

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 22 / 11 / 00

Ass.: 

**“PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O
PLANEJAMENTO DO USO AGRÍCOLA DA VINHACA,
CONSIDERANDO OS SEUS ASPECTOS AMBIENTAIS, POR
MEIO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS”.**

Engenheiro Agrônomo: **Marcos Bravin dos Santos**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental

DEDALUS - Acervo - EESC



31100017059

ORIENTADOR: Prof. Dr. Antonio Marozzi Righetto



São Carlos
2000

Class.	TESE-EEYC
Curt.	5379
Tombo	042/01

31100017059

20 1127669

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC/USP

S237p	<p>Santos, Marcos Bravin dos -</p> <p>Proposta metodológica para o planejamento do uso agrícola da vinhaça, considerando os seus aspectos ambientais, por meio de sistema de informações geográficas / Marcos Bravin dos Santos. -- São Carlos, 2000.</p> <hr/> <p>Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000. Área: Ciências da Engenharia Ambiental. Orientador: Prof. Dr. Antonio Marozzi Righetto.</p> <p>1. SIG. 2. Uso agrícola da vinhaça. 3. Banco de dados georreferenciado. 4. Criticidade. 5. Graus de potencialidade. 6. Planejamento do uso do solo.</p> <p>I. Título.</p>
-------	--

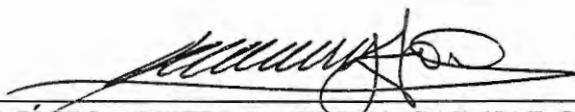
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **MARCOS BRAVIN DOS SANTOS**

Dissertação defendida e aprovada em 19-09-2000
pela Comissão Julgadora:



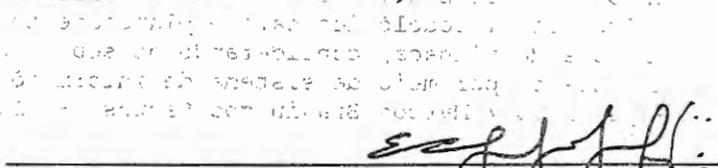
Prof. Titular **FAZAL HUSSAIN CHAUDHRY (Substituto)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



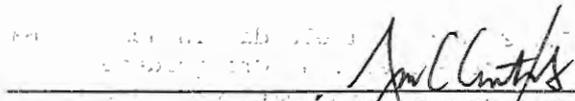
Prof. Doutor **NEMÉSIO NEVES BATISTA SALVADOR**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)



Prof. Doutor **HOMERO FONSECA FILHO**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)



Prof. Doutor **EVALDO LUIZ GAETA ESPÍNDOLA**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Ciências da Engenharia Ambiental



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Antonio Marozzi Righetto agradeço todos os momentos em que depositou total confiança em mim e no trabalho, demonstrando um enorme senso de profissionalismo, bem como atenção, gentileza e sobretudo a amizade.

Ao Professor Homero Fonseca Filho e demais funcionários da UFSCar- *campus* Araras, pelo constante estímulo, contribuições para o meu desenvolvimento profissional e amizade.

Ao CNPq pelo apoio financeiro e de reconhecer a real importância da pesquisa para o país.

A todo o corpo de funcionários do SHS, CRHEA e secretaria de pós-graduação, que de alguma forma estiveram envolvidos na presente pesquisa, por todos os anos de convivência e permanente ajuda para a conclusão do trabalho.

A Usina Santa Lúcia (Araras) pela colaboração à realização do trabalho em nome das seguintes pessoas: César Krugger Ometto, Fernando Ometto Zancaner, Celso e Eduardo.

Ao contínuo aprendizado e crescimento profissional proporcionado pela convivência com os amigos do LAB-SIG: Aurélio, Victor, Ruth e Marcelo (Minduca), além dos amigos Tony (Cabeçudo), Reginaldo, Raquel, Sissy, Eva, Aldinho, dentre outros, que de alguma forma fazem parte desse trabalho.

A imensa confiança e o amor dos meus pais Laurindo e Aines, irmãos Fernando e Alexandre e família que sempre irão fazer parte da minha vida.

À minha amiga Kátia Bakker, pelo eterno carinho e confiança, meu muito obrigado.

A Deus pela graça da existência e de nos possibilitar a realização de ações construtivas em nossas vidas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE SÍMBOLOS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 Características gerais da vinhaça	5
3.1.1. Produção	5
3.1.2 Composição e Efeito Poluidor	7
3.1.3 Efeito fertilizante da Vinhaça	13
3.1.4 Sistemas de disposição de vinhaça	14
3.1.4.1 Sulcos de infiltração	18
3.1.4.2 Caminhões-tanque	18
3.1.4.3 Aspersão	19
3.1.4.4 Inundação	21
3.1.4.5 Irrigação superficial	21
3.1.4.6 Infiltração rápida/lenta	22
3.2 Efeito da vinhaça nas propriedades do solo	22
3.2.1. Aspectos químicos	23

3.2.2. Aspectos microbiológicos _____	27
3.3 Efeito da aplicação sobre os recursos hídricos _____	29
3.3.1. Efeito sobre as águas superficiais _____	29
3.3.2. Efeito sobre as águas subterrâneas _____	30
3.4. Efeito da vinhaça no Rendimento Agrícola, Produtividade e Qualidade da Matéria Prima _____	33
3.5. Aspectos legais referentes à disposição de vinhaça nos solos agrícolas _____	35
3.6. O Sistema de Informações Geográficas _____	38
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO _____	42
5. METODOLOGIA _____	48
5.1. Levantamento de dados _____	48
5.1.1. Utilização de Sistema de Informações Geográficas _____	50
5.1.1.1 Geração de mapas temáticos _____	50
5.1.1.2 Mapa das áreas sob aplicação de vinhaça _____	51
5.1.2. Implantação de um Banco de Dados georreferenciado ____	52
5.1.2.1 Exploração da base de dados _____	53
5.1.2.2 Consulta por localização _____	53
5.1.2.3 Consulta por atributo - Filtro _____	54
5.1.2.4 Visualização de atributos do Banco de Dados ____	55
5.1.3. Simulação para a determinação da máxima dosagem recomendada à aplicação de vinhaça (Situação Recomendada) __	56

5.1.4. Caracterização dos Cenários de criticidade através do uso de ponderação (Situação Ideal)	57
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
6.1. Mapas temáticos via Sistema de Informações Geográficas	67
6.1.1. Mapa de Hidrografia	67
6.1.2. Mapa de Classes de declividade	70
6.1.3. Mapa Pedológico	72
6.1.4. Mapa de teores de potássio no solo	75
6.1.5. Mapa de dosagem de vinhaça recomendada	78
6.2. Determinação das áreas críticas ao uso agrícola da vinhaça considerando os aspectos ambientais	81
6.2.1. Mapa de Criticidade – 1º Cenário	81
6.2.2. Mapa de Criticidade – 2º Cenário	86
6.2.3. Mapa de Criticidade – 3º Cenário	91
6.3. Obtenção dos graus de potencialidade à aplicação de vinhaça	96
6.3.1. Potencialidade – 1º Cenário	96
6.3.2. Potencialidade – 2º Cenário	100
6.3.3. Potencialidade – 3º Cenário	104
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	109
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Fluxograma básico no processo de fabricação de álcool hidratado a partir do caldo direto _____	06
Figura 3.2: Alternativas agrícolas para o uso da vinhaça _____	15
Figura 3.3: Procedimento de análise para planejamento da erosão no solo _____	41
Figura 4.1: Mapa do Estado de São Paulo com a localização da área de estudo _____	44
Figura 5.1: Metodologia Resumida aplicada na pesquisa _____	48
Figura 5.2: Metodologia para obtenção do mapa CRIT1 _____	63
Figura 5.3: Metodologia para obtenção do mapa CRIT2 _____	64
Figura 5.4: Metodologia para obtenção do mapa CRIT3 _____	65
Figura 5.5: Mapa referente a comparação entre as imagens de dosagem simulada e criticidade para cada cenário _____	66
Figura 6.1: Mapa de hidrografia da área em estudo _____	68
Figura 6.2: Mapa de hidrografia e suas faixas de proteção (<i>Buffers</i>) _____	69
Figura 6.3: Mapa de classes de declividade da área em estudo _____	71
Figura 6.4: Mapa pedológico da área em estudo _____	74
Figura 6.5: Mapa de teores de potássio da área em estudo _____	76
Figura 6.6: Mapa de dosagem de vinhaça simulada (Kg K ₂ O/ha.ano) da área em estudo _____	79

Figura 6.7: Mapa de criticidade para o 1º Cenário (Pedologia = Teor de K no solo = Declividade = Hidrografia) _____	82
Figura 6.8: Detalhe das áreas de média e alta criticidade - Cenário 1 _____	84
Figura 6.9: Detalhe das áreas de alta e muito alta criticidade Cenário 1 _____	84
Figura 6.10: Mapa de criticidade para o 2º Cenário (Pedologia > Teor de K no solo > Declividade > Hidrografia) _____	87
Figura 6.11: Detalhe das áreas de média e muito alta criticidade Cenário 2 _____	88
Figura 6.12: Detalhe das áreas fertirrigadas de média e muito alta criticidade Cenário 2 _____	90
Figura 6.13: Detalhe das áreas fertirrigadas de alta e muito alta criticidade Solos hidromórficos _____	90
Figura 6.14: Mapa de criticidade para o 3º Cenário (Teor de K no solo > Pedologia > Declividade > Hidrografia) _____	92
Figura 6.15: Detalhe das áreas sob média, alta e muito alta Criticidade - Cenário 3 _____	94
Figura 6.16: Classes de potencialidade ao uso agrícola da vinhaça _____	97
Figura 6.17: Graus de potencialidade ao uso agrícola da vinhaça Cenário 1 _____	98
Figura 6.18: Graus de potencialidade ao uso agrícola da vinhaça Cenário 2 _____	101
Figura 6.19: Detalhe das classes de potencialidade ao uso agrícola da vinhaça Cenário 2 _____	103
Figura 6.20: Graus de potencialidade ao uso agrícola da vinhaça Cenário 3 _____	105
Figura 6.21: Detalhe das classes de potencialidade – 3º Cenário _____	106
Figura 6.22: Locais considerados de baixo potencial ao uso da vinhaça _____	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Características físicas e bioquímicas da vinhaça _____	9
Tabela 3.2 Média da composição química da vinhaça no Brasil _____	10
Tabela 3.3 Análise comparativa, em diferentes épocas, da expansão/retração de áreas sob aplicação de vinhaça conforme o método de aplicação em destilarias anexas (ha) _____	17
Tabela 3.4 Análise comparativa, em diferentes épocas, da expansão/retração de áreas sob aplicação de vinhaça conforme o método de aplicação em destilarias autônomas (ha) _____	17
Tabela 5.1 Tipo de restrição à aplicação de vinhaça em relação aos recursos hídricos e ao enquadramento em classes de usos _____	58
Tabela 5.2 Tipo de restrição à aplicação de vinhaça em relação as classes de declividade _____	59
Tabela 5.3 Limite de aplicação de vinhaça considerando os teores de potássio no solo _____	59
Tabela 5.4 Limite de aplicação de vinhaça considerando a Pedologia _____	61
Tabela 5.5 Parâmetros para a classificação de situações limitantes ao uso agrícola da vinhaça _____	62
Tabela 5.6 Classes de limitações à aplicação de vinhaça _____	62
Tabela 6.1 Distribuição das classes de declividade e suas respectivas áreas (ha) _____	70
Tabela 6.2 Distribuição das classes de solos e suas respectivas áreas (ha) _____	72
Tabela 6.3 Distribuição das classes de teores de potássio (mmol/dm^3) no solo e suas respectivas áreas (ha) _____	77

Tabela 6.4 Distribuição das classes de dosagens simuladas e suas respectivas áreas (ha) _____	80
Tabela 6.5 Classes de criticidade para o 1º Cenário _____	83
Tabela 6.6 Classes de criticidade para o 2º Cenário _____	86
Tabela 6.7 Classes de criticidade para o 3º Cenário _____	91
Tabela 6.8 Graus de potencialidade à aplicação de vinhaça (1º Cenário) considerando a situação simulada x situação ideal _____	96
Tabela 6.9 Graus de potencialidade à aplicação de vinhaça (2º Cenário) considerando a situação simulada x situação ideal _____	100
Tabela 6.10 Graus de potencialidade à aplicação de vinhaça (3º Cenário) considerando a situação simulada x situação ideal _____	104

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

CETESB → Companhia de Tecnologia de Saneamento básico

CONAMA → Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPERSUCAR → Cooperativa dos Produtores de Alcool e Açúcar do Estado de São Paulo

CTC → Capacidade de Troca Catiônica

DBO → Demanda Bioquímica de Oxigênio

FAO → Food and Agriculture Organization of The United Nations

Hi → Solos Hidromórficos

IAA → Instituto do Açúcar e do Alcool

IAC → Instituto Agrônômico de Campinas

IBGE → Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IG → Instituto Geológico

IMAFLORA → Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola

Li → Solos Litólicos

Lr → Latossolo Roxo

MDT → Modelo Digital do Terreno

mE → Meridiano Leste

MINTER → Portaria Ministerial

mN → Meridiano Norte

OPEP → Organização dos Países Exportadores de Petróleo

PEQ → Plano de Eliminação de Queimadas

PLANALSUCAR → Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar

PROALCOOL → Programa Nacional do Alcool

PV → Podzólico Vermelho Amarelo

PVC → Policloreto de Vinila

SIG → Sistema de Informações Geográficas

SGBD → Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados

SQL → Structured Query Language

USEPA → United States Environmental Protection Agency

UTM → Projeção Universal Transversa de Mercator

RESUMO

SANTOS, M.B. (2000). Proposta metodológica para o planejamento do uso agrícola da vinhaça, considerando os seus aspectos ambientais, por meio de um Sistema de Informações Geográficas. São Carlos, 122 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O trabalho objetivou propor uma metodologia que auxilie no planejamento ao uso agrícola da vinhaça, considerando os fatores ambientais envolvidos. A área estudada compreende o município de Araras (SP), tradicional no cultivo de cana-de-açúcar e que utiliza o subproduto para fins agrícolas. Para tanto, foram coletados dados de grande importância que influenciam na dosagem de vinhaça recomendada (teor de Potássio no solo e na vinhaça e outras propriedades químicas dos solos estudados). Através do Sistema de Informações Geográficas -IDRISI 2.0 - foi possível gerar mapas básicos e temáticos. Estes últimos foram sobrepostos entre si, originando cenários de criticidade, os quais foram relacionados aos locais aonde é realizada a fertirrigação de vinhaça. A esses cenários foi adicionado o mapa de simulação das dosagens de Potássio (Kg K₂O/ha), resultando em graus de potencialidade a cada cenário. Lançou-se mão da construção e manipulação de um Banco de Dados georreferenciado, de forma a associar tais informações as imagens obtidas. Ao analisar os dados, constata-se que a maioria das áreas estudadas encontra-se sob baixa criticidade. Contudo, algumas unidades de estudo apresentam-se coincidentes quanto aos altos graus de criticidade e potencialidade, indicando haver a necessidade de maiores cuidados às mesmas, caso a simulação fosse considerada. Dessa forma ressalta-se a importância de um sistema de gerenciamento ao uso agrícola da vinhaça que considere, além dos fatores técnico-econômicos, aqueles relativos ao meio ambiente, de modo que a sua disposição nos solos possa representar uma opção mais segura.

Palavras chaves: SIG, uso agrícola da vinhaça, banco de dados georreferenciado, criticidade, graus de potencialidade e planejamento do uso do solo.

ABSTRACT

SANTOS, M.B.(2000). Methodological proposition for the land application of vinasse for agricultural purposes in accordance with the environmental aspects using Geographic Information System. São Carlos, 122p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

It is the purpose of this study to propose a methodology based on Geographic Information System (GIS) as a support in the management of land application of vinasse. The area studied includes the city of Araras (SP), Brazil, a region with a tradition of sugarcane tillage and of reuse of by-products of sugar industry in agriculture. Thus, data were obtained which are important in determination of recommendable dosages of vinasse, specially, potassium content in the soil and vinasse. Employing IDRISI 2.0 as GIS, it was possible to generate basic and thematic maps. The latter maps were overlaid on each other producing criticality scenarios which were related to the locations of the use in fertirrigation. To these scenarios, the map representing the results of simulation of Potassium dosage ($K_2O/ha.year$), were added in order to obtain the potenciality of each scenarios as to the suitability for agricultural use. A data bank was constructed for associating the useful information to the images that were generated. An analysis of data thus obtained showed that majority of areas offer low criticality. However, some units under study show coincidences as regard criticality and potenciality indicating the need for a careful analysis of such areas when simulating the potassium dosages. This result points to the importance of a management system for the agriculture use of vinasse which considers environmental aspects besides the technical in order to ensure its safe disposal in the soil.

Key words: GIS, land application of vinasse, data bank, criticality, potenciality and management land use.

1 INTRODUÇÃO

Dado o contexto histórico de profundas transformações no mercado internacional de petróleo no final do ano de 1973 (elevação dos preços pelos países membros da OPEP, impactando significativamente todas as economias mundiais importadoras do produto) e um ambiente político de desenvolvimentismo propiciado pelos governos militares, onde a questão que se colocava era a de como manter a taxa de crescimento do PIB e ao mesmo tempo conseguir o equilíbrio do balanço de pagamentos e conservar a taxa de inflação sob controle, o Brasil implantou o que se convencionou chamar o maior Programa de fonte alternativa de energia oriundo de biomassa vegetal de todo o mundo: o **PROALCOOL**.

Com relação ao processo de implementação do programa, devem ser destacadas duas fases: a primeira que vai de novembro de 1975 até 1978, correspondendo ao uso da mistura álcool-gasolina, à implantação das destilarias anexas e ao envolvimento da indústria automotiva para a produção de carros á álcool; a segunda, iniciada em 1979, foi para produção em larga escala do álcool hidratado, para ser usado em carros exclusivamente com este combustível.

O que pareceu ser o motivo principal à implementação do Programa, ou seja, toda a alteração da estrutura energética do País, acabou servindo de “motivo secundário”, face ao então cenário internacional relativamente estável, uma vez que a questão para o governo era mais de cunho econômico (através do ajuste da economia aos efeitos dos preços mais altos e melhoria da balança de pagamentos) do que estratégico para o uso de uma fonte alternativa renovável.

Além disso, é digno de nota as considerações feitas por CASTRO (1980) *apud* QUEDA (1998) com relação à inquietação das possíveis consequências geradas por um programa de tamanha magnitude. Segundo esse autor, sete seriam os problemas do proálcool, quais sejam: “1) competir com alimentos, ao ocupar áreas destinadas à produção desses alimentos; 2) ampliar o número de trabalhadores bóia-

frias; 3) aumentar a concentração da terra e da renda; 4) acentuar os desequilíbrios regionais; 5) provocar mais danos e desequilíbrios ecológicos; 6) destruir, através da admissão de capital estrangeiro, o parque nacional de equipamentos (destilarias, moendas, etc.) e 7) servir para quê e para quem?. Algumas dessas questões podem ser melhor discutidas e aprofundadas no contexto atual das políticas agrícola, energética e também sociais. Do ponto de vista do presente trabalho, a atenção será direcionada aos possíveis impactos ambientais da atividade- não de todo o seu modo de produção-, mas sim de um segmento específico referente ao uso dos seus subprodutos e resíduos.

Portanto, desde 1968, com a criação do FESB e logo em seguida com a criação do Programa Nacional do Alcool (PNA-1975), que os resíduos gerados por essa atividade começaram a ser vistos como “comprometedores” dos recursos naturais.

Sendo assim, a vinhaça, principal subproduto obtido através da destilação do álcool de cana-de-açúcar, sempre se constituiu em um dos principais desafios às unidades sucroalcooleiras no que diz respeito a sua utilização e disposição segura, em função da sua alta carga poluidora. É certo que nas últimas décadas, principalmente após a proibição do seu lançamento “in natura” nos rios por Portaria Ministerial^{*}, houve grande evolução das pesquisas no sentido de indicar melhores formas para a sua disposição e aproveitamento.

Houve, portanto, o estabelecimento de sistemas adequados e confiáveis para a distribuição e aplicação de vinhaça, de forma conjunta às pesquisas dos principais problemas potenciais que a vinhaça poderia causar ao solo, tais como: elevação do potencial osmótico (com o aumento da concentração de potássio), redução do teor de oxigênio, digestão da matéria orgânica coloidal pelos microrganismos, possível contaminação da zona não saturada do solo, dentre outros aspectos.

No entanto, apesar dos esforços estarem voltados ao aperfeiçoamento dos processos de fermentação e destilação, ou seja, diminuição da relação do volume de

^{*} Portaria GM/Nº323/1978 - Proibição do lançamento direto ou indireto da vinhaça em qualquer coleção hídrica.

vinhaça por litro de álcool produzido ou o desenvolvimento de novos métodos de tratamento de resíduos, as alternativas até então propostas não apresentavam restrições ambientais. No atual contexto, onde os aspectos relacionados a legislação ambiental são muito mais presentes que outrora, considera-se um maior controle dos efeitos ambientais da indústria sucroalcooleira.

Vale salientar que, dentre as possíveis soluções atuais adotadas para a redução das cargas poluidoras tais como: a concentração da vinhaça, tratamento químico e biológico ou, ainda, a produção de biomassa, é a sua utilização como fertilizante, através da aplicação via solo, a forma atualmente mais usual de disposição.

Considerando-se as altas taxas de aplicação desse resíduo no solo, os estudos sobre os seus efeitos têm se baseado nas possíveis alterações das características físico-químicas desse sistema quanto a dinâmica dos nutrientes. Mais recentemente têm-se dado grande destaque ao possível efeito sobre as águas subterrâneas com ênfase na mineralização da matéria orgânica do solo (através das transformações do nitrogênio orgânico a amônio, nitrito e nitrato, com a possibilidade de lixiviação) e aumento da concentração desse nutriente no lençol freático.

Nota-se que o setor sucroalcooleiro está passando por profundas transformações dentro do seu modo de produção, tendo que buscar respostas rápidas, no entanto duradouras, para os problemas sociais, ambientais e econômicos gerados pela atividade durante séculos. Nesse contexto é que o estudo sobre os possíveis impactos ambientais advindos da disposição de vinhaça nos solos agrícolas encontrou motivação para o questionamento e proposição de alternativas a certos conceitos pré-determinados ou que tornaram-se usuais ao longo dos anos.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho pretende, como objetivo geral, propor o planejamento de ações que visem um melhor aproveitamento do subproduto vinhaça, seja através da restrição ao uso em locais considerados críticos ou através da sua redistribuição em áreas subaproveitadas, a partir do levantamento de fatores ambientais envolvidos no processo de localização das áreas de disposição de vinhaça.

Como objetivos específicos, propõem-se:

- Construir, facilitar a atualização dos dados e manipular um modelo de banco de dados georreferenciado, o qual servirá de suporte ao planejamento das ações que visem o aproveitamento mais racional da vinhaça.
- Estabelecer critérios de restrição ao uso agrícola da vinhaça, lançando-se mão do Sistema de Informações Geográficas – IDRISI2.0 *for windows* - para a configuração de cenários de criticidade, através de ponderação dos fatores envolvidos entre si;
- Caracterizar graus de potencialidade ao uso agrícola da vinhaça, no que diz respeito às dosagens simuladas (**situação possível**), comparando-as às áreas denominadas críticas e que levam em consideração os fatores ambientais (**situação ideal**);

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a introdução do tema, é importante destacarmos o significado do termo fertirrigação que será predominantemente citado no transcorrer do texto. Segundo MATIOLLI (1989) a fertirrigação é o processo conjugado de irrigação e adubação, que se utiliza da própria água de irrigação para conduzir e distribuir o adubo na lavoura. Cita, ainda, que esse termo não é o mais correto, embora amplamente usado, pois 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.

3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA VINHAÇA

3.1.1 PRODUÇÃO

Com a implantação e consolidação do PROALCOOL no país, foram fixadas metas a serem atingidas em termos de produção de álcool. Segundo ORLANDO FILHO *et al.* (1995) o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar com 12 bilhões de litros de álcool/ano, basicamente para fins carburantes. Atualmente cada litro de álcool produz 12 litros de vinhaça e, portanto, a quantidade de vinhaça produzida é da ordem de 144 bilhões de litros/ano.

A figura 3.1 apresenta a produção de vinhaça em destilarias de álcool de acordo com ELIAS NETO (1988). A cana é esmagada nas moendas, produzindo o caldo que é encaminhado para a fermentação. Na fermentação o caldo é tratado e misturado com as leveduras, passando a ser chamado de mosto. As leveduras transformam os açúcares (glicose e sacarose) do mosto em álcoois, principalmente álcool etílico e a fermentação termina quando o grau alcohólico atingir de 7 a 9%. A esse produto dá-se o nome de vinho, que é encaminhado a colunas de destilação, onde o álcool é separado do vinho. Os produtos da destilação são, basicamente, o álcool e a vinhaça.

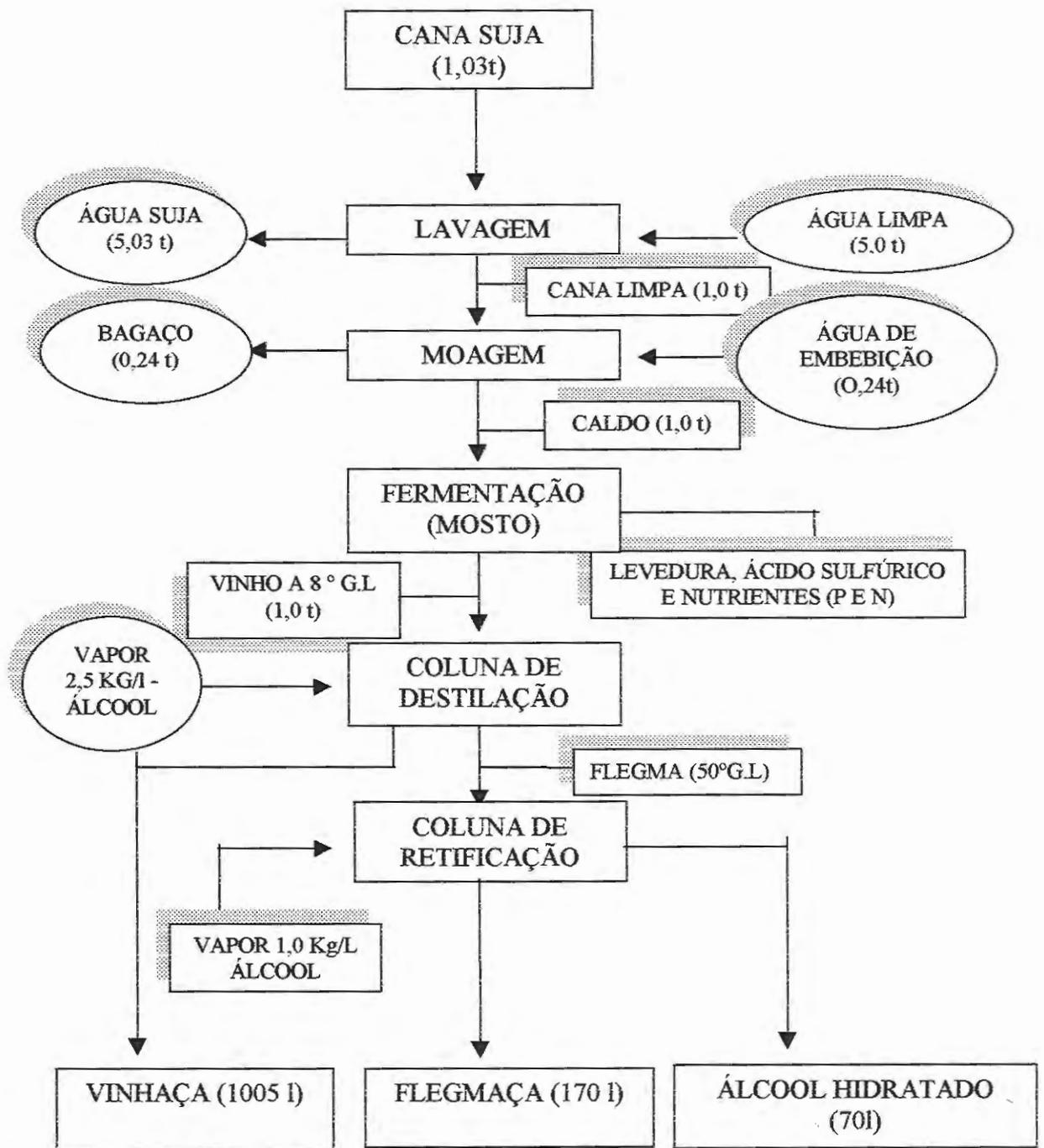


Figura 3.1. Fluxograma básico do processo de fabricação de álcool hidratado a partir do caldo direto. (ELIAS NETO, 1988).

Além disso, o mesmo autor descreve sobre as três origens possíveis da vinhaça, conforme o tipo de mosto:

- a) vinhaça de mosto de caldo: é produzida de caldo direto para a fermentação alcoólica, normalmente em destilarias autônomas (onde somente há produção de álcool);
- b) vinhaça de mosto de melaço: o mosto é preparado com o melaço, que é um subproduto da produção de açúcar, normalmente em destilarias anexas;
- c) vinhaça de mosto misto: o mosto é preparado com caldo direto e melaço, normalmente em destilarias anexas.

Em uma mesma safra, uma destilaria anexa pode apresentar vinhaça dos três tipos, operando só com caldo, melaço ou com mistura de caldo mais melaço.

3.1.2 COMPOSIÇÃO E EFEITO POLUIDOR

A vinhaça possui como características intrínsecas o alto poder poluente (devido a sua constituição química de alta carga orgânica) e o de fertilizante “natural”, induzindo a necessidade do seu aproveitamento, tanto econômico como ambiental, face a grande quantidade produzida.

É de fundamental importância o conhecimento da composição química da vinhaça a ser usada como substituta da adubação mineral, principalmente no sentido de orientar as recomendações de dosagens a serem aplicadas (LEME, 1993).

CRUZ (1991) apresenta a composição da vinhaça com características específicas, as quais bem estudadas por vários autores e variando de acordo com alguns fatores, tais como: natureza e composição da matéria prima, do mosto, do vinho, tipo de aparelho destilatório e condução da operação de destilação.

Estudos feitos por SILVA & ORLANDO FILHO (1981) sobre a composição da vinhaça, mostraram que a mesma é muito rica em matéria orgânica e nutrientes minerais como o K, Ca e S.

As tabelas 3.1 e 3.2 apresentam a composição da vinhaça levando-se em consideração não só parâmetros químicos como também físicos e biológicos. (LEME, 1993).

DIAS (1980 a) relata a importância não apenas quantitativa como também o aspecto qualitativo desse subproduto nas destilarias, ressaltando que, sob o ponto de vista ambiental, este apresenta características prejudiciais se considerando o seu lançamento "*in natura*" nos corpos receptores (rios, lagos etc). Já VISCONTI & OSTROVSKI (1981) afirmam que os efeitos nocivos da vinhaça dependem, basicamente, da quantidade lançada, do volume do corpo receptor e da distância do local de lançamento.

Tabela 3.1. Características físicas e bioquímicas da vinhaça

PARÂMETROS	VALORES
PRODUÇÃO VOLUME (1/t x cana)	180 a 1.000
DBO ₅ (mg/l)	20.000 a 35.000
TEMPERATURA (° C)	80 – 90
SÓLIDOS TOTAIS (g/l)	21,80
SUSPENSOS (g/l)	5,01
FIXADOS (g/l)	4,34
VOLÁTEIS(g/l)	0,67
SÓLIDOS DISSOLVIDOS (g/l)	16,09
FIXOS(g/l)	12,24
VOLÁTEIS	3,85
Propriedades Físicas (25° C)	
MASSA ESPECÍFICA (kg/m ³)	1.007,4
VOISCOSIDADE DINÂMICA (m ² /s)	0,0009977
VISCOSIDADE CINEMÁTICA(m ² /s)	0,00000099
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA C.E (μmhos/cm)	5.000 a 6.000

Fonte: LEME & ORLANDO FILHO (1999/ no prelo/)

Tabela 3.2 - Média da composição química da vinhaça no Brasil

ELEMENTO	MOSTO DE MELAÇO	MOSTO MISTO	CALDO DE MOSTO
	kg/m³		
N	0,58	0,42	0,28
P ₂ O ₅	0,12	0,11	0,09
K ₂ O	5,50	2,70	1,30
CaO	2,10	1,20	0,45
MgO	0,95	0,48	0,28
SO ₄	1,00	1,46	1,83
MATÉRIA ORGÂNICA	42,35	31,30	23,21
	mg/l		
Fe	85	62	46
Cu	6	4	2
Zn	4	3	2
Mn	9	6	5
pH	4,3	3,9	3,6

Fonte: LEME & ORLANDO FILHO (1999/ no prelo/)

Sobre o impacto da vinhaça em rios, BRAGA (1985) menciona que em 1983 houve derrame de 1,4 bilhão de litros de vinhaça em dois rios da Região metropolitana do Recife, ocasionando desastre ecológico em seu curso, nos estuários e no mar. O estudo conclui que além de ter havido comprometimento do equilíbrio ecológico no mar e nos dois rios (através da alta densidade de animais mortos-estimados em 50 toneladas de peixes), houve também implicações sociais e econômicas à população que vivia da pesca.

Algumas de suas ações sob os corpos d'água são citados por CRUZ (1991):

- Ação redutora alta, exigindo-se elevada taxa de oxigênio para estabilizar-se;
- Apresenta características ácidas e corrosivas;
- Alta nocividade aos animais aquáticos;
- Problemas de insalubridade: mau cheiro devido à formação de gases (decomposição anaeróbia), gosto à água, turbidez e cor.

No entanto esse é um problema totalmente solucionado atualmente, onde outras formas de disposição já estão consagradas gerando benefícios agrícolas e econômicos, através do aumento da fertilidade e produtividade dos solos agrícolas, bem como benefícios ambientais pelo não descarte direto nos recursos hídricos superficiais.

No Estado de São Paulo CHEN (1993) *apud* SZMRECSÁNYI (1994) destaca que dentre as possíveis alternativas ao sistema vigente de sua aplicação *in natura* a mais simples é a de se gerar menos vinhaça através da diminuição da produção de álcool. Isto é possível nas destilarias anexas às usinas de açúcar e através da adequação e diversificação das usinas autônomas originadas pelo PROALCOOL que só produzem álcool a partir do caldo de cana.

Segundo o mesmo autor, os índices médios correspondentes ao processamento de 1000 t de cana, com produção de 95 t de açúcar e 36 m³ de álcool, geram uma carga poluidora potencial equivalente à produzida por uma cidade de 149 mil habitantes. Já em uma destilaria autônoma, que apenas produz álcool direto, a carga poluidora é bem maior em termos absolutos, devido a proporcionalidade que existe entre a produção de álcool e a geração de vinhaça.

As regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste, responsáveis por 69% do total da produção de álcool e conseqüentemente da vinhaça, geram-na no período de maio a outubro que coincide com a estação seca, na qual os cursos d'água se apresentam com vazão mínima, portanto mais suscetíveis à poluição.

Sendo um produto da destilação do caldo de cana fermentado e evaporado não apresenta organismos patogênicos. Com exceção de pequenas quantidades de cobre e zinco, que Segundo a Resolução Conama 20/1986, devem ter teores máximos, para águas de Classe 3, de 0,5 mg/l e 5,0 mg/l respectivamente, a vinhaça não apresenta problemas de toxidez às plantas com elementos pesados.

DIAS (1980 a) e DIAS (1980 b) em trabalhos publicados a respeito das perspectivas de tratamento da vinhaça com benefícios ambientais e econômicos, já alertava para, diante do alto potencial de risco da vinhaça de forma concentrada nos maiores estados produtores, a necessidade de medidas de controle dos efeitos ambientais negativos oriundos da sua crescente produção. Aponta como alternativas o seu aproveitamento racional como fertilizante natural, ração animal, biomassa, produção de gás metano e outras tecnologias a serem pesquisadas.

No entanto, enfoca o tratamento do efluente através de processos biológicos, via lagoas anaeróbias, com a produção de gases metanogênicos, onde três parâmetros de eficiência poderiam permitir a caracterização do desempenho da solução proposta: quantidade de gás produzido por unidade de tempo, composição volumétrica de gás produzido e porcentagem de remoção de DBO. Conclui, portanto, ser uma alternativa factível, fazendo ressalvas ao pouco conhecimento relativo aos processos metanogênicos (quanto a sua aplicabilidade ao tipo de efluente considerado).

3.1.3 EFEITO FERTILIZANTE DA VINHAÇA

Quanto ao efeito fertilizante, GLÓRIA & ORLANDO FILHO (1984 a) estimaram as quantidades de N, P₂O₅ e K₂O da vinhaça, admitindo-se que 60% do total produzido (cerca de 140 milhões de m³) eram provenientes de mosto de caldo e 40% de mosto misto. Tal volume de vinhaça continha cerca de 50.000 t de nitrogênio, 30.000 t de fósforo e 295.000 t de potássio equivalentes em termos de fertilizantes a: 234.667 t de sulfato de amônio, 151.200 t de superfosfato simples e 491.400 t de cloreto de potássio.

Sendo assim, tendo em vista os nutrientes e a matéria orgânica que a vinhaça apresenta, sua utilização nas lavouras de cana-de-açúcar em substituição parcial ou total à adubação mineral tem sido largamente adotada. Com o início do PROALCOOL, novas unidades produtoras foram estabelecidas em solos de menor fertilidade, exigindo-se um sistema mais intensivo de manejo, onde a utilização agrícola da vinhaça tem importância ressaltada (GLÓRIA & ORLANDO FILHO, 1984 a).

No entanto, o seu uso não pode ser excessivo nem indiscriminado, sob pena de comprometer o meio ambiente e a própria rentabilidade agrícola e industrial da Unidade Sucroalcooleira (SZMRECSÁNYI, 1994). Além disso, através da utilização sem critérios técnicos mais elaborados, pode-se comprometer os solos agrícolas pela salinização, devido a seus elevados teores de potássio, mediante a poluição dos cursos d'água superficial e dos aquíferos subterrâneos.

No Estado de São Paulo, o monitoramento das atividades de disposição dos resíduos, em especial a vinhaça, têm sido feito através dos estudos e levantamentos efetuados pela CETESB que, de acordo com CENTURION (1980) e HIRATA (1991) "é uma entidade de ação fiscalizadora apreciável, mas insuficiente no que se refere à agroindústria canavieira, pois suas ações estão voltadas ao controle da unidade industrial, deixando a área agrícola a parte do processo", ou seja, não

considerando os aspectos de degradação ambiental decorrentes da aplicação da vinhaça no solo.

3.1.4 SISTEMAS DE DISPOSIÇÃO DE VINHAÇA

Os processos de aplicação agrícola vem sendo sistematicamente aperfeiçoados. Vários são os processos/métodos de aplicação, sendo eles: sulcos de infiltração, caminhão-tanque, aspersão, inundação, irrigação superficial, infiltração rápida/lenta. Basicamente a vinhaça pode ter a sua aplicação nas lavouras através de duas formas: veículos tanque e fertirrigação. A figura 3.2 mostra esquematicamente as diferentes alternativas agrícolas para o uso da vinhaça.

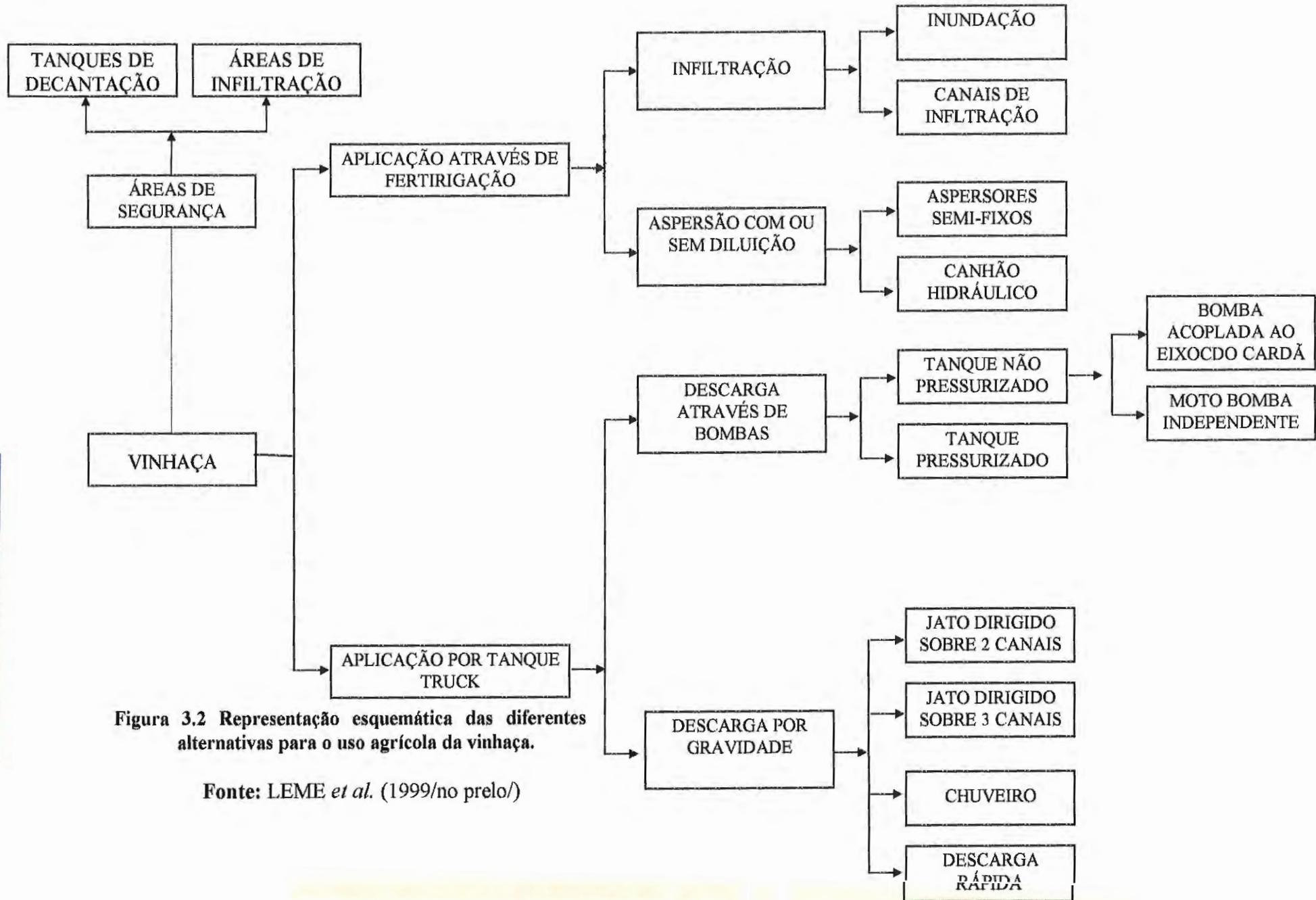


Figura 3.2 Representação esquemática das diferentes alternativas para o uso agrícola da vinhaça.

Fonte: LEME *et al.* (1999/no prelo/)

A adoção de um sistema ou ambos conjugados é função do volume de vinhaça produzido pela destilaria, tipo de mosto usado na fermentação, da distribuição das áreas de cana, da topografia e características do solo, do volume de mistura dos outros resíduos à vinhaça, além da condição climática da região em termos de evapotranspiração e precipitação. De forma geral a vinhaça é aplicada em áreas de soqueiras de cana-de-açúcar, logo após o corte do canavial.

As tabelas 3.3 e 3.4 mostram a diferença de aplicação entre duas áreas (safra 1983/84 e 1986/87), em destilarias anexas e autônomas respectivamente, conforme o método de aplicação.

Tabela 3.3. Análise comparativa, em diferentes safras, da expansão/retração das áreas (ha) sob aplicação de vinhaça em destilarias anexas

SISTEMAS	1983	1986	$\frac{B-A}{A} \% ^2$
	A	B	A
CAMINHÃO	189.521	231.483	22,1
ASPERSOR	38.072	75.919	99,1
SULCO	8.261	8.533	3,3
TOTAL	233.854	315.935	33,9

FONTE: LEME, (1993)

Tabela 3.4. Análise comparativa, em diferentes safras, da expansão/retração das áreas (ha) sob aplicação de vinhaça em destilarias autônomas

SISTEMAS	1983	1986	$\frac{B-A}{A} \%$
	A	B	A
CAMINHÃO	76.646	75.879	(-1,0)
ASPERSOR	13.382	46.689	248,1
SULCO	7.765	9.638	24,1
TOTAL	97.793	132.206	35,2

FONTE: LEME, (1993)

Observa-se, portanto, uma definida tendência de um maior crescimento da aspersão num processo de substituição de parte da área atualmente ocupada por caminhões-tanque. Para explicar tal fato, mostra-se a comprovada eficiência, viabilidade econômica e ampla flexibilidade de operação do sistema de aspersão e o maior custo de transporte e distribuição por caminhões (LEME, 1979; LEME 1987, LEME 1988).

² A expressão $\frac{B-A}{A} (\%)$ representa o acréscimo ou decréscimo de cada sistema nas diferentes safras.

3.1.4.1 Processos por sulcos de infiltração

A vinhaça geralmente é diluída com outros efluentes, sendo que o sistema consiste no bombeamento da vinhaça para pontos mais elevados da área. O suprimento é feito na entrada dos sulcos, em suas partes mais altas, através de canais parcelares (“zig-zag”), canais diagonais e mais recentemente por meio de tubos janelados de PVC flexível, que são posicionados perpendicularmente aos sulcos de infiltração (LEME, 1993).

Como fator positivo, esse método apresenta uma uniformidade de aplicação melhor que os demais métodos de superfície, em função da combinação dos parâmetros técnicos (declividade, vazão de entrada e comprimento de sulcos), objetivando uma dosagem adequada de vinhaça em função do tempo de avanço e infiltração. Apesar desses cuidados, a sua distribuição ainda não é uniforme, com maior infiltração no início dos sulcos.

Em função de inicialmente a prática da disposição através de sulcos de infiltração ter sido muito difundida, aonde grandes quantidades eram lançadas ao solo (até 1000 m³/ha) e que, na maioria das vezes, não propiciavam uma distribuição eficiente em função das diferenças de nível do terreno, hoje a maioria das Usinas está optando pelo sistema montagem direta de aspersão.

3.1.4.2 Processos por caminhões-tanque

É um dos sistemas mais utilizados na região Centro-Sul, pela sua rapidez, facilidade de operação, economicidade do sistema em locais e distâncias limitantes a outros métodos.

Os caminhões tanque transportam a vinhaça das destilarias até o interior das áreas de cana onde realizam a aplicação do resíduo com razoável uniformidade. Este sistema requer estradas e carreadores em bom estado de conservação, uma razoável

frota de veículos, sistematização de talhões e um planejamento de corte de cana de modo a permitir a aplicação de vinhaça durante todo o dia. No entanto, a tendência verificada nas últimas safras é de se evitar ao máximo a entrada do caminhão na lavoura para a realização das práticas agrícolas, e em especial a aplicação de vinhaça no solo, pois o risco de compactação dos solos e os custos envolvidos em sua posterior recuperação fazem com que outros métodos sejam aplicados, como é o caso da fertirrigação, via aspersão, que será apresentado posteriormente.³

ORLANDO FILHO *et al.* (1980) revelam as distâncias econômicas de aplicação em função do tipo de mosto, material e capacidade do tanque e sistema de descarga. Os autores concluíram ser possível a aplicação de mosto misto e de caldo por caminhões-tanque, sendo que os de maior capacidade ofereceram maior economicidade ao sistema. Por exemplo, no estado de Alagoas foram indicadas por esses autores como econômicas as distâncias de 16 km (ida e volta) para aplicação de mosto misto e 24 km para a de mosto de caldo, ambos sob sistema de caminhão-tanque.

Entretanto, notou-se a diferença no crescimento da cana-de-açúcar nas áreas onde a vinhaça tinha sido concentrada com aquelas que recebiam quantidades insuficientes. Além disso, do ponto de vista operacional, tornou-se bastante complexa a construção e manutenção desses canais em extensas áreas de aplicação.

3.1.4.3 Aspersão

Em função das inúmeras deficiências dos sistemas de aplicação ou disposição e por falta de uma legislação coerente e adequada, eram comuns em outras épocas o lançamentos de vinhaça nos recursos hídricos “*in natura*”. Face a essa realidade (projeção de grande produção de vinhaça e sua incompatibilidade com os sistemas de aplicação e realidade de campo), a Seção de Irrigação da Coordenadoria Regional Sul do IAA/Planalsucar, desenvolveu durante os anos de 1977/79, em conjunto com fabricantes de equipamentos de irrigação, um sistema de aplicação de vinhaça com

³ ORLANDO FILHO, J. Universidade Federal de São Carlos/ *Campi de Araras*, comunicação pessoal

canhões hidráulicos montados diretamente na saída de pressão do conjunto moto-bomba diesel - montagem direta (LEME et al, 1979).

Através da fertirrigação, utilizando-se o sistema de aplicação por aspersão (canhão hidráulico) na Usina Barra Grande -S, entre Maio a Agosto de 1979, LEME et al (1979) concluíram ser a aspersão de vinhaça o modo mais econômico e eficaz do que a adubação mineral ou aplicação de vinhaça por caminhão.

LORENZETTI & FREITAS (1978) *apud* CRUZ (1991) confirmando as considerações feitas acima estudaram vários métodos de aplicação de vinhaça ao solo e demonstraram ser a aplicação por aspersão a mais vantajosa, pois proporcionou maiores produções em áreas não adequadas à cultura, distribuição em áreas maiores, de forma mais homogênea e com menor custo.

Praticamente 80% da vinhaça produzida é aplicada nas áreas de soqueiras pelo método montagem direta e suas variações: sistema trevo, sistema extensão, montagem direta otimizado e também do auto propelido com carretel enrolador. Tais tecnologias são descritas em LEME et al (1987) e LEME et al (1988).

Atualmente, as últimas estimativas indicam uma área total de aplicação de vinhaça por aspersão no país de cerca de 500.000 ha. A sua adoção de forma ampla, além de resolver o problema da poluição dos recursos hídricos e da importação de produtos potássicos, tem resultado em uma economia anual de US\$ 72.000.000 com a substituição de adubação de soqueiras e rendimento dos canaviais de US\$ 83.000.000 com o aumento de produtividade das soqueiras (10 a 20 t/ha). Enfatiza-se, sobretudo, a diminuição de riscos de poluição dos recursos hídricos superficiais (LEME, 1999 /no prelo/).

Em termos quantitativos, as taxas de aplicação ao solo podem variar segundo o tipo de vinhaça e o tipo do solo irrigado. O critério generalizado para as unidades Sucroalcooleiras, bem como para o órgão controlador ambiental, se baseia no teor de

potássio da vinhaça, sendo admissíveis de 300 a 350 kg desse elemento por hectare (CASARINI, 1989).

Dados disponíveis têm demonstrado que até 50 m³ /ha da vinhaça de mosto de melaço, dispostos ao longo de uma safra agrícola, não causam salinização em função de representarem níveis de adubação praticados em alguns países (Austrália, Índia e Eua – Havai) por várias safras seguidas. Já para a vinhaça de mosto de caldo, é de costume empregar-se de 80 a 120 m³/ha aplicados por veículos-tanque, com ausência de restrição do ponto de vista teórico ou baseado nas informações disponíveis (ORLANDO FILHO *et al.*, 1983).

3.1.4.4 *Imundação*

Enquadra-se como um processo tipo “overland flow”. É um dos processos mais empírico de distribuição do efluente, onde a vinhaça geralmente entra na parte de cota mais elevada da parcela e daí avança em declives de 2 a 5% inundando todo o terreno de forma bastante heterogênea.

Não existe controle da quantidade de vinhaça aplicada, sendo sua disposição muito irregular, principalmente em solos arenosos. Esse processo é pouco usado pelas Unidades Sucroalcooleiras.

3.1.4.5. *Processo de irrigação superficial*

É utilizado quando há necessidade de se aplicar grandes volumes de vinhaça em áreas de disposição relativamente pequenas. A eficiência é geralmente baixa, reduzindo-se ainda mais pela impossibilidade da sistematização das áreas das soqueiras. Dependendo da localização da área em relação à saída da vinhaça da destilaria, este sistema poderá exigir estrutura de bombeamento da vinhaça.

3.1.4.6 Infiltração rápida/lenta

São locais onde a vinhaça é aplicada por sistemas de irrigação superficial, com objetivo de disposição dos resíduos no solo, sem qualquer finalidade agrícola. São áreas importantes, pois funcionam como setores de segurança, onde a vinhaça é depositada em caso de colapso nos outros sistemas, evitando-se o lançamento da vinhaça nos corpos receptores.

Em tais áreas a vinhaça é aplicada no solo sem a presença de culturas. A maior infiltração pode ser obtida com o aumento do perímetro molhado dos sulcos. O ideal é trabalhar com uma área de infiltração grande e subdividida que permita a operação alternada: enquanto uma parcela recebe a vinhaça as outras áreas permanecem em fase de secamento.

Recomenda-se a mudança destas áreas após alguns anos de uso, podendo as antigas áreas ter uso agrícola, com o inconveniente de apresentarem elevados teores de sais e potencial osmótico. Nesse processo ocorre a perda simultânea de vinhaça por infiltração, percolação profunda e evaporação.

3.2. EFEITO DA VINHAÇA NAS PROPRIEDADES DO SOLO

São vários os efeitos da vinhaça, com relação às propriedades físicas, químicas e microbiológicas dos solos, além dos efeitos agrícolas de sua utilização e na qualidade da matéria prima. Como efeitos da adição ao solo, GLÓRIA & ORLANDO FILHO (1984 b) citam que primeiramente corresponde a uma fertilização orgânica e seus efeitos são atribuídos à matéria orgânica, sendo eles:

- elevação do pH;
- aumento da disponibilidade de alguns nutrientes;
- aumento do poder de retenção de cátions pelo solo;
- aumento da capacidade de retenção de água;
- melhoria da estrutura física do solo;
- diminuição da concentração de nitratos no solo;
- aumento da população e atividade microbiana do solo.

A vinhaça é considerada como um resíduo rico em matéria orgânica com nutrientes em sua composição e a sua utilização tem resultado na alteração das propriedades do solo sob diferentes aspectos: morfológico, físico, químico e biológico. É evidente que estas modificações são mais acentuadas nos casos de adição de grandes quantidades de vinhaça no solo - áreas de segurança com uma taxa de aplicação anual superior a 20.000 m³/ha e se reduzem consideravelmente para os casos de aplicação mais racional, como nos casos em que são praticados os sistemas aspersão.

3.2.1 Aspectos químicos

Como estudo exploratório da aplicação de vinhaça nas propriedades químicas dos solos com cana-de-açúcar, ORLANDO FILHO *et al.* (1983) utilizaram três tipos de solo em duas usinas do Estado de São Paulo para avaliar os possíveis efeitos nas propriedades químicas por diferentes períodos de tempo de disposição (até 20 anos). Como resultados puderam constatar a melhoria de algumas características (aumento de pH, teores de potássio, cálcio e magnésio, capacidade de troca catiônica) e que a adição prolongada não provocou danos aos solos, tais como acúmulo de sais na camada superficial ou em horizontes de sub- superfície do solo, trazendo benefícios diretos sobre a cultura.

a. Acidez

A acidez do solo não cresce em função da prática da fertirrigação. De uma maneira geral, a elevação do pH do solo é proporcional a dose de vinhaça aplicada. A maioria dos trabalhos realizados nessa linha tem mostrado que o aumento do pH apenas ocorre quando doses de vinhaças são extremamente altas (acima de 1000 m³/ha).

A atividade microbiana, em solos tratados com vinhaça, é a responsável pela oxidação da matéria orgânica, sendo, portanto, o motivo de elevação de pH nos solos (Areia Quartzosa - Piracicaba; Podzólico Vermelho Amarelo - Rio Claro e Latossolo Roxo- Sertãozinho) (MATIAZZO & GLÓRIA, 1985), além de haver a complexação do alumínio pela matéria orgânica.

b. CTC

Quando a vinhaça é aplicada em altas doses, pode provocar uma elevação na capacidade de troca de cátions. Isto é atribuído a uma série de fatores que interagem, como o aumento do carbono orgânico no solo, a elevação e posterior retenção dos teores de sulfato, resultando em um aumento da CTC do solo.

Em trabalho de ORLANDO FILHO *et al* (1983) levanta-se a hipótese de que as bases fornecidas pela vinhaça ocupam as cargas negativas do complexo de troca, antes utilizadas por Alumínio ⁽⁺³⁾ e H ⁽⁺⁾. Desse modo a CTC efetiva (que pode ser entendida como uma aproximação da soma de bases), aumentaria com a adição da vinhaça, mas esta não interferiu na CTC total (determinada a pH 7,0), a qual independe do pH do solo.

Segundo este mesmo trabalho, infere-se que a interferência da vinhaça na CTC é de efeito indireto, ou seja, através da elevação do pH haveria aumento das cargas dependentes tão comuns nos solos altamente intemperizados como os solos tropicais e que a matéria orgânica da vinhaça não contribuiria, ou o faria em escala reduzida, na CTC total do solo, sendo a elevação do pH do solo seu efeito principal.

c. Teores de magnésio, cálcio e potássio:

A vinhaça também é rica em cátions, principalmente potássio. Sua aplicação nos solos pode provocar a elevação desses cátions, mas como o potássio é predominante em relação aos outros dois elementos, a aplicação de vinhaça em maiores quantidades resulta em um excedente que poderá ser preferivelmente absorvido, deslocando e movendo o cálcio e magnésio que caminha na solução do solo e, então sendo carregado pelos ânions sulfato também presentes na vinhaça em grandes concentrações. (LEME & ORLANDO FILHO, 1999/ no prelo/).

CRUZ (1991) analisou o efeito da aplicação de vinhaça durante 20 anos, notando clara tendência ao aumento do teor de cálcio em três profundidades de solos estudadas, levando a conclusão que esse elemento pode ser lixiviado em função das irrigações e precipitações. Observa-se que este elemento sofre flutuações durante a safra, o que pode ser atribuído a vários fatores, tais como: precipitações, retirada pela cultura, aplicações de vinhaça e evidentemente calagens. Observa também um aumento no teor de magnésio no solo, mantendo-se dentro de uma faixa inferior a 0,4 meq/100cm³ (ver notação moderna), evidenciando pouca influência de vinhaça sobre o teor de magnésio no solo ao longo de 15 anos.

Em estudo realizado por CAMBUIM & CORDEIRO (1986) percebe-se que as disponibilidades de cálcio e magnésio são dependentes do tempo de incubação mais do que o volume de vinhaça aplicado. Com 0 dia de incubação é bem mais marcante o aumento nos teores trocáveis de Ca e Mg em profundidade. Contudo, o mais marcante é o incremento nos teores de Mg trocável, nos 30 primeiros centímetros de profundidade, após 20 e 40 dias de incubação de vinhaça no solo.

Para o potássio, os mesmos autores registraram que o emprego da vinhaça, associado aos diferentes períodos de incubação, acarretou um aumento dos teores desse elemento e que o K apresenta um comportamento, ao longo da profundidade, mais dependente dos períodos de incubação. Com zero dia de incubação, ocorreu um acúmulo de K em profundidade, invertendo-se essa tendência para os períodos de 20

e 40 dias de incubação, nos quais se registra uma maior concentração desse cátion nos 30 primeiros centímetros. Há, portanto, unanimidade na literatura quanto ao enriquecimento no teor de K trocável em consequência do aporte de vinhaça.

Em termos de lixiviação de nutrientes, quanto ao Ca e K, esta foi diretamente dependente das doses de vinhaça aplicada. Apenas o Mg foi afetado pela influência das doses e tempo de incubação. Com relação à lixiviação de K, Ca e Mg constata-se que esta tinha tendência a crescer à medida que as doses de vinhaça também aumentavam, sendo o Mg mais lixiviado que o Ca.

Segundo CRUZ (1991) as concentrações de nitrato, nitrito e amônio encontradas na solução do solo são muito maiores do que aquelas encontradas nas águas superficiais e subterrâneas, não podendo portanto ser comparadas com base nos mesmos critérios estabelecidos para estas águas. Em termos de nitrato, as maiores concentrações (superiores a 60 mg/l), foram observadas nas áreas que recebem vinhaça, evidenciando a influência da vinhaça sobre o teor de nitrato na solução do solo, facilmente explicada por esta fase final de nitrogênio resultante da mineralização da matéria orgânica. O nitrito atingiu valores maiores de concentração (superior a 0,5 mg/l) em áreas que recebe vinhaça há mais tempo.

CASARINI (1989) relata que a dinâmica do nitrogênio em um solo tratado com vinhaça é muito complexa levando a transformações bioquímicas. O nitrogênio está presente na vinhaça predominantemente na forma orgânica e a mineralização é a primeira transformação biológica que ocorre no solo. Até a relação C/N na vinhaça é alta e uma significativa imobilização das formas de nitrogênio presente no solo pode ocorrer nessa fase. Tais observações somadas a alta absorção de nitrogênio pela cana-de-açúcar podem explicar uma diminuição nas concentrações de nitrato na solução do solo (a 40 cm de profundidade e um mês após a primeira irrigação). Após a segunda irrigação, a alta quantidade adicionada e, conseqüentemente de DBO da vinhaça, podem ter favorecido a desnitrificação, com possíveis perdas de nitrogênio na forma gasosa. Com o nível de oxigênio restabelecido, ocorreu o processo de

nitrificação. No último período analisado, o decréscimo da concentração de nitrato pode ser explicado pela absorção da cultura.

3.2.2 Aspectos Microbiológicos

Devido à sua origem, a vinhaça pode ser considerada como um “extrato de levedura” diluído, constituindo um meio complexo que favorece uma gama de microrganismos quando aplicada ao solo. De acordo com CAMARGO (1954) a proliferação de microrganismos nos solos tratados com vinhaça é muito intensa nos primeiros 30 dias após a adição do resíduo no solo e tende a cair posteriormente.

CASARINI (1989) constatou, com relação às bactérias, que a aplicação de vinhaça introduz no solo material carbonáceo assimilável (pentoses e ácidos orgânicos), bem como nitrogênio utilizável na forma amoniacal e nítrica. O aumento de nitrogênio pode ter sido o responsável pelo crescimento de bactérias heterótrofas no início da decomposição da vinhaça (até 8 dias). Tal crescimento abrupto com intensa atividade respiratória levou a diminuição de oxigênio, inibindo os processos de nitrificação e favorecendo a desnitrificação. Com relação aos fungos, quando da aplicação de vinhaça nas taxas de 150 e 600 m³/ha, a mesma autora caracterizou um efeito estimulatório nessa população do solo somente na profundidade de 0-15 cm.

Nessa profundidade, observa-se que para a segunda taxa ocorre o efeito logo na primeira semana, enquanto para a primeira taxa praticada, o efeito aparece somente 20 dias após a aplicação. Isso se explica pelo fato do pH, na taxa de 600 m³/há, estar na faixa de 5,0 até os 20 dias, o que favorece a população de fungos em relação a outros microrganismos do solo, sendo que a partir dessa data as bactérias já possuem condições de competir com os fungos em consequência do aumento do pH do solo. Houve o predomínio das espécies *Aspergillus* e *Penicillium*.

NEVES et al (1983) cita que a vinhaça também estimula o crescimento de bactérias fixadoras de nitrogênio, alternando-se com as bactérias heterótrofas em seus picos de dominância.

A aplicação de uma dosagem racional - no solo - entre 200 e 400 m³/ha.ano -, resulta em uma quantidade de DBO₅ de 2500 a 5000 kg/ha.ano. Embora muito acima da taxa de aplicação de 11,2 a 28,2 kg/ha.dia, citada por METCALF & EDDY (1979) ou ainda da taxa de 22,4 kg/ha.dia indicado pelo U.S. EPA (1975), ambos para a disposição de esgoto doméstico no solo, a vinhaça tendo a maior parte da matéria orgânica na forma coloidal e sendo aplicada somente uma vez por ano nas áreas de irrigação, permite uma rápida decomposição de modo que, em poucos dias, o solo retorna a sua condição normal sem causar problemas para a cultura (LEME, 1993).

Quanto às condições de aeração dos solos, embora a vinhaça seja aplicada com uma grande quantidade de DBO₅ de uma só vez, o cultivo do solo, o rápido estabelecimento do novo sistema radicular da cana-soca em conjunto com a intensa atividade microbiana e a conseqüente decomposição da matéria orgânica em compostos estáveis, possibilitam o restabelecimento da aeração adequada do solo em poucos dias. ARCEIVALA (1979) relata que a aplicação de uma taxa diária de 150 Kg de DBO₅/ha, na Índia, não tem provocado efeitos negativos ao solo e as culturas.

GLÓRIA & ORLANDO FILHO (1984 c) mencionam como sendo intensa a proliferação dos microrganismos nos solos tratados com vinhaça, em especial os fungos, nos primeiros 30 dias após a incubação com tendência ao declínio posteriormente. Sob condições de campo a queda no desenvolvimento dos microrganismos é mais rápida. Os autores ressaltam que a proliferação dos fungos é seguida pela das bactérias.

NEVES *et al.* (1983) em pesquisas realizadas em solos canavieiros na região de Campos (RJ), sob várias taxas de aplicação de vinhaça de mosto de melaço (até 1200 m³/ha), mais a adição de molibdênio e fósforo, apresentaram resultados interessantes quanto aos seus efeitos sobre os microrganismos do solo. A taxa de 600 m³/ha foi altamente satisfatória, pois além de introduzir o carbono incluiu também o nitrogênio em forma prontamente assimilável, estimulando inicialmente as bactérias

não fixadoras de nitrogênio e inibindo temporariamente as de vida livre do gênero *Beijerinckia*. Além disso, os níveis de nitrogênio total dos solos incubados aumentaram acima dos níveis adicionados pela vinhaça, ou seja, houve incorporação via fixação de nitrogênio.

CASARINI (1989) pondera sobre a ênfase atualmente dada aos estudos de aplicação de vinhaça (estudos de viabilidade técnico econômica de utilização desse resíduo como fertilizante, comprometidos com o potencial produtivo dos solos), em contraposição a uma ênfase nas modificações químicas e microbiológicas, com vistas aos aspectos de proteção ambiental do sistema solo que recebe a vinhaça e uma avaliação do potencial de risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais. Julga ser necessária a interface entre tais condições a fim de melhor conhecermos o sistema sob foco de estudo.

3.3. EFEITO DA APLICAÇÃO DA VINHAÇA SOBRE AS ÁGUAS

Segundo Resolução CONAMA 20 de 1986 são estabelecidos limites de 10mg/l de nitrato, 1mg/l de nitrito e de 1,0 mg/l de Nitrogênio Amoniacal, para as águas de Classe 2, aquelas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, irrigação de hortaliças, plantas frutíferas ou recreação de contato primário.

3.3.1 Efeito sobre as águas superficiais

CRUZ (1991) estudou, na cidade de Lençóis Paulista, SP, os efeitos da aplicação de vinhaça sobre as águas superficiais e subterrâneas. Quanto às águas superficiais, o Rio Lençóis tornou-se um bom parâmetro para a avaliação do efeito da vinhaça sobre as águas superficiais da região, uma vez que o mesmo abastece a referida cidade. Observou-se que no período de março a julho de 1989, ocorreu um pico na concentração de nitrato nas águas superficiais, com valores próximos a 1 mg/l, ainda muito abaixo dos valores estabelecidos por lei e no mesmo período do ano seguinte, este pico não foi repetido.

O nitrito, por sua vez, alcança seus valores máximos no período de julho a novembro, atingindo concentrações ao redor de 0,008 mg/l, também abaixo do valor estipulado por lei. Já a concentração de amônio é a que apresenta valores um pouco mais preocupantes, atingindo valores de 0,3 mg/l, quando a concentração máxima é de 0,5 mg/l. Os valores máximos na concentração de amônio ocorreram de março a julho, próximos a 0,5 mg/l, época de maior disposição de vinhaça sobre o solo e menor precipitação.

Concluiu-se, portanto, que os níveis de nitrato e nitrito ainda estão bem abaixo dos valores máximos estabelecidos por lei e que suas concentrações nas águas superficiais diminuem em épocas chuvosas, pela diluição em função do maior volume nos rios.

3.3.2 Efeito sobre as águas subterrâneas

Os perfis naturais dos solos atenuam ativamente muitos, embora não todos, os poluentes da água. No entanto, nem todos os perfis de solos como nem todas as condições hidrogeológicas são igualmente efetivos para atenuar os poluentes. Além do mais, o grau de atenuação variará muito em uma determinada condição, segundo os tipos e a disposição dos contaminantes. Sendo assim, a preocupação pela poluição das águas subterrâneas está relacionada principalmente com aquíferos não confinados ou freáticos, sobretudo em lugares onde a zona não-saturada é delgada e o lençol freático pouco profundo. Expressivos riscos de poluição podem ocorrer em aquíferos semiconfinados ou quando os aquíferos superficiais não possuem a espessura necessária (INSTITUTO GEOLÓGICO – IG, 1993)

Conforme REBOUÇAS et al (1986) observa-se que os níveis mais importantes de produção de álcool e açúcar no Brasil estão associados às Províncias Hidrogeológicas do Paraná e Costeira, cujas características predominantes de permeabilidade e porosidade são do tipo intersticial. Na Província do Paraná as áreas ocupadas pelas culturas compreendem as zonas de afloramento e recarga dos

sistemas aquíferos confinados de Idade Paleozóica e os extensos domínios do aquífero livre e/ou semi confinado do Grupo Bauru, da Idade Cretácea. Os autores confirmam a necessidade de medidas de proteção dos aquíferos do Estado de São Paulo, contra os efeitos poluidores das destilarias de álcool e das Usinas de açúcar.

HASSUDA (1989) enfatiza o problema da infiltração da vinhaça como contaminante das águas subterrâneas cujo maior impacto é a sua alteração físico-química, quanto aos parâmetros que excedem os padrões de potabilidade para consumo humano.

Conclui, portanto, que a infiltração desse resíduo torna-se extremamente poluente às águas subterrâneas e que as Unidades Sucroalcooleiras implantadas deveriam determinar o impacto que causam à zona não saturada e ao aquífero. Após isso dever-se-ia recorrer aos sistemas de tratamento de efluentes a fim de não se comprometer os recursos de superfície e de sub-superfície implementando-os através de mecanismos legais eficazes .

Segundo HASSUDA *et al* (1991) a vinhaça é fonte geradora de impacto ambiental e dentre os vários tipos de recursos naturais que podem ser contaminados por este resíduo destacam-se as águas subterrâneas. Em estudo realizado em três diferentes localidades do Estado de São Paulo (Novo Horizonte, Piracicaba e Ribeirão Preto), os autores constataram que na área estudada na Usina São José da Estiva, em Novo Horizonte, onde a vinhaça era despejada em áreas de sacrifício, ocorreu contaminação das águas subterrâneas por esse tipo de disposição e, após a conclusão desse trabalho, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) passou a proibir este tipo de infiltração da vinhaça no Estado de São Paulo a partir de 1988.

De acordo com o INSTITUTO GEOLÓGICO (1993) pesquisas com infiltração de vinhaça foram realizadas em dois locais do Estado de São Paulo (Piracicaba e Novo Horizonte) e os resultados mostraram uma forte atenuação dos indicadores principais de poluição nas valas de infiltração, resultado de uma alta adsorção de

nutrientes na terra irrigada. Contudo, é recomendável pelos técnicos que os estudos continuem por um período de tempo mais prolongado e que sejam feitos em solos mais permeáveis.

Como conclusão de um estudo sobre a influência dos vários tipos de disposição de vinhaça na qualidade da água subterrânea HASSUDA *et al* (1991) apontam ser a prática de fertirrigação a melhor maneira de dispor a vinhaça no solo. Entretanto, a taxa aplicada – 350 kg de K_2O/ha – no Estado de São Paulo é discutível por dois motivos: a) o potássio é um elemento químico que sofre adsorção pelo solo e plantas, ou seja, fato este que torna esse elemento não muito favorável como referência para cálculo da taxa de aplicação para fins de contaminação da água subterrânea e b) ocorrem diferentes tipos de solos no Estado de São Paulo onde os componentes do resíduo devem ter comportamentos químicos igualmente diferentes em subsuperfície e, conseqüentemente, as taxa de aplicação devem ser diferenciadas para cada tipo de solo.

De acordo com CRUZ (1991) os efeitos da vinhaça sobre as águas subterrâneas foram bastante semelhantes aos obtidos para as águas superficiais. As concentrações de nitrato foram praticamente às mesmas observadas nas águas superficiais, nas mesmas épocas de amostragem. Já as concentrações de nitrito foram ligeiramente superiores às observadas nas águas superficiais, nas mesmas épocas, sendo esperado em função das condições de menor quantidade de oxigênio dissolvido, favorecendo o acúmulo de nitrito, por redução de nitrato, ou impedindo a sua oxidação a nitrato e mesmo assim suas concentrações permaneceram abaixo de 1 mg/l.

No entanto, a concentração de amônio nas águas subterrâneas foi muito superior ao valor permitido por lei, atingindo o valor de 1,8 mg/l no lençol freático, no mês de Julho de 1990. Porém esse efeito não pode ser atribuído somente à vinhaça e sim uma resultante dos tratamentos culturais que permitem a lixiviação do nitrogênio, tais como: irrigação, adubações líquidas e a própria fertirrigação. O maior valor encontrado nas águas subterrâneas em relação às superficiais pode ser explicado pelo menor teor de oxigênio no 1º caso, favorecendo a redução de nitrito e

nitrato, ou através do impedimento da oxidação do nitrito até nitrato.

Uma das maiores preocupações quanto às doses aplicadas desse resíduo é com relação aos compostos de nitrogênio no perfil do solo. ORLANDO FILHO *et al.* (1995), não observaram contaminação de NO_3^- no solo até 1m de profundidade em áreas que receberam vinhaça, obtendo-se informações adicionais sobre a lixiviação de N em solo arenoso e procurando enfocar a questão da poluição no lençol freático em áreas que receberam vinhaça pela primeira vez. Para isso utilizaram várias dosagens (até $600 \text{ m}^3/\text{ha}$) sob diferentes períodos (até 25 semanas) e profundidades de amostragem (até 2,0 metros).

As conclusões gerais apontaram positivamente para a aplicação de vinhaça sob as condições estabelecidas, sendo elas: não aumento do NO_3^- e NH_4^+ do solo no perfil ao longo de 25 semanas, não interferência nos níveis de N-total do solo e dose ideal de aplicação de $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ sendo suficiente para aumentar as produtividades agrícolas.

3.4 EFEITOS DA VINHAÇA NO RENDIMENTO AGRÍCOLA, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA MATÉRIA PRIMA

Com respeito aos efeitos da sua aplicação no rendimento agrícola, fica bem caracterizado que esta leva a um aumento da produtividade da cana-de-açúcar. Entretanto, experimentos conduzidos a taxas de aplicação elevadas têm constatado problemas quanto à qualidade da matéria prima, tais como: atraso na maturação, diminuição no teor de sacarose do caldo e aumento no teor de cinzas.

AGUJARO (1979) comparou a produtividade de cana irrigada e não irrigada com vinhaça, em três cortes de canas (safra 1972/73 e 1974), na Usina Tamoio - SP. A média dos cortes da área irrigada foi de 100 t/ha enquanto a da área não irrigada ficou em torno de 80 t/ha . Vale lembrar que a área irrigada é comercial, onde há predominância de Latossol Vermelho Amarelo fase arenosa (de menor fertilidade)

enquanto nas áreas não irrigadas predominava o Latossol Roxo de fertilidade média a elevada.

Outro efeito discutido é na qualidade da matéria prima, através dos teores de sacarose, de cinzas, fibras e outros efeitos que vem sendo cogitados (aumento do percentual do amido no caldo e incidência de pragas e doenças).

GLÓRIA & ORLANDO FILHO (1984 c) resumiram esses efeitos até a safra antecedente ao estudo. Quanto à aplicação da vinhaça, pequenas doses (30 a 50 m³/ha - de mosto de melão e 80 a 120 m³/ha para mosto misto e de caldo) atrasaram a maturação apenas nos dois primeiros meses da safra e com igual crescimento nos meses posteriores e altas doses atrasaram a maturação que, geralmente, seus efeitos são confundidos com a diminuição no teor de sacarose das canas dessas áreas.

Na irrigação por sulcos de infiltração, há uma redução no teor de sacarose a altas doses de aplicação. Volumes acima de 100 m³/ha de mosto de melão e 400 m³/ha de vinhaça de mosto misto foram suficientes para sensíveis reduções no teor de sacarose.

Já o acréscimo no teor de cinzas é proporcional ao volume de vinhaça aplicado a um mesmo tipo de solo. Para a fabricação de açúcar, isso pode acarretar problemas que podem ser contornados através de manejo adequado da cultura e, para fabricação de álcool, existem possibilidades que um aumento no teor de cinzas seja benéfico ao rendimento da fermentação alcoólica.

Não foram observados efeitos sobre a porcentagem de fibra de canas que receberam vinhaça e, quanto à qualidade dessa fibra, não existem trabalhos suficientemente exploratórios. Houve aumento nos teores de amido do caldo nas canas originadas de solos com teores acima de 150 ppm de K.

3.5. ASPECTOS LEGAIS REFERENTES À DISPOSIÇÃO DE VINHAÇA NOS SOLOS AGRÍCOLAS

A CETESB avaliou no ano de 1986, no Estado de São Paulo, o potencial poluidor da agroindústria Sucroalcooleira para a 7ª Zona Hidrográfica (Sub-bacias do Pardo, Mogi-Guaçu, Grande-Sapucaí e Sapucaí) sob vários aspectos, onde foram realizadas algumas propostas à condução da atividade em termos ambientais e, dentre elas, o gerenciamento da agroindústria canavieira. São especificados três subitens relacionados à vinhaça, quais sejam:

1ª. “não será admitida a disposição de vinhaça, pelo método denominado “áreas de sacrifício” com embasamento nos artigos 51 e 52 do regulamento da Lei 997/76”.

Nesse particular, em um relatório produzido pela FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (1984) esta confirma, através de dados produzidos pelos órgãos estaduais de política ambiental, que a construção de lagoas de contenção dos efluentes têm sido uma prática adotada em várias regiões. Entretanto, uma portaria Ministerial de 1980, procurou “disciplinar o armazenamento de substâncias capazes de causar poluição hídrica, estabelecendo normas gerais para a construção e localização dos depósitos”. (Portaria Minter Nº 124 - 20 de agosto de 1980)

2ª. Os tanques de armazenamento de vinhaça deverão ser construídos de forma a eliminar os riscos de contaminação da rede hídrica, do lençol freático e os freqüentes problemas de odor e proliferação de insetos. O volume total deverá ser suficiente para armazenar, no mínimo, a vinhaça gerada pela produção correspondente a 5 dias de operação ;

3ª. A taxa de aplicação de vinhaça como fertilizante, não poderá ultrapassar o equivalente a 400 kg de K₂O/ha.ano, sendo que taxas superiores só serão admitidas mediante aprovação de projeto técnico específico que justifique a operação”.

Além disso, são propostos programas de monitoramento da qualidade ambiental através da:

- instalação de medidores de vazão em todas as captações de água (subterrânea e superficial) e nas fontes de geração de efluentes da agroindústria canavieira; e
- análise de agrotóxicos e nutrientes, através do monitoramento dos cursos d'água e em reservatórios em área canavieira;
- Instalação de poços piezométricos para coleta e análise de água subterrânea.

Os relatórios executados pelos diversos órgãos ambientais têm mostrado que o sistema de multas e advertências nem sempre cumpre seus objetivos, pois as maiores possibilidades de se atenuar os impactos do PROALCOOL estão presentes no momento das decisões sobre a localização de destilarias e aprovação de projetos relacionados ao sistema de tratamento de efluentes.

Contudo, qualquer política de localização que não leve em conta fatores ambientais (quando da aprovação do projeto) estaria contribuindo para o agravamento dos problemas já existentes ou tornando suas soluções mais difíceis.

Segundo PINAZZA *et al.*(1980) a ausência de medidas e critérios mais eficazes, conforme as citadas anteriormente, tem contribuído para que o esforço de fiscalização dos órgãos estaduais, ainda que restritos aos impactos diretos, se torne cada vez mais insuficiente para impedir a poluição em algumas regiões do país.

Não deixa de ser importante abordar a questão da certificação sócio-ambiental do setor sucroalcooleiro que hora encontra-se finalizado. Em um de seus textos o IMAFLORA (1998) no tópico: *Padrões para Avaliação, Monitoramento e Certificação SócioAmbiental da Cana-de-açúcar e seu processamento industrial*, que diz respeito a critérios que devem ser aplicados e aqueles que são recomendados para a certificação, item 9º- Manejo e utilização de resíduos e demais substâncias

químicas, diz claramente que “o manejo e utilização de resíduos devem considerar a conservação ambiental e a qualidade de vida dos trabalhadores locais e das populações locais”. Mais especificamente à vinhaça, um dos subitens afirma que o uso e a aplicação de resíduos como insumos agrícolas deve ser feito de acordo com parâmetros de eficiência e qualidade ambiental e recomenda-se a diversificação do seu uso.

Contudo, é fundamental que seja explicitado quais seriam esses parâmetros de eficiência e qualidade ambiental obrigatórios. Cada área geográfica possui determinadas condições ambientais que a diferencia das demais, tais como: formações geológicas, pedologia, hidrogeologia, sendo, portanto, necessário uma espécie de zoneamento ao uso de resíduos da agroindústria sucroalcooleira (vinhaça, águas industriais – lavagem, clarificação do caldo de cana – etc). É certo que tendo essas diferenciações estabelecidas ficaria muito mais fácil, dadas às condições específicas das áreas, a orientação ao disciplinamento do uso da vinhaça nos solos agrícolas.

Para que todos os fatores citados pudessem apresentar uma caracterização ao uso e planejamento do solo de forma ambientalmente sustentável, fez-se necessária a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). O mesmo torna-se viável para as análises de cenários de uso agrícola da vinhaça na indústria sucroalcooleira, trabalhando-se com dados espaciais georreferenciados.

Tal instrumento facilita a composição de áreas críticas e potenciais, levando-se em consideração os fatores ambientais envolvidos nas análises, os quais serão detalhados em capítulos específicos.

3.6. O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Considera-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG), o instrumento capaz de equacionar os problemas encontrados no gerenciamento de um sistema de informações, advindos, principalmente, do crescimento acelerado da economia, da dinâmica social e do desenvolvimento de novas formas de manejo do meio ambiente. Isso é possível, devido a sua característica de conseguir com facilidade a manipulação e análise de uma grande quantidade de dados espaciais, projetando cenários e facilitando a análise do meio ambiente e de suas mudanças.

Segundo EASTMAN (1997) embora entendamos um SIG como uma peça de software única, ele é composto de uma variedade de elementos distintos, necessitando para ser um verdadeiro SIG possuir um grupo essencial de elementos, quais sejam:

1. **Banco de dados espacial e atributos:** Componente central do sistema, composto por uma coleção de mapas e informações associadas em formato digital. Esse banco de dados compreende dois elementos: o primeiro descrevendo a geografia das feições e um outro descrevendo as características ou qualidades dessas feições;
2. **Sistema de visualização cartográfica:** Este sistema permite, a partir de elementos selecionados do banco de dados, produzir mapas de saída na tela ou em alguns dispositivos de saída (impressora ou ploter);
3. **Sistema de digitalização de mapas:** Com esse sistema, pode-se converter mapas existentes em papel para uma forma digital, onde é fixado um mapa em papel sobre uma mesa digitalizadora e traçando-se as feições de interesse com um cursor. Pode-se, também, editar os dados digitalizados;

4. **Sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD):** Geralmente refere-se a um tipo de software que é usado para entrada, gerenciamento e análise de dados de atributo. Com esse Sistema é possível introduzir dados de atributo como informações estatísticas e posteriormente extrair-se sumários estatísticos para a geração de novos relatórios tabulares. Para o IDRISI for windows, um SGBD é provido pela Oficina de banco de dados, sendo possível realizar análises nessa Oficina e imediatamente aplicar o resultado ao dado correspondente, visualizando os resultados na forma de mapa;
5. **Sistema de análise geográfica:** Com esse sistema amplia-se a possibilidade de consulta a banco de dados tradicionais, incluindo-se a possibilidade de análise de dados de acordo com sua posição geográfica. Por exemplo, quando se deseja determinar áreas que simultaneamente tenham declividades acentuadas e solos suscetíveis à erosão sob uso agrícola e denominar o resultado como um mapa de risco de erosão do solo. Este mapa não compunha o banco de dados original, mas foi derivado com base nos dados existentes, demonstrando o potencial analítico que um Sistema de análise geográfica e de um SGBD possuem na ampliação do banco de dados através da adição de conhecimento dos relacionamentos entre features;
6. **Sistema de processamento de imagens:** Através de um software de processamento de imagens, pode-se tomar uma imagem de sensoriamento remoto e convertê-las em dados interpretados na forma de mapas de acordo com vários procedimentos de classificação;
7. **Sistema de análise estatística:** São colocados à disposição procedimentos estatísticos tradicionais, bem como também algumas específicas para a descrição de dados espaciais;

8. **Sistema de apoio à decisão:** Na maior parte dos software de SIG, essas ferramentas direcionadas para este fim existem em número relativamente pequenos. O IDRISI for windows, no entanto, inclui vários módulos desenvolvidos para auxiliar no processo de tomada de decisão, incorporando erros no processo, construção de mapas de aptidão através de critérios múltiplos e atendem decisões sobre localização quando objetivos múltiplos estão envolvidos.

Para o caso do estudo de Unidades Sucroalcooleiras e análise dos principais impactos da atividade, alguns estudos vem sendo realizados utilizando-se de tais Sistemas, mesmo que de forma indireta. PRADO (1999) estudando a influência da expansão da cultura canvieira na qualidade da água, durante o período de 1985/97, utilizou o SIG IDRISI for windows para a obtenção de mapas referentes à expansão da cultura e das queimadas, distribuição em relação aos tipos de solos e perdas de vegetação natural para a cana-de-açúcar e outros usos. Conclui ser necessário um planejamento da ocupação das terras, bem como um disciplinamento na aplicação de insumos agrícolas utilizados pela cultura.

O primeiro SIG a nível nacional foi o do Canadá, que tem sido operado continuamente desde os anos 60 e, desde então tem sido extensivamente modificado e agora opera como um componente de um grupo integrado de SIG's denominado Canada Land Data Systems, que provê serviços de análise às agências nacionais, regionais e municipais por todo o Canadá, sendo também utilizado pela FAO.

Em nível local, o planejamento relacionado à agricultura tem sido geralmente efetuado no contexto de atividades mais gerais de planejamento do uso da terra; por exemplo, a Comissão de Conservação do Estado de Oklahoma, nos EUA, juntamente com a Universidade Estadual de Oklahoma, utilizaram um SIG para o planejamento da conservação do solo. A análise integrada do tipo de solo, declividade, práticas de lavoura e tipo de plantação, foram usados para predição da erosão do solo, tal que programas de controle da erosão pudessem ser dirigidos para as áreas com mais alto risco. Esse tipo de aplicação é mostrado na Figura abaixo.

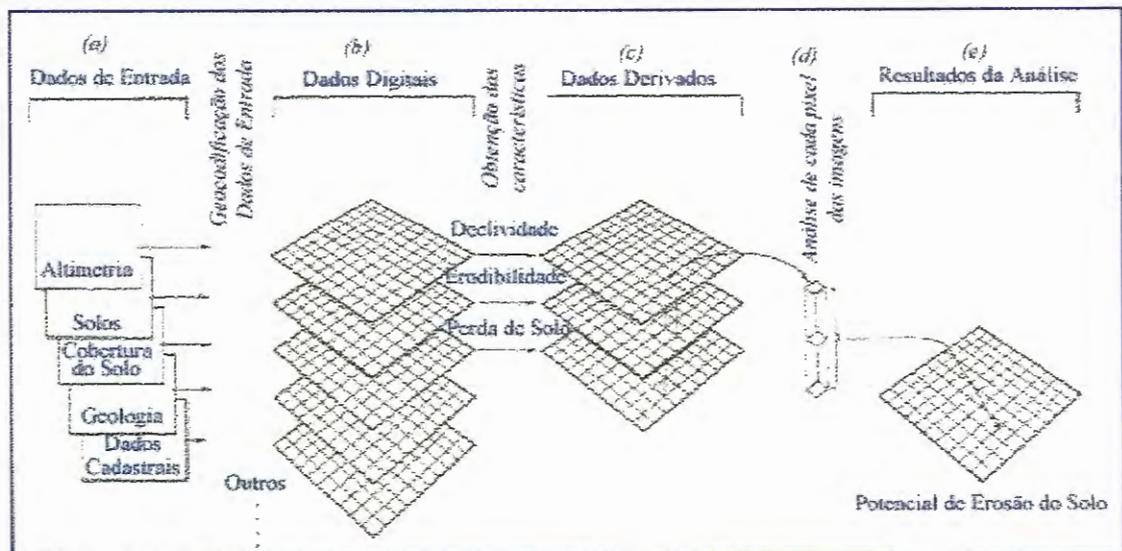


Figura 3.3. Procedimento de análise para planejamento da erosão do solo (Fonte: Courseware em Ciências Cartográficas - Unesp - Campus de Presidente Prudente ARONOFF,1991)

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área estudada situa-se no Centro-Oeste do Estado de São Paulo, inserida na depressão periférica, na sua quase totalidade na zona do médio Tiête, cuja área de interesse relativa ao trabalho possui aproximadamente 640 km² compreendida entre as coordenadas 244.000mE, 260.000mE, 7.520.000mN e 7.560.000mN. O estudo foi conduzido na Usina Santa Lúcia, cuja estrutura administrativa pertence ao município de Araras, Estado de São Paulo. A localização da área de estudo pode ser observada pela figura 4.1.

A área pertence à Bacia Hidrográfica do Mogi- Guaçú, a qual abrange todo o trecho a montante da sua confluência com o Rio Pardo. Possui área de drenagem total de 14.653 Km² e os principais rios que formam a Bacia são: federais (Rios Mogi Guaçú, Jaguará Mirim, Eleutério e Cachoerinha) e estadual (Rio do Peixe).

Em termos de disponibilidade hídrica média é de 13,70 l/s. Km² e a mínima de 3,20 l/s.Km²., cuja precipitação média corresponde a 1408 mm/ano, dos quais 563 mm (40%) são convertidas em escoamento superficial.

De acordo com o relatório publicado pelo Comitê de Bacias do Rio Mogi-Guaçu (1995) dados de 1988 apontam que os níveis da qualidade das águas da Bacia puderam ser consideradas variando de boa a aceitável. Significa dizer, de acordo com a CETESB, que os rios possuem os seguintes Índices de Qualidade de água (IQA): **Aceitável (A): 37<IQA<51 e Boa (B): 52<IQA<79.**

Além disso, pelo enquadramento de corpos d'água realizado pela Resolução Conama 20/86, a Bacia Hidrográfica do Mogi Guaçú, rio Mogi-Guaçú, trecho considerado do Rio Pardo à divisa com Minas Gerais, enquadra-se como sendo de classe 2, com IQA considerado aceitável. No entanto, conforme o citado relatório, mesmo uma análise pouco rigorosa e genérica da qualidade da água da bacia, mostra que é preciso um maior controle sobre aquele recurso, para que não seja totalmente

comprometido, quer para o desenvolvimento da vida aquática, quer seja para seu aproveitamento como fonte vital para os seres humanos.

De acordo com OLIVEIRA *et al* (1982) a topografia regional caracteriza-se por apresentar em cerca de 85% da área uma sucessão de baixas colinas de formas suavizadas e com topos subaplainados, mantidos geralmente nas cotas de 580-680 metros, com relevo suave a suave ondulado e declives que, na sua maior parte, raramente atingem 5%, e menos de 3% nos topos. Os maiores declives encontram-se no extremo noroeste da quadrícula de Araras, cujas vertentes atingem declive da ordem de 20-30%.

A vegetação original, a julgar pelos reduzidos remanescentes, era representada pela mata subperenifólia. No entanto praticamente inexistente, em função da sua substituição pela monocultura da cana-de-açúcar e Citrus, dada a qualidade de suas terras e do relevo ser pouco movimentado.

A distribuição pluvial segue o regime típico das zonas tropicais de baixa altitude, ou seja, verão chuvoso e inverno seco. As médias de temperatura do inverno chegam a valores inferiores à 18° C, superando 22° C em janeiro e fevereiro e a pluviosidade média gira em torno de 1360mm/ano (OLIVEIRA *et al*, 1982).

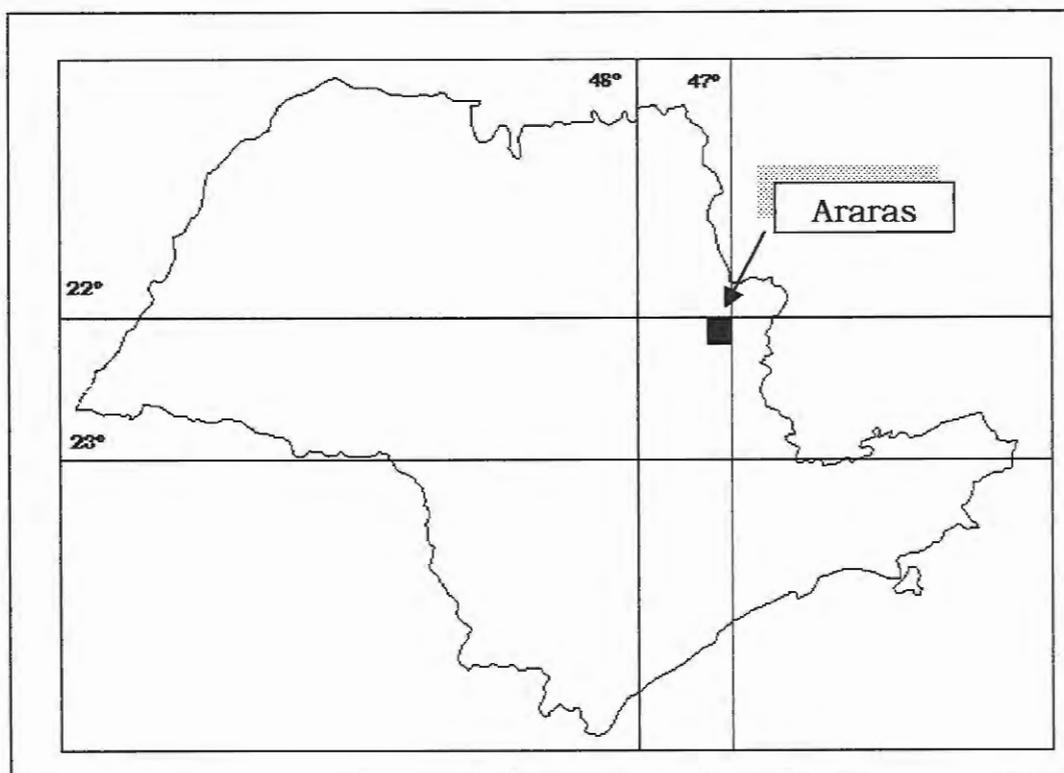


Figura 4.1. Mapa do Estado de São Paulo com a localização da área de estudo

Quanto aos aspectos geológicos, a área estudada está geologicamente incluída na Bacia sedimentar do Paraná, apresentando as seguintes unidades: Fm. Tatuí e Itararé (Grupo Tubarão); Fm. Iratí e Corumbataí (Grupo Passa Dois); Fm. Pirambóia (grupo São Bento), além de sedimentos cenozóicos aluvionares (Quaternário), Fm. Pirassununga (Terciário) e Intrusivas Básicas (Mesozóico) formadas por diabásios.

As características principais das unidades litoestratigráficas são descritas a seguir, de acordo com GRECCHI (1998).

GRUPO TUBARÃO

- *Subgrupo Itararé (PCi)*

As litologias predominantes são arenitos mal selecionados. Os diamictitos constituem a principal característica dessa formação. Os depósitos são de origem glaciais continentais, fluviais, deltáicos, lacustres e marinhos (GRECCHI, 1998).

- *Formação Tatuí (Pt)*

É constituída por siltitos cinzentos a esverdeados e arenitos finos carbonáticos. Correspondem a depósitos marinhos, com estratificações plano-paralelas. Em algumas regiões do Estado (do centro para o Sul), começam a dar origem aos primeiros solos avermelhados da Depressão Periférica.

GRUPO PASSA DOIS

- *Formação Iratí (Pi)*

A unidade é predominantemente constituída por folhelhos pirobetuminosos, ou não, e calcários freqüentemente dolomitizados. Os calcários constituem a marca registrada dessa formação, onde é explorado comercialmente para a produção de pó corretivo utilizado em solos agrícolas. O membro taquaral é constituído por argilitos, folhelhos de cor cinza clara e escura e siltitos.

- *Formação Corumbataí*

Sua característica marcante é a cor fortemente variegada onde predomina o vermelho arroxeadado, constituído por argilitos, siltitos e folhelhos, com intercalação de bancos carbonáticos e camadas de arenitos finos. Seus sedimentos são extremamente ricos em estruturas sedimentares ao lado, da predominante estratificação plano-paralelo. O ambiente de deposição é de planície de maré do centro para o norte do estado (GRECCHI, 1998).

GRUPO SÃO BENTO

- *Formação Pirambóia (TJp)*

O arenito pirambóia é caracterizado litologicamente por arenitos avermelhados de granulação média a fina, com abundantes estratificações cruzadas. O ambiente de deposição é atribuída a planícies aluviais com fâceis de canal e planícies de inundação (GRECCHI, 1998).

COBERTURAS CENOZÓICAS

- *Aluviões e coluviões*

A litologia é variada, incluindo folhelhos, argilitos, siltitos e arenitos com intercalações de cascalho. É provável que a maior parte dos depósitos formados seja do quaternário.

SISTEMAS SEDIMENTARES

Os aquíferos Bauru e Botucatu, ocupam mais da metade do território estadual e se destacam não só pela grande ocorrência, como também pelo seu grande potencial explorável de água subterrânea. O Bauru, constitui-se de arenitos finos e mal selecionados na base e de arenitos argilosos e calcíferos no topo, caracterizando-se como uma unidade hidrogeológica de extensão regional, contínua, livre a semi-confinada, com espessura de 100 metros, mas que pode chegar a 250 metros.

5 METODOLOGIA

5.1 Levantamento de dados

Para se atingir o objetivo proposto, foram idealizadas uma série de etapas desde a concepção e investigação dos itens que compunham a formação conceitual das hipóteses, ou seja, quem estudou o assunto e de que forma as abordagens foram realizadas, e quais as virtudes e limitações dos mesmos, até a forma em que as pressuposições assumidas iriam contemplar o objetivo final do trabalho. Portanto, procurou-se elencar as principais formas em que os aspectos relacionados pudessem interagir e com isso validar o trabalho.

Para tanto, os métodos empregados, bem como os materiais utilizados, foram descritos de forma separada para facilitar a compreensão e apresentação. A figura 4.2 apresenta de forma resumida a metodologia aplicada, tendo, logo em seguida, sua descrição detalhada.

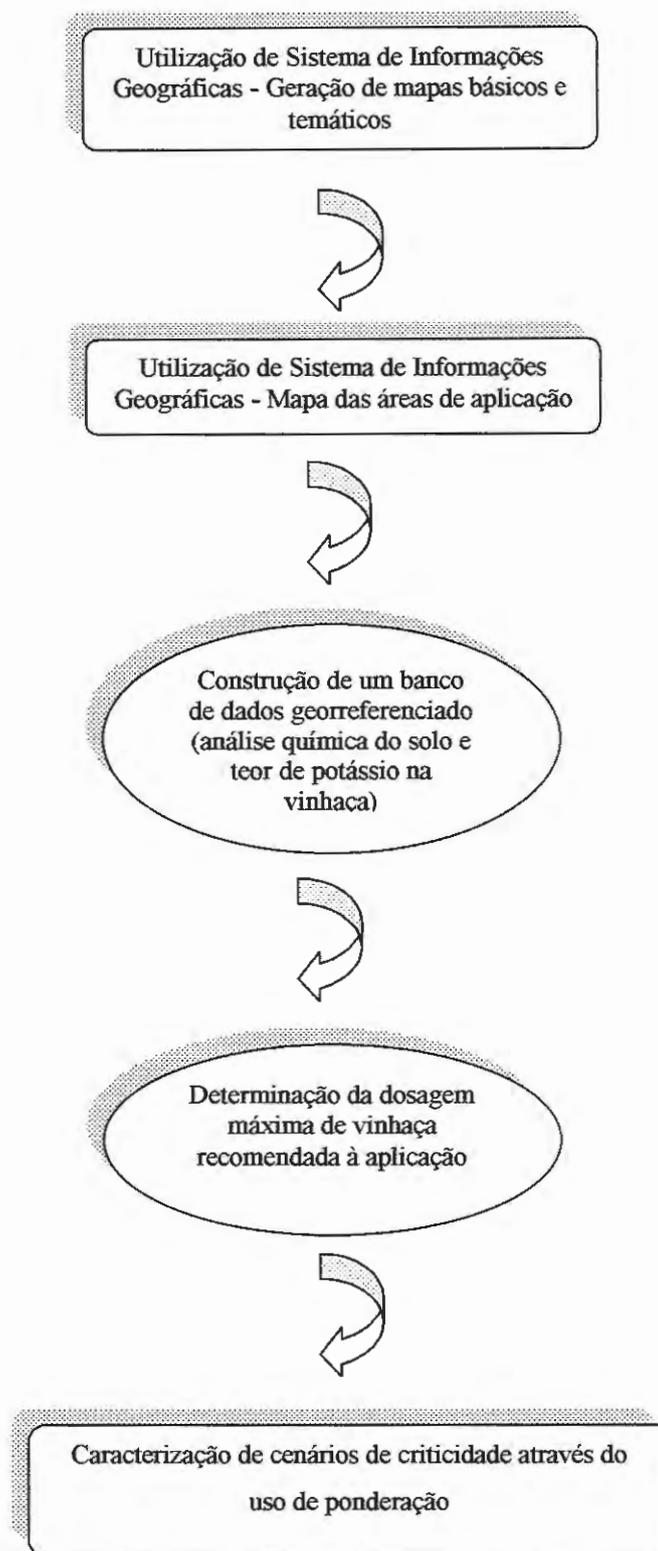


FIGURA 5.1. Metodologia resumida aplicada na pesquisa

5.1.1 Utilização de Sistema de Informações Geográficas

5.1.1.1 - Geração de mapas básicos e temáticos

É de fundamental importância o uso de um Sistema de Informações Geográficas para análise de uma questão ambiental. Nesse sentido, para diagnosticar áreas sob intensa atividade de uso e exploração humana para fins agrícolas, é que se optou por utilizar de tal instrumento.

Ao iniciarmos trabalhos lançando mão de qualquer SIG, foi realizado um minucioso levantamento das cartas e mapas utilizados, além da sua disponibilidade.

Para a geração dos mapas básicos, foram utilizados os materiais listados abaixo:

- Mapa pedológico do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), quadrícula de Araras, na escala 1:100.000;

- Mapa planialtimétrico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), quadrícula de Araras, Leme, Pirassununga, Rio Claro e Casa Branca, na escala de 1: 50.000.

Após a obtenção dos mapas, iniciou-se a entrada de dados sob formato digital. Como forma de entrada de dados no SIG, utilizou-se o software de digitalização Cartalinx[®]. Estes dados foram digitalizados via mesa digitalizadora *Summagraphics Summagrid IV, tamanho A1*. A digitalização foi feita com base no sistema de coordenadas “Universal Transversa de Mercator” (UTM).

A entrada de dados no sistema foi feita através da transformação dos arquivos do formato vetorial, resultado da digitalização, para o formato rasterizado, utilizando-se do *software* IDRISI 2.0 for WINDOWS, desenvolvido pela Clark University, Massachussets. Utilizando-se os módulos INITIAL, LINERAS,



POINTRAS e POLYRAS do IDRISI 2.0, foram, então, geradas imagens de Topografia, Hidrografia e Pedologia, originando mapas temáticos das áreas de estudo

Conforme ALVES (1997), para a definição do pixel a ser adotado nas imagens, foram consideradas três alternativas: pixels de 20X20, 30X30 e 40X40. As diferenças de áreas dos polígonos resultantes da imagens temáticas foram comparadas, além da memória utilizada para o armazenamento de cada imagem. Com isso foi escolhido pixels de 40x40 m.

Para as cartas planialtimétricas foram digitalizadas as curvas de nível e hidrografia. A partir das curvas de nível digitalizadas como pontos, linhas e arcos foi feita a rasterização com o uso dos módulos REFORMAT e INITIAL do IDRISI e logo em seguida o Modelo Digital de Terreno (MDT), com o auxílio do módulo INTERCON. Posteriormente aplicou-se o módulo FILTER para corrigir distorções da imagem obtida, evitando a perda de informações. Aplicando-se o módulo SURFACE/SLOPE gerou-se a carta de declividade que, então, foi reclassificada pelo módulo RECLASS, em 4 classes de declividade, com base em KOFLER (1986). A carta pedológica foi digitalizada como polígono, utilizando-se da opção POLYRAS do módulo REFORMAT.

5.1.1.2. Mapa das áreas sob aplicação de vinhaça

As áreas estritamente sob uso agrícola da vinhaça foram transformadas em formato digital, cujo produto final foi um mapa de aplicação de vinhaça, utilizando-se dos mapas originais do Plano de Eliminação de Queimadas (PEQ) - escala 1:25.000, realizado pela COPERSUCAR (1999), contendo áreas próprias, arrendadas e fornecedores para a safra 1999/00, sendo fornecidos pela Unidade através do seu departamento de topografia.

Identificou-se tais áreas através dos dados fornecidos pelo Gerente Agrícola da Usina, da seguinte maneira:

1) Propriedade/ Nome do Proprietário;

2) Numeração própria dos talhões (dada no mapa em papel) as quais renumeradas em um “novo código” de acordo com os parâmetros utilizados na montagem do banco de dados georreferenciados, que será apresentado logo a seguir.

Com a configuração das áreas sob esse uso, pôde-se montar alguns critérios de restrição que serão apresentados no item “Caracterização de cenários de criticidade através do uso de ponderação”.

5.1.2 Construção de um banco de dados georreferenciados ⁴

Através de um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) é possível, interagindo-se esse sistema a um determinado SIG, habilitar a informação contida em um banco de dados a ser unida a arquivos de definição geográfica em formato raster ou vetorial, possibilitando a passagem entre o componente SGBD do SIG como o sistema de análise geográfica e o sistema de visualização cartográfica (EASTMAN, 1996 *apud* HASENACK & WEBER, 1998).

Neste sentido, utilizou-se do módulo Oficina de Banco de Dados – IDRISI 2.0 FOR WINDOWS- para a manipulação dos seguintes recursos:

- ✓ Exploração da base de dados;
- ✓ Execução de consultas por localização de banco de dados;
- ✓ Visualização de atributos do banco de dados na forma de mapas;
- ✓ Solução de um problema envolvendo álgebra com mapas.

⁴ Todos os passos aqui apresentados para a construção do banco de dados, basearam-se se no Manual do Usuário do Idrisi 2.0, EASTMAN (1996) *apud* HASENACK & WEBER, 1998.

A base de dados numérica foi importada do software Carta Linx e toda ela manipulada em Microsoft Access, o qual possui ampla interatividade com o Banco de dados do IDRISI. Após a construção do banco de dados numéricos, os mesmos foram ordenados e exportados para o Banco de Dados do IDRISI os quais foram explorados pelos recursos acima citados.

5.1.2.1. Exploração da base de dados

O método utilizado foi ligar os arquivos raster e vetorial com o banco de dados propiciando examinar as informações contidas na documentação. Contudo limita-se a mostrar diretamente os valores no banco de dados, sem o recurso de apreciar a sua distribuição espacial e fazermos consultas.

A consulta ao banco de dados pode ser feita de duas formas: localização e atributo. As características aqui apresentadas foram encontradas na consulta por localização, usando-se o modo de consulta do cursor na imagem.

5.1.2.2 Consulta por localização

Estabelecida à ligação entre a janela de visualização e o banco de dados, foi possível consultar os arquivos com as áreas de aplicação de vinhaça e conhecer todos os seus atributos armazenados no seu registro de banco de dados (Área de cada fazenda, valores correspondentes do resultado das análises químicas do solo e de potássio no subproduto, etc).

Essa consulta só é possível de se realizar por que as *features* (feições) que os atributos descrevem têm a mesma posição e forma, ou seja, toda a informação de atributo foi coletada e estocada no banco de dados para a mesma unidade geográfica.

Foram executadas consultas por localização através do link entre a janela do mapa e o banco de dados, através dos comandos *Set Display Link Parameters* (Fixar Parâmetros de Ligação) a partir do menu *Link* da Oficina de Banco de Dados.

Efetuada a indicação de qual imagem foi ligada ao banco de dados, o próximo passo indicou qual campo do banco de dados continha os identificadores de feições encontrados na imagem, permitindo ao programa localizar o registro da tabela que tem o mesmo identificador que qualquer pixel consultado na imagem. Isto significa que a cada consulta por localização, o ponteiro no banco de dados se moveu e realçou o registro da área correspondente.

Trabalhou-se com alguns parâmetros de análise de solos e dados de teor de potássio contidos na vinhaça.

5.1.2.3 Consulta por atributo - Filtro

A consulta por atributo foi executada através da oficina de Banco de dados do IDRISI 2.0, utilizando-se do módulo SQL (*Structured Query Language* - Linguagem de consulta estruturada) o qual tem a função de nos identificar situações específicas para um dado arquivo associado ao seu respectivo banco de dados. Por exemplo, identificar todas as áreas em que a dosagem máxima de vinhaça não ultrapasse 400 Kg K₂O/ha. Esse será um dos critérios para identificar as áreas de maior potencial ao uso agrícola da vinhaça associado a outros parâmetros que serão descritos mais adiante.

Automaticamente é visualizada essa nova condição, com o uso do modo de visualização Booleano, ou seja, aqueles que atendem à condição especificada e aqueles que não atendem.

Pôde-se, ainda, explorar a consulta de banco de dados por atributo executando uma consulta por atributos múltiplos. Quaisquer que sejam as condições, inclusive as limitantes ao uso de vinhaça em determinada área, puderam ser aqui exploradas através desse tipo de consulta.

5.1.2.4. Visualização de atributos do banco de dados na forma de mapas

A única diferença em relação ao item anterior é que neste item só pode ser feita a visualização de atributos do banco de dados através de planos vetoriais. Para tanto, o procedimento para a visualização de dados sob esse formato seguiu os mesmos passos anteriores, usando-se de códigos de cores de símbolos escolhidos.

Para uma melhor visualização, foi realizado um autoescalonamento dos arquivos, relacionados aos fatores envolvidos nas análises, em um intervalo que pôde ser inteiramente identificado usando símbolos que variam do 0 ao 255. Essa prática consiste simplesmente em um ajuste linear que divide o intervalo original de valores em um número específico de classes de mesmo intervalo.

Após a junção do banco de dados, através do *Set Display Link Parameters* (Fixar Parâmetros de Ligação) a partir do menu *Link* da Oficina de Banco de Dados com a janela de visualização (*map window for link*), as outras informações puderam ser facilmente detectadas. Por exemplo, o valor da dosagem máximo do resíduo a ser despejada no solo (parâmetro D da equação (1)) foi automaticamente escalonado e sua visualização atualizada.

As imagens representativas desses processos serão apresentadas no item Resultados e Discussões.

5.1.3 Simulação para a determinação da máxima Dosagem de vinhaça à aplicação de vinhaça (Situação simulada)

Através de Metodologia proposta por GLORIA (no prelo), consegue-se estimar a máxima dosagem de vinhaça que poderá ser lançada em determinada localidade. Para tanto é necessário o conhecimento de alguns parâmetros relacionados à natureza química do solo e do próprio resíduo.

A equação (1) expressa a relação entre estes fatores:

$$D = CTC * 94 + 185 / K_2O \text{ na vinhaça} \quad (1)$$

onde:

D= Dosagem máxima de vinhaça a ser aplicada (Kg K₂O/ha.ano);

CTC= Capacidade de Troca Catiônica (mmol/dm³);

K₂O na vinhaça = Quantidade de potássio encontrada na vinhaça (Kg/m³).

Tanto a CTC dos solos quanto o K₂O na vinhaça foram obtidos através da análise das últimas 11 safras agrícolas (89/90 a 99/00). Vale lembrar que os dados foram obtidos por Proprietários/ Nome das Propriedades e os valores associados a eles (fornecidos pela Gerência da Usina).

A unidade da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) foi padronizada em mmol/dm³ uma vez que sua antiga notação era meq/100cm³, cujo fator de conversão é 10. Para a quantidade de potássio encontrada na vinhaça, efetuou-se a média ponderada com a produção de álcool e analisou-se os dados referentes à sua composição no carregamento tomado no campo⁵

⁵ Além da análise realizada no carregamento, em campo, há também aquela tomada na indústria. Nota-se, entretanto, valores diferentes (muito maior na indústria) sendo de interesse para esse cálculo apenas os do carregamento diretamente das bicas. (Santos, G. comunicação pessoal, Laboratório Industrial, Usina Santa Lúcia).

5.1.4 Caracterização de cenários de criticidade através do uso de ponderação (Situação ideal)

Para a determinação das áreas de maior aptidão ao uso da vinhaça, lançou-se mão de alguns critérios ambientais estabelecidos por Lei Estadual e Federal⁶, RANIERI (2000) e ALVES (1997) e segundo critérios técnicos estabelecidos por KOFFLER (1986).

Os mapas básicos foram então reclassificados de acordo com as classes adotadas em cada fator (Hidrografia, Declividade, Teor de K no solo e Pedologia) e ponderados segundo sua importância em diferentes cenários. Tais fatores estão descritos da seguinte maneira:

Fator 1- Hidrografia (H)

Quanto aos recursos hídricos superficiais, foram estipulados valores e suas respectivas notas (Tabela 5.1), os quais representam, em ordem, da situação menos crítica a mais crítica em relação à disposição da vinhaça. Para os recursos hídricos serão atribuídos, no momento da ponderação e dos cruzamentos, os menores pesos em função de atualmente a aplicação de vinhaça diretamente nos rios estar completamente descartada e ser a aplicação via solo o principal aproveitamento. Contudo, parte-se de uma distância em que não se pode ultrapassar (50m), considerada a situação mais crítica até as mais distantes e ideais do ponto de vista ambiental.

Os planos de informação gerados em relação aos recursos hídricos foram obtidos utilizando-se o módulo DISTANCE a partir da imagem matricial de hidrografia, de acordo com RANIERI (2000).

⁶ Adaptado das Leis 7803/89, CONAMA 004/85, Código Florestal - Lei 7771/65 e CETESB 1994.

Esse módulo calcula a distância de cada pixel da imagem em relação ao “elemento alvo” mais próximo. Neste caso, os elementos alvo a serem analisados foram os rios, represas e córregos. As imagens geradas foram reclassificadas para a determinação de faixas marginais aos corpos d’água para a prática da fertirrigação.

Tabela 5.1. Tipo de restrição à aplicação de vinhaça em relação aos recursos hídricos e ao enquadramento em classes de usos

Distância de aplicação em relação aos rios (m)	Classes dos rios	Tipo de restrição*
50	2	MA
100	3	A
200	3	M
400	4	B

* MA- Muito alta; A- Alta; M- Média e B- Baixa.

Fator 2. Declividade (D)

A declividade foi considerada o terceiro fator em ordem de importância, visto ser essencial para determinar a taxa de escoamento da vinhaça sob determinadas declividades. No entanto, em função da área de estudo estar representada por relevo de plano a suave ondulado, sua ponderação foi também baixa (porém maior que a hidrografia).

O mapa básico foi reclassificado em intervalos de declividade de acordo com a tabela 5.2, seguindo-se a mesma nomenclatura do item anterior.

Tabela 5.2. Tipo de restrição à aplicação de vinhaça em relação as classes de declividade

Intervalos de declividade (%)	Tipo de restrição
0-5	B
5-10	M
10-20	A
>20	MA

Fonte: Adaptado de KOFFLER *et al.* (1986)

Esses intervalos foram definidos de acordo com OLIVEIRA *et al* (1982) e KOFFLER (1986), encontrados respectivamente através da caracterização da área de estudo e das classes de limitação ao uso da vinhaça (Tabela 5.6).

Fator 3. Teor de Potássio no Solo (K)

A determinação do teor de potássio no solo permite que seja feito um planejamento em áreas que esteja sendo aplicado, via fertirrigação, valores além daqueles prescritos via recomendação de análise de solos (caso a dosagem esteja sendo insuficiente) ou vice-versa. Utilizou-se do banco de dados do IDRISI, através do módulo *Link – Assign field values to image* (Associar valores do banco de dados com a imagem) para configurar o mapa com os teores de potássio.

A tabela 5.3 apresenta as limitações ao uso em função dos teores de potássio no solo.

Tabela 5.3. Limite de aplicação de vinhaça considerando os teores potássio

Teores de potássio no solo (mmol/dm ³)	Tipo de restrição
<2.8	B
2.8 – 5.6	M
>5.6	A

Fonte: Adaptado de KOFFLER *et al.* (1986)

Os intervalos dos valores apresentados na tabela 4.3 representam os teores de potássio contidos nos solos agrícolas, de forma a constituírem maiores ou menores limitações ao uso da vinhaça em função dos seus valores. É perceptível pela análise da tabela que aqueles locais com maiores teores de potássio são os de mais alta limitação.

Nota-se ser este fator estritamente técnico, relacionado ao ganho de fertilidade nos solos sob cultivo de cana-de-açúcar. Mesmo assim, apresenta ponderação considerável na montagem dos cenários.

Fator 4. Pedologia (S)

Os tipos de solos, conjuntamente às dosagens, são os fatores que mais se destacam quando se pretende avaliar áreas críticas de aplicação de determinado resíduo, especialmente à vinhaça, pois está se associando as taxas (quantidades) em determinados sítios (unidades pedológicas).

Nesse sentido, a característica mais restritiva define a classe do solo analisado, quanto ao distanciamento das condições ideais para a aplicação de vinhaça. Vale lembrar que a matéria orgânica não foi incluída na referida tabela por se tratar de uma característica muito dinâmica em solos tropicais; no entanto não é recomendável a aplicação de altas dosagens de vinhaça em solos com altos teores de matéria orgânica.

O mapa básico foi reclassificado em 4 classes, originando a tabela 5.4 representativa das limitações ao uso em função das unidades pedológicas.

Tabela 5.4. Limite de aplicação de vinhaça considerando a pedologia

Tipos de solos	Tipo de restrição
Areia Quatzosa, Litólicos e Podzólicos	B
Latossolos	M
Terra Roxa Estruturada	A
Hidromórficos	MA

Fonte: Adaptado de GLÓRIA E ORLANDO FILHO (1984)

Essa classificação, contudo, não é rígida podendo-se contornar algumas limitações, seja adequando-se a forma de aplicação ou dosando-se criteriosamente a vinhaça a ser aplicada.

Os tipos de restrição apresentados basearam-se na experiência de GLÓRIA E ORLANDO FILHO (1984 a) em vários anos de estudo com a disposição da vinhaça no solo. Para isso, consideraram várias taxas de aplicação, tipos de solos e respostas da cultura em termos de aumento de fertilidade dos solos, produtividade e seus efeitos sobre a cultura de cana-de-açúcar de uma forma geral.

Contudo, a combinação de estudos agrônômicos deve estar sempre associado ao conhecimento dos fatores do meio físico que possam estar sendo comprometidos em função do mau uso dos recursos. Por exemplo, deve-se combinar as potencialidades dos solos em receber a vinhaça (capacidade de autodepuração e demais trocas bioquímicas), bem como as limitações de uso de acordo com a geologia local e riscos de contaminação dos aquíferos subterrâneos.

Além disso, existem restrições do ponto de vista metodológico para a configuração precisa de restrições ao uso da vinhaça nas áreas hidrogeológicas. Necessitar-se-ia de um mapeamento geotécnico específico para a área, a fim de se determinar áreas críticas ao uso agrícola do resíduo, bem como utilização de modelos numéricos computacionais para a determinação de parâmetros de escoamento do líquido, taxa de infiltração e acompanhamento periódico de análise das águas subterrâneas. Tais análises e fundamentações teóricas fogem do escopo desse trabalho.

A tabela 5.5 apresenta alguns parâmetros que dizem respeito aos intervalos determinados por KOFFLER (1986) para a limitação ao uso agrícola da vinhaça.

Tabela 5.5: Parâmetros para a classificação de situações limitantes ao uso agrícola da vinhaça

Potássio (mmol _e /dm ³)		Salinidade (mmhos/cm)	
Classes	Valores de K ₂ O	Classes	Salinidade
M.B – Muito Baixa	< 1,4	M.B - <i>Muito Baixa</i>	< 2
B- Baixa	1,4 – 2,8	B- <i>Baixa</i>	2 a 4
M- Média	2,8 – 5,6	M- <i>Média</i>	4 a 8
A – Alta	>5,6	A - <i>Alta</i>	8 a 15
Classes		Profundidade (m)	
<i>Boa</i>		> 1,20	
<i>Regular</i>		0,6 a 1,20	
<i>Restrita</i>		0,30 a 0,60	

A tabela 5.6 apresenta as classes de limitações ao uso agrícola da vinhaça, sendo esta a referência de todas análises e simulações, em conjunto com os fatores ambientais, a serem realizadas no presente trabalho.

Tabela 5.6: Classes de limitações à aplicação de vinhaça

	Classes			
	Ausentes	Reduzidas	Moderadas	Fortes
Características				
Argila (%)	<35	35 a 60*	35 a 60**	>60
Potássio (meq/100cm)	M.B	B	M	A
Salinidade (mmhos/cm)	B	B	M	A
Drenagem	Excessiva ou boa	Boa	Moderada	Deficiente
Profundidade	Boa	Boa	Regular	Restrita
Relevo	Plano a suave ondulado	Suave ondulado a ondulado	Forte ondulado	Montanhoso

Fonte: Adaptado de KOFFLER *et al.* (1986) e GLÓRIA (no prelo)

* Solos c/ horizonte B-Latossólico ** Solos c/ B-Textural

Da observância dos quatro fatores estabelecidos, através do inter-relacionamento entre os mesmos e do uso de ponderação das suas categorias, adaptado de ALVES (1997), é que serão montados cenários para as áreas com diferentes potenciais/aptidões à localização do uso agrícola da vinhaça (**SITUAÇÃO IDEAL**).

O 1º **CENÁRIO** (CRIT1) foi construído atribuindo pesos iguais aos fatores hidrografia, declividade, teor de K no solo e pedologia, porém atribuindo notas diferentes quando se relaciona as classes de cada fator entre si. Para a construção de CRIT1, foram somados, através do módulo OVERLAY de soma, todos os fatores da maneira como mostra a figura 4.3

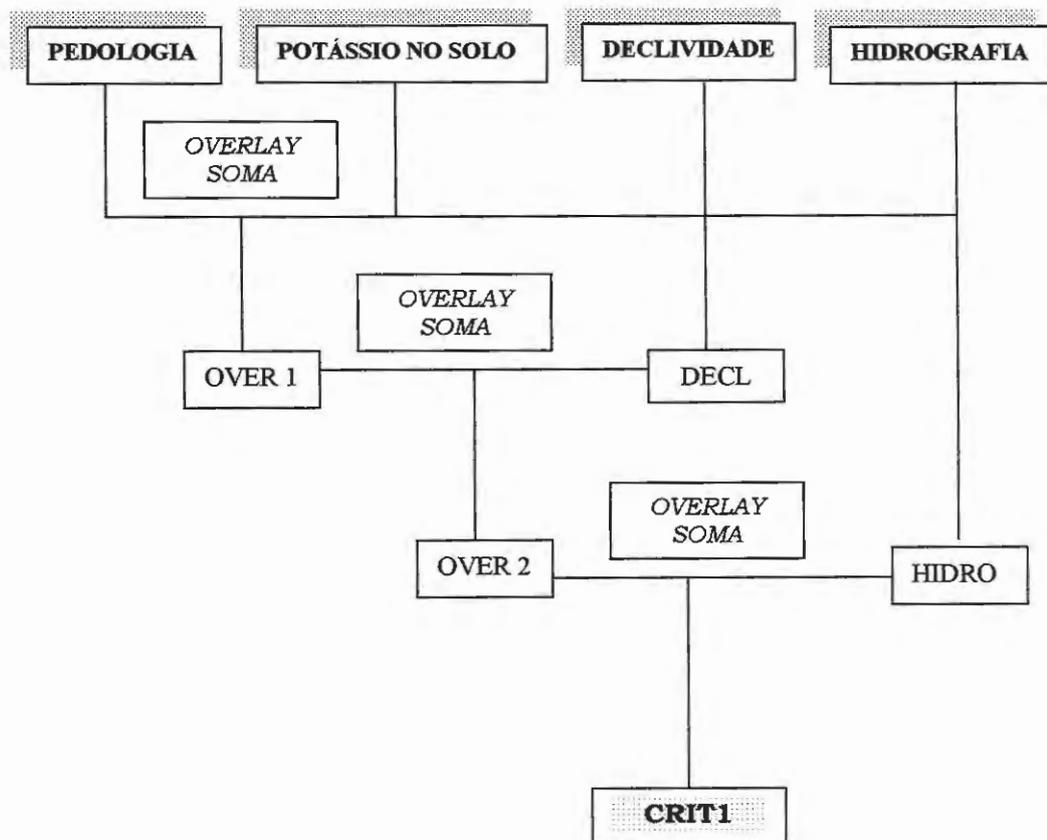


FIGURA 5.2 METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DO MAPA CRIT 1

Para a construção do 2º CENÁRIO, o mesmo procedimento foi adotado quanto às operações utilizadas, porém com diferenças na ponderação dos fatores envolvidos. Para o mapa CRIT2 atribuiu-se peso 0,4 para Pedologia, 0,3 para Teor de K no solo, 0,2 para Declividade e 0,1 para Hidrografia sendo cada um destes mapas multiplicados por seus respectivos valores. Quanto ao mapa CRIT 3 (3º CENÁRIO) atribuiu-se peso 0,4 para Teor de K no solo, 0,3 para Pedologia, 0,2 para Declividade e 0,1 para Hidrografia (Figuras 4.4 e 4.5).

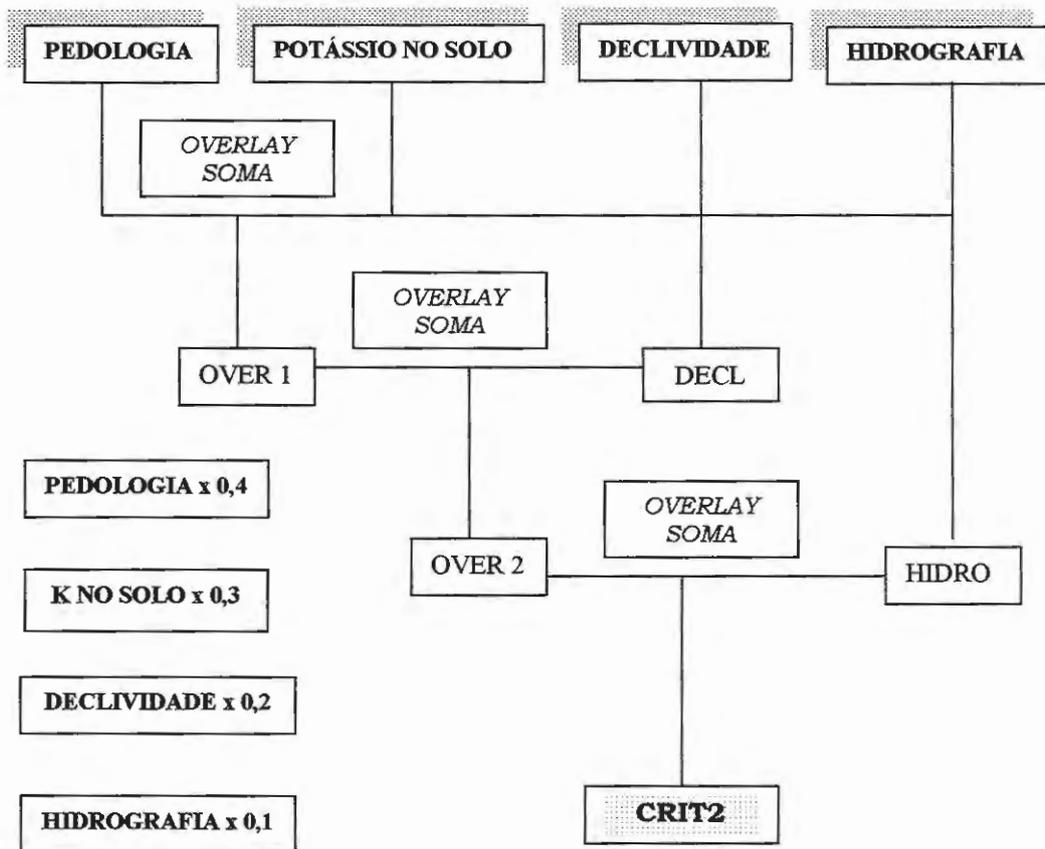


FIGURA 5.3 METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DO MAPA CRIT 2

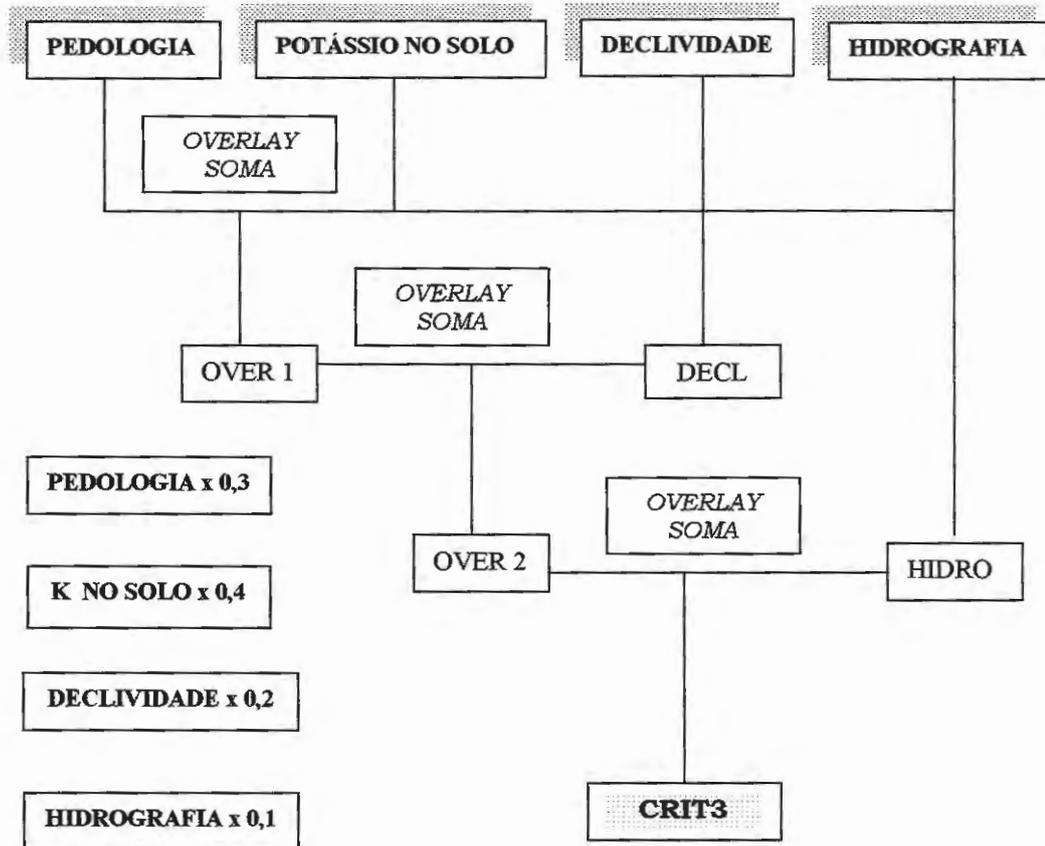


FIGURA 5.4 METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DO MAPA CRIT 3.

Além da obtenção das áreas críticas, segundo os pesos estabelecidos aos fatores envolvidos nas análises, foram obtidos mapas de graus de potencialidade, confrontando-se a situação simulada (Mapas de dosagens) e a situação ideal (Mapas de criticidade), através do módulo CROSSTAB, para cada cenário estabelecido (Figura 4.6).

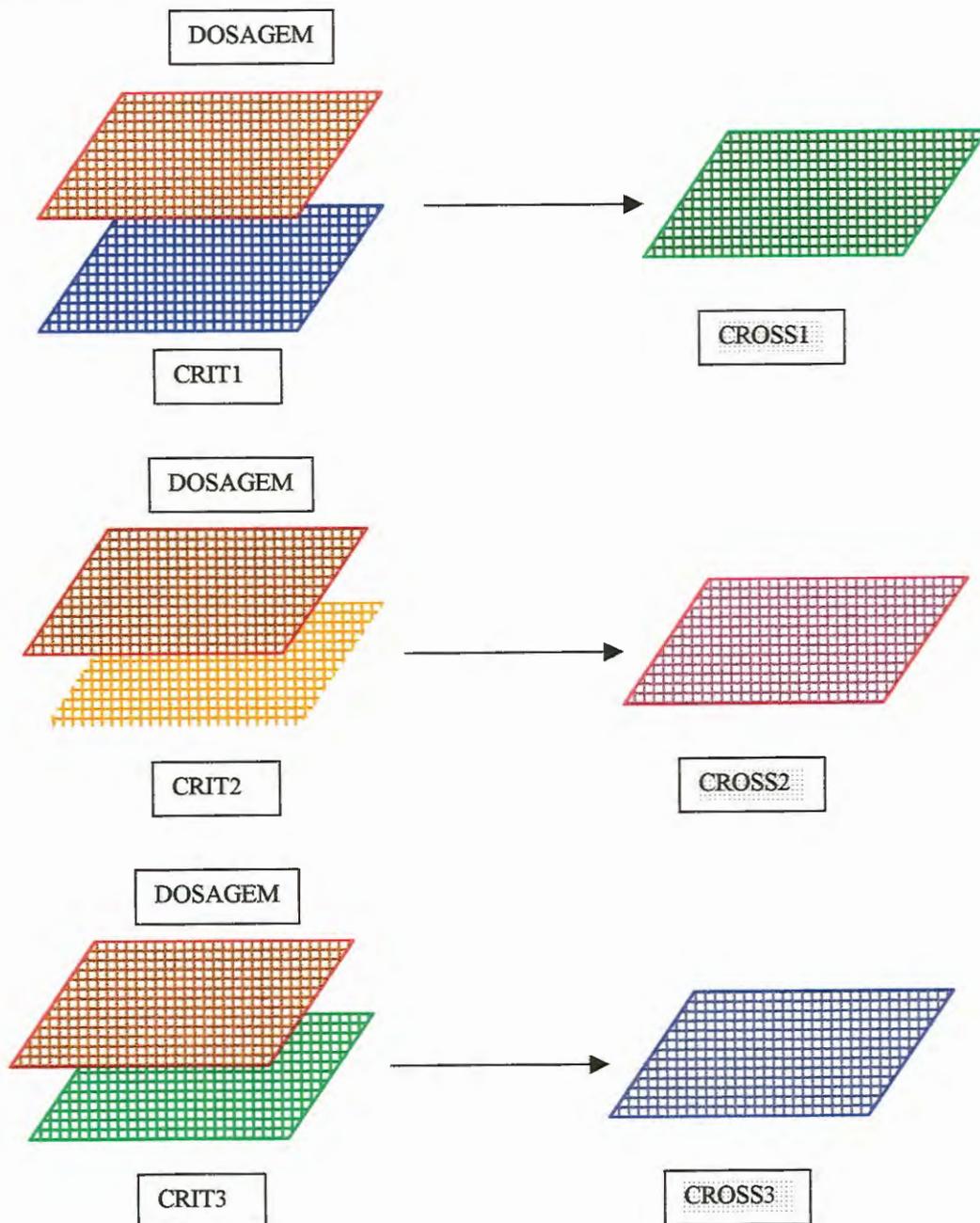


Figura 5.5. Mapas referentes à sobreposição entre as imagens de dosagem simulada e de criticidade para cada cenário

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 OBTENÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS VIA SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Os mapas necessários ao estudo de criticidade e potencialidade ao uso agrícola da vinhaça na área de estudo foram gerados conforme a metodologia descrita, sendo eles: hidrografia, declividade, pedologia e teor de Potássio no solo, além do mapa das áreas sob aplicação de vinhaça.

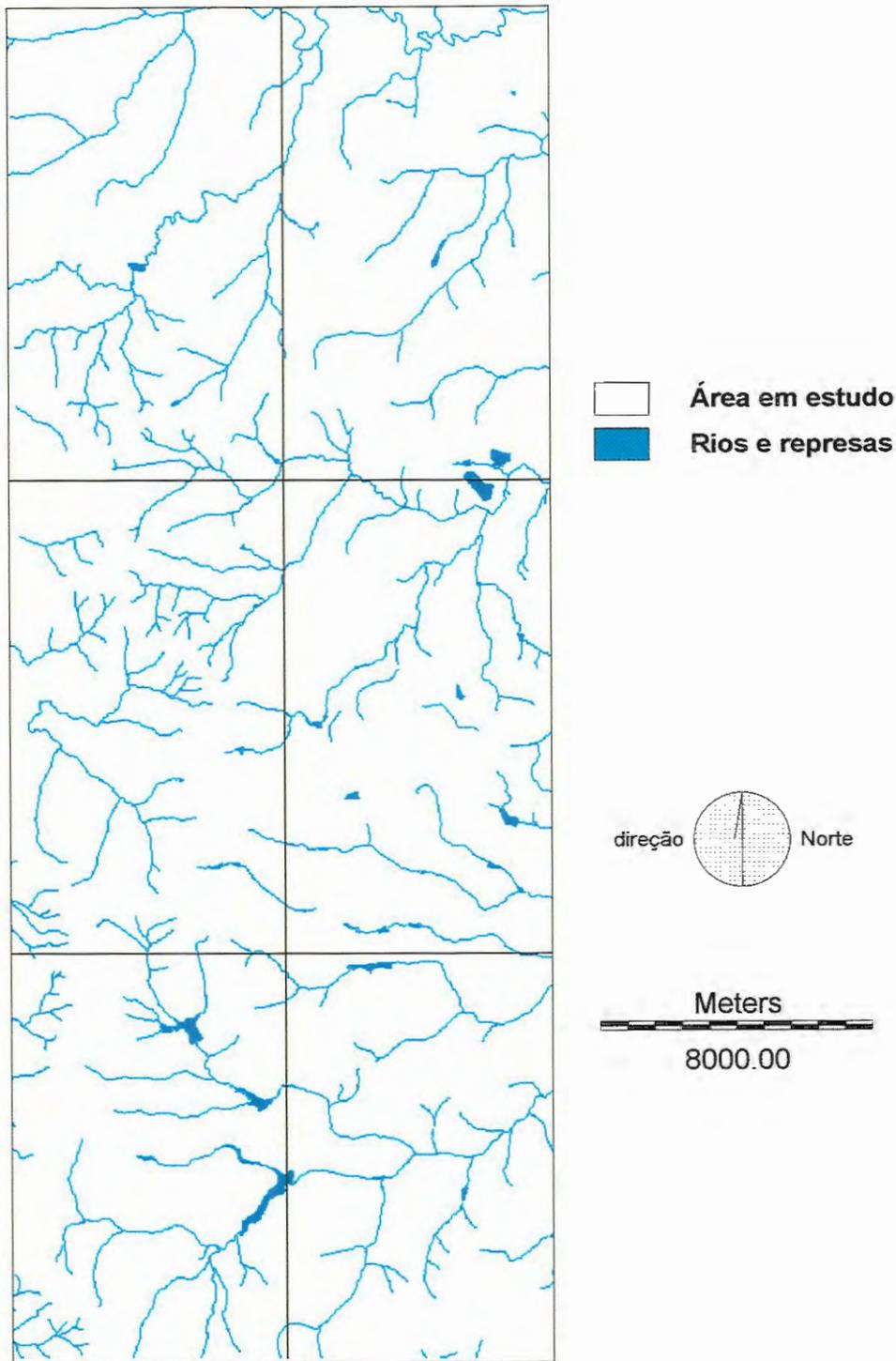
6.1.1 Mapa de Hidrografia

A figura 6.1 é referente à Hidrografia da área de estudo. A bacia de drenagem é bem distribuída, porém pouco densa em sua totalidade, apresentando alguns trechos marcados por represas e reservatórios, os quais servem como fonte de abastecimento ao município de Araras.

Através do mapa de hidrografia, pôde-se criar, através do elemento distância (módulo **BUFFER** do IDRISI), regiões consideradas críticas em relação à aplicação de vinhaça, de acordo com a Tabela 5.1. Essa imagem representa os “bolsões” de distância adotados, caracterizando as faixas de proteção dos recursos hídricos. (Figura 6.2).

Nota-se que a preocupação com os recursos hídricos deve ser ponto chave para qualquer atividade potencialmente poluidora do meio ambiente. Contudo, dadas as medidas de controle ambiental que vem sendo periodicamente implementadas pelo setor Sucroalcooleiro, no que se refere ao uso agrícola da vinhaça, seja através de estruturas de contenção e armazenamento do resíduo para que o mesmo não alcance os rios ou mesmo métodos seguros de disposição via fertirrigação, procurou-se ponderá-lo de forma equilibrada na composição de áreas críticas.

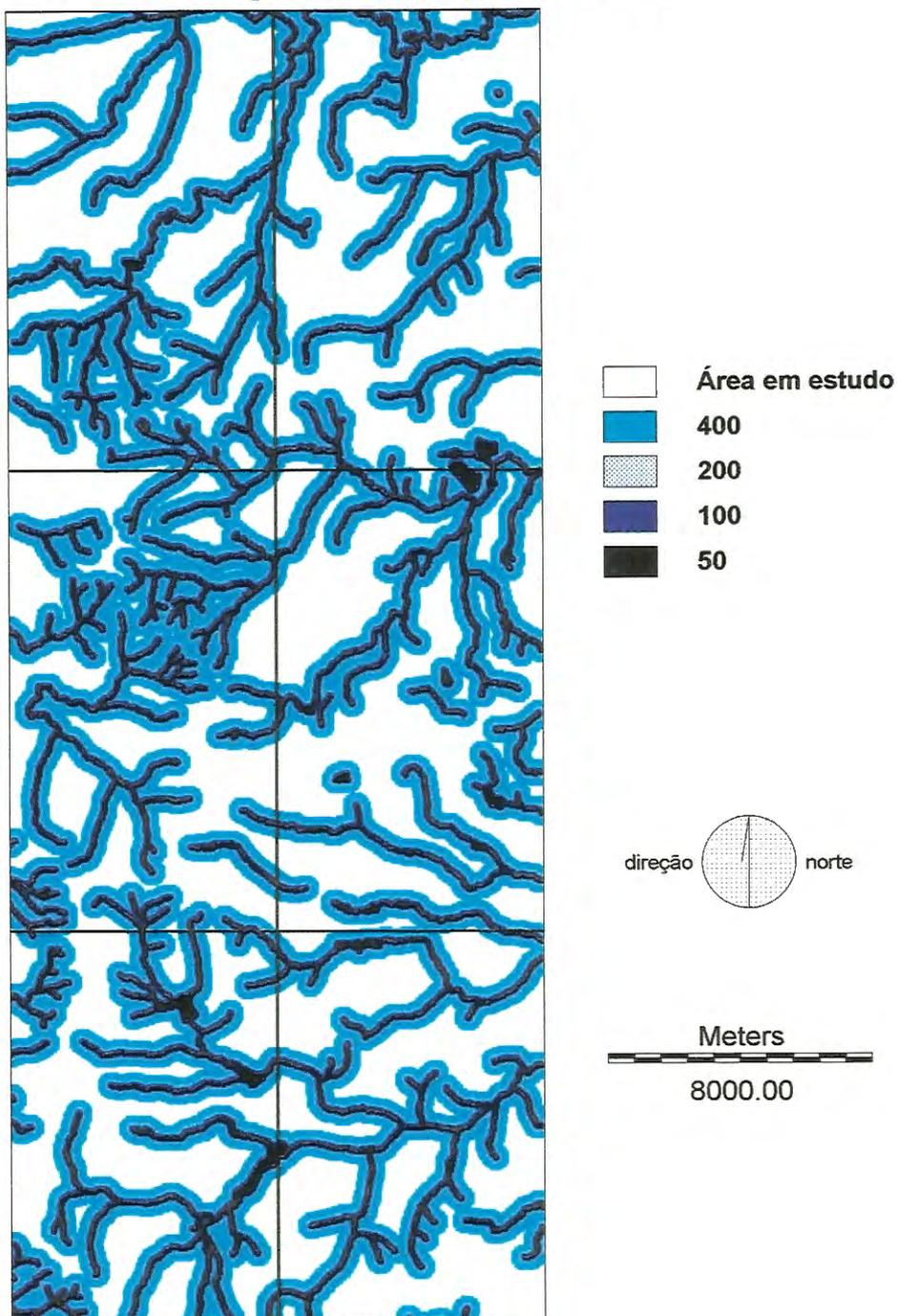
Mapa de Hidrografia



Coordenadas (UTM): 244.000 mE, 260.000 mE, 7520.000 mN e 7560.000 mN

Figura 6.1. Mapa de Hidrografia da área em estudo

Faixas de proteção (Buffers)



Coordenadas (UTM): 244.000 mE, 260.000 mE, 7520.000 mN e 7560.000 mN

Figura 6.2. Mapa de Hidrografia e suas faixas de Proteção

6.1.2 Mapa de classes de declividade

O mapa representativo dos intervalos de declividade é mostrado através da figura 6.3. As classes de declividade estabelecidas foram as seguintes: 0-5%, 5-10%, 10-20% e >20% baseando-se em OLIVERA (1982) e conforme metodologia adotada por KOFFLER (1986).

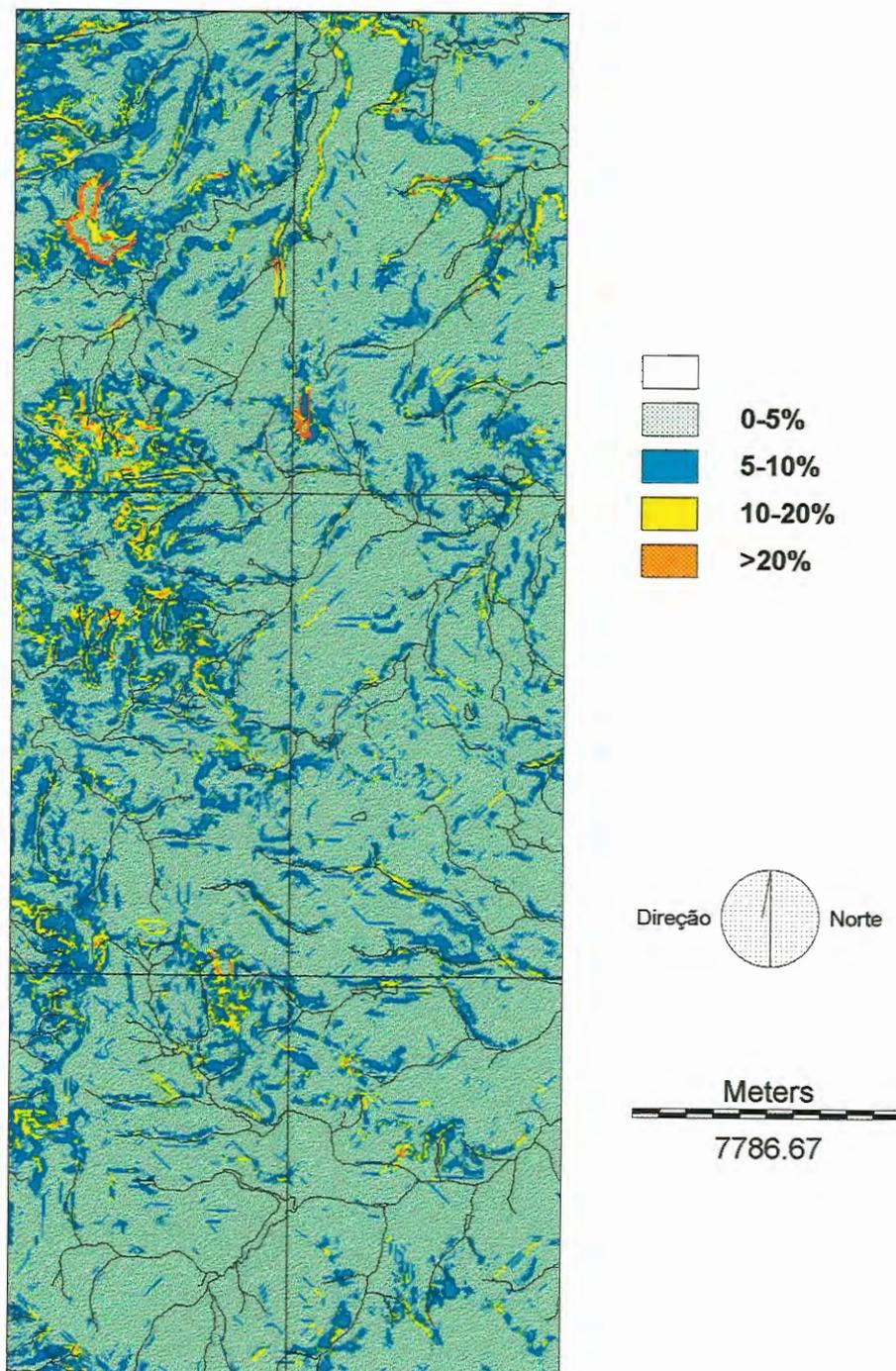
Conforme descrição realizada anteriormente, o relevo apresenta-se como plano a suave ondulado, com predominância de baixas altitudes.

A tabela 6.1 analisa a distribuição das classes de declividade em relação à área de estudo, bem como a área que cada classe ocupa e em relação ao total.

Tabela 6.1 Distribuição das classes de declividade e suas respectivas áreas (ha)

Classes de declividade	Área (Km ²)	Área (%)
0-5%	489,74	76,52
5-10%	120,77	18,87
10-20%	27,81	4,35
>20%	1,67	0,26
TOTAL	640,00	100

Intervalos de declividade (%)



Coordenadas (UTM): 244.000 mE, 260.000 mE, 7520.000 mN e 7560.000 mN

Figura 6.3. Mapa de classes de declividade da área em estudo

6.1.3 Mapa pedológico

Quanto às classes de solos encontradas, predominam na área de estudo os solos latossólicos, em especial o Latossolo roxo (LR), o qual representa em torno da metade de toda a área de latossolo roxo da quadrícula de Araras. Estes se caracterizam por apresentarem textura muito argilosa ou argilosa no horizonte de subsuperfície, com baixos teores de areia grossa e relevo suave ondulado. São originários do intemperismo de rochas básicas, representadas pelo basalto e diabásio.

Apesar dos altos teores de argila, esses solos apresentam alta porosidade total, sendo comum valores superiores a 55%. Em áreas submetidas a intenso tráfego de máquinas pesadas, como no caso da cultura canieira, pode ocorrer compactação da camada subsuperficial do solo. Além dos solos latossólicos, ocorrem em grande parte da área os podzólicos, representado pelo podzólico vermelho amarelo (PV). Os mesmos caracterizam-se por serem resultantes de sedimentos arenosos do permocarbonífero e possuem horizonte de subsuperfície de textura média/arenosa até arenosa/argilosa.

Na área de estudo encontram-se cerca de 60% dos solos podzólicos vermelho-amarelos da quadrículas de Araras, sendo a segunda classe mais extensa de solos encontrada. A Tabela 6.2 mostra a distribuição dos principais grupos de solos presentes na área de estudo.

Tabela.6.2 Distribuição das classes de solos e suas respectivas áreas (ha).

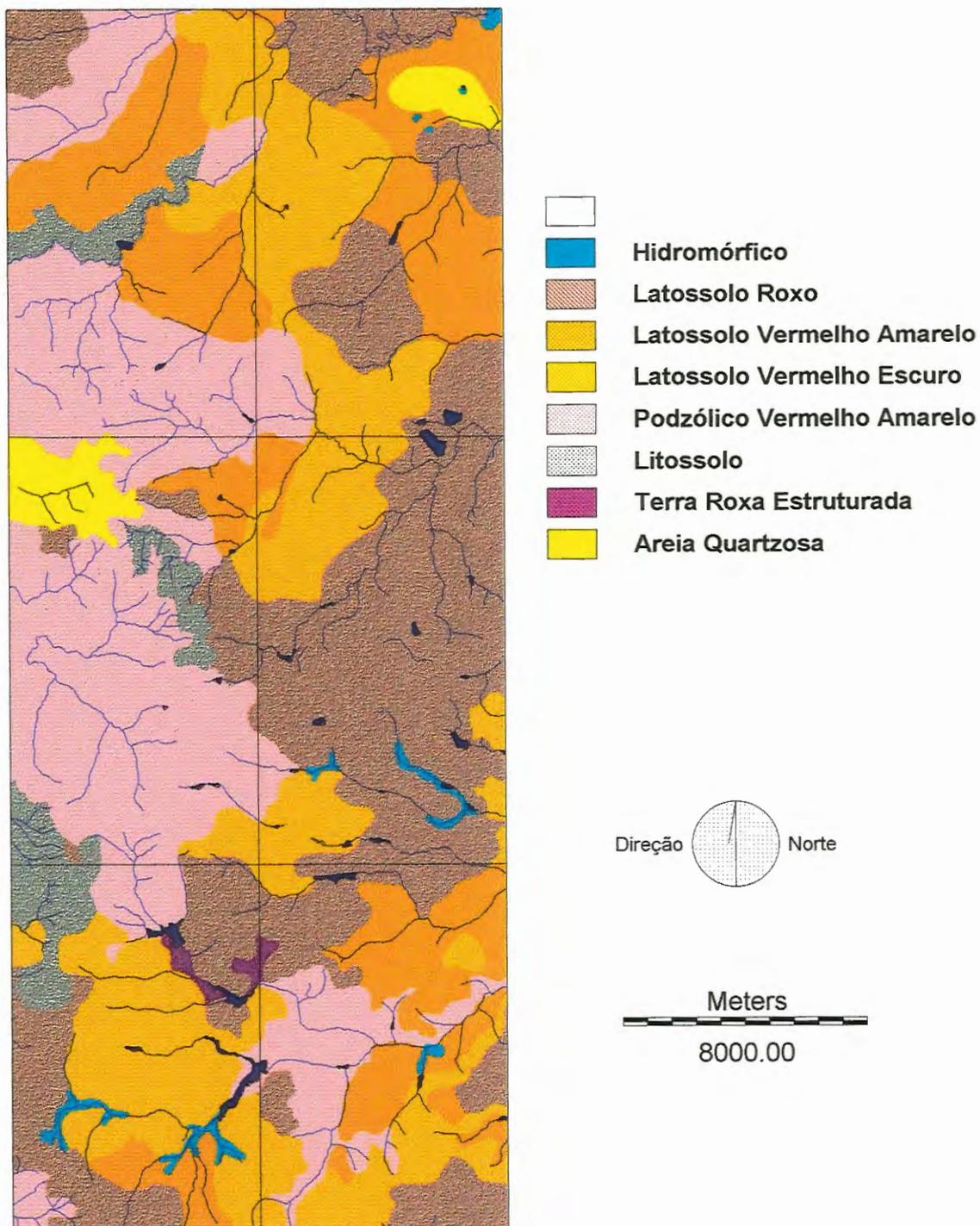
Classes de solos	Área (Km²)	% do Total
Latossolo Roxo	183.99	28.77
Podzólico Vermelho Amarelo	169.23	26.46
Latossolo Vermelho Escuro	135.94	21.25
Latossolo Vermelho Amarelo	102.32	15.99
Litossolo	25.54	3.99
Areias Quartzosas	14.90	2.33
Hidromórfico	5.12	0.80
Terra Roxa Estruturada	2.53	0.39
Total	640.00	100

Em pequenas quantidades são encontrados os solos litólicos (Li) com textura bastante variada e estreitamente relacionada com a natureza do substrato. Solos derivados de basalto e argilitos são argilosos com significativa porcentagem de limo, enquanto os provenientes de siltitos apresentam textura barrenta e, os originários do arenito, textura arenosa ou fino-areno-barrenta. Por fim, os solos hidromórficos (Hi) que tem como característica se desenvolverem em planícies aluvionais, apresentam diversidade textural bastante acentuada, verificando-se a ocorrência de solos com textura desde arenosa, abaixo da camada orgânica, até solos de textura argilosa. Por estarem sujeitos a inundações frequentes ou pela presença de lençol freático elevado, esses solos requerem práticas intensas e onerosas de drenagem, sendo pouco utilizados com agricultura.

Para a avaliação das classes de solos quanto à restrição ao uso de vinhaça, a imagem original de pedologia, que possuía 8 classes, passou a ter com a sua reclassificação 4 sendo agrupada de acordo com a tabela 5.4. Optou-se por esse reagrupamento em função das unidades de solos possuírem comportamento semelhante quando sob uso agrícola da vinhaça, levando-se em consideração o aumento da fertilidade e produtividade. De uma maior restrição à menor foram caracterizados as seguintes classes de solos, respectivamente: Hidromórficos, Terra Roxa Estruturada, Latossolos e Areias Quartzozas, Litossolos e Podzólicos (estes últimos três representando uma única classe).

A figura 6.4 apresenta o mapa pedológico referente à área de estudo

Unidades de solos



Coordenadas (UTM): 244.000 mE, 260.000 mE, 7520.000 mN e 7560.000 mN

Figura 6.4. Mapa pedológico da área em estudo

6.1.4 Mapa de teores de Potássio no solo

Este mapa torna-se de alta relevância ao estudo de potencialidade e criticidade ao uso agrícola de vinhaça no solo, pois o elemento Potássio é o principal constituinte químico da vinhaça e razão pela qual há um intensivo aproveitamento desse resíduo nos solos sob cultivo de cana-de-açúcar.

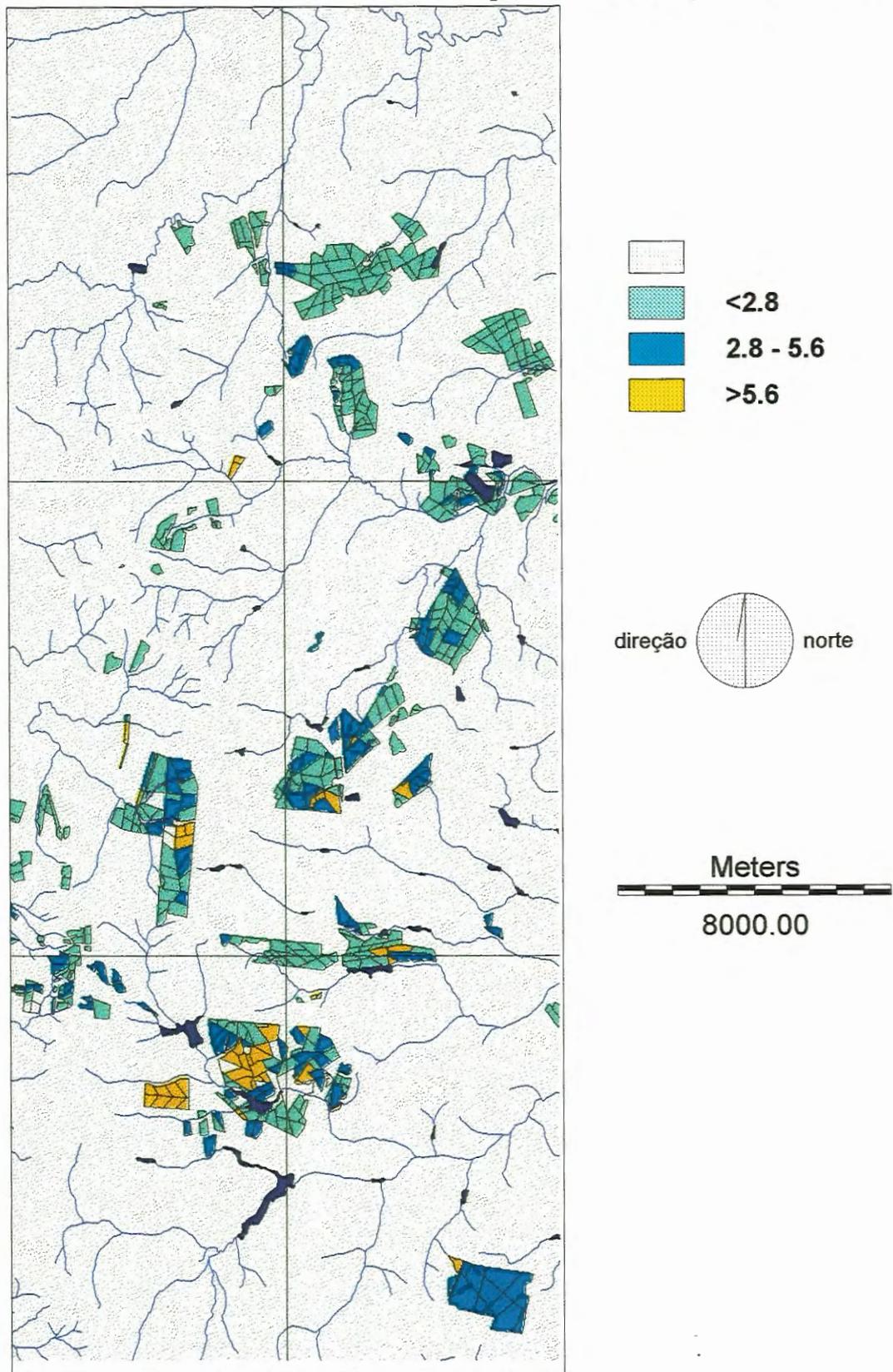
Conforme a tabela 1.2, nota-se ser o Potássio o elemento mais abundante na composição química da vinhaça e que, dado o alto poder fertilizante nos canaviais, é de fundamental importância para a adubação dos solos, principalmente aqueles de pouca a moderada fertilidade encontrados na área de estudo. Além disso, consome-se menor quantidade de insumos químicos na lavoura que têm como fonte principal o potássio e até a sua completa substituição pela fertirrigação.

Sendo assim é importante o conhecimento, através da espacialização das informações (via mapeamento da área de estudo), dos locais em que esse elemento está, ou não, em conformidade com o recomendado pelos Agrônomos através da periódica análise química dos solos.

Foi através dessa prática que foi possível gerar um mapa de teor de Potássio no solo, capaz de servir como instrumento de apoio à tomada de decisão daquelas áreas mais ou menos carentes, combinada aos fatores descritos anteriormente. No caso específico da pesquisa, o objetivo foi o de adotar quais foram as áreas restritivas, baseados na quantificação do potássio em termos de teores encontrados.

O mapa original foi então reclassificado de acordo com a Tabela 5.6 e KOFFLER (1986), o qual explicita, em termos numéricos, as faixas mais e menos restritivas como limites à aplicação de vinhaça (Figura 6.5). A apresentação das classes de teor de potássio e suas respectivas áreas configuram a tabela 6.3.

Intervalos de teores de potássio (mmolc/dm³)



Coordenadas (UTM): 244.000 mE, 260.000 mE, 7520.000 mN e 7560.000 mN

Figura 6.5. Mapa de teores de potássio da área em estudo

Conforme mencionado no Ítem Material e Métodos utilizou-se, como suporte às simulações realizadas, o Banco de Dados do IDRISI, o qual apresenta ampla interatividade com o usuário e grande aliado no planejamento de quaisquer atividades agrícolas. Contudo, requer um ordenamento das informações quanto à entrada de dados e na sua alimentação, já fazendo parte da estruturação e do processo contínuo de um banco de dados.

Tabela 6.3 Distribuição das Classes de teores de Potássio no solo ($\text{mmol}_c/\text{dm}^3$) e suas respectivas áreas (ha)

Classes de restrição (vinhaça)	Teores de Potássio ($\text{mmol}_c/\text{dm}^3$)	Área (ha)	% do Total
Baixa	< 2.8	3360.8	62.85
Média	2.8 - 5.6	1559.68	29.17
Alta	>5.6	427.2	7.99
	Total	5347.68	100.00

A grande dificuldade encontrada foi na aquisição dos dados, os quais estavam esparsos e organizados de forma bastante particular, como por exemplo: as fazendas estudadas recebiam determinados códigos (números) que as caracterizavam, porém todas as inúmeras unidades estavam apenas representadas em mapas e as informações em papel. Caberia, dessa forma, um sistema de organização de todos os dados referentes e que interferem no processo agrícola da cana-de-açúcar para se conhecer (análise), implantar as respectivas correções (ação) e realizar a manutenção constante dos fatores intervenientes em determinados processos (monitoramento). O banco de dados contemplou, ainda que de forma pouco explorada, essas variáveis dando suporte às simulações realizadas que serão mais detalhadas nos Cenários de criticidade.

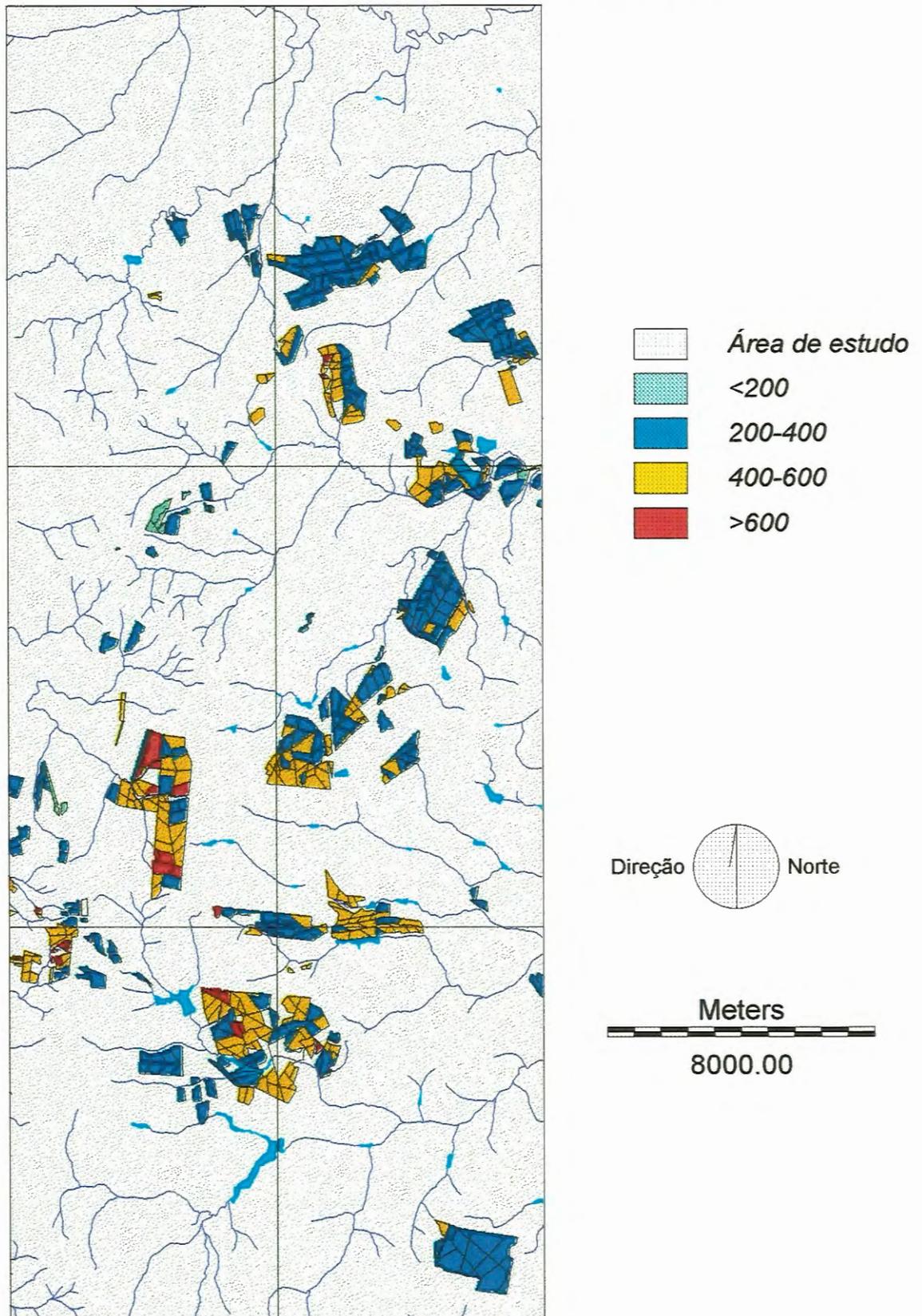
6.1.5 Mapa de dosagem de vinhaça simulada

Esse mapa foi gerado a partir da digitalização das áreas sob uso de vinhaça na área de estudo e a ele, novamente, associado o banco de dados, através dos seus módulos de cálculo (equação 1) e da associação do banco de dados à imagem, conforme descrito no capítulo Metodologia.

A Figura 6.6 apresenta todas as dosagens encontradas na área de estudo, de acordo com a Metodologia proposta por GLÓRIA (no prelo) . As variáveis adotadas por esse autor, quais sejam Capacidade de Troca de Cátions (CTC), Potássio presente na vinhaça (K) e coeficientes amplamente testados em décadas de pesquisa, são aquelas que mais influenciam na recomendação da dosagem de vinhaça a ser aplicada. No entanto, tais valores não podem ser vistos de forma isolada, pois inúmeras são as variáveis – intrínsecas ou não ao resíduo que compõem o estudo da problemática ambiental do uso mais racional desse subproduto.

Esse mapa será confrontado com os mapas de criticidade obtidos (em análises denominadas de graus de potencialidade ao uso da vinhaça), de forma a se caracterizar os usos que podem vir a ser adotados, do ponto de vista técnico, (situação recomendada) com aqueles que devem ser adotados, do ponto de vista ambiental. Tais interrelacionamentos puderam ser realizados de maneira a se explorar o máximo de situações possíveis ao melhor aproveitamento agrônômico e ambiental da vinhaça. A tabela 6.4 apresenta a distribuição das áreas sob uso agrícola da vinhaça na área de estudo, em função das doses recomendadas

Intervalos de dosagens recomendados



Coordenadas (UTM): 244.000 mE, 260.000 mE, 7520.000 mN e 7560.000 mN

Figura 6.6. Mapa de dosagem de vinhaça simulada (Kg K₂O/ha.ano) da área em estudo

Tabela 6.4 Distribuição das classes de dosagens de vinhaça simulada e suas respectivas áreas (ha)

Dosagem simulada (Kg K ₂ O/ha/ano)	Área (ha)	% do Total
<200	66.56	1.233
200-400	3355.2	62.183
400-600	1763.84	32.689
>600	210.08	3.893
Total	5395.68	100.00

6.2 DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS CRÍTICAS AO USO AGRÍCOLA DA VINHAÇA CONSIDERANDO OS ASPECTOS AMBIENTAIS

Visto ser a análise de criticidade um dos fatores para se determinar locais menos favoráveis à determinada atividade ou mesmo, a partir da caracterização de tais locais, ser o seu próprio processo indutor, é que foram baseados e fundamentados os cenários idealizados nessa pesquisa. Sugere-se que pelo termo criticidade, subentende-se locais que devam possuir algum tipo de propriedade, ou até mesmo um conjunto delas, que imponham alguma limitação ao uso de acordo com alguns fatores adotados.

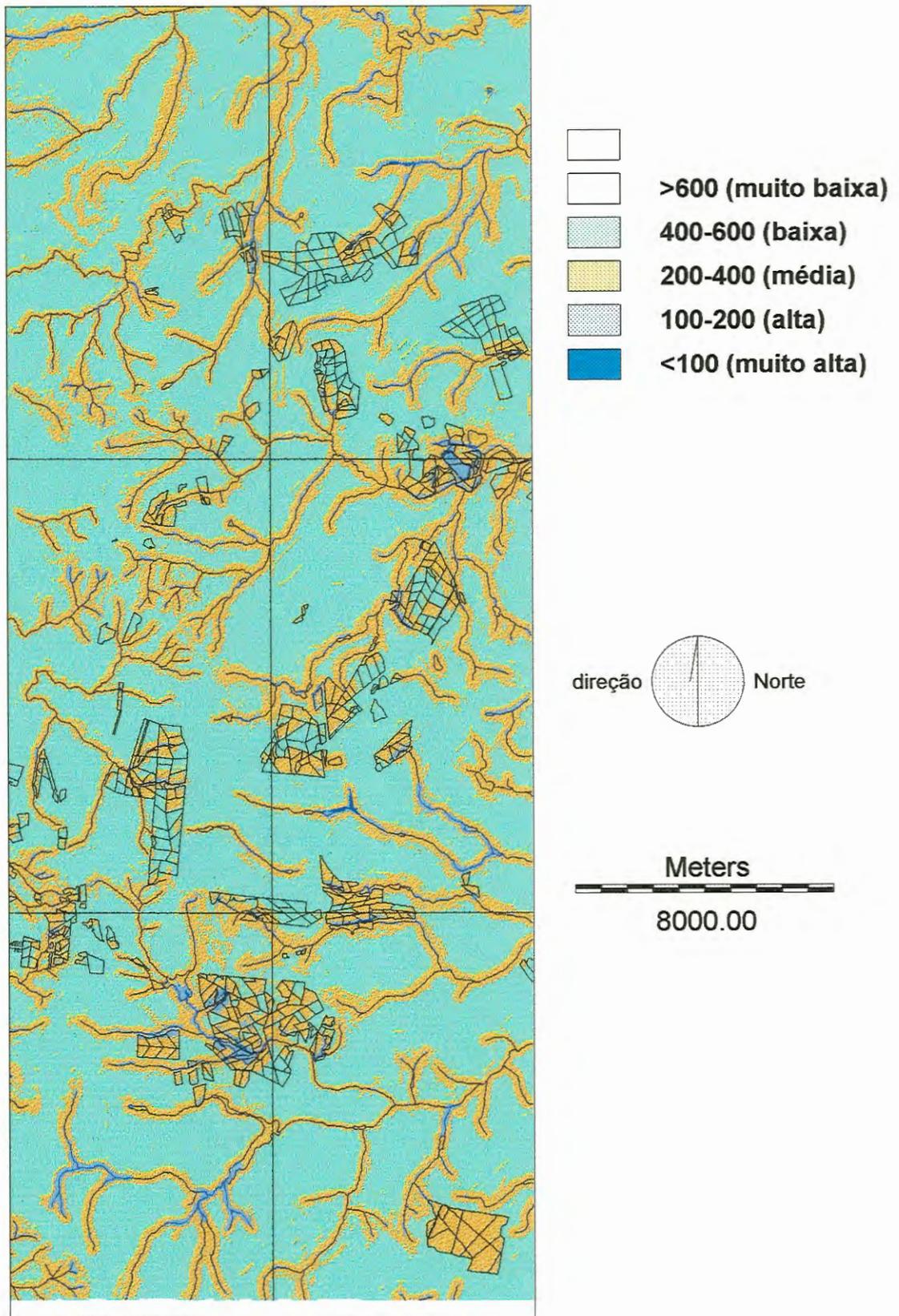
Através dos fatores declividade, Pedologia, hidrografia e Teor de K no solo, foi possível avaliar a criticidade das áreas em relação aos efeitos da aplicação de vinhaça nos solos agrícolas. Conforme já comentado, outros também podem ser os fatores relevantes à uma avaliação mais acurada do problema em questão.

6.2.1 Mapa de Criticidade 1 (CRIT1)

Para a construção do mapa CRIT 1 (figura 6.7) foi seguido o passo descrito na Figura 5.2, em que os fatores envolvidos na análise são somados, um a um, já com atribuição de notas e ponderação iguais, de modo a se caracterizar as possíveis áreas de maior ou menor criticidade dada a ponderação adotada.

A tabela 6.5 e a figura 6.7 representam as informações relativas aos graus de criticidade representada pelo Cenário 1.

Criticidade - Cenário 1



Coordenadas (UTM): 244.000 mE, 260.000 mE, 7520.000 mN e 7560.000 mN

Figura 6.7. Mapa de criticidade do 1º Cenário
Pedologia= Teor de K no solo = Declividade =Hidrografia

Tabela 6.5 Classes de criticidade para o 1 °Cenário

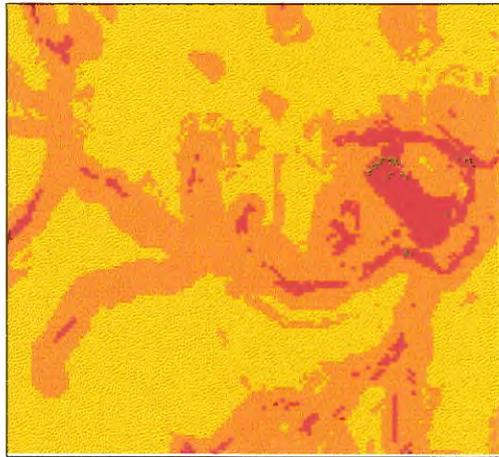
Limites de dosagem (Kg K ₂ O/ha/ano)*	Graus de Criticidade	Área (Km ²)	% do Total
>600	Muito baixa	0.17	0.03
400-600	Baixa	413.35	64.59
200-400	Média	208.41	32.56
100-200	Alta	17.63	2.76
<100	Muito Alta	0.43	0.07
	Total	640.00	100.00

Cenário 1. Pedologia=Teor de K no solo=Declividade=Hidrografia

*Esses limites representam as doses de vinhaça que podem ser aplicadas nas áreas caracterizadas, ou seja, naqueles locais aonde se possa recomendar uma menor dosagem ter-se-ão os maiores graus de criticidade.

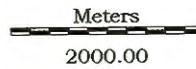
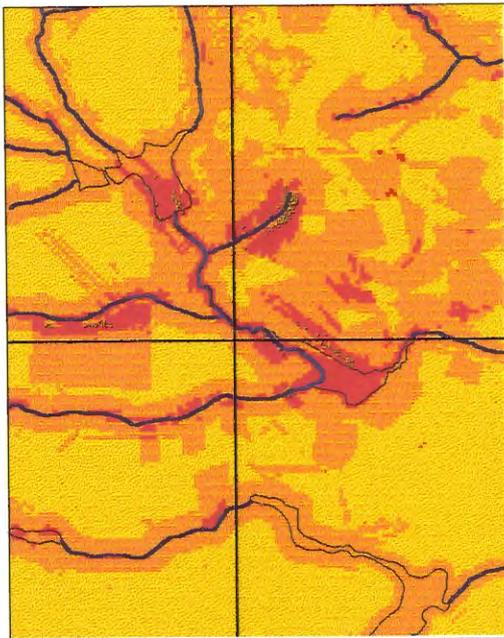
Pela avaliação da tabela 6.5 e análise da imagem CRIT1 na figura 6.7, nota-se que o grau de criticidade na área de estudo situa-se predominantemente entre baixa ou média (respectivamente 64,60 e 32,56% - 97% da área estudada), cabendo aos outros níveis (Alta, Muito Alta e Muito Baixa) os 3% restantes. Isso significa dizer que ao considerar todos os fatores com a mesma ponderação, pode-se constatar que uma recomendação de aplicação entre os intervalos de 400-600 Kg K₂O/ha/ano representa uma baixa criticidade na maior parte da área de estudo, bem como as doses entre 200 a 400 Kg K₂O/ha/ano representam uma média criticidade.

As áreas em que denotou-se haver níveis de criticidade altos e muito altos ocorreram principalmente próximas aos rios (suas nascentes) e represas, como demonstram as figuras 6.8 e figura 6.9 . Essas imagens apresentam um detalhamento, através do módulo REFORMAT -WINDOW - do IDRISI, das áreas em que tais condições aconteceram.



Classes de criticidade

-  >600
-  400-600
-  200-400
-  100-200
-  <100



Quanto aos tipos de solos em que tais níveis ocorreram, pôde-se constatar que os mesmos encontram-se em latossolos, Terra roxa estruturada e fundamentalmente em solos hidromórficos. Como era de se esperar, pela alta restrição dada aos solos hidromórficos os mesmos apresentam uma alta criticidade na maioria das unidades encontradas na área de estudo, quando considerado somente as manchas de solo, e podendo possuir criticidade ainda maior quando combinado aos outros fatores que compõem o estudo. No entanto, ao equiparar todos os fatores mencionados, essa situação tendeu a quase não acontecer.

Quando se analisa a criticidade comparada aos teores de potássio no solo, algumas áreas que apresentaram alta criticidade estão sob aplicação de vinhaça e com teores deste elemento de classes consideradas baixa a moderada restrição. É importante dizer que existem regiões em que os teores de potássio, mesmo que reduzidos e, portanto representando baixa restrição ao uso da vinhaça, estão próximos de reservatórios e de solos de baixo nível freático não sendo indicado um aumento dos seus teores via fertirrigação.

Quanto aos intervalos de declividade influenciando em áreas críticas, aquelas que possuíam muito alta, alta e média restrição ao uso no mapa de intervalos de declividade, apresentaram médias criticidades no mapa CRIT1. Isto significa dizer que a declividade é fator importante na análise das áreas a sofrerem restrição, mas não o de maior atributo, visto ser neste cenário a sua maior ponderação quando comparada aos demais cenários.

Portanto, recomenda-se uma atenção maior para locais em que esteja sendo realizada a fertirrigação cujos níveis de criticidade sejam considerados altos, especialmente próximo aos reservatórios, teores de potássio no solo acima do recomendado pelas análises químicas e de unidades de solos em que a restrição ao uso seja preponderante.

6.2.2 Mapa de criticidade 2 – CRIT2

Para a análise do 2º Cenário de criticidade a pedologia é considerada como o fator de maior valor, pois a este foi atribuída uma maior ponderação em relação aos demais fatores. Isso significa dizer que as unidades de solos serão o elementos mais importantes para a análise desse cenário.

A tabela 6.6 apresenta a distribuição das classes de criticidade, as respectivas áreas e sua parcela na área total de estudo

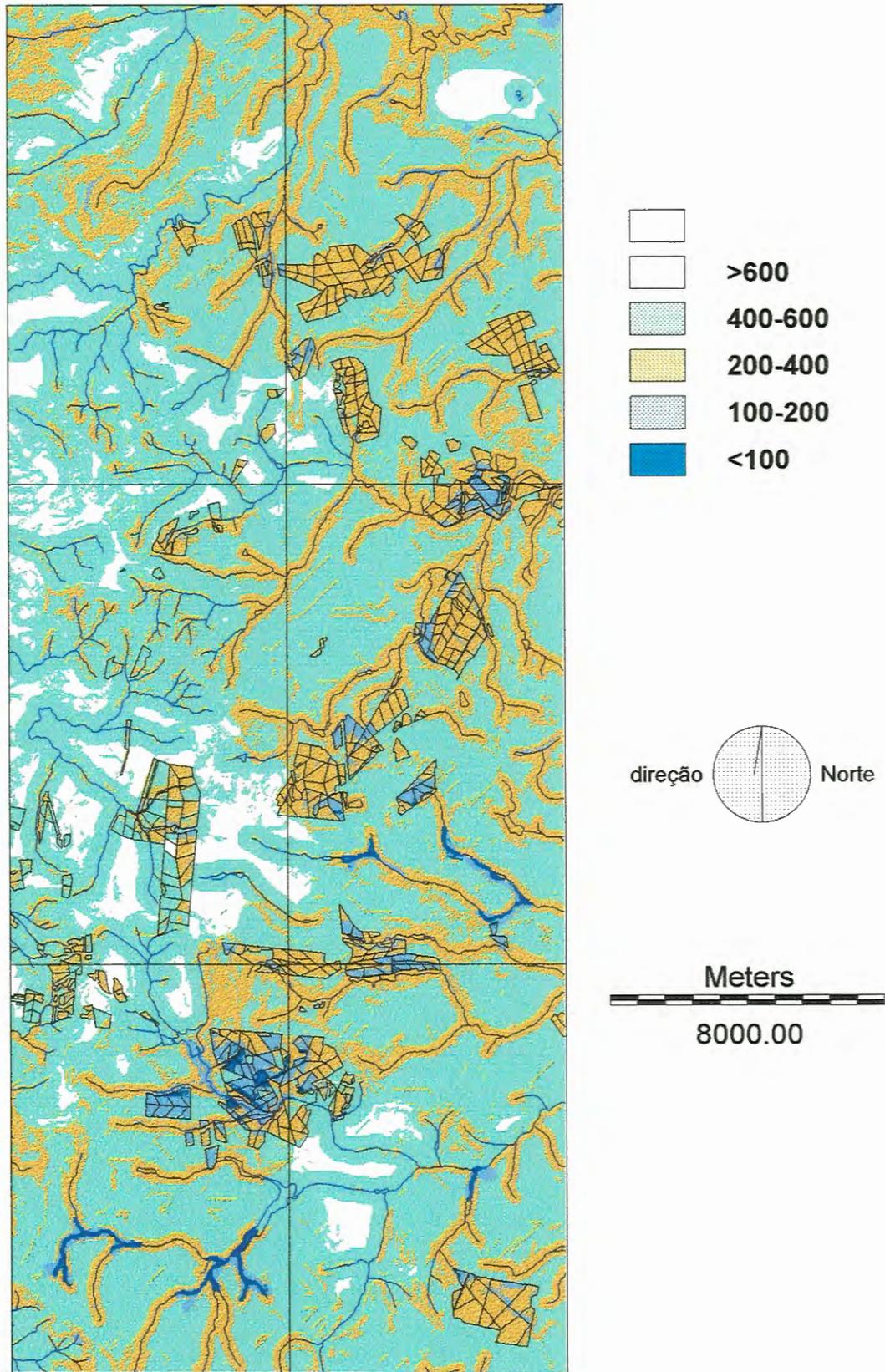
Tabela 6.6 Classes de criticidade para o 2º Cenário

Limites de dosagem (Kg K ₂ O/ha/ano)	Graus de Criticidade	Área (Km ²)	% do Total
>600	Muito baixa	45.96	7.18
400-600	Baixa	380.25	59.41
200-400	Média	192.56	30.09
100-200	Alta	17.92	2.80
<100	Muito Alta	3.31	0.52
	Total	640.00	100.00

Cenário 2. Pedologia >Teor de K no solo > Declividade >Hidrografia

Da tabela acima apresentada e da análise da imagem de criticidade CRIT2 (Figura 6.10), pode-se constatar que as áreas de baixa criticidade, seguida pelas de média, ainda predominam e que as de alta criticidade mantem-se praticamente iguais, quando considerado o cenário anterior. Porém, o grau considerado muito baixo teve aumento significativo, de apenas 0,17 Km² no Cenário 1 para 45,96 Km² nesse cenário e o grau muito alto aumentou de 0,43 Km² para 3,31 Km² comparando a mesma situação, levando a estabelecer que sob tal situação crescem as áreas consideradas extremamente críticas.

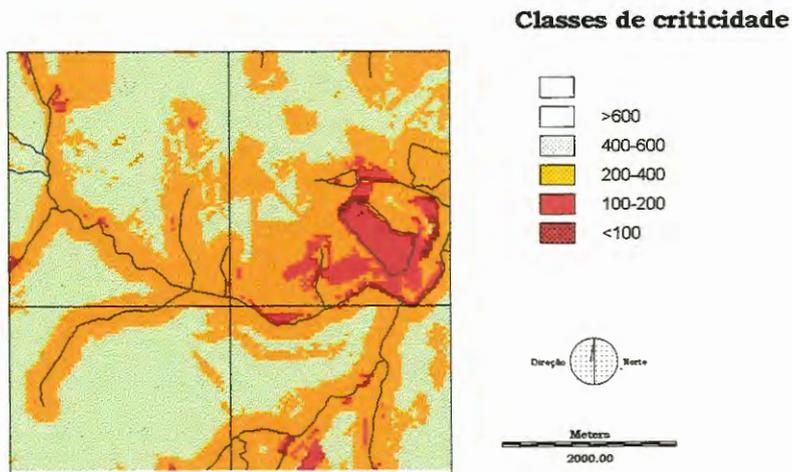
Criticidade - Cenário 2



Coordenadas (UTM): 244.000 mE, 260.000 mE, 7520.000 mN e 7560.000 mN

Figura 6.10. Mapa de criticidade para o 2º Cenário
Pedologia > Teor K no solo > Declividade > Hidrografia

Estabelecendo-se o mesmo detalhamento, em termos de coordenadas geográficas, da figura 6.8 para o 2º Cenário, observou-se uma diminuição das classes de Baixa e de Alta criticidade e aumento das áreas de Média e de Muito Alta criticidade, como pode ser evidenciado pela figura 6.11.



Coordenadas (UTM): 253.480 mE, 258.720 mE, 7543.040 mN e 7547.960 mN

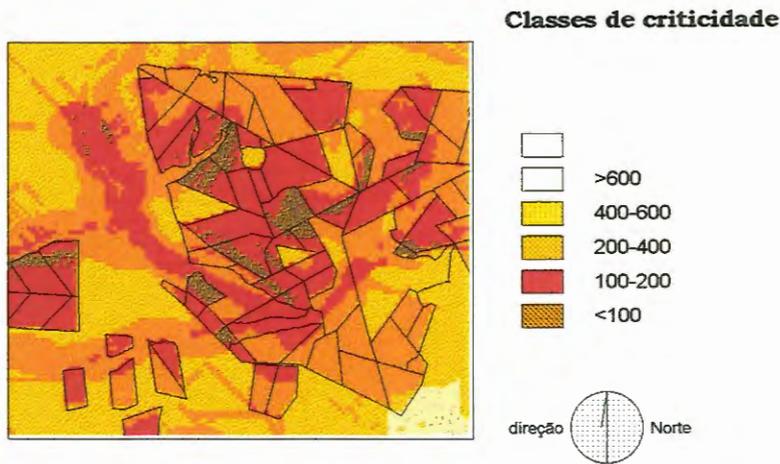
Figura 6.11 Detalhe das áreas de média e Muito alta criticidade – Cenário 2

A figura 6.12 procura explorar as áreas em que é realizada a prática da fertirrigação. As mesmas estão sob intenso cultivo de cana-de-açúcar, cujo aproveitamento do potássio nos solos agrícolas se dá através de tal prática. Nesses locais mostrados pela figura 6.12 estão localizados as unidades de solos de Terra Roxa Estruturada que possuem alta fertilidade natural, razão pela qual estão sendo agricultados de maneira intensiva.

Contudo, como essa unidade de solo foi estabelecida como sendo de alta restrição ao uso excessivo de vinhaça (juntamente aos solos hidromórficos) somados aos locais onde foram observados graus de criticidade Alto e Muito Alto (em decorrência da pedologia e dos teores de potássio restritivos), recomenda-se que sejam estipuladas dosagens diferenciadas nas unidades estudadas, ou seja, estas devem necessariamente ser menores que os valores simulados de Potássio/ha encontrados através da Metodologia de GLÓRIA (no prelo) [ver citação](#).

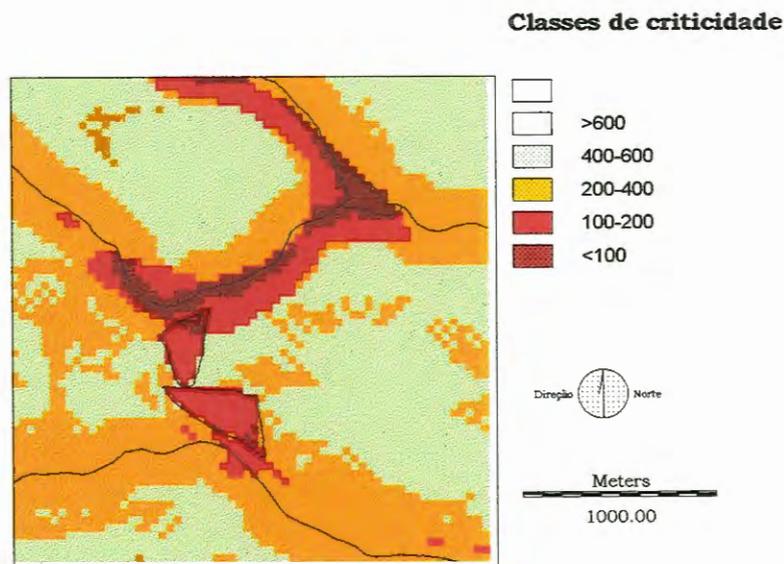
É nítido, pela análise de CRIT2, que a maior parte das áreas em que a criticidade é Muito alta estão necessariamente sob a unidade de solo Hidromórfico, fato este que corrobora com o da atribuição de peso maior à pedologia e de os solos hidromórficos serem muito restritivos a qualquer disposição segura do resíduo. A imagem 6.13 demonstra essa situação, com a visualização de áreas onde é feita a fertirrigação e recomendadas dosagens de aplicação em torno de 200-400 Kg K_2O /ha.ano, sendo que a área possui de Alta a Muito Alta criticidade, o que quer dizer que seriam aceitos doses inferiores a 100 Kg K_2O /ha.ano, segundo o mapa CRIT2. Essa área em especial é a que inspira maiores cuidados do ponto de vista das recomendações, principalmente por que estão muito próximas aos solos hidromórficos.

Evidencia-se, portanto, ser indispensável um planejamento que objetive a redução das dosagens de vinhaça nos locais considerados de Média, Alta e Muito Alta criticidade a fim de que não haja comprometimento ambiental dos fatores envolvidos.



Coordenadas (UTM): 248.480 mE, 253.000 mE, 7526.400 mN e 7530.320 mN

Figura 6.12. Detalhe das áreas fertirrigadas de média e Muito alta criticidade – Cenário 2



Coordenadas (UTM): 257.040 mE, 259.520 mE, 7531.880 mN e 7534.440 mN

Figura 6.13. Detalhe das áreas fertirrigadas de Alta e Muito alta criticidade (Solos Hidromórficos) – Cenário 2

6.2.3 Mapa de criticidade 3 – CRIT3

Para a análise do último Cenário levou-se em consideração o mapa de criticidade 3 (CRIT3), em que o atributo de maior peso foi o teor de Potássio no solo, obtido através da construção de um banco de dados com uma série de dez anos (88/99) dos valores das análises químicas dos solos, por unidade de produção (Sítios, Fazendas, Chácaras etc). Estes dados foram coletados através da compilação, e interpretação das análises químicas de solo, em papel, e posteriormente ordenados em um banco de dados, conforme mencionado anteriormente.

A tabela 6.7 apresenta os valores das áreas de classes de Criticidade, bem como a área representativa e sua participação nas áreas mapeadas.

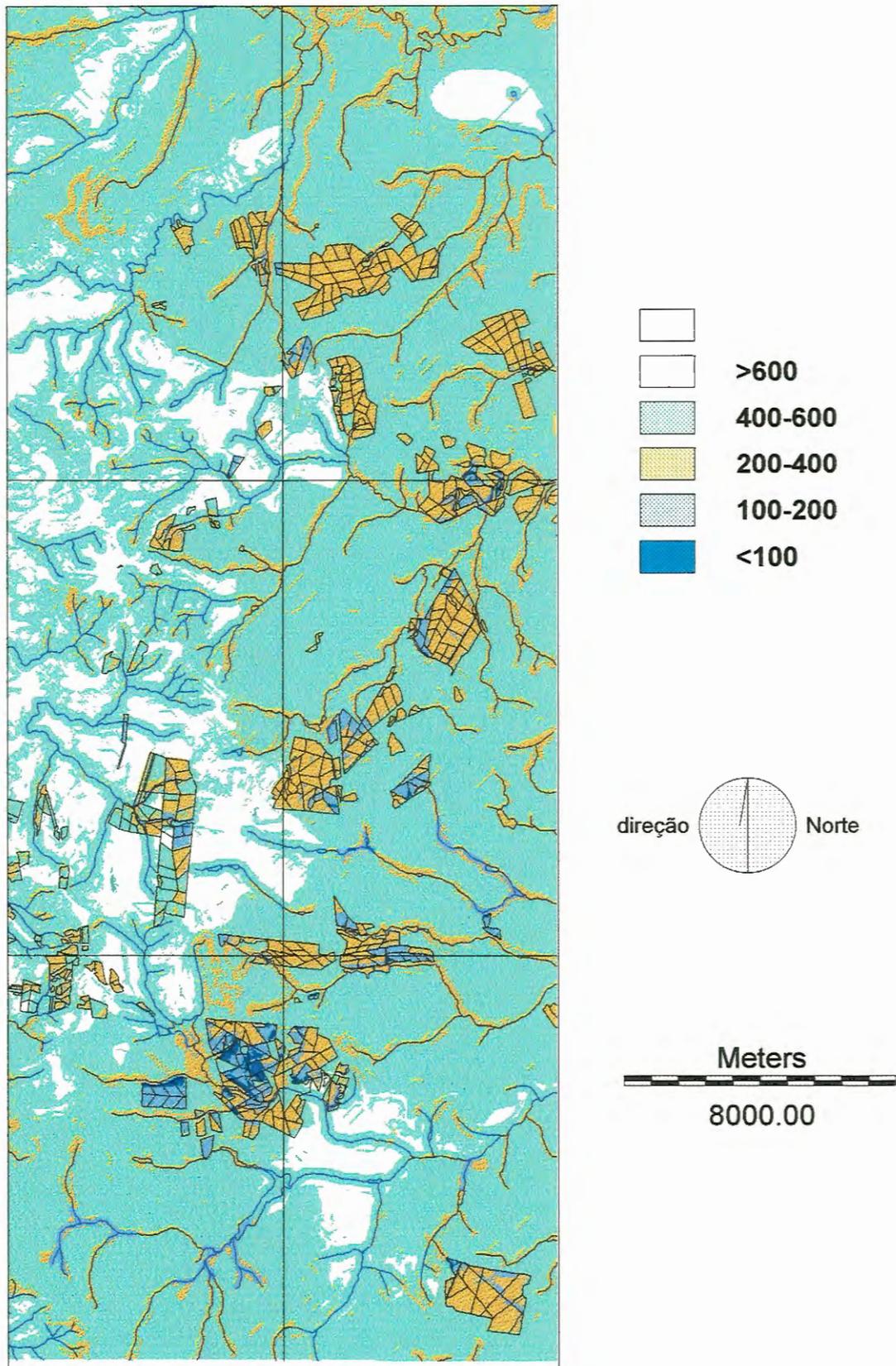
Tabela 6.7 Classes de criticidade para o 3º Cenário.

Limites de dosagem (Kg K ₂ O/ha/ano)	Criticidade	Área (Km ²)	% do Total
>600	Muito baixa	82.06	12.82
400-600	Baixa	444.64	69.47
200-400	Média	98.56	15.40
100-200	Alta	13.42	2.10
<100	Muito Alta	1.32	0.21
	Total	640.00	100.00

Cenário 3. Teor de K no solo > Pedologia > Declividade > Hidrografia

Pela análise da tabela 6.7 e da Imagem CRIT3 (Figura 6.14), constata-se que a classe de criticidade considerada baixa ainda é predominante na área de estudo. Além disso, é o único Cenário em que a área de criticidade classificada como Muito Baixa se aproxima de uma de Média criticidade e que até então possuía a maioria das áreas conjuntamente às de Baixa criticidade.

Criticidade - Cenário 3



Coordenadas (UTM): 244.000 mE, 260.000 mE, 7520.000 mN e 7560.000 mN

Figura 6.14. Mapa de criticidade para o 3º Cenário
Teor K no solo > Pedologia > Declividade > Hidrografia

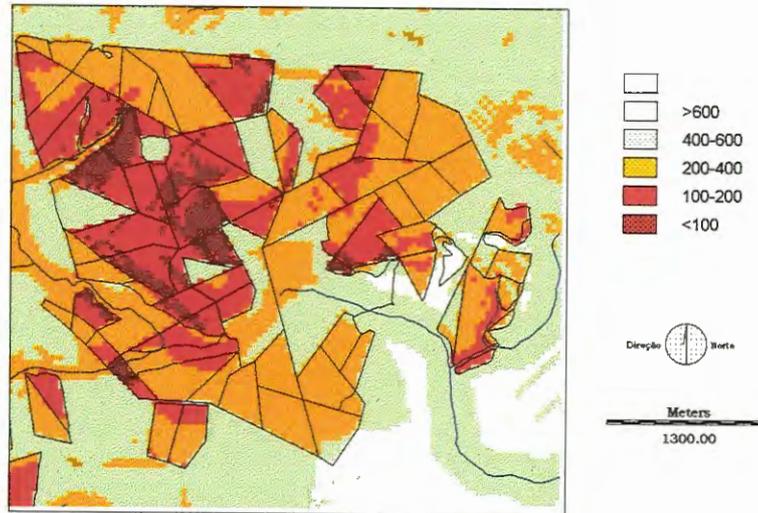
As classes de criticidade Muito Baixa avançam nos solos menos férteis (Areias Quartzozas, Litossolos e Podzólicos), representando as áreas fertirrigadas que estão sob essas unidades de solo. Pode-se, através desse resultado, propiciar a indução de dosagens maiores exclusivamente nos locais (Unidades produtivas) em que tais condições forem satisfeitas, para que haja o contemplamento das variáveis ambientais.

Já nos solos Latossólicos, que compõem a maioria dos solos da área estudada, encontram-se as classes de Baixa, Média e Alta criticidades, porém com o predomínio de áreas de Média e Alta nos locais estritamente sob fertirrigação. Pode-se, dessa forma, inferir que em algumas destas áreas é aconselhável uma dosagem menor (Situação Ideal) do aquela recomendada pela metodologia adotada (Situação possível de ser recomendada), pois a situação recomendada excede a situação ideal.

Existem locais em que é nítida uma maior concentração de áreas sob Média, Alta e Muito Alta criticidade conforme detalhado pela figura 6.15.

Quanto aos solos hidromórficos, todas as áreas encontradas estão sob Alta criticidade sem, no entanto, configurarem classes de Muito Alta criticidade como no cenário anterior. Isso é resultado de uma menor ponderação dada à pedologia para este cenário. Tal fato pode ser confirmado também para a Unidade de Terra Roxa Esruturada a qual, embora adotada como de alta restrição ao uso agrícola da vinhaça, apresenta classes de Média e até de Baixa criticidade.

Pela análise dos três Cenários constata-se que a maioria das áreas situa-se como de Baixa criticidade, em especial ao primeiro onde levou-se em consideração que todos os fatores envolvidos tiveram pesos iguais. No entanto, atenção especial deve ser dada ao Cenário 2 no momento da escolha de áreas e dosagens a serem recomendadas. Como apresentado acima, para este Cenário algumas porções de solos sob uso da fertirrigação considerados de Alta restrição devem ser evitados ou redimensionados sob pena de estarem sendo desrespeitados os limites ambientais que configuram as várias análises aqui realizadas.



Coordenadas (UTM): 249.720 mE, 254.160 mE, 7526.240 mN e 7530.360 mN

Figura 6.15 Detalhe das áreas sob Média, Alta e Muito alta criticidade – Cenário 3

É importante esclarecer que os termos dosagens recomendadas e ideal configuram como simulações de análises de criticidade e graus de potencialidade ao uso agrícola da vinhaça em que pesem (de maneiras diferentes) os fatores ambientais e técnicos do seu aproveitamento. Contudo, o cenário real praticado pelas Usinas é diferente e extremamente simplista no que concerne principalmente às questões ambientais.

As principais considerações realizadas pelas Unidades Sucroalcooleiras, na tomada de decisão dos locais mais apropriados para essa prática, dizem respeito aos aspectos:

- **Econômicos:** ao aproveitar o resíduo, na forma de potássio prontamente disponível ao solo, e diminuindo os seus gastos com esse elemento na adubação química. Além disso, leva-se em consideração a componente distância, denominado raio econômico de aplicação, que por vezes configura como fator impeditivo à indução dessa prática em áreas de maior potencial, vistos sob ótica ambiental e econômica;
- **Agronômicos:** Ao utilizá-lo de forma a aumentar a longevidade dos canaviais e aumentar a produtividade da cultura;
- **Técnico/ambiental:** Dizem respeito ao limite imposto pelo órgão ambiental do Estado de São Paulo –CETESB–, qual seja de 400 Kg K_2O /ha.ano e através das estruturas de contenção, condução e aplicação de vinhaça no campo. Não diferenciam, entretanto, as especificidades das áreas sob uso de fertirrigação (através de dosagens diferenciadas, analisando-as com graus de limitação ou potencialidade ao uso desse resíduo).

6.3 OBTENÇÃO DOS GRAUS DE POTENCIALIDADE À APLICAÇÃO DE VINHAÇA PARA OS 3 CENÁRIOS.

Para a obtenção do que se convencionou chamar graus de potencialidade à utilização agrícola da vinhaça, foram cruzados os mapas com as áreas onde é realizada a fertirrigação e suas respectivas classes de dosagens (Figura 6.6) e as imagens CRIT1, CRIT2 e CRIT3, representando respectivamente as figuras 6.7, 6.10 e 6.14. As imagens representativas e as discussões das mesmas foram divididas e detalhadas em itens a fim de melhor compreensão.

6.3.1 Potencialidade para o 1º Cenário

Conforme descrito acima, os mapas de classes de criticidade (Situação Ideal) para esse cenário foi cruzado à imagem das áreas sob fertirrigação (Situação simulada), através do módulo CROSSTAB, resultando na Figura 6.16. A mesma foi reclassificada, de acordo com os graus de potencialidade estipulados, gerando a Figura 6.17. Os resultados com os graus de potencialidade, suas respectivas áreas e a fração em relação à área total são mostrados através da tabela 6.8.

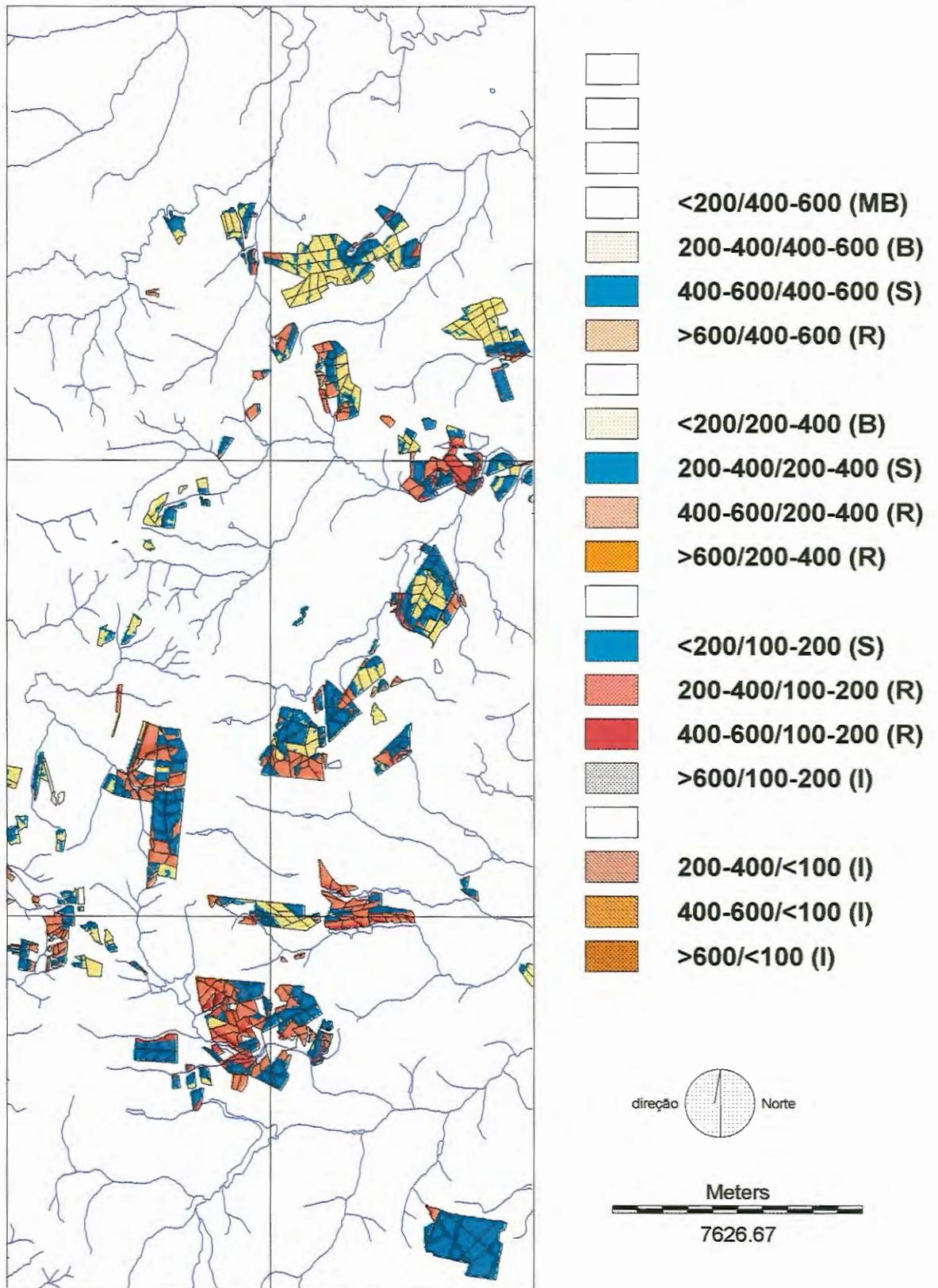
Tabela 6.8. Graus de potencialidade à aplicação de vinhaça para o 1º Cenário, considerando a Situação simulada X Situação Ideal

Grau de Potencialidade	Área (ha)	% do Total
Muito boa	21.76	0.4
Boa	1269.76	23.5
Semelhante*	2478.24	45.9
Ruim	1594.56	29.6
Inadequada	31.36	0.6
Total	5395.68	100.0

Cenário 1. Pedologia =Teor de K no solo =Declividade =Hidrografia

*Significa que os teores das duas situações são concordantes

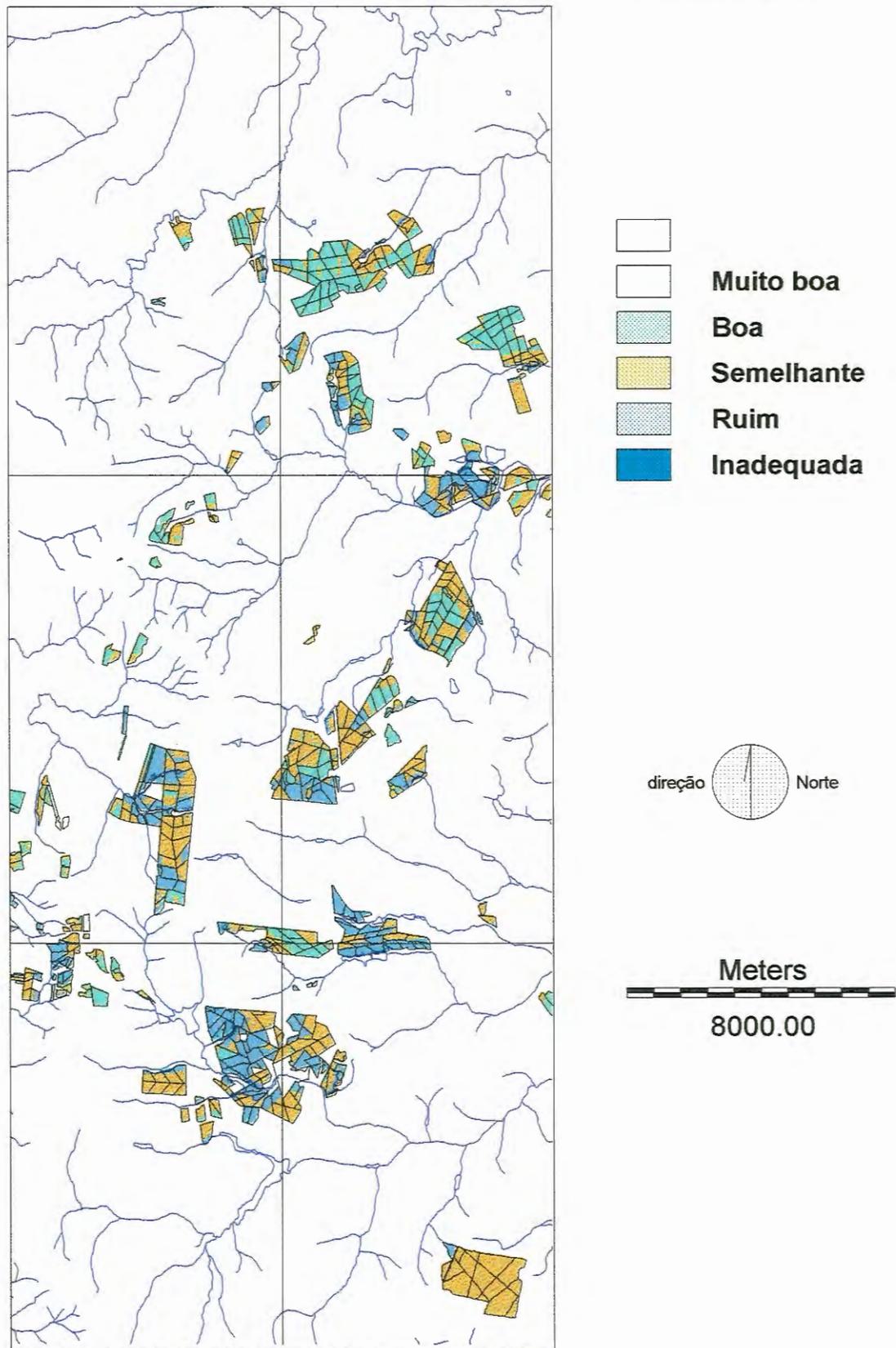
Situação simulada/situação ideal



Coordenadas (UTM): 244.000 mE, 260.000 mE, 7520.000 mN e 7560.000 mN

Figura 6.16. Classes de Potencialidade ao uso agrícola da vinhaça 1º Cenário

Graus de Potencialidade - Cenário 1



Coordenadas (UTM): 244.000 mE, 260.000 mE, 7520.000 mN e 7560.000 mN

Figura 6.17. Graus de Potencialidade ao uso agrícola da vinhaça – 1º Cenário

A situação de Muito Boa potencialidade só ocorreu em 21,76 ha, correspondendo a melhor situação de todas possíveis, uma vez estar de acordo com os limites impostos por recomendação e além de poderem ser realizadas maiores aplicações nessas áreas sem restrição ambiental.

6.3.2 Potencialidade para o 2º Cenário

Ao considerarmos as classes de solos como o fator de maior ponderação, muda-se de forma substancial o quadro, quando comparado ao cenário anterior. Nota-se através dos dados da Tabela 6.9 e da figura 6.18, que há uma drástica diminuição das áreas com grau de potencialidade Boa do 1º para o 2º Cenário, passando a constituir apenas 4,1% da área total.

Tabela 6.9. Graus de potencialidade à aplicação de vinhaça para o 2º Cenário, considerando a Situação simulada X Situação Ideal

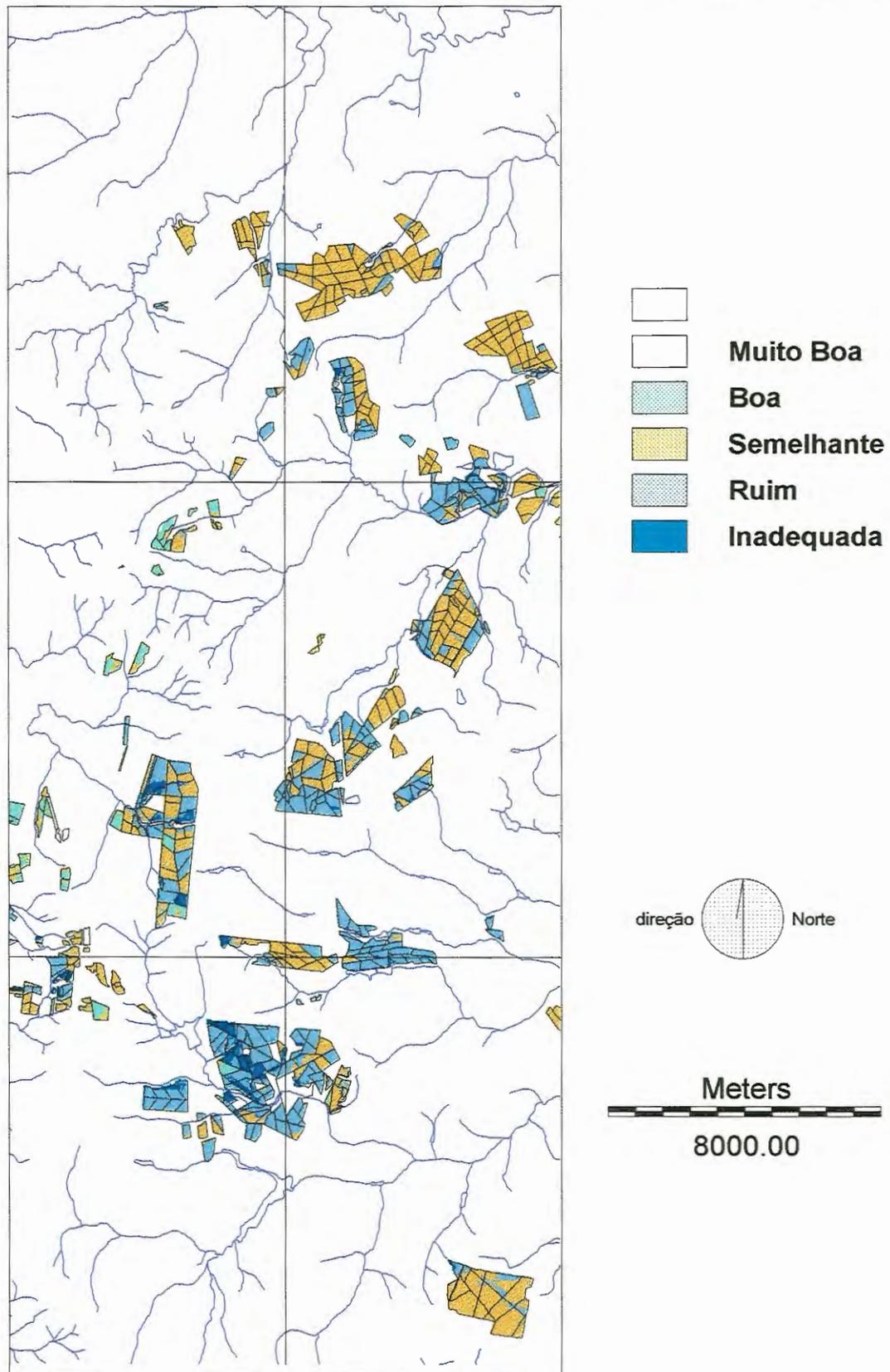
Grau de Potencialidade	Área (ha)	% do Total
Muito boa	21.76	0.4
Boa	219.84	4.1
Semelhante	2667.2	49.4
Ruim	2274.4	42.2
Inadequada	212.48	3.9
Total	5395.68	100.0

Cenário 2. Pedologia>Teor de K no solo>Declividade>Hidrografia

Provavelmente isso ocorreu em função de existirem, comparativamente, poucas áreas aplicando vinhaça sob as Areias quartzozas, Litossolos ou mesmo os Podzólicos, uma vez que esses são considerados de Baixa restrição ao seu uso. Porém, mesmo nessas áreas puderam ser encontrados Ruins ou até mesmo inadequados graus de potencialidade, o que não pode ser atribuído somente à alta ponderação da pedologia.

Nos locais em que há potencialidades semelhantes e ruins, há o predomínio dessas áreas estarem sob latossolos, considerado de média restrição. Pode ter havido para essas localidades recomendação acima da que o Cenário de Criticidade 2

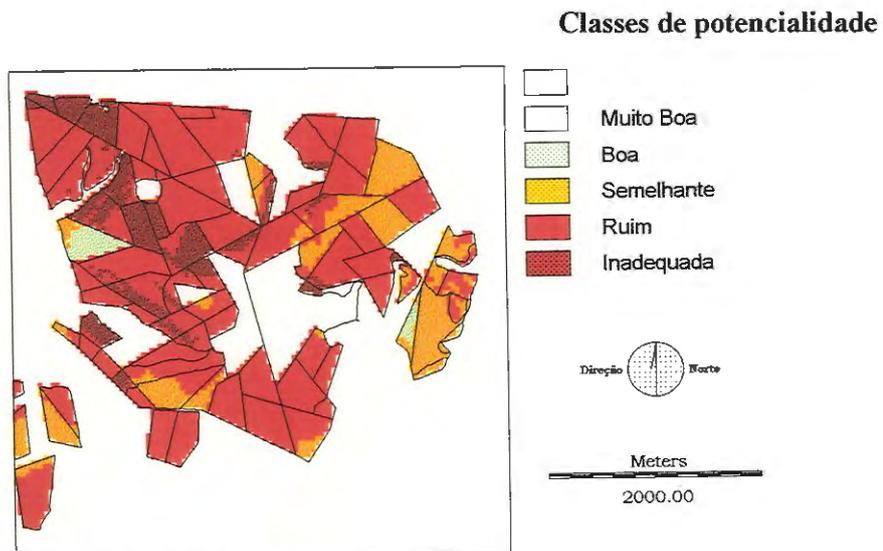
Graus de Potencialidade - Cenário 2



Coordenadas (UTM): 244.000 mE, 260.000 mE, 7520.000 mN e 7560.000 mN

Figura 6.18. Graus de Potencialidade ao uso agrícola da vinhaça – 2º Cenário

Para corroborar com as informações dadas acima, nota-se um aumento das áreas essencialmente inadequadas e sua concentração em uma das áreas onde é aplicada vinhaça, em solos de fertilidade de Média a Alta, ou seja, aqueles de Média a Alta Restrição. A figura 6.19 mostra o detalhe da concentração das áreas Inadequadas, sendo que apenas nessa Unidade Produtiva encontra-se quase metade da área total Inadequada.



Coordenadas (UTM): 249.720 mE, 254.160 mE, 7526.240 mN e 7530.360 mN

Figura 6.19. Detalhe das Classes de Potencialidades- 2º Cenário

6.3.3 Potencialidade para o 3º Cenário

Este cenário é caracterizado pela atribuição de maior importância aos teores de Potássio no solo. Evidencia-se que a maior parcela da área total tem uma boa potencialidade (fato completamente diferente do cenário anterior), brusca diminuição das áreas com semelhantes potencialidades, ligeira queda da classe Ruim e, principalmente aumento das áreas consideradas Inadequadas, sendo a de maior área encontrada nos 3 cenários analisados. O único grau semelhante é o de Muito Boa potencialidade, mantendo-se com os mesmos 21,76 ha (Tabela 6.10). A figura 6.21 apresenta as descrições realizadas.

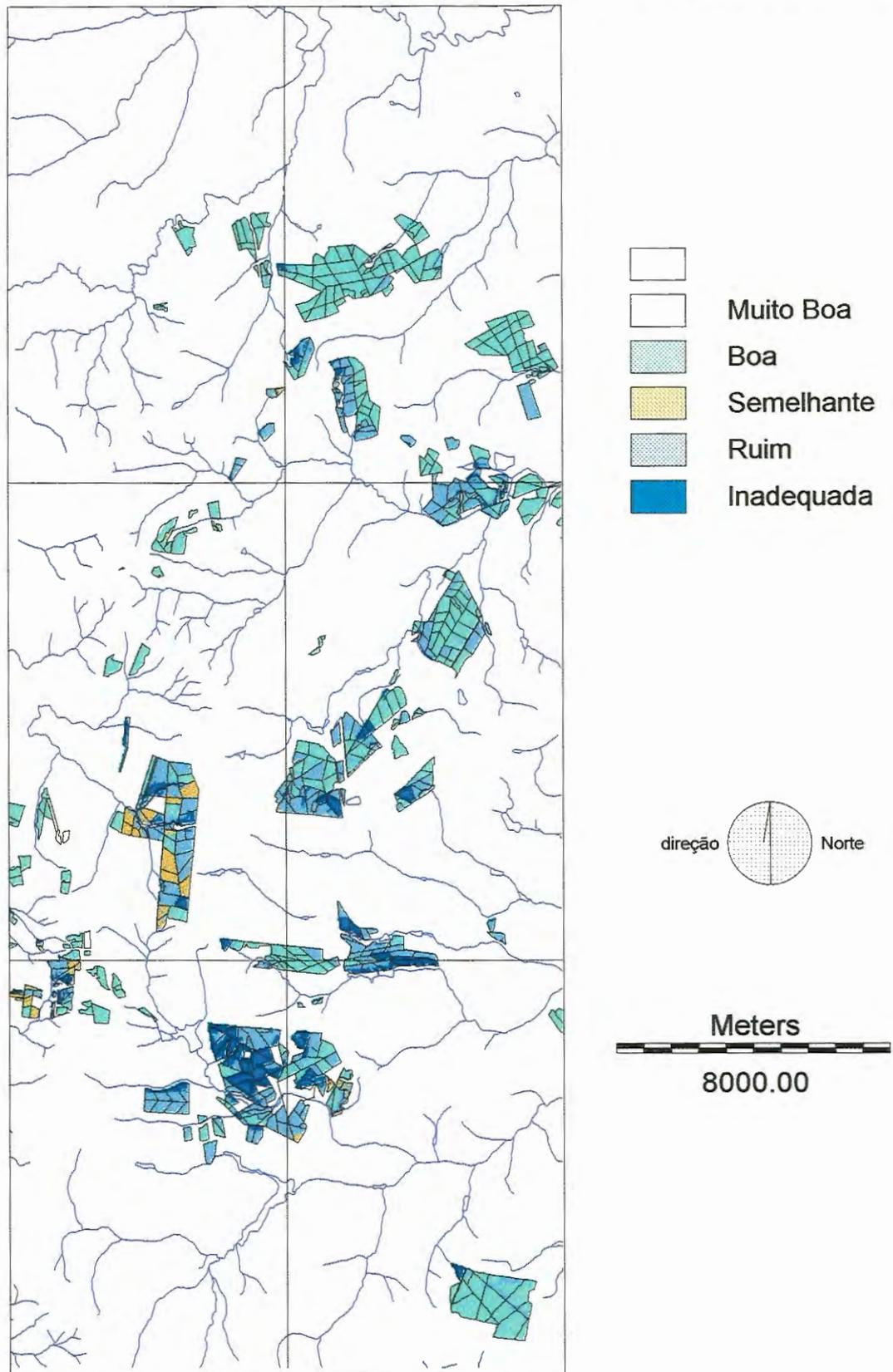
Tabela 6.10 Graus de potencialidade à aplicação de vinhaça para o 3º Cenário, considerando a Situação simulada X Situação Ideal

Grau de Potencialidade	Área (ha)	% do Total
Muito boa	21.76	0.4
Boa	2762.88	51.2
Semelhante	193.92	3.6
Ruim	1828.64	33.9
Inadequada	588.48	10.9
Total	5395.68	100.0

Cenário 3. Teor de K no solo>Pedologia>Declividade>Hidrografia

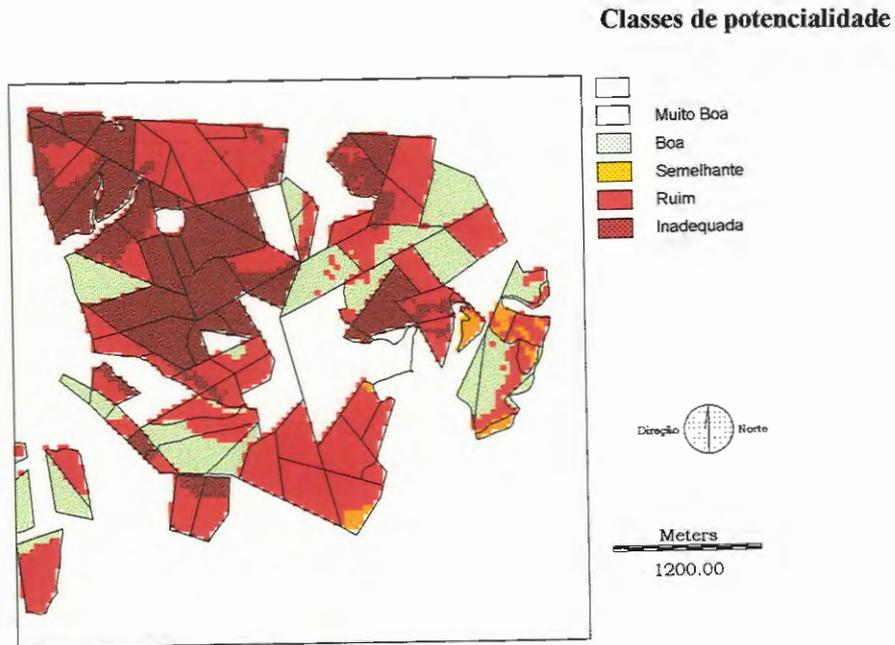
O fato de haver uma grande concentração de áreas de Boa potencialidade se deve ao fato de que, nos locais aonde é feita a fertirrigação, os valores de Potássio no solo representarem uma situação de Baixa restrição. Mesmo assim, em algumas dessas áreas, foram encontradas situações Ruins ou mesmo Inadequadas, visto estarem próximas de solos de restrição Média ou Muito Alta. Nesse caso não foi apenas o teor de potássio o único fator a interferir na potencialidade da área, sendo os solos e os recursos hídricos muito próximos os responsáveis pela determinação da proibição de qualquer tipo de recomendação para a área em específico. A figura 6.20 representa os graus de potencialidade para o 3º Cenário.

Graus de potencialidade - Cenário 3



Coordenadas (UTM): 244.000 mE, 260.000 mE, 7520.000 mN e 7560.000 mN

Figura 6.20. Graus de Potencialidade ao uso agrícola da vinhaça – 3º Cenário



Coordenadas (UTM): 249.720 mE, 254.160 mE, 7526.240 mN e 7530.360 mN

Figura 6.21. Detalhe das classes de Potencialidades- 3º Cenário

Outro dado interessante é essa mesma Unidade Produtiva, representada pela Figura 6.22, configurar com locais de Ruim ou Inadequada potencialidade nos três cenários analisados. Novamente essa mesma área detalhada concentra quase a metade de áreas inadequadas da área de estudo.

Isto faz com que essa área seja considerada bastante problemática e que fundamentalmente terá que ser reavaliada qualquer que seja o Cenário, caso venham a ser adotados os critérios impostos por cada um deles.

A pouca representatividade dos locais de mesma dosagem (Semelhantes), teve como motivo principal que as condições de iguais dosagens, tanto para a Situação recomendada quanto para a Ideal, não aconteceram de forma expressiva, levando ao aumento em algumas classes como é o caso da Boa e Inadequada potencialidade e de decréscimo em outras, como a da própria similaridade entre as duas situações.

Por fim, as classes de Muito Alta potencialidade foram pouco expressivas em todas simulações, função de em pouquíssimos casos os valores de dosagem da situação recomendada ser muito menor do que aqueles evidenciados pela Situação Ideal. É nesse sentido que essas áreas, mesmo que em pequenas quantidades, devem ser melhor estudadas e aproveitadas, pois representam o máximo de potencial e conformidade com os preceitos ambientais.

O banco de dados foi imprescindível na organização dos dados coletados, principalmente os relacionados as unidades agrícolas e seus respectivos teores de Potássio no solo – através da interpretação das análises químicas dos solos – e das simulações de dosagens de Potássio recomendadas, de acordo com a metodologia adotada.

Vale dizer que foram realizadas simulações das dosagens de Potássio a serem aplicadas no solo, uma vez que é estruturada sob metodologia que envolve variáveis importantes para a recomendação de dosagem e de amplo conhecimento da área

agronômica. Portanto, procurou-se enriquecer o trabalho ao se fazer a diferenciação das dosagens a serem recomendadas em cada área de estudo.

É importante destacar que existiram limitações nas Metodologias desenvolvidas e aplicadas à área de estudo, como por exemplo, na escala em que alguns mapas foram trabalhados (Mapa básico de Pedologia) necessitar-se-iam de maiores detalhamentos das Unidades de solos, visto serem de vital importância para uma recomendação mais fidedigna possível ao uso agrícola da vinhaça. Somado a esse fator, a ampla subjetividade na ponderação dos fatores para a caracterização das áreas críticas.

Locais de Baixa potencialidade



Coordenadas (UTM): 249.720 mE, 254.160 mE, 7526.240 mN e 7530.360 mN

Figura 6.22. Locais considerados como de baixo potencial ao uso agrícola da vinhaça

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Toda e qualquer atividade que tenha como base a exploração dos Recursos naturais é potencialmente poluidora do meio ambiente. No entanto, diversos fatores contribuem para que haja um maior ou menor potencial de degradação como, por exemplo, o tipo de atividade – caracterizado pela representatividade dos seus possíveis impactos, no que diz respeito aos riscos inerentes aos processos de fabricação ou disposição segura de seus resíduos – ou ainda por sua localização, dada as características intrínsecas do meio físico em suportar determinada atividade a fim de preservar as suas qualidades ambientais (tipo de formação geológica, pedológica ou mesmo áreas sob Proteção Ambiental).

Não obstante a isso o setor Sucroalccoleiro, em função de sua grande participação e contribuição ao setor Agroindustrial do país, constitui-se em uma atividade em que as dimensões dos problemas sócio-ambientais tendem a ser muito maiores, especialmente em algumas regiões do país, do qualquer outra atividade ligada ao campo.

Isso não significa dizer que há uma completa incompatibilização entre exploração de cana-de-açúcar e meio ambiente, uma vez que o setor tem demonstrado contínuos ganhos de eficiência no que diz respeito ao aproveitamento de seus resíduos e subprodutos. Podem ser mencionados os casos de Usinas que aproveitam o bagaço da cana-de-açúcar para geração de sua própria energia e venda de excedentes para companhias energéticas do seu entorno, compostagem da torta de filtro e posterior utilização nos sulcos de plantio ou nas áreas de renovação/replanteio como adubo orgânico e da vinhaça como fonte natural de vários elementos para o solo, principalmente o Potássio em forma prontamente disponível.

Desse modo, a vinhaça representa o seu principal subproduto, ou seja, aquele que ganha valor econômico com o uso, sendo produzido em grandes quantidades pelas Usinas. Do ponto de vista ambiental, os fatos de a partir de 1l de álcool serem

gerados 12,0 l de vinhaça, ser rica em nutrientes e as punições pelo descarte “*in natura*” em corpos receptores, foram a mola propulsora para que o setor desenvolvesse técnicas suficientemente boas para o equacionamento da disposição segura desse subproduto.

No entanto, solucionada a questão de alocação da vinhaça nos solos, tende a ser importante o direcionamento das discussões aos possíveis impactos que a disposição nos solos pode causar ao meio físico, de acordo com as quantidades de potássio adicionadas ao solo (Dosagens) e das características do local que a está recebendo (principalmente as Unidades de solos). Outros fatores como declividade, que definem o escoamento superficial e a proximidade aos recursos hídricos também devem ser considerados na escolha dos locais mais aptos ou a restrição aos Inadequados.

Nesse sentido, a pesquisa procurou colaborar como um elemento de planejamento à tomada de decisão de locais sob diferentes potencialidades ou mesmo restrições ao uso agrícola da vinhaça. A área de estudo pode ser caracterizada como de grande representatividade, pois englobou inúmeras Unidades Agrícolas de tamanhos variados (Fazendas, Sítios, Chácaras etc), além de a região ser tradicionalmente ligada ao setor sucroalcooleiro e fazendo uso da fertirrigação de vinhaça nos canaviais.

Vale dizer que foram realizadas simulações das dosagens de Potássio a serem aplicadas no solo, uma vez que é estruturada sob metodologia que envolve variáveis importantes para a recomendação de dosagem e de amplo conhecimento da área agrônômica. Portanto, procurou-se enriquecer o trabalho ao se fazer a diferenciação das dosagens a serem recomendadas em cada área de estudo.

Além disso, um Banco de Dados é um sistema contínuo de gerenciamento, uma vez que permite a ampliação das variáveis que atuam no processo, bem como deve ser “alimentado” por dados que possam estar constantemente sendo manipulados em função dos objetivos propostos.

É importante destacar que existiram limitações nas Metodologias desenvolvidas e aplicadas à área de estudo, como por exemplo, na escala em que alguns mapas foram trabalhados (Mapa básico de Pedologia) necessitar-se-iam de maiores detalhamentos das Unidades de solos, visto serem de vital importância para uma recomendação mais fidedigna possível ao uso agrícola da vinhaça. Somado a esse fator, a ampla subjetividade na ponderação dos fatores para a caracterização das áreas críticas.

Contudo, demonstrou ser plenamente justificada pela proposta de se associar um SIG, para a análise de áreas sob cultivo de cana-de-açúcar e sob aplicação de vinhaça, além do exploração do Banco de Dados Georreferenciado associado às imagens obtidas nas análises.

Com relação aos fatores técnicos e ambientais mencionados, o limite imposto pela CETESB, órgão ambiental do Estado de São Paulo, para a disposição agrícola de vinhaça em 400 Kg K₂O/ha.ano, não diferencia as especificidades das áreas sob uso de fertirrigação (através de dosagens diferenciadas e analisando-as com graus de limitação ou potencialidade ao uso desse resíduo), o que equivale dizer que algumas áreas podem estar sendo superutilizadas em áreas de elevada criticidade, bem como subutilizada em áreas de maior potencial e ainda pouco explorada. Essas informações puderam ser evidenciadas nos 3 cenários analisados.

No entanto, essas simulações não são as únicas ferramentas no momento do planejamento da disposição segura do subproduto, mas podem se configurar como elementos de apoio à tomada de decisão, levando-se em consideração fatores do meio físico, que até então não conpunham as análises.

Pela análise da Tabela 6.8 e das imagens representativas dos graus de potencialidade, verifica-se que em quase 46% da áreas as situações são concordantes, o que significa dizer que as dosagens estão de acordo tanto com os padrões técnicos como com os ambientais. Como áreas consideradas boas, 23,5% das áreas sob

aplicação reúnem condições de serem ainda melhor aproveitadas, conforme mostra a figura 6.16.

As áreas que inspiram maiores cuidados são aquelas em que se configuram situações de ruins a inadequadas, sendo que estas duas somam pouco mais de 30% da área de estudo, valores bastante consideráveis. Tal situação ocorre quando as dosagens simuladas ultrapassam as dosagens estipuladas pelos cenários de criticidade, tendendo a ser tão pior quanto maiores forem às diferenças entre o simulado e o ideal.

Como conclusão dos mapas de criticidade, verifica-se que a maior parte das áreas (mais da metade das áreas estudadas) encontra-se sob Baixa criticidade, o que vale dizer que os valores simulados para as dosagens recomendadas estão compatíveis na maior parte da área de estudo com a situação em que são levados em consideração os fatores ambientais.

No entanto, o 2º Cenário de Criticidade demonstrou ser aquele que requer maiores cuidados, especialmente em áreas próximas aos solos de Terra Roxa Estruturada e pequenas porções a Hidromórficos. Recomenda-se que em tais áreas, caso fossem adotadas as recomendações, pudessem ser redimensionadas as classes de dosagens de vinhaça.

Quando analisada a potencialidade das áreas estudadas, a fazenda detalhada no Item Resultados e Discussões – Figura 5.19 – (Coordenadas UTM: 249.720 mE, 254.160 mE, 7526.240 mN e 7530.360 mN) apresenta-se como de Inadequado potencial ao uso da fertirrigação nos três cenários analisados. Isso demonstra que ali não se deve recomendar quaisquer quantidades de potássio que forem diferentes das evidenciadas pelos mapas de criticidade, caso fossem adotadas pela Usina.

Sabendo-se da necessidade de continuidade do presente trabalho, é que algumas recomendações puderam ser realizadas:

- Implantação e manutenção de um sistema de Banco de Dados similar ao proposto capaz de ampliar e aperfeiçoar as informações, com vistas a um planejamento econômico e ambiental ao uso agrícola da vinhaça nos solos;
- Expansão dos resultados encontrados em laboratório para a situação de campo, objetivando a eliminação de erros cartográficos e adequação de escalas de trabalho;
- Compatibilização entre as situações reais de aplicação de cada Unidade, com as situações recomendadas e as ideais;
- Apoio à tomada de decisão, em paralelo a outras formas de ação para a configuração de quadros ambientais de uso agrícola da vinhaça;
- Lançamento de parâmetros de análises para uma adequação e compatibilização de dosagens de vinhaça a serem despejadas no solo, de modo a serem respeitados os limites impostos pelo meio físico;

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUJARO, R. (1979). *O uso da vinhaça na Usina Tamoio como fertilizante.*

Saccharum STAB, São Paulo, v.2 , n.4, p 23-27.

ALVES, M.A de C. (1997). *A ponderação dos fatores ambientais – com uso de Sistema de Informações Geográficas – na localização de atividades econômicas e na cobrança pelo uso da água para irrigação.* São Carlos, Dissertação [Mestrado], 138 p. Escola de Engenharia de São Carlos.Universidade de São Paulo.

ARCEIVALA, S.J. (1979). *Wastewater treatment and disposal.* Engineering and Ecology in Pollution Control, Marcel- Dekker, Inc, New York, 887p.

ARONOFF, S. (1991). *Geographic Information Systems: a management perspective.* Ottawa; WDL Publications.

BRAGA, R.A.P. (1985). *Impacto da poluição por vinhoto na Região Metropolitana do Recife.* CIÊNCIA E CULTURA, v. 37, n. 9, p. 1415-19.

CAMBUIM, F. A.; CORDEIRO, D. A. (1986). Ação da vinhaça sobre o pH, acidez total. Acumulação e lixiviação de nutrientes em solos arenosos. STAB, São Paulo, v.4, n.4, p.27-33.

- CASARINI, D.C.P. (1989). *Efeito da fertirrigação com vinhaça nas propriedades químicas e microbiológicas do solo em um sistema de disposição de efluente industrial*. São Carlos, Tese [Doutorado], 180 p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CASARINI, D.C.P.; CUNHA, R.C.A.; MASET FILHO, B. (1987). *Effects of irrigation with vinasse and the dynamics of its constituents in the soil II- Microbiological aspects*. Water Science and Technology, v. 12, n.8, p.167-76.
- CENTURION, R.E.B., (coord) (1980). *Planejamento da ocupação das áreas agropastoris nas APAs com destaque para as áreas canavieiras*. São Paulo, CETESB, v.1, 95 p.
- CUNHA, R.C.A.; COSTA, A.C.S., MASET FILHO, B.,CASARINI, D.C.P. (1987). *Effects of irrigation with vinasse and the dynamics of its constituents in the soil I- Physical and chemical aspects*. Water Science and Technology, v. 19, p.155-65.
- CETESB. (1986). COMPANHIA DE TECNOLOIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Avaliação do Potencial Poluidor da Agroindústria Sucro-Alcooleira na 7ª Zona Hidrográfica do Estado de São Paulo*, 88 p.
- CHEN, J.C.P. (1993). *Byproducts of cane sugar processing*. In: Chen & Chou, C.C. ed. *Cane sugar handbook: a manual for cane sugar manufactures and their chemists*. 12.ed. New York, John Wiley & Sons, cap.10, p. 375-431.

- COPERSUCAR. (1999). Mapeamento das áreas da Usina Santa Lúcia visando o Plano de Eliminação Mediante Queimada da cultura da cana-de-açúcar. Portaria CATI 9 de 16/04/1998.
- CRUZ, R.L. (1991). *Efeito da aplicação de vinhaça sobre o solo e água subterrânea*. São Carlos, Tese [Doutorado], 121 p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DIAS, C.A.B. (1980 a). *Perspectivas de tratamento do vinhoto com benefícios ambientais e econômicos*. (1º parte). BRASIL AÇUCAREIRO, v. 3:, p.169-77.
- DIAS, C.A.B. (1980 b). *Perspectivas de tratamento do vinhoto com benefícios ambientais e econômicos*. (2º parte). BRASIL AÇUCAREIRO, v.1, p. 56-67.
- EASTMAN, J.R. (1997). *IDRISI for Windows User's Guide version 2.0. Introduction*. Worcester- MA, Graduate School of Geography, Clark University, 192p.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. (1985). *Análise de impacto ambiental*. Rio de Janeiro, Relatório técnico, 25p.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. (1984). *Sistema de Monitoria para o Proálcool - Projeto de monitoria de impacto ambiental*, Belo Horizonte, 106 p.

- FISCHER, M.M. (1994). *From conventional to knowledge-based geographic information systems. Computer, Environment and Urban Systems*, v.18, n.4, p.233-42.
- GLÓRIA, N.A. (1977). *Aproveitamento de resíduos agroindustriais*. ESALQ. Piracicaba, 9 p.
- GLÓRIA, N.A; ORLANDO FILHO, J. (1984 a). *Aplicação de vinhaça: Um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. Parte 1. ÁLCOOL E AÇÚCAR*, São Paulo, v.4, n.14, p.24-35.
- GLÓRIA, N.A; ORLANDO FILHO, J. (1984 b). *Aplicação de vinhaça: Um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. Parte 2. ÁLCOOL E AÇÚCAR*, São Paulo, v.4, n.15, p. 22-27.
- GLÓRIA, N.A; ORLANDO FILHO, J. (1984 c). *Aplicação de vinhaça: Um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. Parte 3. ÁLCOOL E AÇÚCAR*, São Paulo, v.4, n.15, p. 32-39.
- GRECCHI, R.C. (1998). *Zoneamento geoambiental da região de Piracicaba – SP, com auxílio de Geoprocessamento*. Dissertação (Mestrado). São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

- HASENACK, H.; WEBER, E. (1998). Idrisi for windows versão 2.0 – Manual do usuário: Introdução aos exercícios tutoriais. Porto Alegre, UFRGS – Centro de Recursos Idrisi, 235 p.
- HASSUDA, S. (1989). *Impactos da infiltração da vinhaça de cana no aquífero Bauru*. São Paulo, Dissertação [Mestrado], 92 p. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- HASSUDA, S. *et al* (1991). *Influência dos vários tipos de disposição de vinhaça na qualidade da água subterrânea*. Núcleo de Estudos de Meio Ambiente, Londrina, p.510-515.
- HESPANHOL, I. (1979). *Efeitos ambientais do programa nacional do álcool*. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental., Manaus, p. 22-41.
- HIRATA, R.C.A *et al*. (1991). *Groundwater pollution risk and vulnerability map of the state of São Paulo, Brazil*. Water Science and Technology, v.24, n.11, p. 159-69.
- INSTITUTO GEOLÓGICO (IG). (1993). *Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas – Um método baseado em dados existentes*. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Boletim n.10, 90p.

- IMAFLORA. (1998). *Instituto Florestal Agricola cria certificação socioambiental*.
In: JORNAL CANA, S.P, ed. 57, p.7.
- KOFFLER, N.F. *et al.* (1986). *Caracterização edafo-climática das regiões canavieiras do Brasil – Pernambuco -Piracicaba*, IAA/PLANALSUCAR, p.7-12.
- KLOSTERMAN, R.E. (1995). *The appropriateness of geographic information systems for regional planning in the developing world. Computer, Environment and Urban Systems*, v.19, n.1, p.1-13.
- LEAL, J.R.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X. & ROSSIELLO, R.O.P. (1983). *Potencial Redox e pH: Variações em um solo tratado com vinhaça*.
Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.7, p. 257-61.
- LEME, E.J.A; ROSENFELD, U; BAPTISTELA, J.R. (1979). *Aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar por aspersão*. Boletim Técnico PLANALSUCAR, Piracicaba, S.P, 42 p.
- LEME, E.J.A.; SILVA, V.C da.; HENRIQUE, J.L.P.; MICLKOS, J.E. (1987). *O uso do autopropelido na aplicação de vinhaça por aspersão. Viabilidade técnico-econômica*. Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, Super, 65p.
- LEME, E.J.A. (1988). *Otimização do montagem direta reduz consumo de óleo diesel*. *ÁLCOOL E AÇÚCAR*, São Paulo, v.8, n.42, p. 36-43

- LEME, E.J.A. (1993). *Uso e tratamento de resíduos agroindustriais no solo*. In: Produção de Cana-de-açúcar. Piracicaba, Fundação de Estudos Agrários (FEALQ), p.147-173.
- LEME, E.J.A. (1998). *Aspectos técnicos e ambientais da aplicação da vinhaça no solo*. 1º WORKSHOP de Integração de Informações da Bacia do Rio Mogi Guaçu (Caderno de resumos), E.S. Pinhal, S.P, p.5-8.
- LEME, E.J.A.; ORLANDO FILHO, J. (1999). “*Use of vinasse in commercial sugarcane plantation in Brazil*”. In: “Sugar: Agroindustrial Imperatives”- Vision for 21 st Century. OXFORD IBH , New Delhi, Índia, 27p. /no prelo/
- LORENZETTI, J.M.; FREITAS, P.G.R. (1978). *Aplicação de vinhaça por aspersão*. Saccharum, São Paulo, v.1, n.2, p. 16-22.
- MACEDO, R. K. de. (1990). *A importância da Avaliação Ambiental*. In: Análise Ambiental: Uma visão multidisciplinar. Editora Unesp, 2º edição, p.13-16.
- MATIAZZO, M.E.; GLÓRIA, N. A. (1985). Efeito da vinhaça na acidez do solo. STAB, São Paulo, v.4, n.2, p.35-40. Nov/dez.
- MATIOLLI, C.S. (1989). Aspectos Econômicos e Critérios básicos para otimização de sistemas de fertirrigação de lavouras canavieiras. Piracicaba, SP, p.4-105.

- METCLAF AND EDDY INC (1979). *Wastewater Engineering: Treatment disposal, Reuse* Revised by G. Tchobonaglou, McGraw – Hill, New York, 920 p.
- MORAES, M. A .F. de. (1999). *A desregulamentação do setor sucroalcooleiro Brasileiro*. Piracicaba. 292p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- NEVES, M.C.P.; LIMA, I.T.; DOBEREINER, J. (1983). *Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.7, p. 131-136.
- OLIVEIRA, J.B *et al*, (1982). *Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadricula de Araras*. Campinas, Boletim Técnico do IAC, n.71.
- ORLANDO FILHO, J.; SOUZA, I.C de; ZAMBELLO JR., E. (1980). *Aplicação de vinhaça em soqueiras de cana-de-açúcar; economicidade do sistema caminhões-tanque*. Boletim técnico PLANALSUCAR. Piracicaba. v. 2, n.5, p. 5-35.
- ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JR, E.; AGUJARO, R.; ROSSETO, A.J. (1983). *Efeito da aplicação prolongada da vinhaça nas propriedades químicas dos solos com cana-de-açúcar- Estudo exploratório*. STAB, p. 28-33.
- ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C; ALVES, M.C. (1995). *Aplicação de vinhaça em solo arenoso do Brasil e poluição do lençol freático com nitrogênio*. STAB, v. 13, n.6, p. 14-16.

- PERES, J.G & SUSAK, S. (1988). *Bombeamento de vinhaça: um estudo sobre a perda de cargas*. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, v.106, n.3, p.2-8, mai/jun.
- PINAZZA, A. H.; CARVALHO, L.C.; OLIVEIRA NETO, G.R de. (1980). *Algumas projeções tecnológicas e organizacionais do Proálcool*. Energia: fontes alternativas. São Paulo, v.2, n.7, p.18-26.
- PRADO, R. B. (1999). *Metodologia para determinação da influência do uso e ocupação do solo na qualidade de água: estudo no Médio Rio Pardo – SP (período de 1985 a 1997)*. São Carlos, 209 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- QUEDA, O. (1998). *Memórias alcoólicas*. In: Revista Preços Agrícolas. Piracicaba, São Paulo, p.9, jul.
- RANIERI, S.B.L. (1996). *Avaliação de métodos e escalas de trabalho para determinação do risco de erosão em bacia hidrográfica utilizando sistema de informações geográficas (SIG)*. São Carlos, SP. 128p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- RANIERI, V.E.L. (2000). *Determinação das potencialidades e restrições de alguns fatores como subsídio para o zoneamento ambiental – Estudo de Caso do*

Município de Descalvado (SP). São Carlos, SP. 110p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

REBOUÇAS, A.C.; BATISTA, R.P.; HASSUDA, S.; CUNHA, R.C.A.; POPPE, L.P. (1986). *Efeitos da infiltração de vinhoto de cana no aquífero Bauru - Resultados preliminares*. Brasília. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, p. 184-193.

SZMRECSÁNYI, T. (1994). *Tecnologia e degradação ambiental: O caso da Agroindústria canavieira no Estado de São Paulo*. Informações Econômicas. São Paulo, v. 24, n.10, p. 73-81.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY: (1975). *Evaluation of land application Systems*, Office of Water program Operations EPA-430/9-75-001, March

VISCONTI, A.E.S. & OSTROVSKI, C.M. (1981). *Visão atual da problemática do vinhoto e como superá-la*. BRASIL AÇUCAREIRO, V.6. p. 57-65.