J.A. Utilização agrícola dos resíduos na agroindústria canavieira. In: PROGRAMA NACIONAL DE MELHORAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR. *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil*. Piracicaba, 1983. cap. 10, p. 229-64. (Coleção Planalsucar, 2).

ORLANDO F^o, J. & LEME, E.J.A. Utilização agrícola dos resíduos da agroindústria canavieira. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. *Anais*. Brasília, EMBRAPA - DEP, 1984. p. 451-75.

PENNATTI, C.P.; CAMBRIA, S.; BONI, P.S.; ARRUDA, F.C.O.; MANOEL, L.A. Efeitos da aplicação de vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. *Boletim Técnico. COPERSUCAR*, Piracicaba, (44):32-8, out. 1988.

PERES, J.G. & SUZAKI, S. Bombeamento de vinhaça; um estudo sobre perda de carga. *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, 106(3):2-8, maio/jun. 1988.

PERTICARRARI, J.G. Sulcador para abertura de canais. *Boletim Técnico. COPERSUCAR*, Piracicaba, (24):2-4, nov. 1983.

ROCHA, B.B.M. Vinhaça: tratamento por biodigestão anaeróbica; perspectivas atuais. *STAB. Açúcar, Alcool e Subprodutos*, Piracicaba, 2(1):49-54, set./out. 1988.

SACCOMANO, J.B.; GLÓRIA, A.M.; TEIXEIRA, L.F.G. Avaliação do emprego de tanques flexíveis para o transporte de vinhaça em frota canavieira. *Alcool e Açúcar*, São Paulo, 2(49):16-20, jul./ago. 1989.

SANTANA, S.S. Economicidade da aplicação de vinhaça em comparação à adubação mineral. *Alcool e Açúcar*, São Paulo, 5(23):26-38, jul./ago. 1985.

SUMA ECONÔMICA, São Paulo, set. 1989. p. 42.

VIEIRA, D.B. Fertirrigação sistemática de cana-de-açúcar com vinhaça. *Alcool e Açúcar*, São Paulo, 4(28):26-30, maio/jun. 1986.