

PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ENGENHARIA
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ÉRIKA DE LOURDES RAPACCI PELOSO

SISTEMA DE CONCENTRAÇÃO DE VINHAÇA PARA
APROVEITAMENTO DA FERTIRRIGAÇÃO - ASPECTOS
AMBIENTAIS E ECONÔMICOS

De acordo



Prof.ª Dr.ª Suani Teixeira Coelho

São Paulo
2013

ÉRIKA DE LOURDES RAPACCI PELOSO

**SISTEMA DE CONCENTRAÇÃO DE VINHAÇA PARA
APROVEITAMENTO DA FERTIRRIGAÇÃO - ASPECTOS
AMBIENTAIS E ECONÔMICOS**

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo como forma de
avaliação final do curso de especialização em
Energias Renováveis, Geração Distribuída e
Eficiência Energética.

Área de Concentração: Energia

Orientadora: Prof. Dr^a. Suani T. Coelho

São Paulo
2013

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: PELOSO, Érika de Lourdes Rapacci

Título: Sistema de concentração de vinhaça para aproveitamento da fertirrigação – Aspectos ambientais e econômicos.

Monografia apresentada ao Curso de especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética do Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Aprovada em:

Banca Examinadora:

Prof. Suani Teixeira Coelho

Assinatura: _____

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Prof. Vanessa Pecora Garcilasso

Assinatura: _____

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Prof. José Roberto Simões Moreira

Assinatura: _____

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

AGRADECIMENTOS

Registro aqui os meus agradecimentos aos seguintes amigos e profissionais: Julianni Vincenzi, Juarez Brancatti, Jaqueline Dantas, Solange Oliveira, Vanessa Pecora Garcilasso, Profª Dra. Suani T. Coelho e em especial á Procknor Engenharia LTDA e ao amigo e companheiro de estudos Carlos Eduardo Oliveira.

RESUMO

PELOSO, E.L.R., **Sistema de concentração de vinhaça para aproveitamento de fertirrigação – Aspectos ambientais e econômicos**. 2013. 59f. Monografia – Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética - Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

A vinhaça, que antes era lançada diretamente nos cursos d'água, com o aumento dos preços dos fertilizantes minerais, passou a ser reutilizada como subproduto para a adubação canavieira. Recentemente, com a evolução da política ambiental do setor, suas práticas agroindústrias passaram a priorizar o uso eficiente de seus subprodutos, sejam através da racionalização em suas aplicações ou pelo uso de tecnologias que potencializem os seus benefícios. Esse estudo resumiu-se em analisar os aspectos econômicos e ambientais do Sistema de Concentração de Vinhaça. Para avaliação ambiental do projeto, o maior benefício com o sistema de concentração de vinhaça foi à economia no sistema de captação de água. Já, para avaliação econômica do Projeto foi utilizado o método de retorno de capital – “payback descontado” e os resultados obtidos foram: para uma taxa de desconto de 4,0% ano o período de payback descontado é de aproximadamente três anos e cinco meses.

Palavras chaves: Etanol. Vinhaça Concentrada. Payback Descontado.

ABSTRACT

PELOSO, E.L.R., **Vinasse concentration system for use of fertigation – Environmental and economic aspects**. 2013. 59f. Monograph – Specialization Course on Renewable Energy, Distributed Generation and Energy Efficiency – Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

The vinasse, which was previously released directly into waterways, with the rising prices of mineral fertilizers began to be reused as fertilizer for sugarcane by product. Recently, with the evolution of environmental policy and enforcement in the sector, agribusiness practices began to prioritize the efficient use of by products, whether through rationalization in their applications or the use of technologies that enhances its benefits. This study summarized in analyzing the economic and environmental aspects of Vinasse Concentration System. For environmental assessment of the project, the biggest benefit to the system of vinasse concentration was the economy in the system of water abstraction. Already, for economic evaluation of the project was used callback method capital - "discounted payback" and the results obtained were: for a discount rate of 4.0% year discounted payback period is about three years and five months.

Keywords: Ethanol. Concentrated Vinasse. Discounted Payback.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Potencial de geração de eletricidade a partir da biomassa no Brasil.	12
Tabela 2.1 – Composição média das vinhaças por tipos de mosto.	17
Tabela 2.2 – Composição química da vinhaça e características físicas.....	18
Tabela 2.3 – Avanço da produção de energia.....	21
Tabela 2.4 – Avanço da expansão da lavoura.	22
Tabela 2.5 – Geração de efluente ao longo das safras, com base na produção nacional de etanol.	24
Tabela 2.6 – Uso potencial da vinhaça – vantagens e desvantagens.....	26
Tabela 2.7 – Raio econômico de aplicação da vinhaça em função da concentração.	35
Tabela 2.8 – Formas de utilização de vinhaça.....	37
Tabela 3.1 – Resumo de moagem e produção da usina.....	39
Tabela 4.1 – Área plantada com cana-de-açúcar no Mato Grosso do Sul – 2011.....	41
Tabela 4.2 – Unidades produtoras de açúcar e álcool instaladas em Mato Grosso do Sul – 2009.....	42
Tabela 4.3 – Dados para o balanço de massa	46
Tabela 4.4 – Receitas geradas pela economia na aplicação de vinhaça concentrada.....	48
Tabela 4.5 – Receitas geradas pela economia de adubação	49
Tabela 4.6 – Receitas geradas pelo custo evitado da compra de adubo	51
Tabela 4.7 – Período de payback para o sistema.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Fluxograma simplificado de produtos, subprodutos e resíduos.	16
Figura 2.2 – Matriz energética brasileira.	20
Figura 2.3 – Expansão do setor sucroalcooleiro.	23
Figura 2.4 – Aplicações da vinhaça.	25
Figura 2.5 – Sistema de aspersão por montagem direta.	29
Figura 2.6 – Sistema com carretel enrolador com captação do canal.	29
Figura 2.7 – Sistema de aplicação de vinhaça por caminhão	30
Figura 2.8 – Sistema de evaporação de vinhaça.	36
Figura 4.1 – Territorialização das unidades agroindustriais canavieiras nos municípios sul- mato-grossenses – 2010.	42
Figura 4.2 – Aplicação uniforme e direcionada na linha de cana.	44
Figura 4.3 – Evolução da aplicação de vinhaça concentrada	45
Figura 4.4 – Consumo específico de água.	47
Figura 4.5 – Consumo de ácido sulfúrico.	47
Figura 4.6 – Receitas geradas pela economia na aplicação de vinhaça concentrada	49
Figura 4.7 – Receitas geradas pelo economia de adubação.	50
Figura 4.8 – Resumo de investimentos.	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA	13
1.3 METODOLOGIA DE TRABALHO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 VINHAÇA.....	15
2.1.1 Composição da vinhaça	16
2.1.2 Propriedades físico-químicas da vinhaça.....	18
2.2 PRODUÇÃO DE VINHAÇA NO BRASIL	19
2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS DA DISPOSIÇÃO DE VINHAÇA INADEQUADAMENTE.	24
2.4 APLICAÇÕES DA VINHAÇA	25
2.4.1 Fertilizante	26
2.4.1.1 Aplicação por aspersão.....	28
2.4.1.1.1 Sistema de montagem direta.....	28
2.4.1.1.2 Sistema auto propelido com carretel enrolador.....	29
2.4.1.2 Caminhão tanque.....	30
2.4.1.2.1 Aplicação por gravidade:.....	30
2.4.1.2.2 Aplicação por saída forçada	31
2.4.2 Outras aplicações	31
2.4.2.1 Concentração da vinhaça por evaporação ou secagem para alimentação animal	31
2.4.2.2 Produção de levedura a partir da vinhaça.....	32
2.4.2.3 Biodigestão anaeróbia da vinhaça	32
2.4.2.4 Utilização da vinhaça na construção civil	33
2.4.2.5 Aerobiose.....	33
2.5 CONCENTRAÇÃO DE VINHAÇA	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1 PERÍODOS DE PAYBACK	38
3.2 BASE DE DADOS.....	39

4. ESTUDO DE CASO.....	41
4.1 ASPECTOS AMBIENTAIS	43
4.1.1 Reaproveitamento da água evaporada na concentração de vinhaça para utilização do processo.....	45
4.2 ASPECTOS ECONÔMICOS.....	48
4.2.1 Custos de Implantação do Sistema de Concentração de Vinhaça	48
4.2.1.1 Custos de Aplicação de Vinhaça	48
4.2.1.2 Custos de Adubação	49
4.2.1.3 Custos de captação	50
4.2.1.4 Custos de operação	50
4.2.1.5 Resumos de investimentos	51
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
REFERÊNCIAS	55

1. INTRODUÇÃO

O sistema Agroindustrial de cana-de-açúcar no Brasil é um dos mais antigos, está ligado aos principais eventos históricos e é de grande importância para o Brasil. Anualmente, são movimentadas no país, cerca de R\$ 40 bilhões no agronegócio da cana-de-açúcar. Metade da produção é destinada a fabricação de etanol, o que faz do Brasil o segundo maior produtor do combustível no mundo, atrás apenas dos Estados Unidos, que extraem o etanol do milho por meio de diversos subsídios (MARQUES, 2008).

A produção de etanol no Brasil vem avançando consideravelmente na última década. Esse avanço na utilização dos produtos de cana-de-açúcar se deve principalmente a dois fatores:

- Utilização de etanol anidro como aditivo para a gasolina;
- Utilização de etanol hidratado em carros com motores flex;

Hoje, no Brasil, cerca de 30% das necessidades energéticas são supridas pela biomassa. Neste total, contabilizam-se a lenha para queima direta nas padarias e indústrias cerâmicas; o carvão vegetal para redução de ferro gusa em fornos siderúrgicos e combustível alternativo nas fábricas de cimento do norte e do nordeste; o carvão mineral, álcool etílico ou álcool metílico utilizados no sul do país para fins carburantes e para indústria química. E, ainda, o bagaço de cana e outros resíduos combustíveis utilizados para geração de vapor para produzir eletricidade, especialmente nas usinas de açúcar e álcool, que não necessitam de outro combustível, pelo contrário ainda sobra bagaço para indústria de celulose. (MARQUES, 2008).

Na Tabela 1.1, detalha-se a biomassa mais utilizada em cada região do país e o seu potencial teórico para a geração de energia elétrica.

Com os avanços na produção de etanol também avançam as produções dos resíduos gerados. Estes resíduos são resumidos em três grupos: bagaço, vinhaça (ou vinhoto), e palha e ponta.

A vinhaça (denominada também vinhoto) é um subproduto do etanol (álcool), butanol e aguardente (REZENDE, 1984). A vinhaça é caracterizada como efluente de destilarias com alto poder poluente e alto valor fertilizante. O poder poluente, cerca de cem vezes maior que o

do esgoto doméstico, decorre da sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda química de oxigênio (DBO), além de elevada temperatura na saída dos destiladores (FREIRE E CORTEZ, 2000).

Tabela 1.1 – Potencial de geração de eletricidade a partir da biomassa no Brasil.

POTÊNIAL DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DE BIOMASSA NO BRASIL		
REGIOES	TIPO DE BIOMASSA	POTENCIAL TEÓRICO (MW)
CENTRO OESTE	Cana de açúcar	295
	Resíduos de madeira	70
	Resíduos agrícolas	1.561
SUDESTE	Cana de açúcar	2.176
	Resíduos de madeira	135
	Resíduos agrícolas	1.449
SUL	Cana de açúcar	254
	Resíduos de madeira	67
	Resíduos agrícolas	4.664
NORDESTE	Cana de açúcar	752
	Resíduos de madeira	593
	Resíduos agrícolas	56
NORTE	Cana de açúcar	9
	Resíduos de madeira	1.035
	Resíduos agrícolas	103
TOTAIS PARCIAIS	Cana de açúcar	3486
	Resíduos de madeira	430
	Resíduos agrícolas	9.302

Fonte: CENBIO, 2000.

A vinhaça, resultante do processo de produção de etanol, caracteriza-se pela elevada proporção em que é produzida, em torno de 13 vezes o volume de etanol (FREIRE E CORTEZ, 2000). Devido ao grande número de destilarias existentes no Brasil e as perspectivas atuais de crescimento, a disposição da vinhaça tornou-se uma preocupação para os profissionais da área do meio ambiente.

Ao diminuir o volume de vinhaça, reduzem-se também os custos de distribuição e manejo da vinhaça na lavoura, e igualmente as despesas com adubos e fertilizantes, pelos motivos dos volumes serem significativamente menores e pela melhor qualidade dos nutrientes potássio e nitrogênio, por estarem concentrados. Concentrar a vinhaça significa retirar água desse efluente sem perda dos sólidos presentes, com consequente redução de

volume. As vantagens da concentração da vinhaça visando sua aplicação ao solo são: maior estabilidade do produto e redução do volume a ser transportado, sendo este o fator responsável pela amortização dos investimentos necessários ao transporte do produto, da destilaria à plantação (SENA, 1998).

1.1 OBJETIVOS

Analisar e mensurar os aspectos econômicos e caracterizar os aspectos ambientais das atuais formas de condicionamento e reutilização da vinhaça utilizada por uma Unidade Agroindustrial Sucroenergético do Estado de Mato Grosso do Sul, caracterizando-as da seguinte forma:

- Aplicação *in natura* no solo (fertilirrigação *in natura*) visando à redução do uso de fertilizantes industriais;
- Concentração (evaporação) objetivando a flexibilização e a redução dos custos no manuseio do subproduto e aplicação no solo.

1.2 JUSTIFICATIVA

O Estudo de caso a ser apresentado neste trabalho será realizado numa Usina situada no estado de Mato Grosso do Sul por se tratar de uma região promissora para a expansão canavieira.

O nome da Usina não está autorizado a ser divulgado, porém constitui-se a fonte de pesquisas.

Serão estudados dois cenários: o primeiro abordará o uso de vinhaça para fertilirrigação sem ser concentrada e o segundo cenário abordará a vinhaça utilizada na fertilirrigação após passar pelo sistema de concentração por evaporação. Nos estudos desses dois cenários serão apresentados os principais aspectos econômicos e ambientais relevantes em cada caso.

A Usina em questão teve suas atividades iniciadas no ano de 2008. Possui uma capacidade máxima de moagem de quatro milhões de toneladas de cana-de-açúcar, Esta

moderna planta produz etanol hidratado e anidro (aproximadamente 1200 m³/d), açúcar e energia elétrica através das mais eficientes tecnologias para a produção de biocombustíveis além de utilizar a vinhaça para a fertirrigação.

A utilização da vinhaça como fertilizante pode substituir a utilização de adubos. Atualmente, cerca de 95% do potássio consumido em plantações são provenientes dos adubos utilizados (DINIZ, 2010). Como a vinhaça é rica em matéria orgânica e nutrientes como potássio, ela pode suprir toda a necessidade destes nutrientes na área de irrigação, substituindo a necessidade de adubos complementares.

Com a utilização da vinhaça na fertirrigação há também a redução de utilização de produtos químicos para controle de pragas, pois a vinhaça aumenta a população microbiana, fungos e substâncias como ácidos graxos voláteis que contribuem para o controle de pragas. Por ser um resíduo orgânico, com a utilização da vinhaça, a taxa de CO₂ é incrementada devido ao processo de decomposição da matéria orgânica, aumentando a taxa de respiração do solo.

A Usina em questão optou por implantar o sistema de concentração de vinhaça em sua unidade industrial identificando uma série de pontos positivos desde o aproveitamento da vinhaça na adubação, até o reaproveitamento da água evaporada para utilização do processo. Este processo evita a necessidade de uma captação maior de água nova resultando num consumo de água relativamente baixo quando comparado às usinas tradicionais.

1.3 METODOLOGIA DE TRABALHO

Para este trabalho utilizou-se como base de estudo a tecnologia de concentração de vinhaça empregada no Setor Sucroenergético. Os estudos realizados visaram analisar a viabilidade econômica e ambiental da instalação desta tecnologia e se utilizaram de três fontes de dados distintas: visitas de campo realizadas numa Usina produtora de Açúcar, Etanol e Energia Elétrica a qual se tornou a fonte de dados deste trabalho, estimativa de investimentos da instalação do sistema – fonte de dados de pesquisa – e literatura especializada sobre o setor.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 VINHAÇA

A vinhaça é o principal resíduo proveniente da fabricação do etanol da cana-de-açúcar, portanto a produção desse efluente nas destilarias tem um volume considerável. A estimativa de geração é de 10 a 15 litros de vinhaça por litro de álcool produzido, dependendo das condições tecnológicas da destilaria (CRUZ, 2008).

O processo utilizado para obtenção do etanol e por consequência da vinhaça pode ser subdividido nas seguintes etapas:

- Quando associado ao processo de fabricação do açúcar: fermentação do mosto (mistura do caldo com o mel final); vinho; centrifugação; destilação, condensação e retificação; desidratação.
- Quando realizado exclusivamente em destilarias autônomas: extração do caldo; tratamento do caldo; fermentação; destilação/retificação/desidratação.

A Figura 2.1 ilustra o modo e produção de vinhaça, considerando destilaria autônoma ou Usina de Açúcar com destilaria anexa.

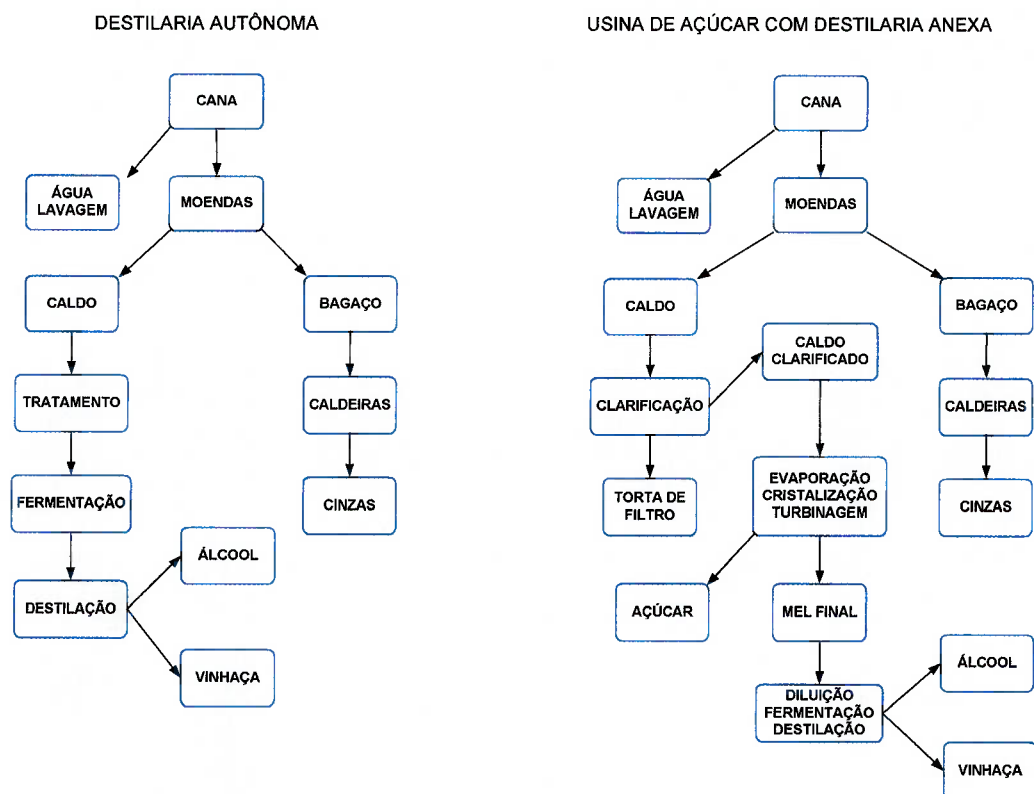


Figura 2.1 – Fluxograma simplificado de produtos, subprodutos e resíduos.
 Fonte: Modificado de ORLANDO FILHO et al., 1983.

2.1.1 Composição da vinhaça

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

Entre os anos de 1972 e 1973, surgiram trabalhos específicos, que determinaram uma nova visão sobre a vinhaça (GRANATO, 2003). Um desses estudos é apresentado na Tabela 2.1, cujos dados foram obtidos da vinhaça gerada em uma usina localizada na região de Ribeirão Preto (SP), proveniente de mosto de melaço (mel) e caldo de cana.

Tabela 2.1 – Composição média das vinhaças por tipos de mosto.

ELEMENTOS	1972		1973		
	MELAÇO	CALDO	MELAÇO	CALDO	MISTO
C (%)	2,29	1,34	1,92	0,59	1,15
Ca (%)	0,37	0,11	0,26	0,05	0,12
Mg (%)	0,09	0,03	0,06	0,01	0,04
K (%)	0,65	0,17	0,65	0,10	0,38
N (%)	0,16	0,06	0,12	0,03	0,07
PO4 (%)	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
SO4 (%)	0,81	0,25	0,64	0,06	0,37
Resíduo a 40°C	9,45	3,17	7,40	1,61	4,80
pH	4,83	4,08	4,90	4,30	4,60

Fonte: PARANHOS, 1987.

Citando Paranhos (1987), e Granato (2003) conclui-se que:

- a) A correlação entre o teor de potássio e o teor de cinzas condutivimétricas originou a seguinte equação:

$$\% K = 0,2134 \times (\% \text{ cinzas}) - 0,0235 \quad (1)$$

- b) No caso do carbono orgânico e acidez, o coeficiente de correlação foi de $r = 0,75$, indicando que a matéria orgânica presente na vinhaça é constituída em grande parte por ácidos orgânicos;
- c) Para o carbono orgânico e nitrogênio, determinou-se um coeficiente de correlação positiva de $r = 0,72$;
- d) Foram obtidos ainda coeficientes de correlação positivos para carbono orgânico e cinzas ($r = 0,75$) e potássio e enxofre ($r = 0,88$);
- e) Através de curvas de neutralização da vinhaça, verificou-se que os pontos de inflexão, ou seja, o ponto onde a vinhaça está completamente neutralizada ocorre com valores de pH superiores a sete, comportando a vinhaça como ácido fraco.

Com base nestes resultados, os pesquisadores procuraram estabelecer correlações entre os seus teores de nutrientes como o caldo da cana e as diversas etapas do processo de produção de açúcar. Verificaram que o único elemento que passa através de todo o processo de fabricação sem sofrer praticamente qualquer alteração é o potássio, de modo que seria viável estabelecer um esquema para previsão do teor de K nas vinhaças de mosto de mel final e caldo. O uso da vinhaça como fertilizante deve atender às necessidades locais de nutrição do

solo devidamente analisada pelas normas vigentes, sendo que a quantidade recomendada aumenta de acordo com o tempo de utilização do solo e seus tratamentos intermediários (tratos culturais) efetuados durante o ciclo de cana (GRANATO, 2003).

2.1.2 Propriedades físico-químicas da vinhaça

Como já mencionado no item anterior, a composição da vinhaça é muito variável em função de diversos fatores. Um deles diz respeito à sua origem. Quando se utiliza o caldo de cana para a fermentação a vinhaça resultante é sempre menos concentrada que a vinhaça proveniente de mosto de melaço ou de mosto misto. Além disto, a concentração da vinhaça varia de usina para usina, em função da moagem de diferentes variedades de cana de açúcar provenientes de diferentes solos.

A Tabela 2.2 apresenta os dados máximos, médios e mínimos observados para a composição química da vinhaça e também algumas características físicas encontradas no levantamento realizado em usinas do Estado de São Paulo (NETO e NAKAHONDO, 1995).

Tabela 2.2 – Composição química da vinhaça e características físicas.

DADOS DE PROCESSO	CONCENTRAÇÕES			PADRÃO / L.ÁLCOOL
	MÍN	MÉDIA	MÁX	
Brix do Mosto (*B)	12,00	18,65	23,65	
Teor Alcoólico Vinho (*GL)	5,73	8,58	11,30	
Taxa de Vinhaça (l/álcool)	5,11	10,85	16,43	10,85 l
Vazão de Referência (m ³ /dia)	530,00	1908,86	4128,00	
CARACTERIZAÇÃO DA VINHAÇA	CONCENTRAÇÕES			PADRÃO / L.ÁLCOOL
	MÍN	MÉDIA	MÁX	
pH	3,50	4,15	4,90	
Temperatura (°C)	65,00	89,16	110,50	
Demanda Bioquímica Oxigênio (DBO ₅) (mg/l)	6680,00	16949,76	75330,00	175,13 g
Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg/l)	9200,00	28450,00	97400,00	297,60 g
Sólidos Totais (ST) (mg/l)	10780,00	25154,00	38680,00	268,90 g
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mg/l)	260,00	3966,84	9500,00	45,71 g

Continuação

CARACTERIZAÇÃO DA VINHAÇA	CONCENTRAÇÕES			PADRÃO / L.ÁLCOOL
	MÍN	MÉDIA	MÁX	
Sólidos Fixos (SSF) (mg/l)	40,00	294,38	1500,00	2,69 g
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) (mg/l)	40,00	3631,16	9070,00	43,02 g
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mg/l)	1509,00	18420,06	33680,00	223,19 g
Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV) (mg/l)	588,00	6579,58	15000,00	77,98g
Sólidos Dissolvidos Fixos (SDF) (mg/l)	921,00	11872,36	24020,00	145,21g
Resíduos Sedimentáveis (RS) 1 hora (ml/l)	0,20	2,29	20,00	24,81 ml
Cálcio (mg/l CaO)	71,00	515,25	1096,00	5,38 g
Cloreto (mg/l Cl)	480,00	1218,91	2300,00	12,91 g
Cobre (mg/l CuO}	0,50	1,20	3,00	0.01 g
Ferro (mg/l Fe2O3)	2,00	25,17	200,00	0,27 g
Fósforo total (mg/l P2O4)	18,00	60,41	188,00	0,65 g
Magnésio (mg/l MgO)	97,00	225,64	456,00	2,39 g
Manganês (mg/l MnO)	1,00	4,82	12,00	0,05 g
Nitrogênio (mg/l N)	90,00	356,63	885,00	3,84 g
Nitrogênio amoniacal (mg/l N)	1,00	10,94	65,00	0,12 g
Potássio total (mg/l K2O)	814,00	2034,89	3852,00	21,21 g
Sódio (mg/l Na)	8,00	51,55	220,00	0,56 g
Sulfato (mg/l SO4)	790,00	1537,66	2800,00	16,17 g
Sulfito (mg/l SO4)	5,00	35,90	153,00	0,37 g
Zinco (mg/l ZnO)	0,70	1,70	4,60	0,02 g
Etanol-CG (ml/l)	0,10	0,88	119,00	9,1 ml
Glicerol (ml/l)	2,60	5,89	25,00	62,1 ml
Levedura (base seca) (mg/l)	114,01	403,56	1500,15	44,1 g

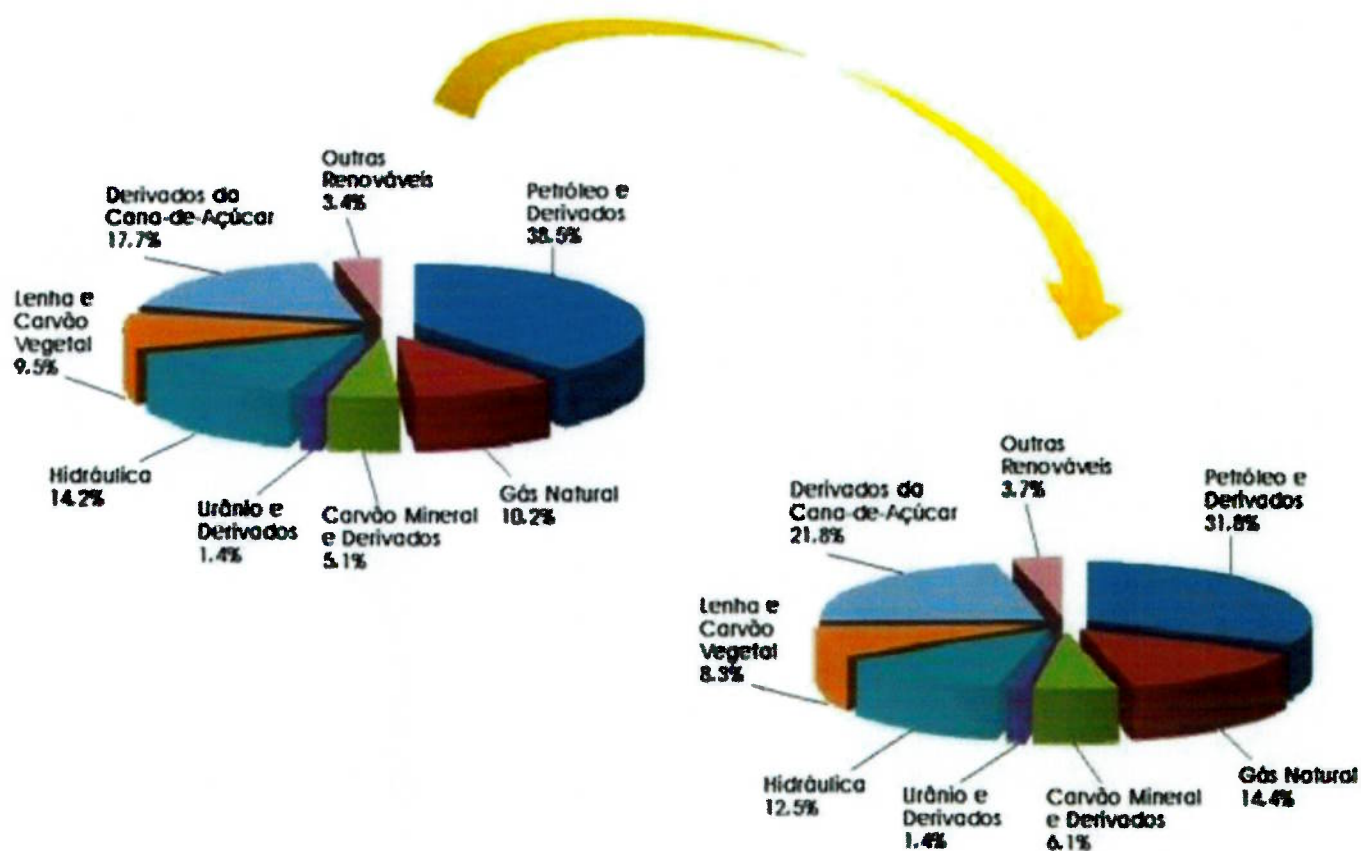
Fonte: NETO e NAKAHONDO, 1995.

2.2 PRODUÇÃO DE VINHAÇA NO BRASIL

A busca mundial por fontes energéticas mais limpas e renováveis, visando, sobretudo, a mitigação dos impactos ocasionados pelo aquecimento global revelaram um novo modelo de matriz energética. Neste novo modelo de produção energética, o Brasil encontra-se em local de destaque, seja pela alta participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira ou pelo grande potencial que o país ainda apresenta para ampliar essa participação, principalmente por meio da biomassa e da hidroeletricidade.

A Matriz Energética Brasileira hoje pode ser representada conforme a Figura 2.2.

Matriz energética brasileira em 2010 e 2020



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2011

Figura 2.2 – Matriz energética brasileira.
Fonte: EPE, 2011.

A produção de etanol no Brasil vem avançando consideravelmente na última década, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em 2002 o Brasil produziu aproximadamente 25.279.000 toneladas equivalentes de petróleo (tep) em energia a partir da cana-de-açúcar, já em 2011 o país produziu aproximadamente 43.270.000 tep. A Tabela 2.3 mostra o avanço da produção de energia a partir de diversas fontes:

Tabela 2.3 – Avanço da produção de energia.

FONTES	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
NÃO RENOVÁVEL	95.677	97.474	99.216	105.667	111.421	114.761	122.009	127.409	133.201	139.112
PETRÓLEO	74.927	77.225	76.641	84.300	89.214	90.765	94.000	100.918	106.559	108.976
GÁS NATURAL	15.416	15.681	16.852	17.575	17.582	18.025	21.398	20.983	22.771	23.888
CARVÃO VAPOR	1.936	1.785	2.016	2.348	2.200	2.257	2.494	1.913	2.104	2.104
CARVÃO METALÚRGICO	63	38	137	135	87	92	167	167	0	0
URÂNIO (U3O8)	3.335	2.745	3.569	1.309	2.338	3.622	3.950	3.428	1.767	4.143
RENOVÁVEL	78.583	86.267	91.022	94.855	100.380	108.947	114.553	112.460	119.973	117.628
ENERGIA HIDRÁULICA	24.604	26.283	27.589	29.021	29.997	32.165	31.782	33.625	34.683	36.837
LENHA	23.645	25.965	28.187	28.420	28.496	28.618	29.227	24.609	25.997	26.322
PRODUTOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	25.279	28.357	29.385	31.094	35.133	40.458	45.019	44.775	48.852	43.270
OUTRAS RENOVÁVEIS	5.055	5.663	5.860	6.320	6.754	7.705	8.526	9.450	10.440	11.200
TOTAL	174.260	183.742	190.238	200.522	211.802	223.708	236.562	239.869	253.174	256.740

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2011.

Para este aumento na produção é necessário que haja expansão nos tamanhos das lavouras. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) em seu Anuário Estatístico da Agroenergia a cana de açúcar passou de 5,02 milhões de hectares de área plantada em 2002 para 9,67 milhões de hectares em 2009. A Tabela 2.4 mostra o avanço da expansão da lavoura:

Tabela 2.4 – Avanço da expansão da lavoura.

ÁREA EM MILHÕES DE HECTARES				
ANO	ÁREA PLANTADA	ÁREA COLHIDA	PRODUÇÃO EM MILHÕES DE TONELADAS	RENDIMENTO t/ha
1988	4,15	4,12	258,45	62,78
1989	4,01	4,07	252,29	62,02
1990	4,29	4,27	262,6	61,49
1991	4,24	4,21	260,84	61,94
1992	4,2	4,2	271,43	64,61
1993	3,97	3,86	244,3	63,24
1994	4,36	4,34	292,07	67,23
1995	4,62	4,57	303,56	66,49
1996	4,9	4,83	325,93	67,52
1997	4,95	4,88	337,2	69,1
1998	5	4,97	338,97	68,18
1999	4,86	4,85	331,71	68,41
2000	4,82	4,82	325,33	67,51
2001	5,02	4,96	344,28	69,44
2002	5,21	5,1	363,72	71,31
2003	5,38	5,37	389,85	72,58
2004	5,57	5,63	416,26	73,88
2005	5,62	5,76	419,56	72,83
2006	7,04	6,19	457,98	74,05
2007	7,89	6,69	515,82	77,05
2008	8,92	7,6	589,22	77,52
2009	9,67	8,6	689,9	80,24

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2009.

Conforme a União da Indústria da Cana-de-Açúcar – UNICA (2010) – os resultados da safra 2009/2010, elevaram de 7,155 milhões para 7,906 milhões de hectares de plantação, com produção de açúcar na safra de 2010/2011 de 34,09 milhões de toneladas, aumento de 19,1% em relação aos 28,63 milhões de toneladas produzidas na safra 2009/2010.

A Figura 2.3 permite concluir que o setor sucroalcooleiro encontra-se em acelerada fase de expansão.

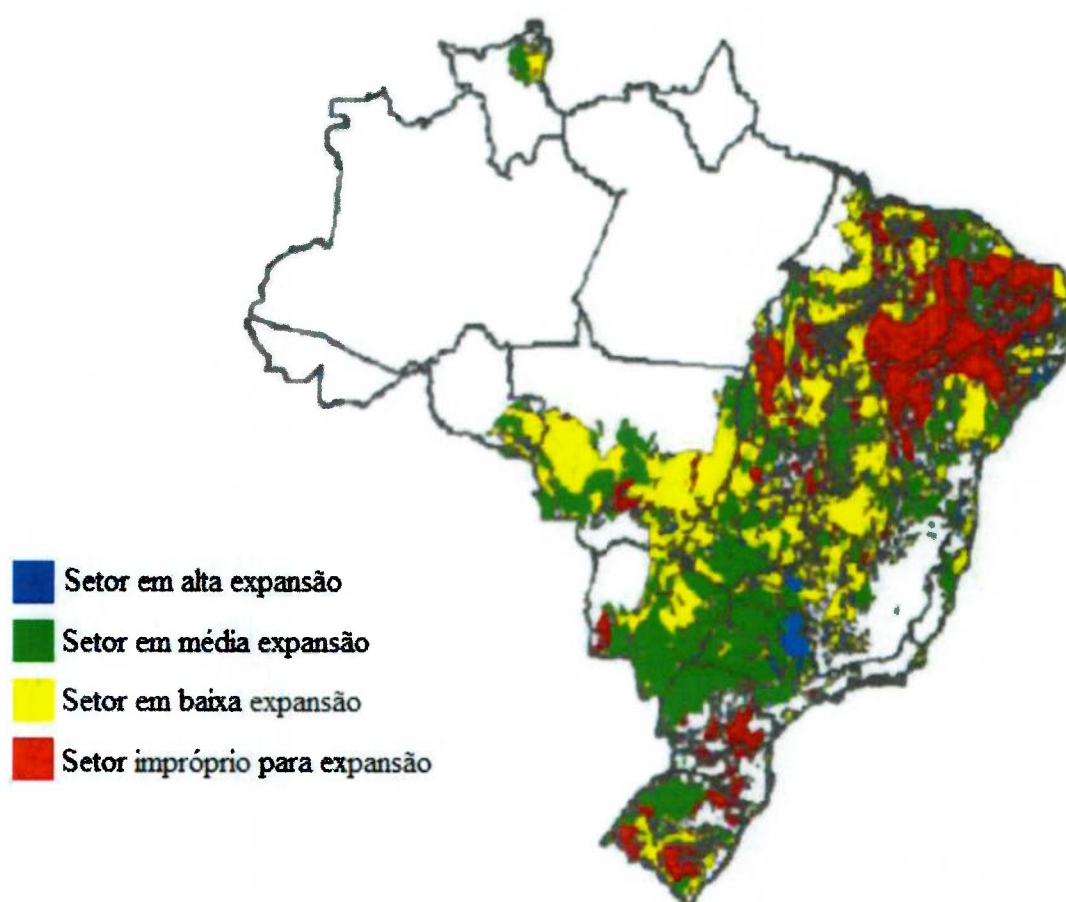


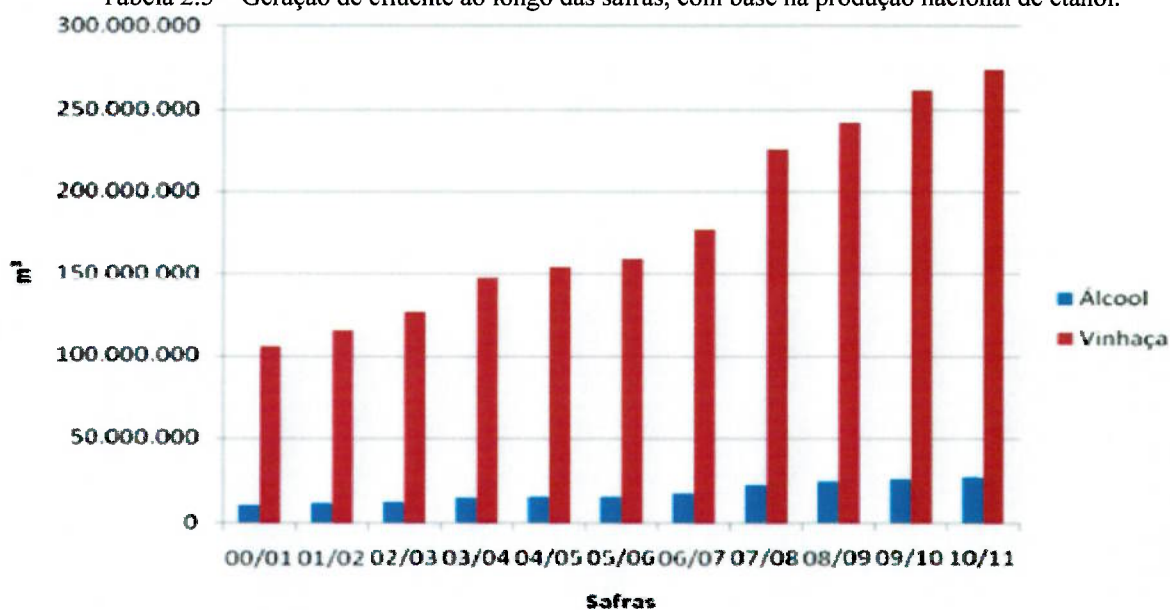
Figura 2.3 – Expansão do setor sucroalcooleiro.
Fonte: CGEE, 2010

A produção de etanol, por sua vez, atingiu 27,39 bilhões de litros, crescendo 15,6% na safra de 2010/2011 sobre os 23,70 bilhões de litros da safra 2009/2010.

Com base ainda em dados da UNICA (2010) sobre a produção de etanol no Brasil, e considerando a geração mínima de vinhaça de 10 litros por litro de álcool, a estimativa é que a produção deste resíduo alcançou o patamar de 274 bilhões de litros em 2010. A Tabela 2.5 apresenta-se uma estimativa da geração desse efluente, ao longo de onze safras.

Para o Estado de Mato Grosso, com base na produção de etanol, que foi de, aproximadamente, 952 milhões de litros para a safra de 2008/2009 (UNICA, 2009), a estimativa de geração de vinhaça foi de 9,5 bilhões de litros, 34,5% do volume gerado no Brasil para esta safra.

Tabela 2.5 – Geração de efluente ao longo das safras, com base na produção nacional de etanol.



Fonte: ÚNICA, 2012.

2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS DA DISPOSIÇÃO DE VINHAÇA INADEQUADAMENTE.

A vinhaça é na sua quase totalidade retornada para o setor agrícola, reduzindo a necessidade de adubação química. Seja pelo uso descontrolado desse subproduto ou pela falta de um condicionamento para sua aplicação, essa atividade se tornou, com o passar dos anos, fator de extrema preocupação por parte dos órgãos ambientais responsáveis pelo setor (SOARES, 2010).

O uso da vinhaça repõe ao solo os nutrientes que as plantas retiram, aumenta a produtividade agrícola, eleva o pH do solo, aumenta a disponibilidade de alguns nutrientes e imobiliza outros, eleva a população microbiana, o poder de retenção de água e melhora a estrutura física do solo (ANDRADE, 2009).

A disposição *in natura* da vinhaça na lavoura apesar de contribuir para livrar os cursos d'água superficiais do perigo de poluição, é uma alternativa que não pode ser aplicada arbitrariamente em todas as situações (PINTO, 1999).

O fosfato e o nitrato, existentes em grandes concentrações na vinhaça, se destacam como possíveis contaminantes de águas superficiais e subterrâneas. Agrega-se a este potencial poluidor, as altas concentrações de potássio existentes na vinhaça que, apesar de não ser um

poluente direto, favorece a formação de complexos químicos com compostos potencialmente poluidores das águas, como é o caso do nitrato (SILVA, 2006).

A associação do potássio (K^+) ao nitrato (NO_3^-), por apresentar carga neutra, é facilmente lixiviado para as águas subterrâneas (ROSSETO, 2008).

2.4 APLICAÇÕES DA VINHAÇA

Com a interdição do lançamento da vinhaça em rios e aquíferos superficiais, a questão sobre o que fazer da vinhaça passou a fazer parte da pauta da pesquisa tecnológica, seja de grupos de cientistas, seja de pesquisadores individuais, tanto em instituições públicas de pesquisa quanto na própria agroindústria canavieira. A Figura 2.4 ilustra diversas tecnologias conhecidas hoje, visando aplicação da vinhaça.

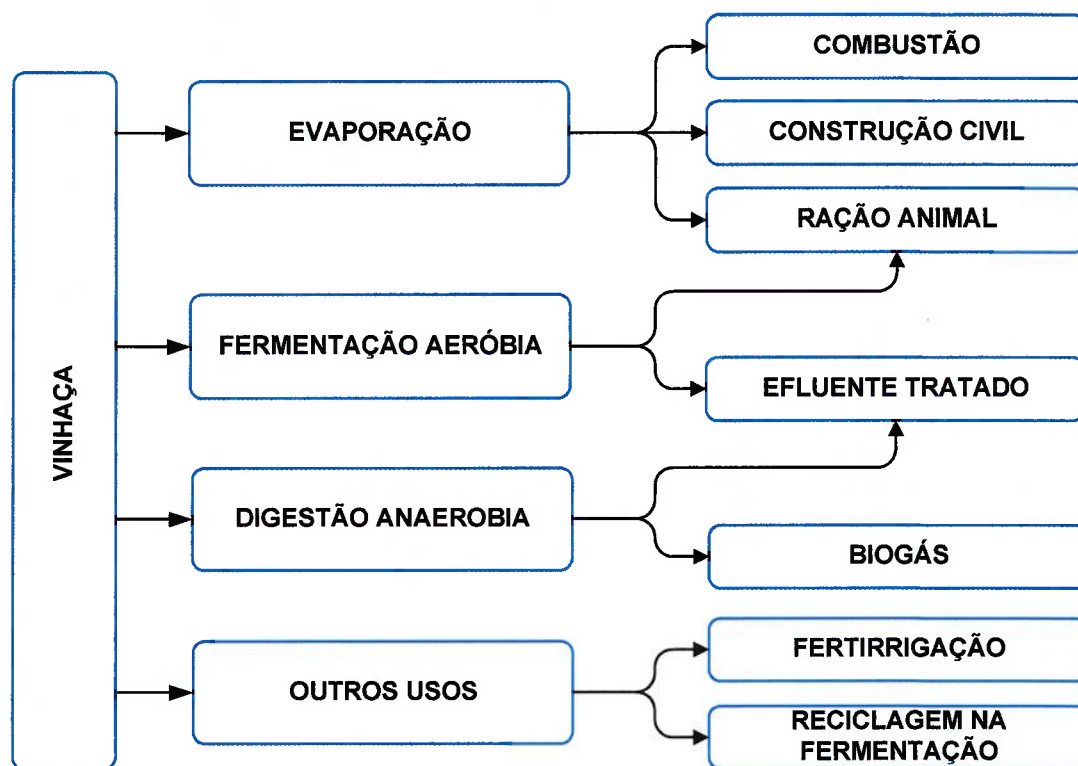


Figura 2.4 – Aplicações da vinhaça.
Fonte: CORAZZA, 2001.

Embora no Brasil a distribuição *in natura* de vinhaça ainda seja uma prática adequada na maioria das situações, em outros casos a vinhaça já é um problema sério. É o caso típico de novas plantas para a produção de etanol que, em função da implantação recente do seu canavial, possuem áreas de produção de cana muito dispersas e não interligadas entre si, impossibilitando a distribuição por canais. Resta então uma distribuição por caminhões, que é uma atividade com alto custo operacional. A Tabela 2.6 indica as principais vantagens e desvantagens com o uso potencial da vinhaça.

Tabela 2.6 – Uso potencial da vinhaça – vantagens e desvantagens.

PROCESSO/PROD. FINAL	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Fertirrigação	- Método mais barato - Fácil de ser adotado	- Torna-se caro para transporte - Efeito de longo prazo desconhecido
Ração animal	- Barato - Fácil de ser adotado	- Sem informação
Biodigestão/Biogás	- Prod. De energia útil - Redução da DBO - Efluente é fertilizante	- Custo elevado - Alta tecnologia
Combustão em caldeiras	- Disposição completa - Prod. De energia útil - Recuperação de potássio nas cinzas	- Sem informação - Teste em pequena escala
Produção de proteínas	- Alimento - Não deixa resíduo	- Custo elevado - Não é pesquisado

Fonte: REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIA, 2012.

2.4.1 Fertilizante

A vinhaça é um material de origem orgânica, sem a presença de metais ou outros contaminantes que impeçam seu uso agrícola. Nesse sentido, é perfeitamente aceita pela agricultura orgânica, e não existem restrições ao seu uso como fonte de nutrientes pelas certificadoras. A vinhaça representa uma fonte de K importante a ser considerada na atividade da agricultura orgânica. Para a produção do açúcar orgânico, a vinhaça pode suprir todo o N e todo o K necessários pela cana.

Quando a vinhaça é adicionada ao solo, a matéria orgânica nela contida é absorvida pelo solo fazendo com que seja colonizada por fungos, transformando a matéria orgânica em húmus.

Desta forma ocorre a neutralização da acidez do solo e permite a proliferação bacteriana que favorece o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela mineralização do solo, imobilização do nitrogênio e sua nitrificação (SILVA, BORGES, GRIEBELER, 2006).

Pode-se citar como uma das maiores vantagens da utilização da vinhaça como fertilizante o destino adequado para um subproduto da produção de etanol. Vale ressaltar que aproximadamente 90% do caldo utilizado para a produção de etanol torna-se vinhaça, desta forma adotando uma utilização correta para esse componente pode-se minimizar os impactos que esse subproduto poluente poderia ocasionar ao ambiente.

Em 2005, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental regulamentou a Norma técnica P4.231– Vinhaça – Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola. Esta norma apresenta meios específicos para o armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça, levando em consideração as características físico-químicas da vinhaça e do solo; ou seja, uma forma segura de aplicação da vinhaça definindo os locais permitidos, as doses, o revestimento dos canais mestres e depósitos, entre outros. Para isto, consideraram-se os resultados de anos de estudos na busca de processos seguros em relação aos vários aspectos de proteção ambiental. (LUZ, P. C.H., DAMY, C. R. S., VIZZOTTO, B.A, 2008).

Esta norma, entre outras medidas, surgiu para padronizar a utilização da vinhaça, e estabelece a apresentação de um plano para a aplicação, definindo critérios desde o seu armazenamento e transporte até o correto manejo da aplicação nos solos agrícolas, de forma racional, economicamente viável e respeitando o meio ambiente.

Além da preocupação ambiental e social, a norma também contempla a utilização de forma eficiente e econômica da vinhaça, proporcionando não mais um ônus e, sim, um bônus na produção final.

Hoje, existem diversas tecnologias para aplicação da vinhaça ao solo, estas serão apresentadas a seguir.

2.4.1.1 Aplicação por aspersão

Na aplicação por aspersão são utilizados o sistema de montagem direta e auto propelido com carretel enrolador, podendo este ser alimentado diretamente de canais ou a partir de caminhões.

O sistema de fertirrigação com caminhões-tanque num passado recente era o mais difundido para distribuição de vinhaça.

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 nas usinas e destilarias do país. Como limitações existentes desse sistema destacam-se o agravamento dos problemas de compactação de solos, impossibilidade de aplicação em áreas com cana-planta, dificuldades em dias de chuva, baixa uniformidade de distribuição e pequena distância na qual a prática da fertirrigação é economicamente viável em comparação com a adubação mineral.

A vinhaça, diluída com águas residuais ou não, pode ser aplicada por meio de sistemas de irrigação por aspersão, sendo o sistema de montagem direta e o auto propelido com carretel enrolador os utilizados nas usinas e destilarias do Brasil.

2.4.1.1.1 Sistema de montagem direta

Consiste, basicamente, em um conjunto moto bomba acoplado a um aspersor tipo canhão, ambos montados sobre chassis com rodas. O sistema também pode ser dotado de extensões (tubulações), com o objetivo de aumentar o espaçamento entre canais, ou seja, para diminuir a quantidade de canais que atravessam os talhões de cana.

A principal vantagem do sistema de aspersão com montagem direta, quando comparado com o sistema de caminhões-tanque, é o menor custo por unidade de área fertirrigada. Por outro lado, a maior limitação é a exigência de uma rede de canais alimentadores, que implica em sistematização parcial do terreno e recortes da lavoura de cana, quando a implantação não é realizada na época da reforma do canavial. A Figura 2.5 ilustra este sistema.



Figura 2.5 – Sistema de aspersão por montagem direta.
Fonte: DINIZ, 2010.

2.4.1.1.2 Sistema auto propelido com carretel enrolador

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

A vantagem principal do sistema é ser semi-mecanizado e, portanto, requer menos mão-de-obra que a montagem direta (transporte e manuseio das extensões). Por outro lado, o auto propelido exige maior potência da moto bomba e conseqüentemente consome mais combustível. A Figura 2.6 ilustra este sistema.



Figura 2.6 – Sistema com carretel enrolador com captação do canal.
Fonte: DINIZ, 2010.

2.4.1.2 Caminhão tanque

Caminhões com reservatórios de capacidades de 7 a 18m³ levam a vinhaça *in natura* até a área onde deverá ser aplicada ao solo. A vinhaça contida no reservatório é bombeada a fim de atingir as áreas que serão irrigadas.

Esse sistema apresenta-se vantajoso, pois áreas de difícil acesso ou devido à impossibilidade de construção de canais podem ser alcançadas, possibilidade de travessia de terras não pertencentes à agroindústria, porém possui alto custo de aquisição e manutenção dos caminhões, é necessário boa infraestrutura para a locomoção dos caminhões, promove a compactação dos solos irrigados e não garante a uniformidade da irrigação. A Figura 2.7 ilustra este sistema.



Figura 2.7 – Sistema de aplicação de vinhaça por caminhão
Fonte: LUZ, P. C.H., DAMY, C. R. S., VIZZOTTO, B.A., 2008.

Segundo a Enciclopédia Agrícola Brasileira (2006), há diversos sistemas para esse tipo de aplicação:

2.4.1.2.1 Aplicação por gravidade:

- Jato dirigido em duas ou três linhas: duas ou três entrelinhas de cana são irrigadas com jatos de vinhaça simultaneamente. Esse processo é pouco utilizado devido às

danos ocasionados às plantas devido à alta temperatura da vinhaça e devido à possibilidade de erosão na saída do jato;

- Gravidade chuva: a vinhaça é distribuída por uma válvula e a distribuição é feita através de uma barra perfurada ao longo do caminhão;
- Gravidade prato defletor longitudinal e transversal: a distribuição é feita através de seis pratos defletores instalados longitudinalmente ou de forma transversa;

2.4.1.2.2 Aplicação por saída forçada

A aplicação por saída forçada consiste na aplicação da vinhaça sob pressão:

- Bomba bico defletor: a distribuição da vinhaça é feita através de um bico defletor sob pressão, onde o jato tem forma de leque;
- Bomba chuva;
- Motobomba independente: um conjunto de motobomba é acoplado ao sistema para realizar o recalque;
- Compressor acionado pela tomada do caminhão;

2.4.2 Outras aplicações

Além do uso da vinhaça como fertilizante, diversas opções foram preconizadas, como sugerido por Camhi (1979):

2.4.2.1 Concentração da vinhaça por evaporação ou secagem para alimentação animal

A fabricação de ração animal, a partir da vinhaça, também foi uma possibilidade estudada durante os anos 80. O resíduo deve ser tratado para a redução do nível de potássio, podendo ser utilizado como ração de bovinos, suínos e aves. Reporta-se que a ração assim

produzida não interfere no sabor ou odor do leite e seus derivados, que tem boa aceitação pelos animais e que a taxa de conversão (ganho de peso com relação ao consumo de ração) é adequada. Há, porém, limitações de dosagem que devem ser obedecidas. Em ruminantes, por exemplo, a ração feita da vinhaça não pode ultrapassar 10% da alimentação diária: em suínos, ela não deve ultrapassar de 2 a 3%. As pesquisas, realizadas desde a década de 1970, buscavam a redução de potássio, de DBO e o aumento da aceitabilidade (CORAZZA & SALLES FILHO, 2000).

2.4.2.2 Produção de levedura a partir da vinhaça

A produção de levedura, a partir da vinhaça, também é uma tecnologia alternativa que permite reduzir a descarga de vinhaça. Todavia, dois fatores concorrem para a elevação dos custos desta alternativa. Em primeiro lugar, o fato de ser necessário acrescentar à vinhaça, sais de amônia e de magnésio para se obter o fermento seco. Em segundo lugar, e talvez o mais importante, o fato de ser elevado o consumo de energia para a evaporação da água da vinhaça, requerida neste processo (CORAZZA & SALLES FILHO, 2000).

2.4.2.3 Biodigestão anaeróbia da vinhaça

A biodigestão anaeróbia da vinhaça é uma alternativa pouco utilizada e estudada. É um processo que propicia a diminuição da carga de DBO da vinhaça, utilizando-se reatores anaeróbios. Este processo é largamente empregado e estudado objetivando o tratamento de efluentes urbanos domésticos, além de efluentes de origem animal. Apresenta como vantagens: baixo consumo de energia, pequena produção de lodo (descarte), grande eficiência na diminuição da carga orgânica, baixo potencial poluidor, além da produção de biogás que poderá ser empregado no processo de produção de energia elétrica e térmica (FREIRE & CORTEZ, 2000).

2.4.2.4 Utilização da vinhaça na construção civil

Na construção civil, a vinhaça pode ser adicionada à massa de cimento. Também existem estudos sobre a fabricação de materiais de construção, principalmente tijolos, a partir da vinhaça, tendo sido feitos avanços significativos quanto à resistência do material obtido. A possibilidade de redução da descarga de vinhaça é limitada, entretanto, a viabilidade econômica desta alternativa deve se restringir às construções próximas ao local de origem da vinhaça, devido ao problema dos custos de transportes (CORAZZA & SALLES FILHO, 2000).

2.4.2.5 Aerobiose

A aerobiose se refere a um processo bioquímico que representa a forma mais eficaz de obter energia, a partir de nutriente, como a glicose, na presença obrigatória de oxigênio. Sendo assim, a aerobiose consiste no tratamento da vinhaça, como efluente, em duas fases: a primeira é anaeróbica e a segunda é aeróbica. A principal vantagem é a grande redução de DBO (70 a 90% no primeiro passo) e até 99% no segundo. Os principais problemas derivados dessa opção são associados à necessidade de construção, manutenção e monitoramento de grandes tanques ou lagoas para o tratamento, devido aos grandes volumes do resíduo (CORAZZA & SALLES FILHO, 2000).

2.5 CONCENTRAÇÃO DE VINHAÇA

As vantagens da concentração da vinhaça visando sua aplicação ao solo são: a maior estabilidade do produto e a redução do volume a ser transportado, e este é o fator responsável pela amortização dos investimentos necessários (SENA, 1998).

A vinhaça *in natura* possui teor de sólidos muito baixos, mas que variam de 2 a 10% conforme a matéria prima usada na fabricação de etanol. Nos processos em que só o caldo extraído da cana é utilizado na fabricação do etanol, o teor de sólidos da vinhaça é

normalmente o mais baixo, resultando em volumes ainda maiores de vinhaça a ser descartada para a destilaria. Esse enorme volume de vinhaça, por sua vez, também acarreta custos de transporte também muito elevados.

O objetivo do processo de concentração de vinhaça é viabilizar o transporte do resíduo para áreas mais distantes, tendo como principal interesse, além da diminuição de custos, a proteção do meio ambiente, (REYNOLDS E RICHARDS, 2004).

Hoje, um dos meios principais para diminuir a vinhaça em relação ao etanol produzido nas destilarias é a concentração de vinhaça *in natura* por evaporação da água dela contida.

Concentrar a vinhaça significa retirar água desse efluente sem perdas dos sólidos dela constituintes, com consequente redução de volume. Essa redução, tomada em função da concentração (expressa em termos de °Brix), assume a forma de uma curva assintótica (GLÓRIA E ORLANDO FILHO, 1984).

A evaporação da água utilizando-se evaporadores de múltiplo efeito é a tecnologia mais difundida e já bastante utilizada na indústria açucareira em todo o mundo, conforme (Germek e Feigl, 1987).

Esta tecnologia de evaporação em múltiplos efeitos é muito utilizada no processo de concentração de caldo para a produção de açúcar. O número de efeitos que compõe um sistema de evaporação varia de quatro a cinco.

A concentração de vinhaça pode ser alcançada por quaisquer meios que resultem em aumento de conteúdo sólidos totais da vinhaça e, consequentemente, da sua concentração em nutrientes. A separação da vinhaça dos demais efluentes da destilaria, o aumento do teor alcoólico do vinho, a recirculação da vinhaça, a adoção de refervedor e o resfriamento, são medidas que podem contribuir para a redução dos custos de sua aplicação na lavoura (GLÓRIA E ORLANDO FILHO, 1984).

Dentre os diferentes processos de concentração de vinhaça, Germek e Feigl (1987) relacionaram o seguinte, pelas vantagens técnicas e operacionais: Concentrador de Vinhaça: permite a concentração da vinhaça até 60 °Brix, pela simples concentração do efluente; utiliza-se de concentradores múltiplos efeitos; exige injeção de vapor adicional, pode ser dimensionado para operar em outros níveis desejáveis de evaporação.

Germek e Feigl (1987) somente recomendam o emprego de concentradores de múltiplos efeitos, os quais, por sua vez, exigem um adicional de vapor em relação aos demais processos. Para a finalidade de distribuição em lavoura, ressaltam ainda, que a concentração de vinhaça mais vantajosa é até 25 °Brix.

Freire e Cortez (2000) desenvolveram um estudo de viabilidade econômica, considerando várias concentrações de vinhaça em função da distância de aplicação (raio econômico de distribuição), assim pode estabelecer o raio ótimo de aplicação da vinhaça.

Dessa forma, verifica-se na Tabela 2.7, que a concentração mais adequada para fins de distribuição na lavoura é aquela que não ultrapassa os 25 °Brix, pois com essa concentração já se atinge o raio econômico máximo de distribuição (41 km), e acima desta permanece o mesmo raio econômico.

Tabela 2.7 – Raio econômico de aplicação da vinhaça em função da concentração.

Vinhaça concentrada (°Brix)	Raio econômico de distribuição (km)
3	30
5	35
10	39
15	40
20	40
25	41
30	41
35	41
40	41
45	41
50	41
60	41

Fonte: FREIRE & CORTEZ (2000).

Katz (1979) descreveu o funcionamento de evaporadores de um sistema de evaporação por múltiplo efeito, com evaporadores dispostos em série, sendo a vinhaça concentrada parcialmente em cada um deles e o vapor, resultante de cada efeito, empregado como meio de aquecimento do efeito seguinte.

No Brasil, o sistema de concentração de vinhaça mais empregado é o de evaporação por múltiplo efeito.

O sistema de concentração de Vinhaça era um processo de pouca abrangência no Setor Sucroenergético do país, visto seu alto custo energético, padrão que vem se alterando com a difusão da cogeração (produção de vapor e de eletricidade) nas Unidades Agroindustriais.

A concentração da vinhaça, além de proporcionar uma maior flexibilização na logística de aplicação no solo (fertilirrigação), também condiciona a vinhaça para outras

utilizações, como por exemplo: ração animal, combustível para caldeiras especiais e posterior geração de energia. Agrega-se também o potencial de redução da captação de água pela usina, uma vez que o condensado retirado da vinhaça já retorna para o sistema produtivo das plantas industriais em algumas Usinas (ALBERS, 2007).

Com um histórico de mais de três anos no Estado de São Paulo, a tecnologia de concentração da vinhaça se tornou uma realidade dentro do Setor Sucroenergético, seja pela redução dos custos de aplicação da vinhaça no campo com a redução de seu volume ou pelos ganhos ambientais referentes à economia de água e à redução do potencial de poluição das águas subterrâneas.

Atualmente, uma das tecnologias de concentração é oferecida pela empresa Citrotec de Araraquara/SP, denominada “Ecovin”, se utiliza de eficientes evaporadores com o funcionamento baseado no princípio de névoa turbulenta descendente acelerada termicamente. A Figura 2.8 ilustra esta tecnologia.



Figura 2.8 – Sistema de evaporação de vinhaça.
Fonte: Dados de pesquisa, 2013.

Segundo os fornecedores, a tecnologia apresenta como vantagens a alta taxa de evaporação, baixa taxa de incrustação, baixo consumo energético, operação fácil, possibilidade de automação completa e construção 100% em aço inoxidável.

A tecnologia mencionada apresenta como proposta a utilização de vinhaça concentrada para os seguintes usos: fertirrigação, alimento animal, queima e biodigestão.

Apesar da concentração de vinhaça parecer ter sido postergada temporariamente, não se pode descartar o seu potencial de aplicação e, sobretudo, uma possível aplicação conjunta dessa e de novas tecnologias a fim de ampliar a eficiência na redução do volume de produção, facilitando o manejo e o retorno da vinhaça à lavoura.

A Tabela 2.8 ilustra diversas formas de utilização da Vinhaça concentrada.

Tabela 2.8 – Formas de utilização de vinhaça.

FORMAS DE UTILIZAÇÃO	ITENS NECESSÁRIOS	CUSTO OPERACIONAL
BOMBEAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> - Tubulação - Moto-bombas - Tanques de armazenamento - Canais de distribuição 	<ul style="list-style-type: none"> - Energia elétrica - Manutenção - Operador - Diesel (aspersor)
TRANSPORTE	<ul style="list-style-type: none"> - Compra do caminhão ou aluguel - Tanques de armazenamento 	<ul style="list-style-type: none"> - Motorista - Combustível - Manutenção
COMPOSTAGEM	<ul style="list-style-type: none"> - Tanques de armazenamento - Máquina para compostagem - Trator - Caminhão 	<ul style="list-style-type: none"> - Energia elétrica - Manutenção - Operador - Combustível
QUEIMA EM CALDEIRAS	<ul style="list-style-type: none"> - Tanques de armazenamento - Moto-bombas - Tubulação - Caldeira de vinhaça 	<ul style="list-style-type: none"> - Energia elétrica - Operador - Manutenção

Fonte: DEDINI, 2012

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PERÍODOS DE PAYBACK

Os períodos de *payback* são utilizados como critérios para avaliação da viabilidade atrativa para investimentos a serem ou não realizados. O período de *payback* é o intervalo de tempo exato necessário para que o empreendimento possa recuperar o investimento inicial, a partir das entradas de caixa (LAPPONI, 2007; NORONHA, 1987).

Constitui-se em uma ferramenta de análise econômica muito utilizada e que pode tanto ser aplicado a valores nominais ou ainda como o valor de dinheiro no tempo, através do desconto do fluxo de caixa para se obter o valor presente.

Algumas considerações devem ser observadas para o *payback*:

- Se o período de *payback* for menor que o período máximo aceitável de recuperação, o projeto será aceito.
- Se o período de *payback* for maior que o período máximo aceitável de recuperação, o projeto será rejeitado.

Em relação ao tempo de retorno do capital, este estudo utilizará o método do fluxo de caixa descontado (*payback* descontado), que é diferente do *payback* simples (não leva em consideração o valor do dinheiro no tempo). Quanto menor o tempo do *payback*, melhor é o projeto. Sua análise também fornece uma ideia de liquidez e segurança dos projetos (LAPPONI, 2007).

O *payback* descontado pode ser calculado da seguinte fórmula (PERINA, 2009):

$$\text{Payback descontado} = m + f$$

$$f = \frac{\sum_{t=0}^m FCD_t}{FCD_{m+1}} \quad (2)$$

Onde m é o número do período onde ΣFCD é menor que o valor do FCO (parte inteira do payback), FCO é fluxo de caixa operacional, resultado da soma algébrica de três estimativas: receita, custo e o imposto sobre lucro, t é o tempo em que o dinheiro foi investido no projeto, FCD é o fluxo de caixa descontado, e f é a fração do payback.

3.2 BASE DE DADOS

O resultado referente à economia do projeto será a diferença entre o custo do transporte e aplicação da vinhaça *in natura* e o custo do transporte e aplicação da vinhaça concentrada e o custo de adução do solo irrigado com vinhaça *in natura* e vinhaça concentrada para um raio de distribuição ou aplicação de 41 km.

Na Tabela 3.1 encontram-se os dados de moagem e produção da usina:

Tabela 3.1 – Resumo de moagem e produção da usina.

RESUMO	
CANA PROCESSADA (t/safra)	3.600.000
DIAS DE SAFRA EFETIVO	183
CANA PROCESSADA (t/h)	820
PRODUÇÃO DE AÇÚCAR BRANCO (sc/d)	22.600
PRODUÇÃO DE ETANOL (m³/d)	1.000
PRODUÇÃO DE VINHAÇA <i>IN NATURA</i> (t/h)	500
PRODUÇÃO DE VINHAÇA CONCENTRADA (t/h)	25

Fonte: Dados de pesquisa, 2013.

No projeto está considerada a vinhaça *in natura* com 3% sólidos totais que será concentrada para 25% sólidos totais e concentração de apenas 40% da produção total de vinhaça.

Considerando a produtividade média de cana-de-açúcar de 90 toneladas por hectare, a área de cana-de-açúcar plantada é de aproximadamente 40.000 hectares. A aplicação de vinhaça concentrada foi considerada apenas nas áreas de maior distância, o que totalizam 4.000 hectares.

A taxa de desconto nominal adotada no projeto é a Taxa Selic que, atualmente, é de 7,5% ao ano somado com 1,5% ao ano de encargo financeiro, totalizando 9,00 % ao ano. Considerou-se uma inflação projetada de 5,0%, segundo o Banco Central e dessa forma, a taxa de desconto real é de 4,00% ao ano.

4. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso a ser apresentado neste trabalho será realizado numa Usina situada no estado de Mato Grosso do Sul, por se tratar de uma região promissora para a expansão canavieira.

Quanto à produtividade, o solo sul-mato-grossense, principalmente na região sul do estado, tem semelhanças com os solos do estado de São Paulo, obtendo uma produtividade quase no mesmo patamar.

Nota-se que, o estado Mato Grosso do Sul, vem ganhando maior destaque no mercado do agronegócio canavieiro, pois, segundo o IBGE, em 2010, já existiam quase 400 mil hectares plantados com a gramínea (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Área plantada com cana-de-açúcar no Mato Grosso do Sul – 2011.

ANO	ÁREA PLANTADA (hectares)
2002	112.100
2003	120.534
2004	130.970
2005	136.803
2006	152.747
2007	191.577
2008	252.544
2009	285.993

Fonte: EPE, 2010.

O capital agroindustrial canavieiro está ocasionando diversos impactos no Mato Grosso do Sul, isto é, transformações econômicas, sociais, políticas, ambientais e espaciais. Com isso, a região que mais se nota o interesse deste capital, conforme observado na Figura 4.1, o que é revelado pelo crescimento do número de empresas agroindustriais, é a região Centro-Sul. A Tabela 4.2 mostra as principais unidades produtoras instaladas na região do Mato Grosso do Sul.

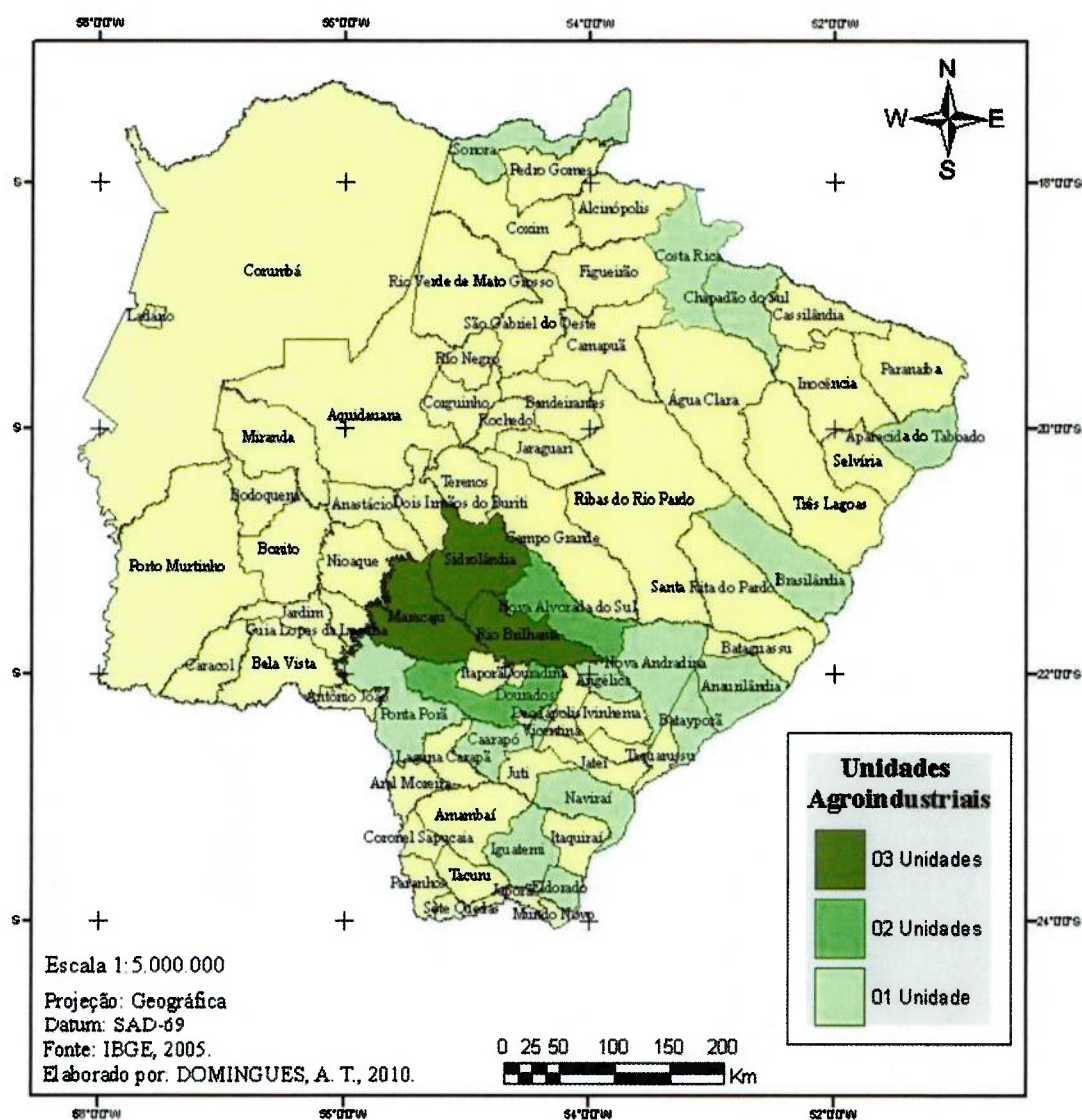


Figura 4.1 – Territorialização das unidades agroindustriais canaveieiras nos municípios sul-mato-grossenses – 2010.

Fonte: DOMINGUES 2012

Tabela 4.2 – Unidades produtoras de açúcar e álcool instaladas em Mato Grosso do Sul – 2009.

UNIDADES INSTALADAS EM MATOGROSSO DO SUL

Nome fantasia	Razão social	Cidade	Produção
Alcoovale	Alcoovale S.A. - Açúcar e Álcool	Aparecida do Taboado	Aç/Álc
Angélica	Angélica Agroenergia Ltda.	Angélica	Aç/Álc
Aurora	Aurora Açúcar e Álcool Ltda.	Anaurilândia	Aç/Álc
Costa Rica	Cia. Brasileira de Energia Renovável	Costa Rica	Álcool
Brilhante	Usina Brilhante - Energia Açúcar e Álcool Ltda.	Maracaju	Aç/Álc
CBAA-Sidrolândia	Cia. Brasileira de Açúcar e Álcool	Sidrolândia	Aç/Álc
CBAA-Delorasa	Cia. Brasileira de Açúcar e Álcool	Brasilândia	Álcool
Centro Oeste Iguatemi Ltda.	Destilaria Centro Oeste Iguatemi Ltda.	Iguatemi	Álcool

Continuação

UNIDADES INSTALADAS EM MATOGROSSO DO SUL

Nome fantasia	Razão social	Cidade	Produção
Dourados	Dourados S/A Açúcar e Alcool	Dourados	Aç/Álc
Eldorado	Usina Eldorado Ltda.	Rio Brilhante	Aç/Álc
IACO	IACO Agrícola S.A.	Chapadão do Sul	Álcool
Laguna	Usina Laguna Álcool e Açúcar Ltda.	Betayporã	Álcool
LDC-Unidade Passa Tempo	LDC Bioenergia S.A.	Rio Brilhante	Aç/Álc
LDC-Unidade Rio Brilhante	LDC Bioenergia S.A.	Rio Brilhante	Aç/Álc
LDC-Unidade Maracaju	LDC Bioenergia S.A.	Maracaju	Aç/Álc
Monte Verde	Monte Verde Agro-Energética S.A.	Ponta Porã	Álcool
Nova América	Nova América S.A. - Industrial Caarapó	Caarapó	Aç/Álc
Pantanal	Pantanal Agroindustrial S/A	Sidrolândia	Aç. Álc.
Rio Paraná	Usina Rio Paraná S/A	Eldorado	Aç/Álc
Safi	Safi Brasil Energia Ltda.	Nova Alvorada do Sul	Álcool
Santa Helena	Energética Santa Helena Ltda.	Nova Andradina	Álcool
Santa Luiza	Agro Energia Santa Luiza Ltda.	Nova Alvorada do Sul	Álcool
São Fernando	São Fernando Açúcar e Alcool Ltda.	Dourados	Álcool
Sonora Estância	Cia. Agrícola Sonora Estância	Sonora	Aç/Álc
Usinavi	Usina Naciraí - Açúcar e Alcool S/A	Naviraí	Aç/Álc
Vale do Vacaria	Vale Vacaria Açúcar e Alcool S/A	Sidrolândia	Aç/Álc
Vicentina	Central Energética Vicentina Ltda.	Vicentina	Aç/Álc
Vista Alegre	Vista Alegre Açúcar e Alcool Ltda.	Maracaju	Aç/Álc

Fonte: MAPA, 2010

4.1 ASPECTOS AMBIENTAIS

Algumas pesquisas evidenciam que a vinhaça pode ser empregada como fonte de nutrientes, contendo alto teor de matéria-orgânica e potássio, sendo relativamente pobre em nitrogênio e cálcio, contendo pouco fósforo e magnésio. O uso da vinhaça poderá ainda reduzir o custo da produção agrícola substituindo as adubações minerais nas áreas aplicadas. A necessidade da adubação das soqueiras de cana-de-açúcar é um fato indiscutível, tendo em vista que, em cada ciclo, a planta retira do solo quantidades apreciáveis de nutrientes que somente poderão ser restituídas através de uma fertilização fundamentada em análise do solo

e pesquisas (COOPERATIVA CENTRAL DOS PRODUTORES DE AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1979).

A cana-de-açúcar, em relação às suas exigências nutricionais é uma cultura que se destaca por ser exigente em nitrogênio e potássio, extraindo em torno de 130 a 150 kg de N e igual quantidade de K_2O e apenas 20 kg de P_2O_5 . Os aspectos nutricionais da cana-de-açúcar condicionam a vinhaça a ser um resíduo com teor elevado de potássio, relativamente médio em nitrogênio e pobre em fósforo (FREIRE & CORTEZ, 2000).

Na regulamentação atual do MS, para ganhar a licença ambiental o agricultor precisa apresentar um plano de aplicação para a vinhaça, pois o local deve ser previamente analisado e aprovado pelo Imasul¹. Este plano deve conter informações sobre composição do solo, profundidade do lençol freático, clima e pluviosidade para que se possa definir se é possível e em que épocas do ano deve-se aplicar o subproduto.

A instalação do sistema de concentração de vinhaça na Usina em questão trouxe benefícios para o meio ambiente, pois ajudou no controle da proliferação da “mosca dos estábulos”, economizou na aquisição de fertilizantes químicos, possibilitando aplicação de fórmulas com 0% de potássio nas áreas de vinhaça concentrada, diminuiu os riscos de acidentes ambientais e contaminação do solo e do lençol freático e ainda reduziu o volume de água captada para ser utilizada na Usina. O gráfico da Figura 4.3 mostra a evolução da aplicação desse sistema.



Figura 4.2 – Aplicação uniforme e direcionada na linha de cana.
Fonte: Dados de pesquisa, 2013.

¹ Imasul - O Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso Do Sul é uma autarquia vinculada à Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia (Semac).

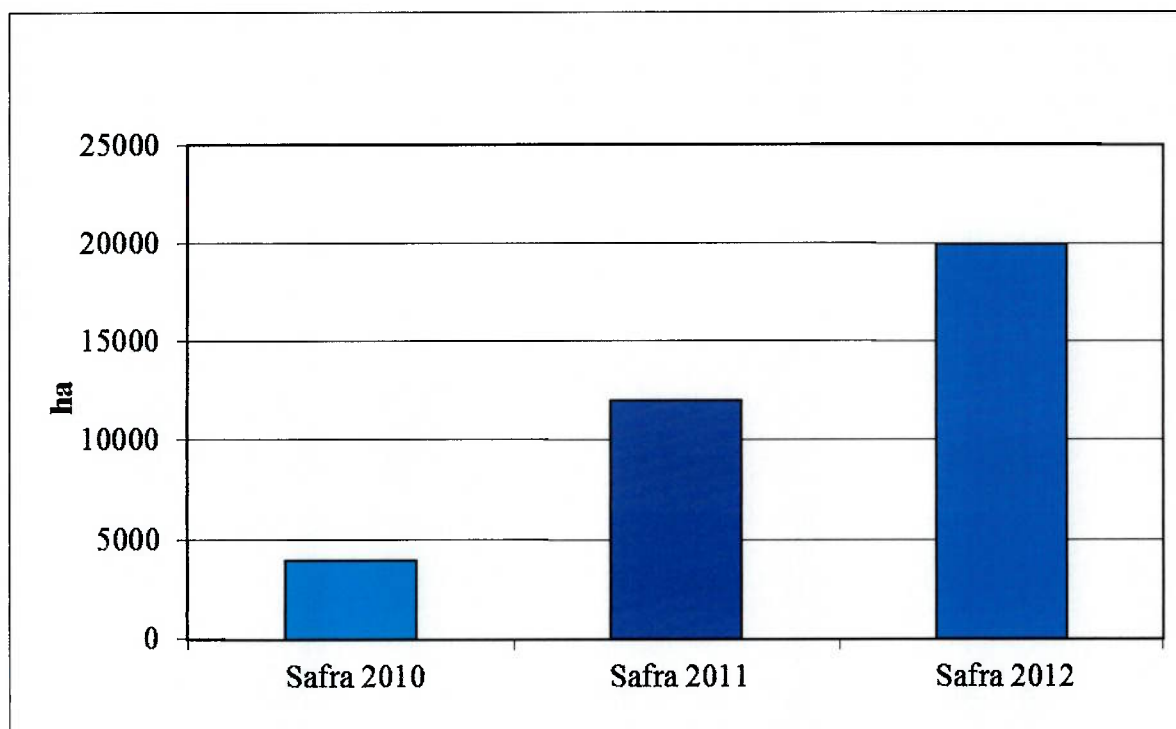


Figura 4.3 – Evolução da aplicação de vinhaça concentrada
Fonte: Dados de pesquisa

4.1.1 Reaproveitamento da água evaporada na concentração de vinhaça para utilização do processo

O setor sucroalcooleiro tem estado no centro dos debates das políticas públicas ambientais, sendo objeto de discussões nos conceitos de sustentabilidade e uso da água. Segundo Leite (2008), em relação à indústria, esta política envolve a racionalização do uso da água por otimização operacional, adoção de novas tecnologias com manutenção dos sistemas envolvidos e ações no sentido de preservação das áreas de proteção permanente, definidas pelo Código Florestal - Lei nº 4771/1965 (BRASIL, 1965) e Resolução nº 302/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, notadamente nascentes e represas (BRASIL, 2002).

Reusar água significa utilizar esta substância por mais de uma vez. Isto ocorre espontaneamente na própria natureza, através do ciclo hidrológico ou através da ação humana, de forma controlada. O reuso planejado da água pode ser utilizado para fins potáveis ou não potáveis. Nesta segunda categoria, o mais comum é sua utilização em atividades recepcionais recarga de lençol freático, geração de energia, irrigação, reabilitação de corpos d'água e uso

industrial (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP, 2008).

Analisando o balanço de massa e energia do sistema de concentração de vinhaça instalado na Usina, é notório o reaproveitamento da água evaporada no sistema de concentração de Vinhaça que poderá ser utilizado no processo industrial:

Tabela 4.3 – Dados para o balanço de massa

PROCESSO INDUSTRIAL	
Numero de efeitos da evaporação	5
Vazão de alimentação de vinhaça	200 t/h
Brix de alimentação	3°
Vazão de vinhaça concentrada	24 t/h
Brix de vinhaça concentrada	25°
Condensado Resultante da Evaporação	140,8 t/h
Consumo de Vapor Vegetal	40,9 t/h

Fonte: PELOSO, E.R.L (2013)

O Condensado resultante da Evaporação do Sistema de concentração de vinhaça pode ser utilizado:

- No tratamento de fermento (pH baixo) diminuindo o consumo de ácido sulfúrico;
- Na diluição de mosto;
- Na coluna de lavagem de CO₂;
- Na recirculação do condensado (com correção de pH) para usos diversos de água industrial;

Após a instalação do sistema de concentração de vinhaça, o consumo específico de água captada e o consumo de ácido sulfúrico na fermentação tiveram reduções de forma significativa conforme figuras a seguir:

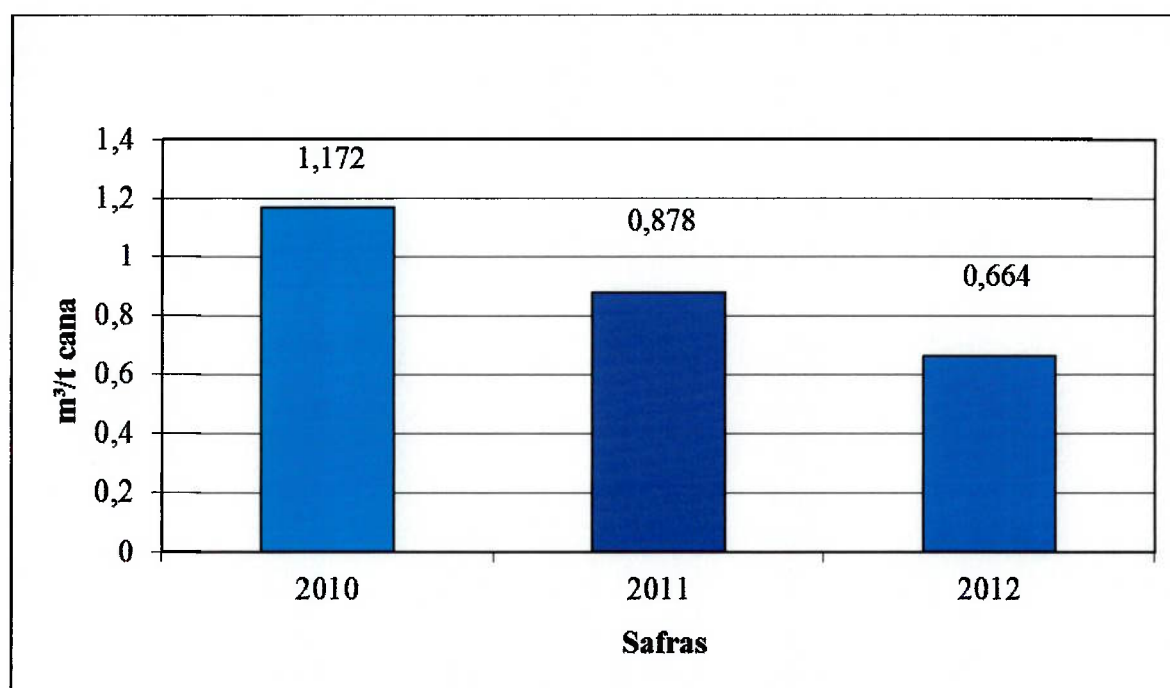


Figura 4.4 – Consumo específico de água
Fonte: Dados de pesquisa, 2013.

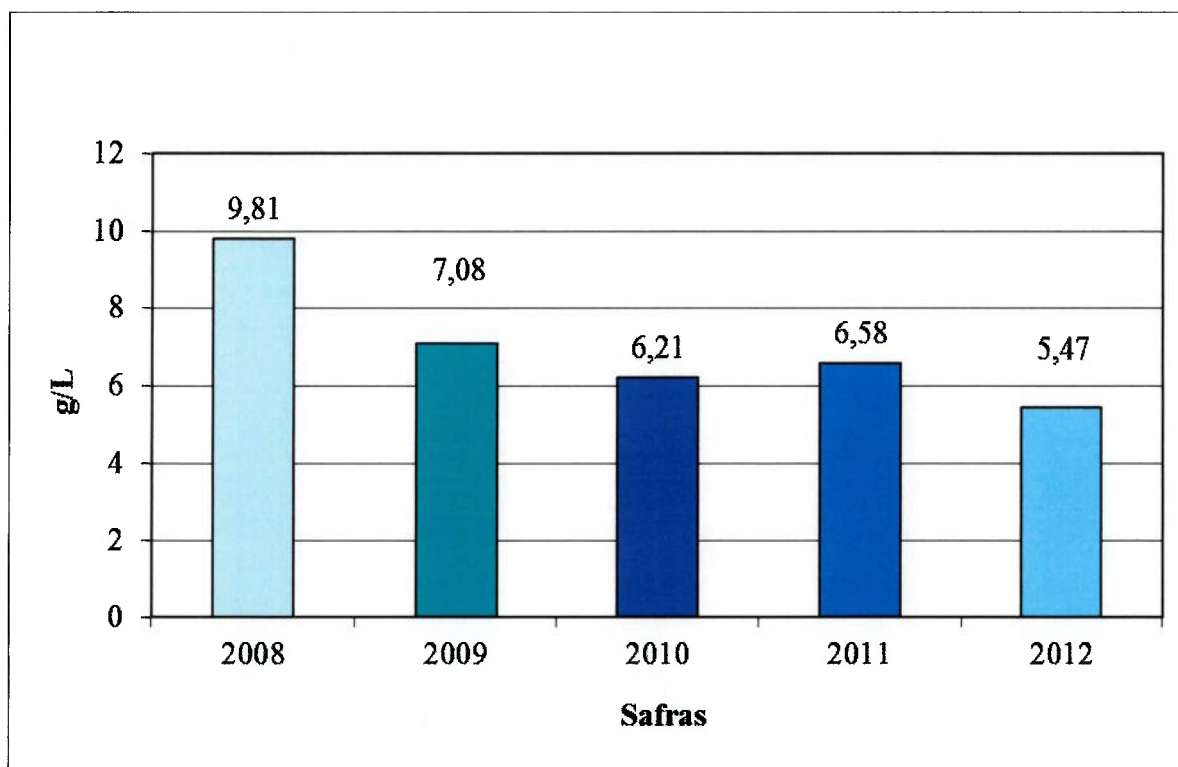


Figura 4.5 – Consumo de ácido sulfúrico
Fonte: Dados de pesquisa, 2013.

4.2 ASPECTOS ECONÔMICOS

Com a entrada da norma técnica da CETESB P4. 231, que limita a quantidade aplicada de vinhaça em 5% da CTC (capacidade de troca catiônica) do solo, as destilarias passaram a transportar o volume excedente de vinhaça para áreas mais distantes da unidade, podendo ocorrer o aumento substancial dos custos de produção.

Assim, a prática de concentração da vinhaça é vista como uma alternativa para reduzir os custos do transporte que são realizados por caminhões-tanque, que carregam a vinhaça até o campo para fins de fertilização (HULETT, 1980).

4.2.1 Custos de Implantação do Sistema de Concentração de Vinhaça

Serão considerados os seguintes custos para implantação do sistema de concentração de vinhaça:

4.2.1.1 Custos de Aplicação de Vinhaça

Tabela 4.4 – Receitas geradas pela economia na aplicação de vinhaça concentrada

ITEM	VINHAÇA <i>IN NATURA</i>	VINHAÇA CONCENTRADA
ÁREA DISPONÍVEL PARA APLICAÇÃO (ha)	4.000	4.000
CUSTO DE APLICAÇÃO (R\$/ha)	780	180
CUSTO TOTAL (R\$)	3.120.000,00	720.000,00
ECONOMIA/ RECEITA (R\$/Safrá)	2.400.000,00	

Fonte: Dados de pesquisa, 2013.

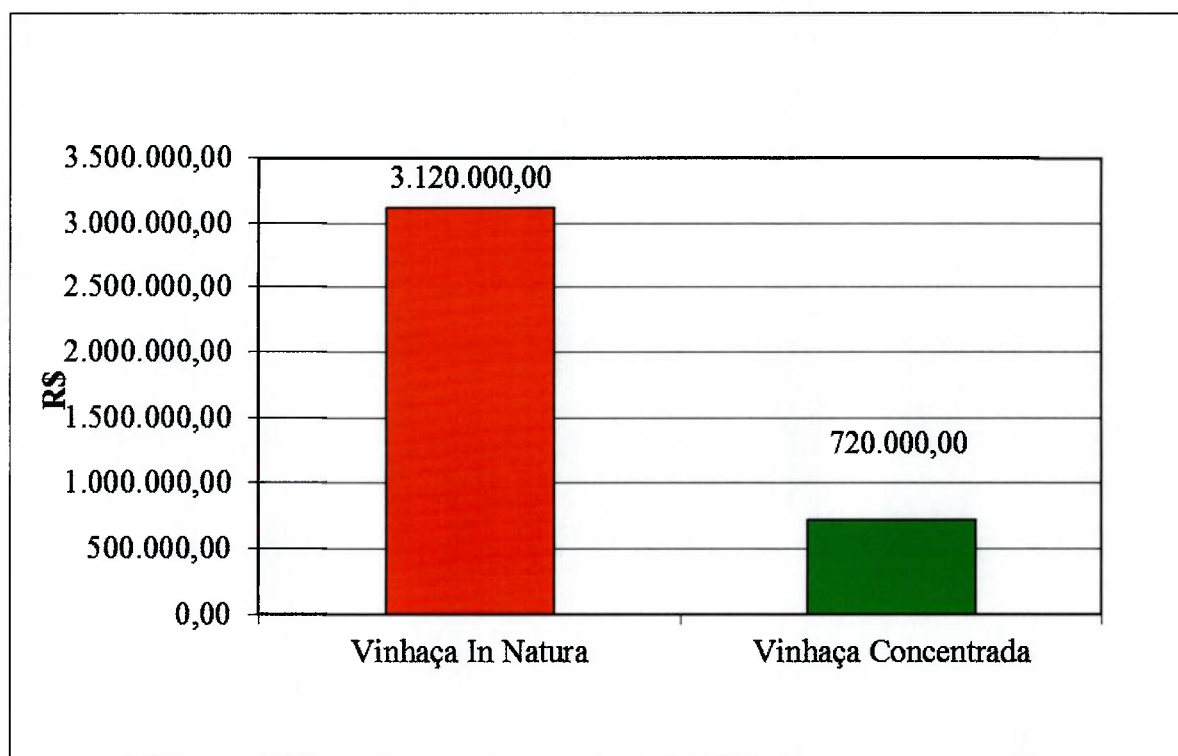


Figura 4.6 – Receitas geradas pela economia na aplicação de vinhaça concentrada
 Fonte: Dados de pesquisa, 2013.

4.2.1.2 Custos de Adubação

Tabela 4.5 – Receitas geradas pela economia de adubação

ITEM	VINHAÇA IN NATURA	VINHAÇA CONCENTRADA
ÁREA DISPONÍVEL PARA APLICAÇÃO (ha)	4.000	4.000
CUSTO DE APLICAÇÃO (R\$/ha)	580	167
CUSTO TOTAL (R\$)	2.320.000,00	668.000,00
ECONOMIA/ RECEITA (R\$/Safrá)	1.652.000,00	

Fonte: Dados de pesquisa, 2013.

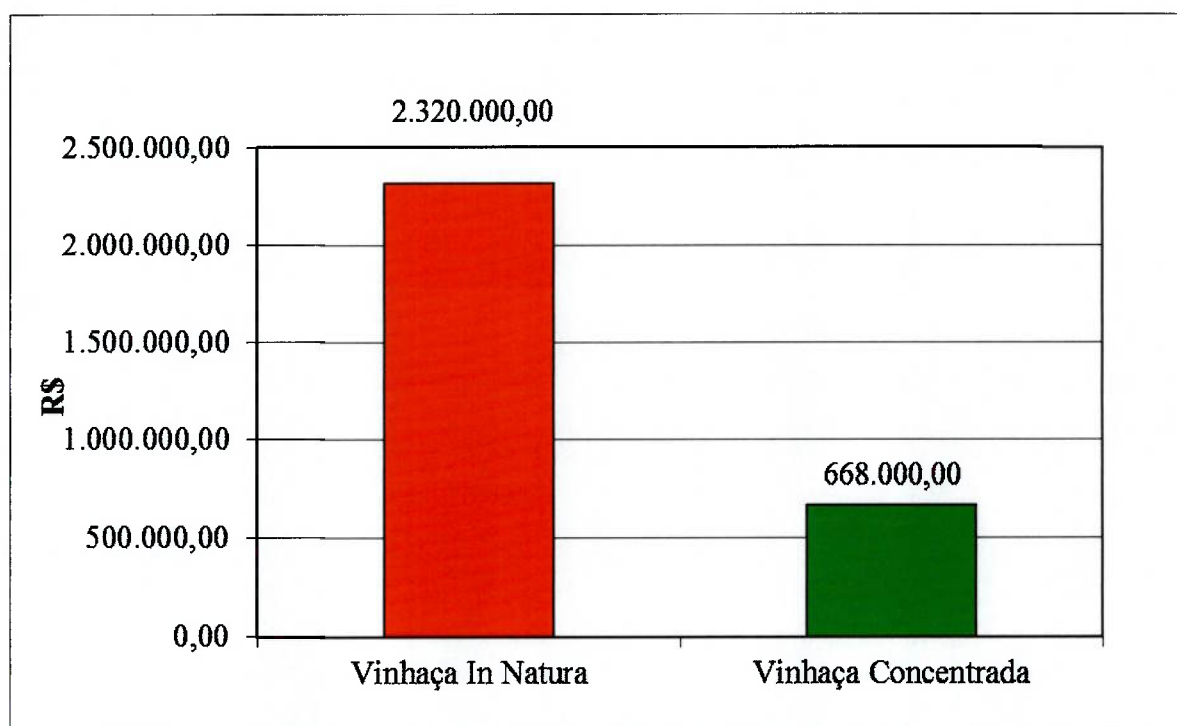


Figura 4.7 – Receitas geradas pelo economia de adubação
Fonte: Dados de pesquisa, 2013.

4.2.1.3 Custos de captação

Atualmente sabe-se que a cobrança pelo uso da água não é realizada em todo território nacional. Os custos com captação não foram considerados por não ser cobrado no estado de Mato Grosso do Sul.

4.2.1.4 Custos de operação

A operação do sistema é totalmente automatizada e a equipe que opera é a mesma que opera as destilarias e peneira molecular, portanto o custo de operação não está sendo considerado.

4.2.1.5 Resumos de investimentos

Conforme se observa na Tabela 4.6 podemos ver que a maior economia está na aplicação da vinhaça, que corresponde a 59% do total da receita.

Tabela 4.6 – Receitas geradas pelo custo evitado da compra de adubo

RESUMO	
Economia na aplicação de vinhaça (R\$/safra)	2.400.000,00
Economia com adubação (R\$/safra)	1.652.000,00
Economia total (R\$/safra)	4.052.000,00

Fonte: Dados de pesquisa, 2013.

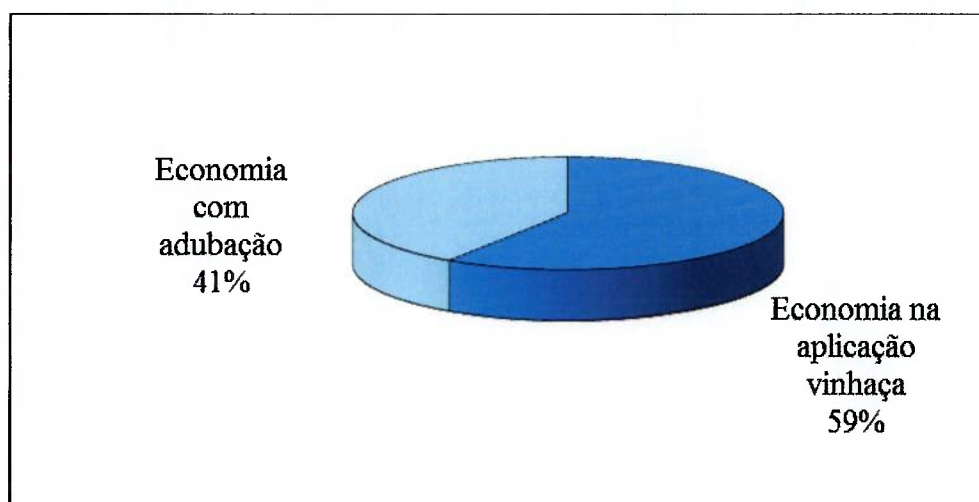


Figura 4.8 – Resumo de investimentos

Fonte: Dados de pesquisa, 2013.

O preço dos equipamentos e acessórios do sistema de concentração de vinhaça para a compra foi de R\$ 12.155.000,00, assim, considerando os valores da Tabela 4.7 e o preço dos equipamentos e acessórios instalados, chegamos ao período de payback de 3,44 anos.

Tabela 4.7 – Período de payback para o sistema

ANO	FLUXOS	FLUXOS AJUSTADOS	FLUXOS ACUMULADOS	PAYBACK
0	-\$12.155.000,00	-\$12.155.000,00	-\$12.155.000,00	3,44
1	\$4.052.000,00	\$3.810.061,12	-\$8.344.938,88	
2	\$4.052.000,00	\$3.582.568,05	-\$4.762.370,83	
3	\$4.052.000,00	\$3.368.658,25	-\$1.393.712,58	
4	\$4.052.000,00	\$3.167.520,69	\$1.773.808,10	
5	\$4.052.000,00	\$2.978.392,75	\$4.752.200,85	
6	\$4.052.000,00	\$2.800.557,35	\$7.552.758,20	

Fonte: Dados de pesquisa, 2013.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estado do Mato Grosso do Sul ainda não tem nenhuma legislação específica sobre o uso da vinhaça, o produto que sobra do processamento da cana na fabricação do etanol e do açúcar e que em razão de sua alta concentração de potássio e nitrogênio é utilizado para fertirrigar (adubar) os canaviais das próprias usinas.

A instalação do sistema de concentração de Vinhaça traz benefícios tanto nos aspectos ambientais quanto nos aspectos econômicos.

No que diz respeito aos aspectos ambientais, visto o aumento crescente da preocupação mundial com a possível escassez de água, o ponto notório da implantação do sistema de concentração de vinhaça é a redução no sistema de captação de água industrial da Usina.

Podemos citar também como pontos positivos a redução do risco de arraste de vinhaça para os corpos d'água superficiais, redução do risco de percolação da vinhaça para as águas subterrâneas, redução e, em alguns casos, eliminação dos fortes odores advindos da fertirrigação com vinhaça, mitigação das emissões dos gases de efeito estufa, CH₄ e N₂O, tanto pelo menor consumo de combustíveis fósseis e energia elétrica para o transporte e aplicação da vinhaça no campo (caminhões, hidrorolls, bombas de recalque, etc), quanto pela menor exposição da vinhaça ao ambiente atmosférico desde sua produção até a sua aplicação, entre outros.

Analizando os aspectos econômicos, sabe-se que a aplicação de vinhaça no solo tornou-se uma operação cara, onde as Usinas tem que transportar vinhaça para áreas mais distantes, gerando maiores custos de transporte.

Considerando os dados referentes aos custos de transporte/aplicação de vinhaça e adubação do canavial de cana-de-açúcar vemos que temos uma economia de R\$ 4.052.000,00 na safra, que pode ser usado para aperfeiçoar outros setores produtivos da Usina, bem como investir num programa de manutenção preventiva de equipamentos.

Através das visitas de campo em outras unidades também concentradoras de vinhaça, constatou-se a grande aceitação que essa tecnologia apresenta quando o assunto a ser debatido é o melhor gerenciamento do subproduto vinhaça. Quanto à viabilidade técnica, o fornecimento da tecnologia por empresas com alto nível de credibilidade e excelência tecnológica, a nível nacional e internacional, além dos ganhos econômicos e ambientais

alcançados pelas Unidades Agroindustriais que já se utilizam dessa tecnologia, atestam essa viabilidade e aceitação no setor.

REFERÊNCIAS

ADECOAGRO – Disponível em: <www.adecoagro.com>.

ANDRADE, Manuel de Correia. **Modernização e pobreza: a expansão da agroindústria canavieira e seu impacto ecológico social**. São Paulo: Editora UNESP, 1994.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – Disponível em: <www.anp.gov.br>.

BARRETO, Maria Joseli. **Dinâmica geográfica da expansão da agroindústria canavieira no Pontal do Paranapanema e os desdobramentos para o trabalho: os casos da usina Alvorada do Oeste e da destilaria Decasa**. Revista Eletrônica Pegada, v. 9, n. 1, jun. 2008. Disponível em: <<http://www4.fct.unesp.br/ceget/PEGADA91/09-9-1-MariaJoseliBarreto.pdf>>. Acesso em: 15 de out. 2009.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME) e Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis. **Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis**, nº 17, jan. 2011.

CAMHI, J. D. **Tratamento do vinhoto, subproduto da destilação**. 1979. 647p

CEPEA – Centro De Estudos Avançados Em Economia Aplicada – Disponível em: <www.cepea.esalq.usp.br>.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - **Vinhaça: Critérios e Procedimentos Para Aplicação No Solo Agrícola – Norma técnica P 4.231**, 2005, 12p. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/ca.../P4_231.pdf

CGEE – CENTRO DE GESTÃO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial da gasolina no mundo – Fase 2**. Campinas: Nipe/Unicamp, 2010.

COOPERATIVA CENTRAL DOS PRODUTORES DE AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Aproveitamento da vinhaça: viabilidade técnico-econômica**, 1979. 71p.

CORAZZA, R. I.; SALLES FILHO, S. **Opções produtivas mais limpas: uma perspectiva evolucionista a partir de um estudo de trajetória tecnológica na agroindústria canavieira.** In: **XXI Simpósio de Gestão da Inovação da Tecnológica.** 2000. Núcleo PGT – USP. São Paulo. Anais. São Paulo: XXI Simpósio de Gestão da Inovação da Tecnológica, 2000. P.89-102.

CORTEZ, L.; MAGALHAES, P.; HAPPI, J. **Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização.** Revista Brasileira de Energia. V. 2, Nº2, p. 1-17.

CRUZ, Juliana I. da et al. **Deteção de contaminação de solo por vinhaça através de análise de dados de eletrorresistividade.** Revista Brasileira de Geofísica. 2008. v.26. 4.ed. p. 481-492.

CTC – Centro de Tecnologia Canavieira – Disponível em: <www.ctcanavieira.com.br>.

DEDINI, **Concentração de Vinhaça a 55° Brix integrada a Usina Sucroenergética,** Apresentação em 27 junho de 2012. Disponível em: <http://www.dedini.com.br>

DINIZ, K M. **Subsídios para a gestão dos planos de aplicação de vinhaça (PAV): Um estudo de caso da região de Piracicaba.** São Paulo, FGV, 2010

DOMINGUES, A. T. **A territorialização da cana-de-açúcar no Mato Grosso do Sul.** Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n.34, v.1, p.138-160, jan./jul.2012.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise de conjuntura dos biocombustíveis,** Janeiro 2010 – Dezembro 2010. Mai. de 2011.

FABRINI, João Edmilson. **A Posse da Terra e o Sem-Terra no Sul do Matogrosso do Sul: o caso Itaquiraí.** 1996. Dissertação (Mestrado em Geografia). FCT/UNESP, Presidente Prudente. 1996.

FREIRE, W.J.; CORTEZ, L.A.B. **Vinhaça de cana-de-açúcar.** 2000. Ed. Agropecuária. Guaíba. 2000. 203p

GLÓRIA, N. A. **Aplicação de vinhaça: Um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado.** Revista Alcool Açúcar, v.16, p.32-39, 1984.

GERMECK, H.A. & FEIGL, G.F., **Processo de redução de vinhaça.** STAB, Piracicaba, São Paulo, 1987, p 42-50.

GRANATO, E. F. **Geração de energia elétrica pela biodigestão anaeróbia da vinhaça**. 2003. 139p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) UNESP. Bauru. 2003.

JORNAL CANA – Disponível em: <www.jornalcana.com.br/noticia/Jornal-Cana/20735+Usina-Angelica-surpreende-com-tecnologia-de-ponta>.

LAPPONI, J. C. **Projetos de investimento nas empresas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2007, 512 p.

LEITE, R. **Pró-Álcool: A Única Alternativa para o Futuro**. Campinas: 1985. Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br/etanol/>> Acesso em: fev. 2012

LUZ, P. C.H., DAMY, C. R. S., VIZZOTTO, B.A. **Manejo do uso da vinhaça no solo agrícola de acordo com a norma técnica P 4.321**. 2008. Disponível em: <<http://www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/viewArticle/100>>. Acesso em: 20/05/2013

MARQUES, F. **Vias para avançar como líder do etanol**. Revista Pesquisa FAPESP, São Paulo, n.149, p.20-25, 2008.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>.

MENEZES, T. J. B. **Etanol o combustível do Brasil**. São Paulo. Editora Agronômica Ceres, 1980, 229p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Anuário Estatístico da Agroenergia**. Brasília, 2009.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira: Exercício de 2010 (Preliminar)**. Brasília: 2010. Disponível em: <http://portalpch.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=5380:2505-2011-resenha-energetica-de-2011&catid=1:ultimas-noticias&Itemid=98>. Acesso em: 23 ago. 2011

NETO, E.; NAKAHODO, T.; ROSELL, C. **Biodigestão da Vinhaça com Reator Anaeróbio de Manta de Lodo**. Relatório Técnico Copersucar 88/89-352. São Paulo, 1988.

NORONHA, J.F. **Projetos agropecuários: administração financeira, orçamento e viabilidade econômica**. 2. Ed. São Paulo: Editora Atlas S/A, 1987. 269 p.

OLGUIN, E. J., DOELLE, H. W., MERCADO, G. **Resource recovery through recycling of sugar processing by-products and residuals Resource**. Conserv. Recyling, Out. 1995.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETOR, R.; GERALDI, R.N. **Adubação potássica em cana-de-açúcar: II Análise química do solo e diagnose folia**. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 5., 1993, Águas de São Pedro. Anais... Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 1994. p. 50-54.

ORLANDO FILHO, J. et al. **Relações K, Ca, Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar**. STAB Açúcar e Alcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 14, nº 5, p.13 -17, 1996.

ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C.; ALVES, M.C. **Aplicação de vinhaça em solo arenoso do Brasil e poluição do lençol freático com nitrogênio**. STAB Açúcar, Alcool e Subprodutos, v. 13, n. 6, p. 14-16, 1995.

PEIXOTO, A M et al. **Enciclopédia Agrícola Brasileira, S-Z**, São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo: Fapesp, 2006. V.6

PERINA, R. **Custos de produção e elaboração e análise de projetos. PECEGE – Investimento e Gestão na Agroindústria Sucroalcooleira**. Piracicaba, 2009. Apostila.

PINTO, C. **Tecnologia da digestão anaeróbia da vinhaça e desenvolvimento sustentável**. 1999. 147 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos). Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

Revista Brasileira de Energia. Disponível em <<http://www.sbpe.org.br>>

REZENDE, J. O. **Vinhaça: Outra grande ameaça ao meio ambiente**. 1984. UFBA. 1984

ROSSETO, A. J. **Uso de resíduos e produção de alimentos em canaviais**. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar. Cultivo e utilização**. Campinas, Fundação Cargill, 1987, 856p.

ROSSETO, R.; et al., **Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecanizada**. Informações Agrônômicas. n. 124 p. 8-13 dez. 2008

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Disponível em: <www.sabesp.com.br>

SENA, M. E. **Reaproveitamento do vinhoto como fertilizantes e na geração de biogás através da combinação de processos com membranas de fermentação anaeróbica.** 1998. Projeto Submetido à FAPERJ – E26/171.524/98-RJ.

SEPROTUR - Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agrário, da Produção, da Indústria, do Comércio e do Turismo **Programa: Desenvolvimento do setor sucroalcooleiro.** Disponível em: <<http://www.seprotur.ms.gov.br/index.php?inside=1&tp=3&comp=1768&show=977>>. Acesso em: 17/02/2013.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.11, p.108-114, Set 2006.

SOARES, P. **O Setor Sucroalcooleiro e o domínio tecnológico.** São Paulo. 29 p. Disponível em: <<http://www.naippe.fm.usp.br/trabalhos/vol2.PDF>>. Acesso em: 29/01/2013.

URBAN, E. **Concentração de Vinhaça.** In: **Seminário Internacional sobre Tratamento de Vinhoto.** Anais. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de tecnologia, 1976. p. 45-51.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar – Disponível em: <www.unica.com.br>.