



Número: 319/2004

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE METALOGÊNESE**

MARINALDO GOMES DOS SANTOS

**MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE E RISCO DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DOS SISTEMAS AQUÍFEROS SEDIMENTARES DA REGIÃO DE
CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como
parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Geociências na Área de Metalogênese.

Orientadora: Prof^a. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira

CAMPINAS - SÃO PAULO

Agosto – 2004

**Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca do Instituto de
Geociências/UNICAMP**

Santos, Marinaldo Gomes dos

Sa 59m Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas dos sistemas aquíferos sedimentares da região de Campos dos Goytacazes - RJ / Marinaldo Gomes dos Santos.- Campinas,SP.: [s.n.], 2004.

Orientadora: Sueli Yoshinaga Pereira

Dissertação mestrado Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Águas Subterrâneas. 2. Águas Subterrâneas - Poluição. 3. Aquíferos. 4. Sistemas de Informação Geográfica I. Pereira, Sueli Yoshinaga. II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências III. Título.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE METALOGÊNESE**

AUTOR: Marinaldo Gomes dos Santos

ORIENTADORA: Prof^ª. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira

Aprovada em: ____/____/____

EXAMINADORES:

Prof^ª. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira	_____	- Presidente
Prof. Dr. Marcos César Ferreira	_____	
Prof^ª. Dra. Mara Akie Iritani	_____	

Campinas, ____ de _____ de 2004.

Dedicatória

A
Manoel Pinheiro dos Santos
e
Filomena Gomes dos Santos

Agradecimentos

Em primeiro lugar a Deus, pois sem Ele nem teria começado este trabalho. À minha família, pelo apoio, o carinho e a compreensão.

À Prof^a. Dr^a. Sueli Yoshinaga Pereira pela sua tranquilidade e objetividade no trato de algumas situações difíceis pelas quais passei no desenrolar da pesquisa. Além dos seus preciosos comentários, observações e revisões.

Aos professores do Instituto de Geociências que tive a oportunidade de conhecer.

À equipe da GEODATUM pela sua participação direta e indireta neste trabalho, em especial a Eduardo Sanches Capella, pelo seu incentivo, interesse e ajuda na revisão do texto. Às estagiárias Luna e Juliana pela grande ajuda em vetorizações e digitalizações, além de Sidinei, Marcelo, Evaldo, Toshio e Renato pelo processamento de alguns dados. Além da Mari, Marta, Creonir, Edson, Jesimar, Jamil e Elson.

À empresa Engesat pelo fornecimento da imagem do satélite *Landsat 7*.

Ao graduando em Engenharia de Agrimensura Welber S. Souza pelo acompanhamento, desde a pesquisa em campo, até a ajuda no processamento dos dados (vetorizações, formatação de tabelas e plotagens), mas, além de tudo, pelo companheirismo.

Aos irmãos da igreja Batista do Jardim Jovaia, pelo carinho e orações, principalmente o Pastor Jeremias, pelas suas sábias palavras e pelo seu entusiasmo pela pesquisa.

Aos colegas do Instituto de Geociências, em especial ao Claudionor (que fica melhor sendo chamado de “barata”), César, Solange, Ingrid, Rodrigo, Diego, Márcio, Daniela, José Carlos, Flavio, Alexandre e Willian.

A Valdirene e Edinalva pelas inúmeras vezes que me ajudou, desde a fazer minha matrícula até a resolver problemas de documentação.

Aos analistas Paulo, Ricardo e Moacir pela solução de vários problemas relacionados a configuração de *software* e plotagens.

Ao pessoal da segurança que muito gentilmente nos atendeu nas solicitações.

E, finalmente, a equipe de apoio do IG, em especial ao seu Aníbal.

Desculpe-me se deixei de citar algum nome, mas tenha certeza do meu carinho, atenção e respeito por todos que direta ou indiretamente estiveram envolvidos nessa fase da minha vida.

Sumário

Dedicatória	iv
Agradecimentos	v
Sumário	vi
Lista de figuras	viii
Lista de fluxogramas	viii
Lista de fotos	viii
Lista de tabelas	ix
Lista de equações	x
Lista de anexos	x
Lista de siglas e abreviaturas	xi
Resumo	xii
Abstract	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	2
3 LOCALIZAÇÃO	3
4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	5
4.1 Relevo	5
4.2 Solo	5
4.3 Clima	8
4.4 Hidrologia	9
5 CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO	11
5.1 Geologia	11
5.1.1 Geologia regional	11
5.1.2 Geologia local	12
5.2 Hidrogeologia	13
5.2.1. Hidrogeologia regional	13

5.2.2 Hidrogeologia local	17
6 MATERIAIS E MÉTODOS	20
6.1 Revisão bibliográfica	20
6.1.1 Vulnerabilidade	20
6.1.2 Carga potencial poluidora	22
6.1.3 Compostos nitrogenados	23
6.2 Levantamento de informações sobre a área	25
6.3 Etapa de campo	26
6.4 Tratamento dos dados	27
7 RESULTADOS	33
7.1 Mapa potenciométrico	33
7.2 Mapa de vulnerabilidade de aquíferos	35
7.2.1 Modelo de elevação das condutividades hidráulicas do nível freático	35
7.2.2 Modelo de elevação das profundidades do lençol freático	37
7.2.3 Mapa de vulnerabilidade propriamente dita	39
7.3 Mapa de uso e ocupação do solo	41
7.4 Mapa de solos	43
7.5. Resíduos sólidos domiciliares	44
7.6 Cemitérios	51
7.7 Saneamento <i>in situ</i>	53
7.8 Adubação para cultivo da cana-de-açúcar	56
7.8.1 Adubação através da aplicação da vinhaça	56
7.8.2. Adubação química	59
7.9 Agrotóxicos	61
7.10 Drenagens	66
7.11 Postos de combustíveis	69
8 RISCO DE CONTAMINAÇÃO	74
9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	76
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

Lista de figuras

Figura 3.1 - Localização da área de estudo a nível regional, no mapa estadual, e local, na imagem do sensor <i>ETM⁺</i> do satélite <i>Landsat 7</i> .	4
Figura 5.1 - Delimitação da área de estudo sobre o mapa de aquíferos da região de Campos do Goytacazes.	15
Figura 5.2 - Perfil hidrogeológico.	17
Figura 6.1 - Migração e transformação do nitrogênio no solo.	25
Figura 7.1 - Mapa do modelo potenciométrico com sobreposição da rede hidrográfica e piezômetros.	34
Figura 7.2 - Modelo digital da condutividade hidráulica dos aquíferos da área de estudo.	37
Figura 7.3 - Modelo digital das profundidades dos aquíferos da área de estudo.	39
Figura 7.4 - Mapa de localização do lixão da área de estudo.	45
Figura 7.5 - Processos dos herbicidas no solo.	63
Figura 7.6 - Drenagem em relação ao aquífero.	67
Figura 8.1 - Esquema conceitual de risco.	74

Lista de fluxogramas

Fluxograma 6.1 - Mapa de uso e ocupação do solo	29
Fluxograma 6.2 - Mapa de solos	30
Fluxograma 6.3 - Mapa de vulnerabilidade	31
Fluxograma 6.4 - Áreas de risco	32

Lista de fotos

Foto 7.1 - Vista ilustrando a proximidade do manancial com o lixão.	46
Foto 7.2 - Situação de abandono do canal Campos – Macaé.	68
Foto 7.3 - Trecho em área urbana do canal Coqueiro.	69

Lista de tabelas

Tabela 6.1 - Classificação da vulnerabilidade segundo intervalos de resistência hidráulica pelo método <i>AVI</i> .	21
Tabela 7.1 - Classes de condutividade hidráulica.	36
Tabela 7.2 - Condutividade hidráulica nos polígonos da área de estudo.	36
Tabela 7.3 - Alguns íons encontrados no percolado e suas possíveis origens.	47
Tabela 7.4 - Faixas de variação dos teores de substâncias contaminantes dissolvidos no percolado de aterros sanitários.	48
Tabela 7.5 - Valores de K para aplicação do método Suíço.	49
Tabela 7.6 - Peso atômico de elementos e substâncias.	49
Tabela 7.7 - Quantidade de nitrogênio calculada a partir das faixas de concentração do amônio e nitrato, e em relação ao volume total de percolado produzido anualmente.	50
Tabela 7.8 - Características gerais dos cemitérios em estudo.	52
Tabela 7.9 - Relação dos cemitérios com os respectivos valores calculados de necrochorume e de nitrogênio	53
Tabela 7.10 - Carga potencial poluidora do saneamento <i>in situ</i> em função de suas localidades.	55
Tabela 7.11 - Relação das usinas na área do projeto	57
Tabela 7.12 - Produção de álcool/vinhaça na safra 2003 por usina, situadas na área de estudo.	58
Tabela 7.13 - Classificação da carga poluidora oriunda da vinhaça e suas respectivas unidades produtoras.	58
Tabela 7.14 - Estimativa da carga potencial poluidora devido a aplicação de fertilizante nitrogenado para a cultura da cana-de-açúcar.	59
Tabela 7.15 - Principais herbicidas utilizados na área de estudo.	65
Tabela 7.16 - Características físico-químicas dos princípios ativos.	65
Tabela 7.17 - Avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas com base nos critérios de “ <i>Screening</i> ” e no índice <i>GUS</i> para a área de estudo.	66
Tabela 8.1 - Definição qualitativa de risco de contaminação das águas subterrâneas a partir dos índices de vulnerabilidade e carga poluidora potencial.	75

Lista de equações

Equação 6.1 - Modelo de vulnerabilidade AVI.	21
Equação 7.1 - Cálculo de vazão de percolado.	48
Equação 7.2 - Cálculo da concentração de elemento químico numa substância.	49

Lista de anexos

Anexo 1 - Mapa geológico	86
Anexo 2 - Dados da campanha piezométrica realizada pelo PROJIR (1983)	87
Anexo 3 - Mapa de vulnerabilidade	89
Anexo 4 - Relatório de correção geométrica da imagem do sensor ETM ⁺ do <i>Landsat 7</i> na composição colorida 543 em RGB.	90
Anexo 5 - Mapa de uso e ocupação	91
Anexo 6 – Mapa de solos	92
Anexo 7 - Mapa das cargas potenciais de poluição na área urbana (cemitérios, lixão e saneamento <i>in situ</i> .)	93
Anexo 8 - Mapa das cargas potenciais de poluição da adubação (química e da vinhaça)	94
Anexo 9 - Mapa da carga potencial de poluição dos herbicidas	95
Anexo 10 - Mapa da carga potencial de poluição das drenagens	96
Anexo 11 - Planilha com as coordenadas aproximadas, em nível de quadra, das posições dos postos de combustíveis.	97
Anexo 12 - Detalhe da base cartográfica da área urbana de Campos dos Goytacazes, com a posição aproximada de alguns postos de combustíveis.	98
Anexo 13 - Mapa da carga potencial de poluição dos postos de combustíveis	99
Anexo 14 - Mapa das áreas de risco da adubação	100
Anexo 15 - Mapa das áreas de risco das drenagens	101
Anexo 16 - Mapa das áreas de risco dos postos de combustíveis.	102
Anexo 17 - Mapas das áreas de risco na área urbana (lixão, saneamento <i>in situ</i> e cemitérios)	103
Anexo 18 - Mapas das áreas de risco dos herbicidas.	104

Lista de siglas e abreviaturas

CEDAE – Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Estado do Rio de Janeiro

CIDE – Fundação Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro

GPS – Global Positioning System

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

km² – quilômetros quadrados

m³/ano – metros cúbicos por ano

m³/h – metros cúbicos por hora

m³/h/m – metros cúbicos por hora por metro

m³/s – metros cúbicos por segundo

mg/l – miligrama por litro

RADAMBRASIL – Radar no Brasil

UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

m/d – metro por dia

UTM – Universal Transverse Mercator

N-NO₃ – nitrogênio-nitrato

Kg/ha/ano – quilograma por ano por hectare

TIN – *Triangular Irregular Network*



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE METALOGÊNESE**

**MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE E RISCO DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DOS SISTEMAS AQUÍFEROS SEDIMENTARES DA REGIÃO DE
CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ**

RESUMO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Marinaldo Gomes dos Santos

A região de Campos dos Goytacazes possui grandes reservas de água subterrânea nos aquíferos sedimentares (Barreiras, Deltáico e Emborê), e várias fontes de grande potencial poluidor. Este trabalho realizou o mapeamento da vulnerabilidade das águas subterrâneas com o uso do método AVI (*Aquifer Vulnerability Index*) aplicado aos dados disponíveis do PROJIR (1983), em Sistema de Informação Geográfica (SIG). O método definiu duas classes de vulnerabilidade (Alta e Extremamente Alta). O estudo também cadastrou e mapeou as principais fontes potenciais de poluição (postos de combustíveis, saneamento *in situ*, fertirrigação, adubação química, agrotóxicos, drenagens e cemitérios). O perigo de contaminação foi definido por meio da análise integrada do mapa de vulnerabilidade com as classificações das cargas poluidoras destas fontes, gerando assim as classes de risco à poluição, que se configuraram como de alto risco.

Palavras-chave: água subterrânea, vulnerabilidade, SIG, Campos dos Goytacazes, fontes de contaminação.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE METALOGÊNESE

**MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE E RISCO DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DOS SISTEMAS AQUÍFEROS SEDIMENTARES DA REGIÃO DE
CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ**

ABSTRACT

MASTER DISSERTATION

Marinaldo Gomes dos Santos

Groundwater reservoirs of high productivity and several sources of potential pollution are located in the sedimentary aquifers Barreiras, Deltaico and Embore, from the region of Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro State. The *Aquifer Vulnerability Index - AVI* methodology was applied to obtain a groundwater vulnerability map through Geographic Information Systems (GIS) procedures. A High vulnerability class and an Extreme vulnerability class were defined. The main sources of potential pollution, as petrol stations, septic tanks, agriculture areas, chemical fertilization areas, agROTOXICS sectors, drainages, canals and cemeteries, were registered and mapped. The vulnerability map and the classification of the pollution sources were integrated through GIS and then, classes of high risk of pollution were defined.

Key words: groundwater, vulnerability, GIS, Campos dos Goytacazes, sources of contamination.

INTRODUÇÃO

A Região de Campos dos Goytacazes situa-se no delta do Rio Paraíba do Sul e caracteriza-se pela grande disponibilidade de recursos hídricos superficiais (Silva 1987).

Caetano (2000) identificou grandes reservas de água subterrânea, nos aquíferos: Barreiras, Quaternário Deltáico e Emborê. Somente no Quaternário Deltáico existe uma reserva total de 11,7 bilhões de metros cúbicos e uma renovável de 15,5 milhões de metros cúbicos.

No entanto, sérios problemas ambientais já foram identificados devido ao histórico do uso e ocupação do solo no município caracterizado por assentamentos urbanos sem rede de esgoto sanitário, disseminação de lixões, disposição de resíduos das usinas de açúcar e álcool nas águas já poluídas do rio Paraíba do Sul e a salinização do solo (Freitas 2003).

Diante do problema ilustrado, é imprescindível desenvolver um programa de proteção das águas subterrâneas de Campos. Este programa deve fornecer uma ação global de reconhecimento do recurso hídrico, bem como contemplar linhas para a conservação da qualidade e quantidade da água. Como estratégia de proteção das águas subterrâneas dos sistemas aquíferos sedimentares do município de Campos dos Goytacazes, o trabalho de pesquisa em apreço objetiva, através do mapeamento da vulnerabilidade definido por Foster & Hirata (1988) como “a susceptibilidade de um determinado aquífero ou manancial em ser degradado por uma certa atividade antrópica” e risco de poluição das águas subterrâneas, contribuir para que os gestores desses recursos tenham maiores subsídios no estabelecimento de prioridades no campo da gestão de qualidade, definindo, assim, áreas de maior risco ambiental.

Como há um grande volume de informações envolvidas, um complexo nível de processamento de imagens e geração de diversos mapas temáticos, foi adotado o Sistema de Informações Geográficas (SIG) como plataforma para o desenvolvimento dos trabalhos.

Pretende-se, com este trabalho, fornecer aos usuários de mapas de vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas, assim como pesquisadores e planejadores dos recursos hídricos, entre outros, as informações necessárias para que, os mesmos, conhecendo o modelo de vulnerabilidade *AVI (Aquifer Vulnerability Index)* e as técnicas de classificação de cargas potencialmente poluidoras, bem como as Geotecnologias (*GIS*, sensoriamento remoto e *GPS*), possam dispor de mais mecanismos para a produção de mapas e estudos, com maior agilidade, menor custo e/ou desenvolver melhor suas missões.

2 OBJETIVOS

A presente dissertação tem como objetivo principal a caracterização da vulnerabilidade dos aquíferos e seu risco à contaminação, ante as várias cargas potenciais contaminantes existentes no município de Campos dos Goytacazes.

Os objetivos específicos são os seguintes:

- Definição da vulnerabilidade de aquíferos, por meio do modelo *AVI*, utilizando-se de dados disponíveis do PROJIR (1983);
- Cadastramento das principais cargas potenciais contaminantes;
- Definição das áreas de risco de poluição das águas subterrâneas dos sistemas aquíferos sedimentares para a região de Campos dos Goytacazes, no Estado do Rio de Janeiro;
- Contribuir para difusão das Geotecnologias (sensoriamento remoto, *GIS*, *GPS*, etc.) como ferramentas de auxílio para viabilizar trabalhos de mapeamento de vulnerabilidade e risco de poluição de águas subterrâneas; e
- Fornecer subsídios técnicos aos gestores das águas subterrâneas da região de Campos dos Goytacazes.

3 LOCALIZAÇÃO

A área de 1.248 km², em estudo, está definida pelo perímetro de 202km na imagem do sensor *ETM⁺* do satélite *Landsat 7* (Figura 3.1), situando-se na baixada do município de Campos dos Goytacazes, região norte do Estado do Rio de Janeiro. A área dista da capital cerca de 275 km, e sua principal via de acesso é a rodovia federal BR 101.

O município de Campos limita-se ao norte com o Estado do Espírito Santo, a nordeste com o município de São Francisco de Itabapoana, a leste com o município de São João da Barra e o oceano Atlântico, ao sul com os municípios de Quissamã, Conceição de Macabu e Santa Maria Madalena, a oeste com São Fidélis e a noroeste com Cardoso Moreira, Italva e Bom Jesus do Itabapoana.

A sede do Município localiza-se às coordenadas: latitude de 21° 45' 15" Sul e longitude de 41° 19' 28" Oeste. Possui uma altitude média de 13 metros e dista 48 km do Oceano Atlântico (CIDE 1997).

A área de estudo compreende a parte sedimentar do município, onde se situam as principais áreas urbanizadas, as atividades de cana-de-açúcar e também as maiores transformações ambientais detectadas. Os limites da área compreendem: ao sul, o limite do município de Campos e a Lagoa Feia; a leste, a delimitação do município de Campos; ao norte, os limites do PROJIR (1983); e a oeste, os limites dos aquíferos Quaternário Deltáico e Formação Barreiras.

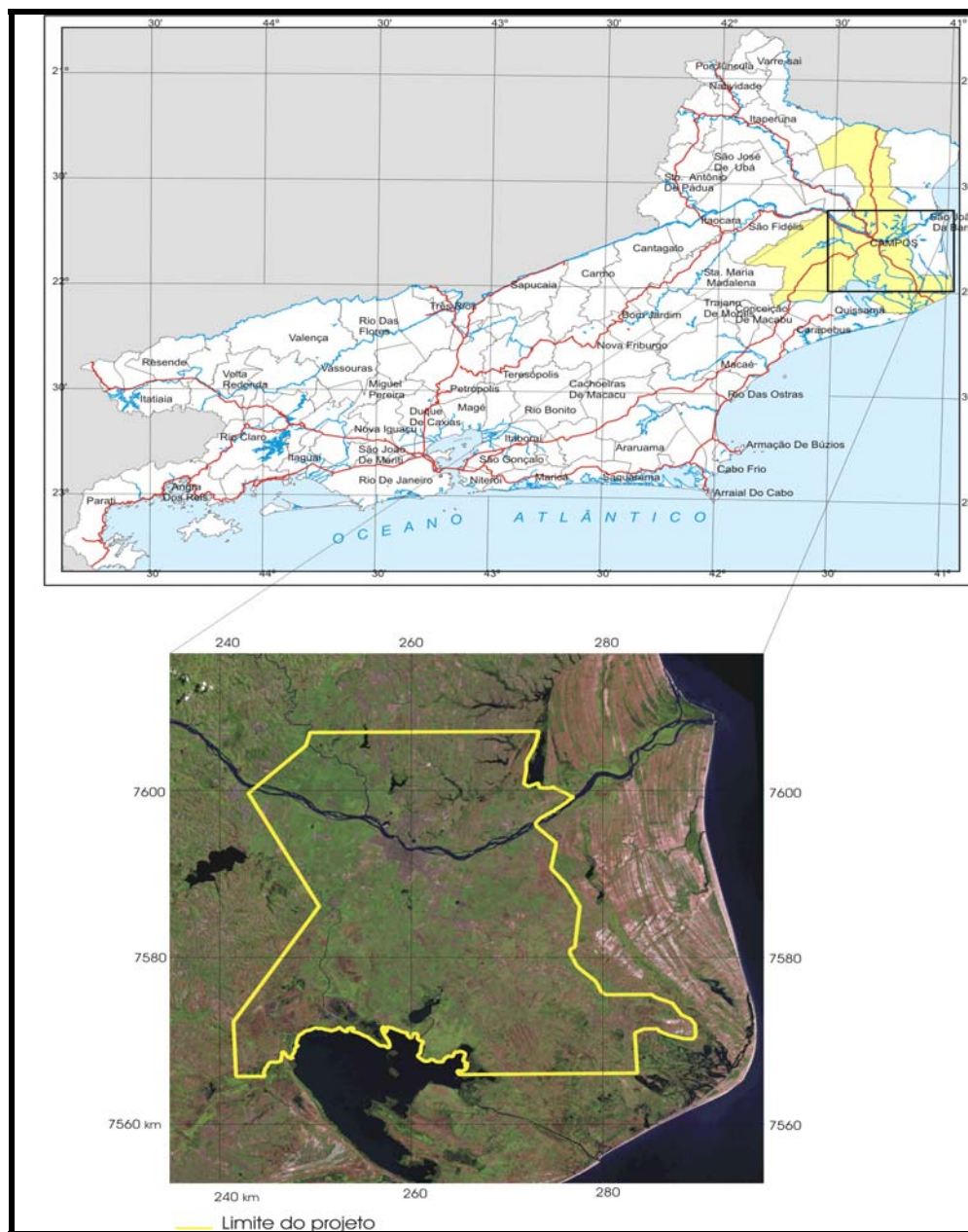


Figura 3.1 – Localização da área de estudo a nível regional no mapa estadual, e local na imagem do sensor ETM^+ do satélite *Landsat 7* (Engesat 2003).

4 ASPECTOS FISIOGRAFICOS

4.1 Relevo

De acordo com a Secretaria de Planejamento do Estado do Rio de Janeiro (CIDE 1997) o Município de Campos localiza-se na porção continental da Bacia de Campos, apresentando basicamente três unidades geomorfológicas: colinas e maciços costeiros formados por rochas de idade pré-cambriana; os tabuleiros costeiros produzidos por depósitos sedimentares com origem no Cenozóico, a partir do Terciário Superior; e a planície costeira, de idade quaternária, formada em ambientes de sedimentações fluvial, lacustre e marinha, sofrendo, ao longo da sua formação, grande influência deltáica do rio Paraíba do Sul.

Os sedimentos Terciários, que constituem os tabuleiros costeiros, podem atingir altitudes de até trinta metros e estão localizados numa pequena porção no extremo sul do município, bem como numa estreita faixa, próxima à cidade de Campos, que se prolonga para norte e nordeste. Ao norte e nordeste, os tabuleiros alcançam o oceano no município de São Francisco de Itabapoana.

Separando os Tabuleiros, tem-se a Planície Costeira, caracterizada por superfícies planas e de baixas altitudes, que se estendem até as encostas das colinas e maciços costeiros e acompanham os vales fluviais (CIDE 1997). Esses sedimentos são de idade Quaternária e têm sua origem associada à formação do delta do rio Paraíba do Sul.

4.2 Solos

Com base nos estudos pedológicos conduzidos, ao nível de levantamento semidetalhado realizado para o Projeto de Irrigação do Norte-Fluminense (PROJIR), em 1983, foi possível identificar, para a área da pesquisa em apreço, as classes de solos com suas respectivas ocorrências a partir de mapas na escala 1: 25.000 e dos boletins técnicos dos solos.

Para a área da baixada as classes de solos ocorrem de forma caótica quanto a sua distribuição geográfica, como reflexo da própria gênese da planície, que sofreu influência marinha em certas épocas e, em outras, o aporte de materiais, ocorrido a partir de deposição fluvial recente, principalmente do rio Paraíba do Sul. De acordo com Lamego citado pela Sondotécnica (1984), a planície atual evoluiu através de diversos estágios de formação Deltáica, tendo, inclusive, superpostas mais de uma dessas formações. O que explica a grande variação e a complexidade na distribuição dos solos que integram a planície (Anexo 6).

Os solos levantados e distribuídos por unidades de mapeamento caracterizam-se por sua morfologia semelhante, ocorrendo dentro de determinadas feições do terreno ou formações fisiográficas. Praticamente em quase toda a planície são detectados solos hidromórficos Gley, que ocorrem em amplas áreas contínuas ou como inclusões na maior parte das associações (PROJIR 1983).

Nas terras altas do Terciário o panorama já muda sensivelmente, predominando classes de solos nos níveis mais amplos de generalização, como é o caso do Podzólico Amarelo, cuja diferenciação, em unidades menores, depende mais de características químicas.

A partir dos estudos elaborados pelo PROJIR (1983) foram identificados, para a área do projeto, os grupos de solos, abaixo descritos, os quais foram classificados, aplicando os critérios estabelecidos pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos da EMBRAPA, “Sistema Brasileiro de Classificação de Solos de 1981”.

- **Solos da planície do rio Paraíba do Sul e afluentes.**

Solos Aluviais – São os solos derivados de sedimentos aluviais, que ocorrem, principalmente, nas margens dos rios e são constituídos por um horizonte superficial “A”, sobrejacente a camadas de composição física e química distintas, transportadas pelo rio e que não guardam entre si nenhuma relação pedogenética.

Dentro dessa classe foram agrupadas as unidades de mapeamento AE, AED, AD1 e AD2, as quais, são oriundas das associações Aluviais Tm Distrófico, Aluvial Tm Eutrófico, Gley Húmico Tb Distrófico e Cambissolo Tm Eutrófico Solódico, com drenagem variando de moderada a imperfeita.

Solos Semidesenvolvidos Não-hidromórficos – Compreendem os solos minerais, não hidromórficos e pouco desenvolvidos.

De acordo com o PROJIR (1983) encontram-se dentro desta classe as unidades CE1, CE2, CE3, CE4, CE5 e CE6, as quais são formadas pela associação de Cambissolos Tm Eutrófico e Distrófico, Cambissolo Tm Eutrófico Solódico, com drenagem variando de moderada a imperfeita.

Solos com Expressiva Gleização – Solos minerais hidromórficos, derivados de sedimentos alúvio-coluvionares, que ocorrem em relevo côncavo. Apresentam hidromorfia intensa, expressa por horizontes Gley (cinza), dentro dos 50cm superficiais, formados por redução e/ou remoção do ferro.

No mapeamento elaborado pelo PROJIR (1983), esta classe de solos é formada pelas unidades: GP1, GP2, GP3, GP4, GH2 e GH3, as quais estão associadas a Gley Pouco Húmico Ta Distrófico, Gley Pouco Húmico Ta Eutrófico Solódico, Gley Pouco Húmico Tm Eutrófico Solódico, Aluvial Tm Álico e Orgânico Tiomórfico Salino, os quais são imperfeitamente drenados.

Solos Salinos Tiomórficos – De acordo com Oliveira (2001), são solos com presença de sais mais solúveis em água fria do que o sulfato de cálcio, em quantidades que interferem no desenvolvimento da maioria das culturas, expressa por condutividade elétrica do extrato de saturação (a 25 graus Celsius).

Pela classificação do PROJIR (1983) esta classe de solo é formada pelas unidades: GS1, GS2 e GS3, as quais são compostas de associações de Gley Ta Sódico, Gley salino Solódico, Aluvial Ta Salino Solódico e Gley Tiomórfico Ta Salino, os quais são imperfeitamente drenados.

- **Solos da planície do rio Macabu, Prata e Bacia Menores.**

Solos Orgânicos – Constituídos essencialmente por resíduos orgânicos, em vários estágios de decomposição, depositados sob condições anaeróbicas em locais abaciados. Têm densidade muito baixa, o que lhe confere um grau de trafegabilidade muito reduzido. Sua composição orgânica os predispõem sobremaneira à subsistência (rebaixamento superficial) quando drenados, em função da contração de volume, por remoção de água, ao que se segue intensa mineralização.

O PROJIR (1983) no seu mapeamento pedológico realizado para a área de estudo, agrupou aos solos orgânicos as unidades 0D1 e 0D2. Estas unidades são formadas por associações de solos orgânicos Distrófico, Gley Húmico Ta Álico, Orgânico Tiomórfico Salino e Orgânico Salino, os quais são mal drenados.

- **Solos dos Cordões Litorâneos Antigos e Recentes**

Solos Arenos-Quartzosos – Constituídos essencialmente por partículas arenosas na proporção de 85% ou mais, além disso, são muito pobres em nutrientes e apresentam baixa capacidade de retenção de água, sendo que, tais características, são exclusivamente dependentes da matéria orgânica presente. Podem ser hidromórficos ou não, ocorrem geralmente no litoral em área de antiga influência marinha e em regiões de arenitos.

De acordo com o mapeamento do PROJIR (1983) existem duas unidades dentro da classe dos solos Areno-Quartzosos que são o AQ1 e AQ2, formadas por associações de Areias Quartzosas Distróficas, Podzol Hidromórfico e Aluvial Tm Distrófico.

- **Solos das Terras Altas do Terciário e Pré-Câmbrio**

Solos com B textural – São solos com horizonte diagnóstico subsuperficial bastante intemperizados e com pequena diferença textural entre os horizontes A e B.

Na classificação adotada pelo PROJIR (1983), os solos com B textural das Terras Altas do Terciário e Pré-Câmbrio são formados pelas unidades de mapeamento PA1, PA2, PA3, PA4 e PA5, as quais compõem uma associação de Podzólico Amarelo Tb Distrófico, Podzólico Amarelo Tb Distrófico Latossólico, Podzólico Amarelo Tb Distrófico Latossólico, Podzólico Amarelo Tb Eutrófico e Latossolo Amarelo Tb Petroplântico Álico, os quais são bem drenados.

- **Solos das Depressões Intertabuleiros e Áreas de Transição Baixada-Terras Altas**

Solos com Expressiva Gleização – Conforme já descritos acima, são solos minerais hidromórficos, derivados de sedimentos alúvio-coluvionares.

Pelo mapeamento feito pelo PROJIR (1983), os solos com expressiva Gleização pertencentes às Depressões Intertabuleiros e Áreas de Transição, são compostos das unidades GH1, GP5 e PA6, as quais são formadas por associações de Gley Húmico Tb Distrófico, Gley Pouco Húmico Tb Distrófico e Aluvial Tb Distrófico Solódico, sendo que estes variam de imperfeitamente a moderadamente drenados.

Solos com B textural – São solos com horizonte diagnóstico subsuperficial bastante intemperizados e com pequena diferença textural entre os horizontes A e B.

De acordo com o PROJIR (1983), os solos com B textural das Depressões Intertabuleiros e Áreas de Transição da Baixada, possuem uma unidade de mapeamento (PA6), a qual é formada por uma associação de Podzólico Amarelo Tb Distrófico, Podzólico Vermelho Amarelo Tb Plântico, Latossolo Amarelo Petroplântico Álico e Aluvial Tb Distrófico, os quais são imperfeitamente drenados.

4.3 Clima

A área do projeto está geograficamente localizada ao norte do Trópico de Capricórnio, onde predomina um clima tipicamente Tropical, com altas temperaturas no verão. O clima no município de Campos dos Goytacazes foi classificado, pela Fundação CIDE (1997) como quente (temperaturas acima de 18°C) e semi-úmido (4 a 6 meses secos) a seco (7 a 10 meses secos).

Os estudos desenvolvidos pelo PROJIR (1983) constataram que a umidade relativa média atinge valores pouco acima de 80% na faixa litorânea, entre 70% e 80% na área em estudo e na região interiorana, chega a assumir valores inferiores a 65%.

A evaporação apresenta sensíveis variações tanto no tempo como no espaço, com fortes gradientes evaporimétricos, atingindo desde valores inferiores a 1.900mm/ano, no interior, até superiores a 2.300mm/ano, no litoral, ao que tudo indica justificados, principalmente, pelos ventos que atingem a região.

Os ventos apresentam grande variabilidade ao longo do dia, destacando-se como período de maiores intensidades o lapso das 10 às 20h, no qual foram constatados valores desde 22km/h até 34km/h. Por outro lado, a ocorrência de calmarias é grande, notadamente nos meses de junho e julho. A predominância na região é, destacadamente, de ventos de nordeste, ocorrendo, também, com alguma significância, os de sudoeste, sul, sudeste e leste.

A precipitação anual, na área do projeto, varia entre 800 e 1.200mm, com uma tendência de incremento dessa pluviosidade a partir do litoral para o interior, concentrando-se entre os meses de outubro e abril cerca de 80% do total anual. O trimestre menos chuvoso é o de junho-julho-agosto, com cerca de 10% do referido total. É comum a ocorrência de uma seqüência de dias secos, mesmo no período de novembro a março, onde se concentra a época mais chuvosa na região, caracterizando, dessa forma, o chamado “veranico”, que contribui para o insucesso dos empreendimentos agrícolas na área.

4.4 Hidrologia

A área de estudo pertence à bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, na sua porção baixa, próximo à sua foz. Dada a sua localização, o rio Paraíba do Sul divide fisicamente a região do município de Campos em duas subáreas, conforme o mapa de uso e ocupação (Anexo5). A primeira, pela margem esquerda do mesmo, é formada por diversas lagoas, os rios Muriaé e Morto, além de diversas áreas de inundação. Na margem direita, encontra-se uma rede de canais de drenagem construída pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), na década de quarenta, com funções de irrigação, drenagem e saneamento. Os canais principais são: Macaé-Campos, Coqueiro, São Nicolau, Tocos, Cambaíba e Andreza. Existem ainda as lagoas Jacaré e Feia, esta última, considerada a maior lagoa do Brasil (Tecnorte 2001).

A bacia do rio Paraíba do Sul abrange uma das mais desenvolvidas áreas industriais do país. Sua situação atual reflete um processo histórico de ocupação caracterizado pela descontinuidade dos ciclos econômicos, os desníveis sócio-econômicos regionais e a degradação ambiental. Nessa bacia vivem cerca de 5 milhões de habitantes, distribuídos em uma área de 56.600 km², que se estende pelos estados de São Paulo, com 13.500 km², Rio de Janeiro, com 22.600 km², e Minas Gerais com 20.500 km² (PEIBPS 1996).

Os valores das vazões do rio Paraíba do Sul, medidas no posto fluviométrico da Ponte Municipal em Campos, no período de 1934 a 1996, após receber contribuição de uma bacia de 55.499 km², demonstram que a média das vazões máximas é de 3.357,11 m³/s, a média das mínimas é de 331,26 m³/s e a média das médias, equivale a 875,97 m³/s (PROJIR 1983).

Através da análise da drenagem na margem direita do rio Paraíba do Sul, nota-se que o sentido de escoamento superficial é deste para a lagoa Feia e oceano Atlântico. Nessa área, apesar da riqueza hídrica superficial, não foram encontrados dados fluviométricos nos rios, córregos e canais que drenam a área. Sendo que existe, entre estes e as águas do lençol freático, uma conexão hidráulica, com drenagem em ambas as direções, a qual não está bem definida, por falta de medições do escoamento em vários pontos dos mesmos canais (PROJIR 1983).

5 CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

5.1 Geologia

5.1.1 Geologia regional

A área do projeto situa-se na parte emersa da bacia sedimentar de Campos, que é delimitada: ao norte, pelo Arco de Vitória, que a separa da Bacia do Espírito Santo, e ao sul pelo Arco de Cabo Frio, que a separa da Bacia de Santos. A oeste, um sistema de falhas SW-NE coloca os sedimentos em contato com o embasamento cristalino, e a leste, a 100-150km da costa, é encontrado o talude continental (Silva 1987).

As rochas cristalinas de idade Pré-Cambriana limitam e servem de embasamento para a bacia sedimentar. De acordo com Fonseca (1998), estas rochas pertencem ao Bloco de Cabo Frio, um dos três blocos estruturais que se encontram no Estado do Rio de Janeiro. Este apresenta estruturas rúpteis locais, grande variação na orientação de seus elementos estruturais e da constituição e natureza das suas unidades litológicas e ausência de granitogênese brasileira. O embasamento da bacia Sedimentar de Campos é composto por rochas magmáticas e magmáticas-metamórficas, pertencentes ao Complexo Região dos Lagos, Complexo São Fidélis e Granitóides Serra dos Órgãos. O Complexo Região dos Lagos são rochas paleoproterozóicas, compostas por granitóides de composição granítica, granodiorítica e tonalítica, migmatitos homogêneos e heterogêneos e lentes anfibolíticas. O Complexo São Fidélis é representado por metassedimentos migmatizados de idade brasileira e gnaisses facoidais a sub-facoidais pré-brasileiros do Rio de Janeiro, com massas charnoquíticas não assimiladas; e os Granitóides Tonalíticos Serra dos Órgãos, de caráter ígneo intrusivo sin-orogênico e composição homogênea, ocorrem como *stocks*, diques, soleiras em tamanhos variáveis, sendo tardi e pós-cinemáticos ao Ciclo Brasileiro (Freitas 2003).

A Bacia de Campos é uma bacia de idade mesozóica-cenozóica da margem continental brasileira, onde apresentam dois sistemas semitransversais (NE-SW e NW-SE) de alinhamentos regionais na bacia, que originaram uma alternância de *horsts* e *grabens* (Freitas 2003).

Na área de estudo, são encontradas as unidades sedimentares Formação Emborê, Formação Barreiras, ambas de idade terciária e os Depósitos Quaternários, as quais estão assentadas sobre o embasamento cristalino.

A Formação Emborê é caracterizada por areias quartzosas, arenitos e matriz argilosa, com grãos fracamente consolidados por material carbonático, por vezes intercalados a argilitos fossilíferos, calcarenitos, calciruditos e dolomitos.

A Formação Barreiras é composta por arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados continentais, clásticos, afossilíferos de cores vivas, geralmente friáveis e freqüentemente lenticulares, de idade cenozóica.

Os Depósitos Quaternários da área são marcados pela diversidade de uma sedimentação em região costeira, sujeita a movimentos tectônicos, transgressões e regressões marinhas e todos os processos por estas acarretadas. São sedimentos arenosos, brancos e/ou acastanhados coesos com ou sem presença de conchas; argilo-arenosos provenientes de deposição lagunar; e turfas (Freitas 2003).

5.1.2 Geologia local

Na área de estudo, encontram-se os sedimentos dos Depósitos Quaternários, constituídos basicamente de aluviões e sedimentos arenosos das restingas, principalmente na sua porção central. A Formação Barreiras, que ao norte aparece na margem esquerda do rio Paraíba do Sul e pelo sudoeste e leste pela margem direita deste mesmo rio. Além da Formação Emborê que ocupa uma faixa a sudeste da área de estudo.

Os sedimentos dos Depósitos Quaternários que ocorrem na área, podem ser agrupados em dois tipos: sedimentos marinhos e sedimentos flúvio-lacustres.

Os sedimentos marinhos são constituídos exclusivamente de Areias Quartzosas litorâneas de coloração amarela e acinzentadas. São bem selecionados, com granulometria variando de fina a grossa, por vezes conglomerática e com grãos variando de subangulares a subarredondados, sendo os grosseiros bem arredondados. Geralmente estas areias formam as cúspides de lagunas e os cordões litorâneos.

Os sedimentos flúvio-lacustres apresentam uma litologia diversa, conforme sua origem fluvial ou lacustre. Os sedimentos fluviais são constituídos por argilas e silte, micáceos, de coloração acinzentada, formando planícies de inundação. Fazem parte, também, destes sedimentos as Areias Quartzosas, de coloração branca amarelada, geralmente mal selecionados, com granulometria variando de média a grosseira e subangular, de canal fluvial.

Os sedimentos da Formação Barreiras constituem o material originário de solos que ocupam importantes superfícies na área de estudo; a sua litologia é constituída por camadas horizontais de materiais argilosos e argilo-arenosos, contendo Areias Quartzosas, sem estratificação marcante.

A espessura destes sedimentos é desconhecida na região, embora poços profundos próximos a Travessão mostrem ser de mais de 70m. Os materiais evidenciam ter sido objeto de transporte curto e rápido, por correntes que não conseguiram selecionar os elementos petrográficos, não formando estruturas sedimentares. Assim, a origem dos sedimentos provavelmente está na decomposição das rochas gnáissicas do Cristalino, localizadas a oeste da área de estudo.

De acordo com Gama (1977) a Formação Emborê é constituída basicamente, por clásticos grosseiros, que se apresentam sob a forma de areias inconsolidadas e arenitos. As areias são quartzosas, de granulação média a grosseira, eventualmente fina; os grãos são arredondados a bem arredondados e disseminados, provavelmente, em uma incipiente matriz argilosa, não preservada pela amostragem. Os arenitos, de ocorrência secundária, são esbranquiçados e/ou cinza claros, finos a médios e quartzosos; os grãos, disseminados em matriz argilosa, são francamente cimentados por material carbonáticos; a seleção é regular e boa.

Além da caracterização acima exposta, esta unidade apresenta, ainda, erráticas intercalações de argilitos, calcarenitos, calcirruditos e dolomitos.

O Anexo 1 apresenta, na área, várias estruturas e sedimentos indicativos de paleocanais, meandros abandonados resultantes da movimentação do canal principal do rio, ao longo do tempo.

5.2 Hidrogeologia

5.2.1 Hidrogeologia regional

De acordo com Caetano (2000), o município de Campos dos Goytacazes dispõe de dois grandes sistemas aquíferos, delimitados em planta (Figura 5.2) denominados:

- Sistema Aquífero Fraturado;
- Sistema Aquífero Sedimentar.

O Sistema Aquífero Fraturado está associado às zonas de fraqueza e ruptura das rochas do embasamento cristalino, e apresenta baixo potencial com capacidade específica variando de 0,021 a 1,53m³/h/m e valores médios de vazão de 5,73m³/h (Freitas 2003). É considerado como aquífero descontínuo, de porosidade secundária (fissuras) e caráter livre a semiconfinado.

Os aquíferos sedimentares são encontrados na Bacia Sedimentar de Campos e são denominados, de acordo com Caetano (2000) como: Aquífero Formação Barreiras, de idade Terciária, com características de não confinado a confinado, constituído de sedimentos clásticos afossilíferos cenozóicos continentais indiferenciados, com valores de transmissividade médios entre 110,18 e 222,52m²/dia, produtividade média de 1,09 a 2,45m³/h/m e valores médios de vazão entre 34,55 e 47,17m³/h; Aquífero Formação Emborê, também de idade Terciária, que é coberto pelos sedimentos do Quaternário, constituindo-se de intercalações de arenito e folhelho (ou argilito), com caráter multicamada, transmissividade média de 191,40m²/dia, produtividade em torno de 3,5m³/h/m e vazão média de 70,93m³/h; e o Aquífero Quaternário Deltáico, formado por solos residuais, areias, cascalhos, argilas e siltes, atingindo até 120m de espessura, com elevada transmissividade média (8.193,00m²/dia) e vazão média de 139,67m³/h.

A Figura 5.1 apresenta o mapa de delimitação dos aquíferos (Caetano 2000), e a configuração da área de estudo.

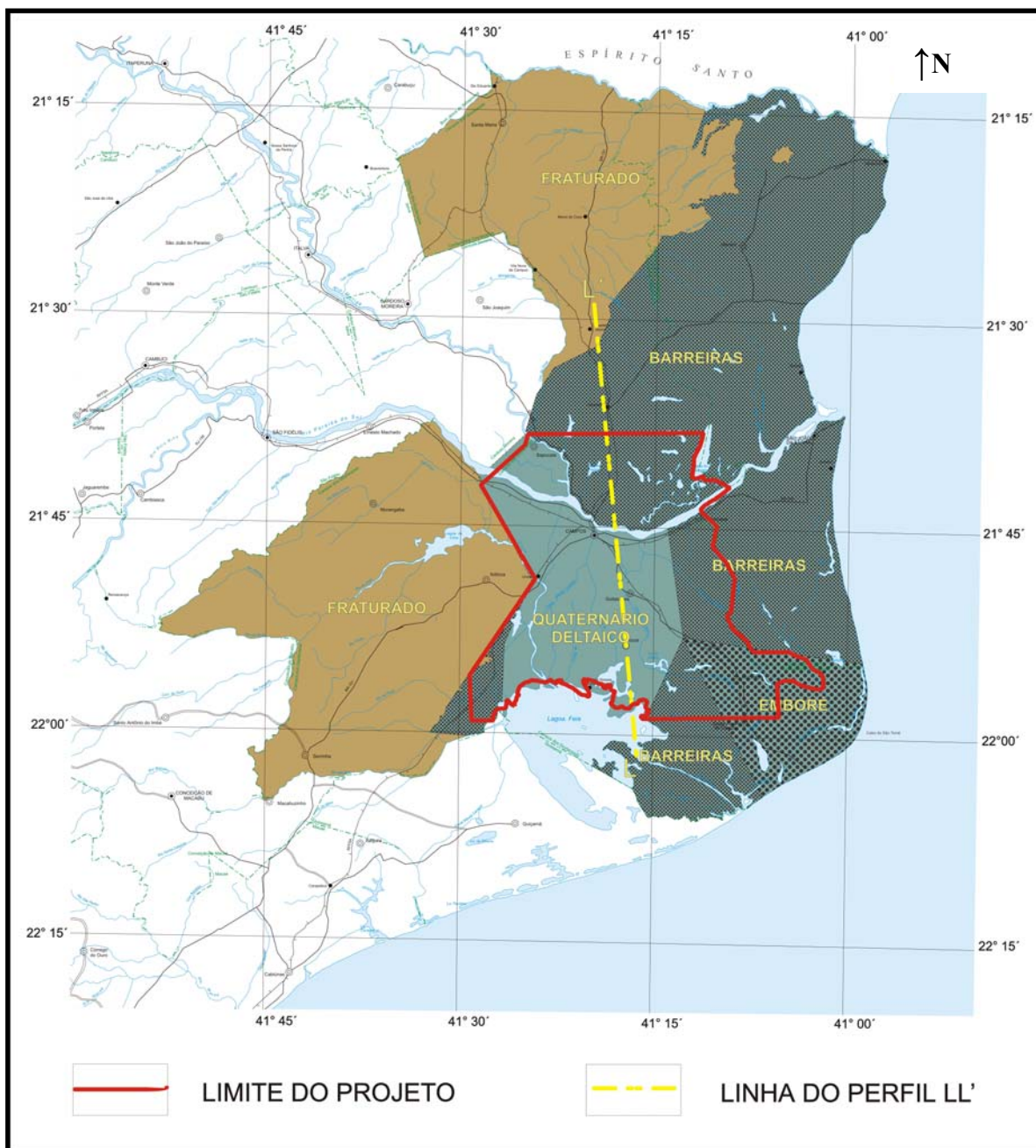


Figura 5.1- Delimitação da área de estudo sobre o mapa de aquíferos da região de Campos do Goytacazes (Caetano 2000).

O Sistema Aquífero Sedimentar tem sua origem na deposição de sedimentos continentais e marinhos de idade Terciária e Quaternária.

A Formação Barreiras é a designação dada para indicar sedimentos clásticos afossilíferos cenozóicos continentais indiferenciados de cores vivas (amarela, marrom e avermelhada).

Já a Formação Emborê (Gama 1977), é constituída pelas litofácies Emborê, São Tomé e Grussaí. Caracteriza-se pela ocorrência de areias quartzosas e arenitos, em matriz argilosa, e grãos fracamente consolidados por material carbonático. Há erráticas intercalações de argilitos cinza-claros a pretos que aparecem em camadas métricas que podem atingir dezenas de metros.

Caetano (2000) constatou, através de perfis geológicos elaborados por meio das informações dos poços cadastrados, que o Aquífero Formação Emborê é constituído de feldspatos branco, quartzo angulosos, granadas, restos de madeira, arenito e folhelho.

O Aquífero Quaternário Deltáico é formado por depósitos recentes, os quais são constituídos por solo residual, areias, cascalhos, argilas e siltes de origem continental e marinha.

A partir do perfil hidrogeológico representado pela (Figura 5.2), na direção N-S, o qual atravessa todo o município de Campos dos Goytacazes desde a parte do Cristalino ao norte, passando pelos afloramentos da Formação Barreiras e terminando na lagoa Feia, após percorrer sedimentos deltáicos, pode-se perceber a pequena espessura do Aquífero Formação Barreiras localizado no município de Campos, à margem esquerda do rio Paraíba, em contraste à elevada espessura dessa formação ao sul da Lagoa Feia. Separando o Aquífero Formação Barreiras em duas partes, há o preenchimento de sedimentos dos Depósitos Quaternários que deram origem ao Aquífero Quaternário Deltáico (Caetano 2000).

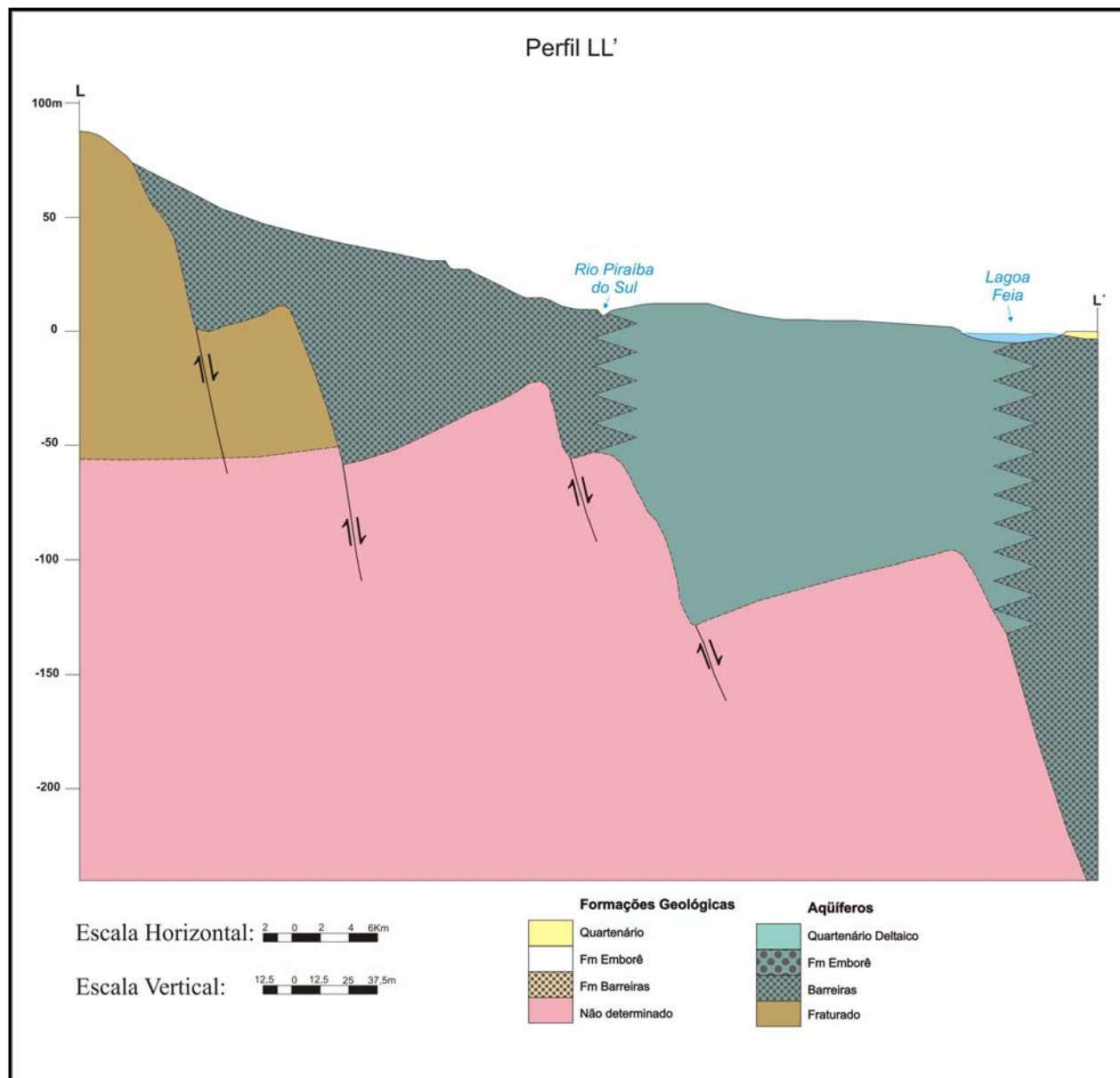


Figura 5.2 - Perfil hidrogeológico modificado de (Caetano 2000).

5.2.2 Hidrogeologia local

A área de estudo abrange, principalmente, o Aquífero Quaternário Deltáico, em sua porção central; o Aquífero Formação Barreiras nas porções norte, leste e sudeste; e o Aquífero Formação Emborê, ao sul, sendo que este último encontra-se coberto pelo Aquífero Quaternário Deltáico.

No Aquífero Quaternário Deltáico os sedimentos aluvionares existentes até a profundidade de 5m são todos Holocênicos, apresentando-se como camadas e lentes de variada espessura e

extensão, com condutividades hidráulicas mudando notavelmente, horizontal e verticalmente, tornando-se bastante complexa sua caracterização hidrogeológica (PROJIR 1983).

De acordo com a Sondotécnica (1983), para evitar uma classificação subjetiva, o conceito de condutividade hidráulica empregado no PROJIR (1983), relaciona-se às unidades hidrogeológicas da seguinte forma:

Aquicludo - condutividade hidráulica nula, com valor menor que 10^{-4} m/dia;

Aquitardo - condutividade hidráulica lenta, com valores entre 10^{-4} - 10^{-2} m/dia;

Aquífero muito pobre - condutividade hidráulica baixa, com valores entre 10^{-2} - 10^{-1} m/dia;

Aquífero pobre - condutividade hidráulica moderada, com valores entre 10^{-1} -1 m/dia;

Aquífero bom - condutividade hidráulica boa, com valor maior que 1 m/dia;

Na área do paleodelta o sedimento aflorante é constituído de argilas sílticas, contendo areia fina disseminada, mica, matéria orgânica e, às vezes, turfa. Esta unidade é um aquitardo; porém onde contém muita mica, com arranjo irregular e matéria orgânica, passa a ser um aquífero muito pobre.

Segundo o PROJIR (1983), sotopostos a essas argilas, típicas de planície de inundação, podem ser encontrados os seguintes sedimentos aluvionares:

-Areias grossas a finas, com pouca mica e restos vegetais, típicas de canal fluvial, sendo portanto uma unidade de condutividade hidráulica boa, logo um aquífero bom;

-Areias finas a médias, típicas de barras de embocadura, com condutividade hidráulica boa a moderada, onde predomina, respectivamente, a granulometria média a fina, portanto um aquífero bom a pobre;

-Intercalações de siltes argilosos e areias muito finas argilosas, uma unidade de condutividade hidráulica lenta, portanto um aquitardo;

Nas áreas laterais ao Paleodelta, afloram camadas de cordões litorâneos, de areias médias a grossas, subangulares a arredondadas, limpas, sendo uma unidade com condutividade hidráulica muito boa, logo um aquífero bom.

Sob essas areias, apresenta-se um horizonte constituído de argilas e siltes argilo-arenosos com matéria orgânica, calcífera, e condutividade hidráulica lenta, portanto um aquitardo.

Abaixo de toda essa região aluvionar, estende-se uma camada tida como Pleistocênica, constituída de argilas e areias, com fragmentos de conchas e poucos metros de espessura. Qualquer das três unidades inferiores do paleodelta, pode estar em contato com ela diretamente. É

considerada Pleistocênica, porque na margem esquerda do rio Paraíba do Sul, uma sondagem indica sua sobreposição aos sedimentos da Formação Barreira.

Os sedimentos pré-Quaternários do Fácies São Tomé, da Formação Emborê, aparecem onde não existem sedimentos da Formação Barreiras. São constituídos, essencialmente, por clásticos grosseiros, mal cimentados, e possuem condutividade hidráulica muito boa, portanto um bom aquífero, principalmente para abastecimento de grandes volumes d'água, em poços de menos de 100m de profundidade.

De acordo com o PROJIR (1983) a Formação Barreiras como um todo pode ser considerada um aquífero, pois é constituída principalmente por sedimentos de textura argilo-arenosa ou areno-argilosa, com condutividade hidráulica lenta.

Localmente, podem ser encontradas zonas de condutividade hidráulica nula (aquicludos) representadas por sedimentos de textura argilosa, até lentes de argilas maciças sem qualquer intemperismo, ou aquíferos pobres, de condutividade moderada, nos sedimentos de origem fluvial constituídos de areias quartzosas ou conglomerados, mas sempre com alguma percentagem de finos.

Pelos estudos do PROJIR (1983), as zonas aquíferas da Formação Barreiras, confinadas, apresentam valores iniciais de vazão e níveis piezométricos enganadores, pois diminuem e se aprofundam com a utilização dos poços, devido às suas pequenas dimensões e recarga lenta.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa envolveu a utilização de vários materiais e métodos, para a caracterização da vulnerabilidade dos aquíferos, do cadastramento das fontes potenciais de contaminação e a definição dos riscos potenciais de poluição das águas subterrâneas de Campos.

Estes estudos envolveram técnicas de processamento de dados, modelos matemáticos, sensoriamento remoto e campanha local, para coleta de informações, utilizando-se de várias cartas, mapas, imagens, dados censitários e hidrogeológicos. Os principais *softwares* utilizados foram o *AutoCad Map 2000*, *Idrisi versão 3.2*, *Envi 3.6*, *ER-Mapper 6.2* e *Panavue 2.09*.

Os procedimentos de estudo consistiram na realização de um levantamento preliminar dos documentos (dados censitários, mapas, trabalhos técnicos e científicos) já existentes na área, trabalhos de campo, tratamento e interpretação das informações, resultando na presente dissertação. A seguir, apresenta-se o detalhamento de cada procedimento executado.

6.1 Revisão bibliográfica

6.1.1 Vulnerabilidade

Vários estudos de vulnerabilidade já foram desenvolvidos em muitos países mas, merecem destaque os trabalhos dos norte-americanos, canadenses e franceses, representados por autores como Albinet & Margot (1970), Albert *et al.* (1987), Foster (1987) e Van Stempvoort *et al.* (1992).

No Brasil, o trabalho de Taltasse (1972) é considerado como um dos pioneiros em cartografia de vulnerabilidade, o qual propôs um mapa para o município de Campinas (SP), descrevendo a suscetibilidade das unidades litoestratigráficas a um evento qualquer de contaminação.

Dentre os métodos de vulnerabilidade existentes, alguns poucos como o *DRASTIC*, *GOD*, *PLA* e *AVI*, servem para caracterizar uma cartografia geral de vulnerabilidade para qualquer tipo de atividade contaminante. Segundo Hirata (1994), a maioria dos trabalhos norte-americanos visavam definir os riscos de contaminação por uma atividade específica, ou seja, se propunha a uma análise da interação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante de forma conjunta.

O *DRASTIC* (Allert *et al.* 1987) é um método que fornece um índice, resultado da soma ponderada de 7 fatores. O nome da técnica é o resultado de um acronismo, onde D é a profundidade da água (*Depth*), R é a recarga do aquífero (*Recharge*), A é o meio aquífero (*Aquifer*), S é o solo (*Soil*), T é a topografia ou inclinação do terreno (*Topography*), I é a

característica litológica da zona (*Impact*) e, finalmente, C é a condutividade hidráulica (*Hydraulic Conductivity*) do aquífero. Cada um destes fatores, que podem variar de 1 a 10, é multiplicado por um outro índice que varia de 1 a 10, e que pondera a soma resultante no índice de poluição.

O método GOD (Foster & Hirata 1988) é o resultado da interação ou seja, multiplicação de 3 parâmetros: tipo de aquífero (*Groundwater occurrence*), litologia da zona não saturada (*Overall of lithology of aquiperm*) e profundidade da água subterrânea (*Depth of groundwater*).

O PLA (Poluição dos Lençóis Aquíferos) proposto por Taltasse (1972), resulta da análise das formações geológicas segundo a condutividade hidráulica e das características de sorção do material.

O método *AVI* (*Aquifer Vulnerability Index*) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisa Hidrológica do Canadá (NHRI) e implementado por Van Stempvoort *et al.* (1992) é baseado em dois parâmetros físicos:

- Espessura (d) de cada camada sedimentar acima da parte saturada do aquífero; e
- Condutividade hidráulica de cada uma dessas camadas sedimentares (K).

Baseado nesses dois parâmetros **d** e **K**, calcula-se a resistência hidráulica “C” pela equação:

$$C = \sum d_i / k_i \text{ para camadas de } 1 \text{ a } i. \text{ (Equação 6.1)}$$

Sendo que pela variação de “C” pode-se classificar a vulnerabilidade como sendo extremamente alta, alta, moderada, baixa e extremamente baixa (Tabela 6.1).

Tabela 6.1– Classificação da vulnerabilidade segundo intervalos de resistência hidráulica pelo método *AVI* (Van Stempvoort *et al.* 1992).

Resistência hidráulica (dia)	Classes de vulnerabilidade
0 – 10	Extremamente Alta
10 – 100	Alta
100 – 1000	Moderada

No trabalho realizado pelo LNEC (2002), foram avaliados seis métodos de vulnerabilidade (*AVI*, *GOD*, *DRASTIC*, *SI*, *EPPNA* e *SINTACS*), os quais foram aplicados ao aquífero de Évora, em Portugal. Pelo comparativo constatou-se que o método *AVI* faz uma avaliação indireta de vários fatores ou parâmetros usados pelo *DRASTIC*, com exceção da topografia e o meio aquífero. Além disso, o *AVI* adequa-se bem para um estudo preliminar de aquíferos, mas deve-se levar em

consideração que, para aquíferos não confinados, as classes de vulnerabilidade tendem a valores que variam de altos a extremamente altos, devido a alta condutividade hidráulica destes aquíferos.

O método *GOD* produz resultados comparáveis com o complexo *DRASTIC*, com a diferença somente nas faixas de classificação da vulnerabilidade, de acordo com o LNEC (2002).

Estudando o sistema aquífero de Salamanca Guanajuato, no México, Ramiro *et al.* (2001) utilizaram os métodos *DRASTIC* e *AVI* e puderam concluir que as zonas de vulnerabilidade eram diferentes, mas as tendências gerais permaneciam iguais. Além disso, o *AVI* permitia conhecer o tempo de trânsito mínimo para solutos não reativos.

6.1.2 Carga potencial poluidora

Esse conceito está associado a risco e não indica que a atividade, no momento em que se realiza, esteja causando dano a um aquífero específico. Uma atividade classificada como de risco elevado não significa necessariamente que seja agressiva ao meio ambiente, ou que não utilize modernas técnicas de tratamento de efluente, pois, na verdade, em muitos casos, o risco de geração de poluição está associado ao próprio manuseio de produtos perigosos, acidentes, vazamentos, etc. (IG /CESTEB/DAEE 1997).

Apesar da existência de uma ampla gama de atividades humana que geram certa carga contaminante, são algumas poucas as responsáveis pelos maiores riscos de contaminação das águas subterrâneas em uma área específica. Por isso é fundamental identificar essas atividades e fazer a distinção de contaminação por fontes pontuais (que são mais fáceis de reconhecer), por fontes difusas e lineares (IG /CESTEB/DAEE 1997).

As fontes pontuais de poluição são as que atingem o aquífero através de um ponto. Estas fontes são responsáveis por poluições altamente concentradas na forma de plumas. Na área em estudo foram identificados o lixão, os cemitérios e os postos de combustíveis, discriminados adiante.

As fontes lineares de poluição são as provocadas pela infiltração de águas superficiais de rios e canais contaminados. Na área da planície campista é notória a rede de canais de drenagem, muitos destes abandonados.

As fontes difusas de poluição são as que contaminam áreas extensas. Normalmente, são devidas a poluentes transportados por correntes aéreas, chuvas e pela atividade agrícola. Em aglomerados urbanos, onde não há rede de esgotamento sanitário, as fossas sépticas e sumidouros

estão, de tal forma, regularmente espaçadas, portanto, o conjunto pode ser caracterizado como uma fonte difusa de poluição. A poluição proveniente das fontes difusas se caracteriza por ser de baixa concentração e atingir grandes áreas.

A vinhaça, que advém da produção de álcool, e o saneamento *in situ* são as principais fontes difusas dentro da área do projeto.

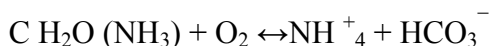
A partir dos conceitos de Foster & Hirata (1988), CETESB\IG\DAEE (1997), Cohen *et al.* (1995), Matos (2003), foi possível estabelecer alguns parâmetros para classificação das cargas potencialmente poluidoras.

6.1.3 Compostos nitrogenados

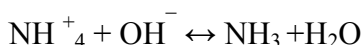
Em função da capacidade do nitrogênio de passar por vários processos de transformação, conforme é mostrado pela Figura 6.1, e pela sua abundância em compostos químicos, tal elemento foi adotado para avaliação das cargas de potencial poluição para os aquíferos em estudo.

A ocorrência natural de nitratos nas águas é em geral baixa, inferior a 10 mg/l. Deve-se isto, principalmente, às águas de chuva e à dissolução de restos de material orgânico, decomposto na água e infiltrando-se no solo. O tipo de rocha não influi substancialmente na variação do teor de nitratos. Graças a isso, trata-se de um elemento cuja elevação do teor nas águas subterrâneas, a determinados níveis, indica a influência de fatores externos, tais como esgotos domésticos, lixo, fertilizantes agrícolas ou despejos industriais (CETESB 1997). O amônio é pouco representativo nas águas subterrâneas e sua ocorrência com teores superiores a 0,5 mg/l já indica uma contaminação.

A matéria orgânica existente nos esgotos e nos resíduos vegetais produz amoníaco ou o íon amônio através do processo de decomposição e mediante a participação de bactérias especializadas, de acordo com a reação:

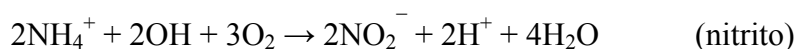


A formação do íon amônio (NH_4^+) ou do amoníaco (NH_3) está condicionada ao pH da água, obedecendo à seguinte reação:



A reação produz amônio se o pH diminui, ou amoníaco no caso contrário. O processo de conversão do nitrogênio orgânico para amônio ou amoníaco é conhecido como amonificação.

O composto liberado, tanto pode ser absorvido pelo solo e usado pela planta como nutriente, como também pode ser oxidado biologicamente por bactérias para formar nitritos e, posteriormente, nitratos que chegam as águas subterrâneas. O fenômeno é conhecido como nitrificação e processa-se mediante as reações:

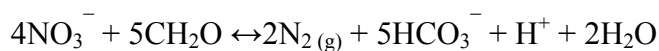


A formação de nitritos é mediada pelas bactérias do gênero nitrosomonas e a formação de nitratos requer a participação de bactérias do gênero nitrobacter.

A amonificação e nitrificação são processos que normalmente ocorrem na zona insaturada, principalmente na zona do solo propriamente dito, onde a matéria orgânica e o oxigênio são abundantes (Komor & Anderson 1993).

Os fertilizantes minerais contêm nitrato que penetra no terreno e é lixiviado para as águas subterrâneas. Este constitui o caso de contaminação direta por nitrato.

Os nitratos, tanto aqueles de contaminação direta como os oriundos das transformações bioquímicas, sob condições anaeróbicas e presença de matéria orgânica, podem ser reduzidos a amônio (NH_4^+) e nitrogênio (N_2) através do processo de desnitrificação, sempre com a participação de bactérias especializadas. A reação química que produz o nitrogênio mediante este processo é a seguinte:



A desnitrificação geralmente ocorre abaixo do nível d'água, sob condições de deficiência de oxigênio (Melo 1995).

O nitrato tem grandes implicações na saúde humana, principalmente, pelo fato de originar substâncias carcinógenas. No aparelho digestivo de crianças com menos de três meses de idade há bactérias que reduzem o nitrato a nitrito. Este se liga muito fortemente a moléculas de hemoglobina, impedindo-as de transportarem oxigênio para as células do organismo. A deficiência em oxigênio leva a danos neurológicos permanentes, dificuldade de respiração e em casos mais sérios à morte por asfixia. Aos seis meses de idade a concentração de ácido hidrocloreico aumenta no estômago, matando as bactérias reductoras de nitrato (<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/quimica.htm>).

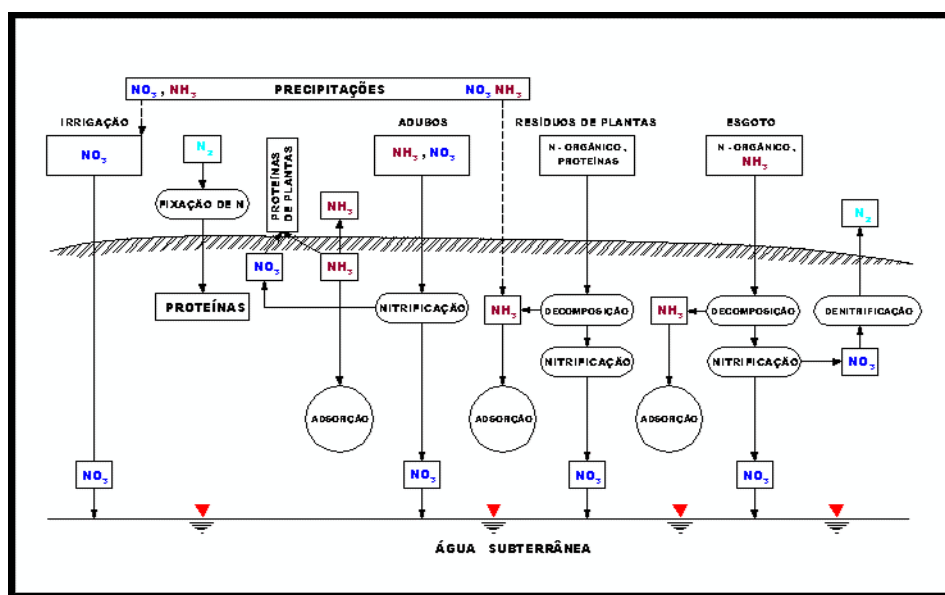


Figura 6.1 - Migração e transformação do nitrogênio no solo (CETESB 1977).

6.2. Levantamento de informações sobre a área

As principais fontes de dados são do projeto de irrigação e drenagem da cana-de-açúcar na região Norte-Fluminense (PROJIR 1983), o qual abrangeu as áreas de climatologia, hidrologia, geologia, pedologia, hidrogeologia, geotecnia, sócio-economia e agronomia.

Os estudos hidrogeológicos recentes (Caetano 2000 e Freitas 2003) e o cadastramento dos poços também definiram o modelo de circulação e a descrição hidrodinâmica dos sistemas aquíferos necessários para caracterização da vulnerabilidade.

Os materiais utilizados no projeto foram os dados da campanha piezométrica de 1983 (PROJIR 1983) e os Setores Censitários da área urbana de Campos (IBGE 2000).

As bases cartográficas são aquelas elaboradas pelo IBGE, na escala 1:50.000 de 1968, compreendendo as folhas de Travessão, Campos, São João da Barra e Muçurepe. Os demais mapas e imagens identificadas para o uso no presente projeto são:

- Mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:400.000 (Martin *et. al.* 1997), utilizado apenas para reconhecer a geologia regional da área, não entrando no processamento dos dados;
- Imagem do sensor *ETM⁺* do satélite *Landsat*, 7 de Fevereiro de 2003;
- Mapa da cobertura vegetal de Campos dos Goytacazes, escala 1:100.000 de 1996 (PEIBPS 1996);
- Mapa das condutividades hidráulicas, escala 1:25.000 (PROJIR 1983).
- Mapa das profundidades do lençol freático, escala 1:25.000 (PROJIR 1983).

As cargas contaminantes potenciais levantadas foram:

- Atividades industriais, resíduos sólidos domiciliares, cemitérios, postos de combustíveis;
- Saneamento *in situ* e atividade agropecuária.

6.3. Etapa de campo

O conjunto de operações de campo visou levantar os dados das fontes potenciais de poluição, inclusive com a visita e identificação de algumas destas através do Sistema de Posicionamento Global (GPS) utilizando para isso um receptor portátil *GARMIN* modelo *ETREX*; e, também, a complementação da base cartográfica da área em estudo, no acervo do projeto PROJIR (1983) e pesquisa de material bibliográfico, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Campus Dr. Leonel Miranda.

Ainda nessa etapa foram caracterizadas algumas áreas (cultivo de cana-de-açúcar, pastagens, área urbana e hidrografia) como subsídio para a aplicação da técnica de classificação supervisionada (Crosta 1992) na imagem do sensor *ETM⁺* do satélite *Landsat 7*, para a geração do mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo.

6.4 Tratamento dos dados

O *Software Idrisi 3.2* foi utilizado para elaborar os mapas intermediários (modelos de elevação) e os finais, devido ao fato de o mesmo ter grande capacidade para trabalhar com dados no formato raster (Eastman 1995). O *software Surfer 8* foi empregado para geração das superfícies contínuas e de contorno do modelo potenciométrico; o *Envi* versão 3.6 para classificação da imagem do sensor *ETM⁺* do satélite *Landsat 7* e o *ER-Mapper* versão 6.2, na correção geométrica e georreferenciamento dessa imagem. O *AutoCad Map 2000* e o *R2V* foram utilizados para as vetorizações das cartas e da imagem de satélite.

As superfícies contínuas, juntamente com as cartas, mapas e imagens, foram combinadas e transformadas em novos mapas, utilizando as ferramentas e operações do (SIG) *Idrisi 3.2* com auxílio do *AutoCad Map 2000*.

Os resultados foram obtidos conforme os fluxogramas (6.1, 6.2, 6.3 e 6.4) das principais etapas de trabalho e de processamento dos dados.

No mapa de uso e ocupação utilizou-se uma imagem do sensor *ETM⁺* do satélite *Landsat 7* formada pelas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 8, para gerar uma composição colorida *RGB* com as bandas 543. Posteriormente, a mesma passou por um georreferenciamento para o sistema de coordenadas UTM no *Datum* Córrego Alegre, além da correção geométrica. Esse mesmo processo de georeferenciamento e correção foram usados para Banda 8, pancromática, da mesma imagem.

Para melhorar a resolução espacial da imagem na banda colorida (composição *RGB* 543) procedeu-se uma fusão desta com uma imagem pancromática (*pixel* de 15m), obtendo, assim, uma imagem final colorida com resolução espacial de 15m.

A partir do resultado obtido pela fusão, foi feito o processamento com a finalidade de separar as classes (vegetação, solo, hidrografia, etc.) utilizando-se, para isso, a técnica da classificação supervisionada com método *MaxVer*. Após o que, a imagem classificada, foi exportada para o *AutoCad Map 2000*, no qual foram dados os devidos acabamentos cartográficos, gerando-se assim, o mapa de uso e ocupação do solo na escala de 1:50.000, ficando para o caso específico deste trabalho 1:175.0000 para as plotagens (Anexo 5).

- De posse das 9 cartas de profundidades do lençol freático que recobrem a área de estudo e utilizando-se os *softwares AutoCad Map 2000* e *R2V* para a digitalização e georreferenciamento das mesmas, foi gerada a base digital, a qual foi exportada no formato *dxf 12* para o *software Idrisi* versão 3.2. Aplicando a técnica de análise

espacial e através do interpolador *TIN*, estes dados foram processados, gerando assim, o mapa das profundidades (Σd).

- Seguindo os mesmos passos para a confecção do mapa das profundidades do lençol freático, as 9 cartas de condutividades hidráulicas, do PROJIR (1983), foram transformadas no mapa das condutividades (ΣK).
- Através do *software Idrisi*, versão 3.2, o modelo *AVI* foi implementado e, usando a álgebra de mapas, com a operação de divisão sendo aplicado aos mapas de profundidades (Σd) e condutividades (ΣK), gerou-se o mapa das resistências hidráulicas. Este, foi reclassificado em faixas de acordo com o método *AVI*. Após alguns acabamentos cartográficos chegou-se ao mapa de vulnerabilidade (Anexo 3).

As cargas dos potenciais contaminantes, após terem sido classificadas foram, conjuntamente com o mapa de uso e ocupação, analisadas e, usando o *AutoCad Map 2000*, gerou-se o mapa das cargas potenciais.

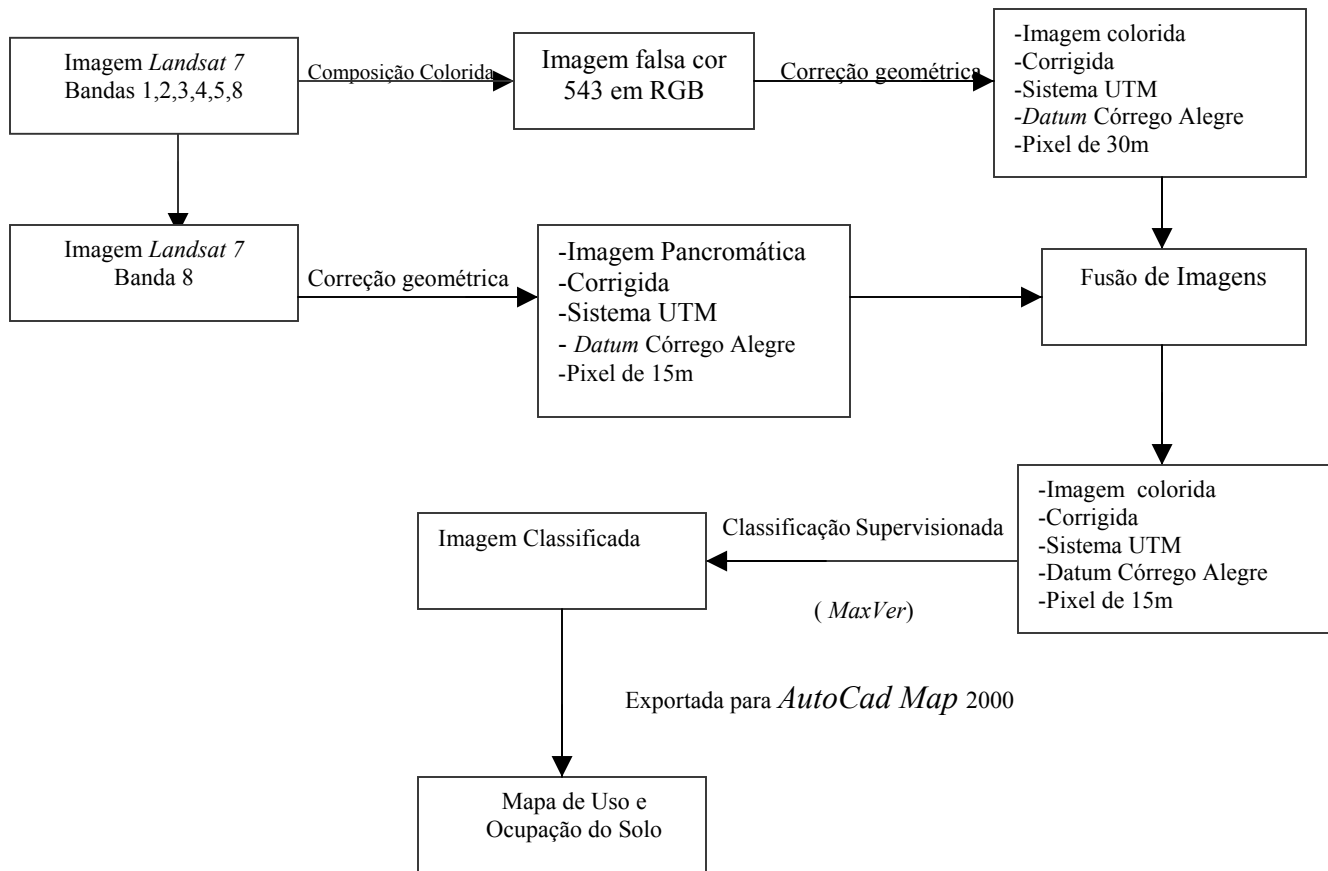
Através do recurso de sobreposição de mapas (*Overlay*) do SIG *Idrisi 3.2* os mapas de vulnerabilidade e das cargas dos potenciais contaminantes foram combinados gerando, assim, os mapas das áreas de risco.

Os mapas principais e intermediários gerados foram:

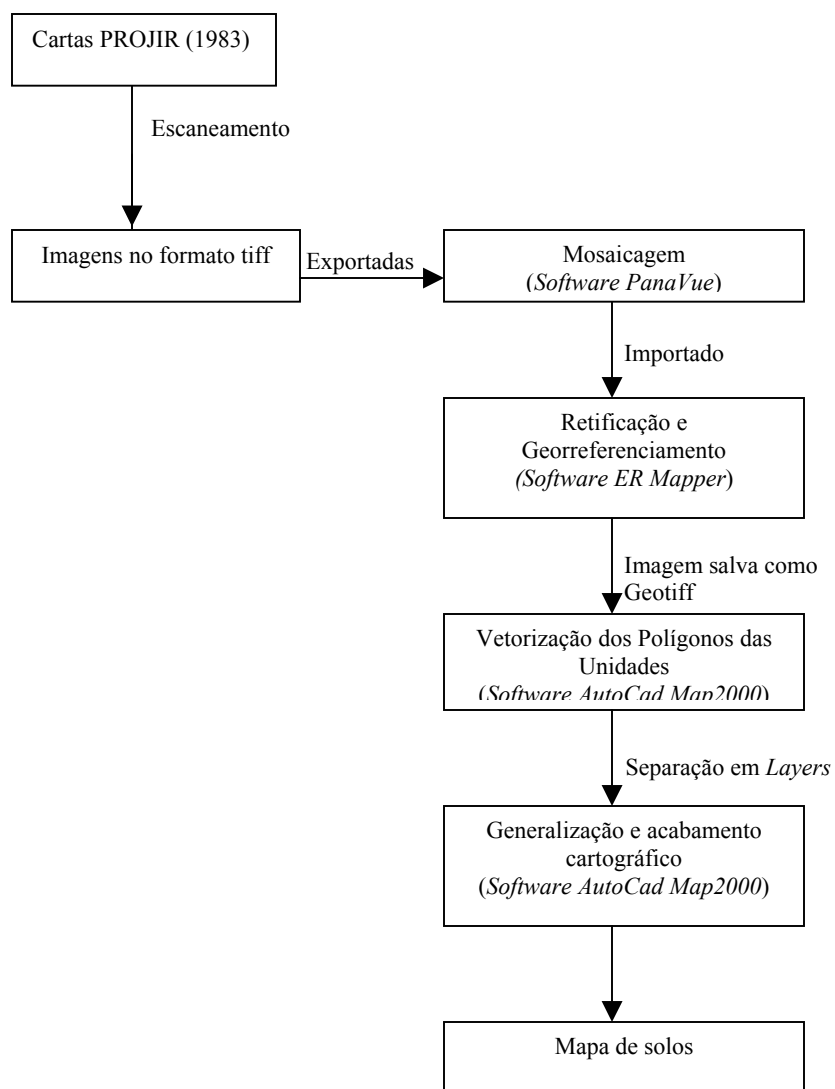
- Mapa de vulnerabilidade:
 - Modelo de condutividades hidráulicas;
 - Modelo das profundidades do nível freático;
- Mapa de uso e ocupação do solo;
- Mapa de solos;
- Mapa de cargas urbanas (inclusos: saneamento *in situ*, cemitério e lixão);
- Mapa de postos de combustíveis – estes resultados não foram inclusos por não serem cargas de origem nitrogenada;
- Mapa de adubação (adubação química e fertirrigação);
- Mapa de agrotóxicos (herbicidas);
- Mapa de drenagens;
- Mapas de risco.

Os detalhes da criação de cada mapa estão descritos no item resultados.

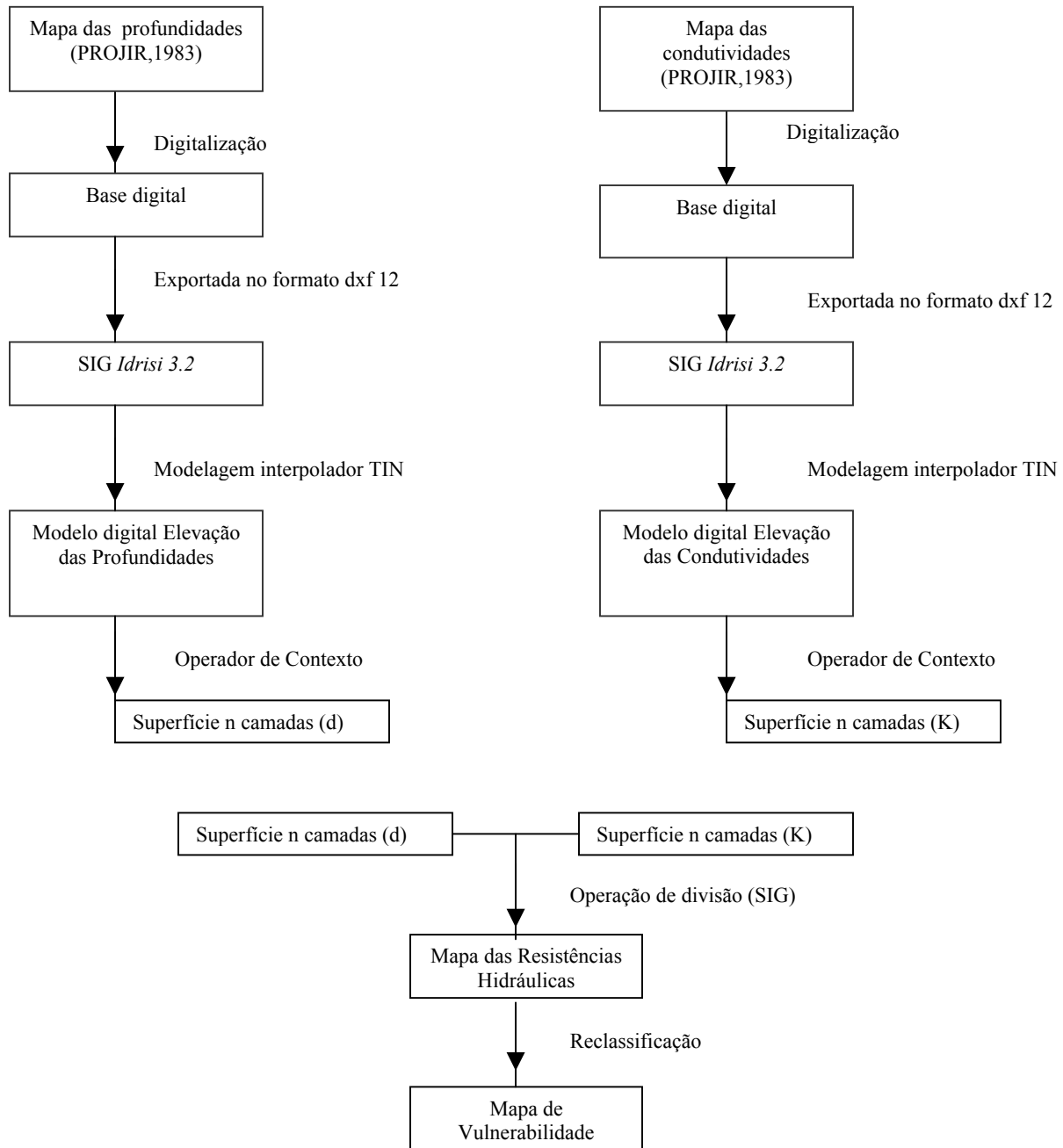
6.1-Fluxograma do mapa de uso e ocupação do solo.



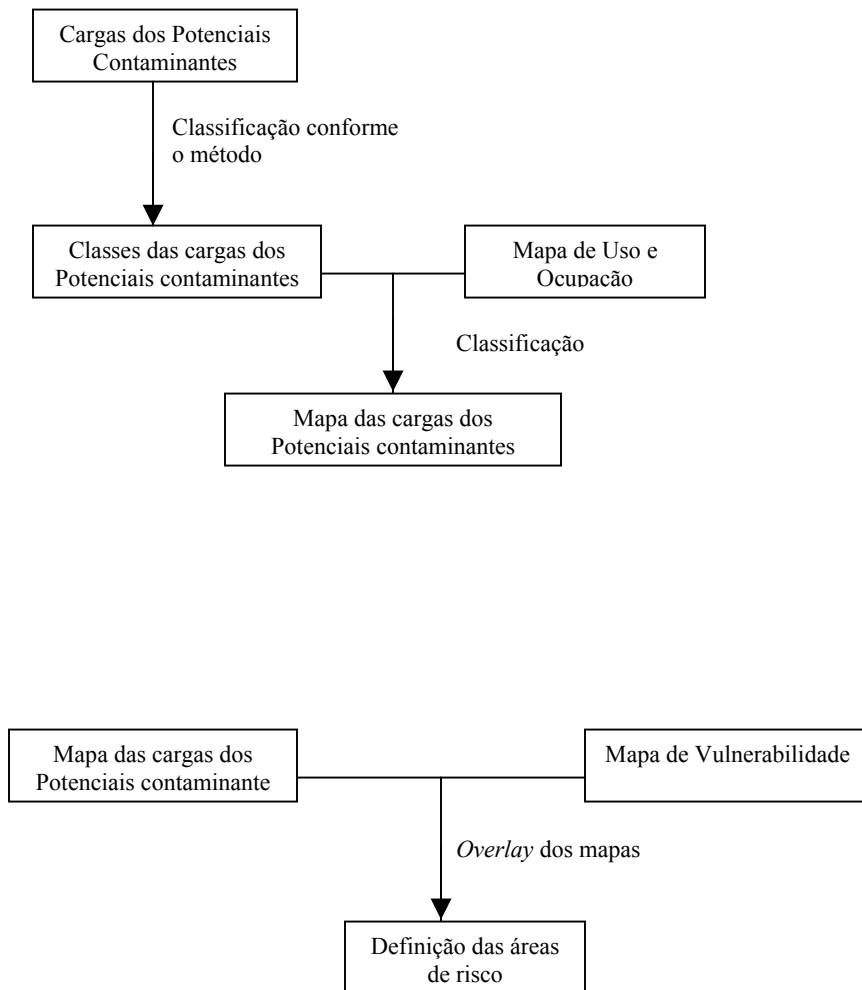
6.2-Fluxograma do mapa de solos.



6.3-Fluxograma do mapa de vulnerabilidade.



6.4-Fluxograma áreas de risco.



7 RESULTADOS

7.1 Mapa potenciométrico

Com o fim de conhecer o fluxo da água subterrânea na área de estudo, foi necessária a confecção do mapa potenciométrico. Para isso, serviu como fonte de dados, a campanha piezométrica realizada pelo PROJIR entre o período de janeiro a fevereiro de 1983, para o projeto de irrigação e drenagem da cana-de-açúcar na região Norte-Fluminense.

Após os dados planilhados, (Anexo 2) os mesmos foram tratados utilizando-se o *software Surfer 8.0 da Golden Software*, gerando o mapa potenciométrico na forma de superfície contínua e de contorno (Figura 7.1).

O mapa potenciométrico indica as direções de fluxo de água subterrânea. As maiores cargas hidráulicas situam-se na porção noroeste da área e as menores na sudeste, indicando um fluxo geral de sentido noroeste – sudeste. Como já dito por Caetano (2000) o rio Paraíba do Sul é influente – efluente, sendo que na margem esquerda ele recebe águas do Aquífero Formação Barreiras e, provavelmente, do embasamento cristalino, e descarrega na lagoa Feia e no Oceano Atlântico. Há uma contribuição das águas do aquífero cristalino na porção oeste da área.

De acordo o PROJIR (1983) grande parte da área abrangida pela várzea, à margem direita do rio Paraíba do Sul, apresenta problemas salinidade devido a presença do lençol freático próximo à superfície (Figura 7.1) e ocorrência concomitante de solos com variados teores de salinidade. A salinidade torna-se cada vez mais acentuada quanto mais próxima da lagoa Feia, onde predomina valores de carga hidráulica geralmente menores que 1m.

Conforme pode ser visto pelo potenciométrico gerado, os aquíferos freáticos da área de estudo encontram-se fragilizados em função do seu elevado nível freático, o que favorece a um rápido contato de cargas poluidoras para a zona saturada, ou pela sua relação com as águas superficiais principalmente o rio Paraíba do Sul, o qual já se encontra com níveis elevados de poluição (Freitas 2003). Este rio é influente em relação ao aquífero Deltáico. Além disso, o canal da Flecha construído em 1948 (GALLIOLI 1969), implicou em uma redução da superfície líquida da lagoa Feia em aproximadamente 100 km², e vêm drenando água desta para o Oceano Atlântico. Isto implica conseqüentemente em perda de água do aquífero já que ele descarrega nesta lagoa.

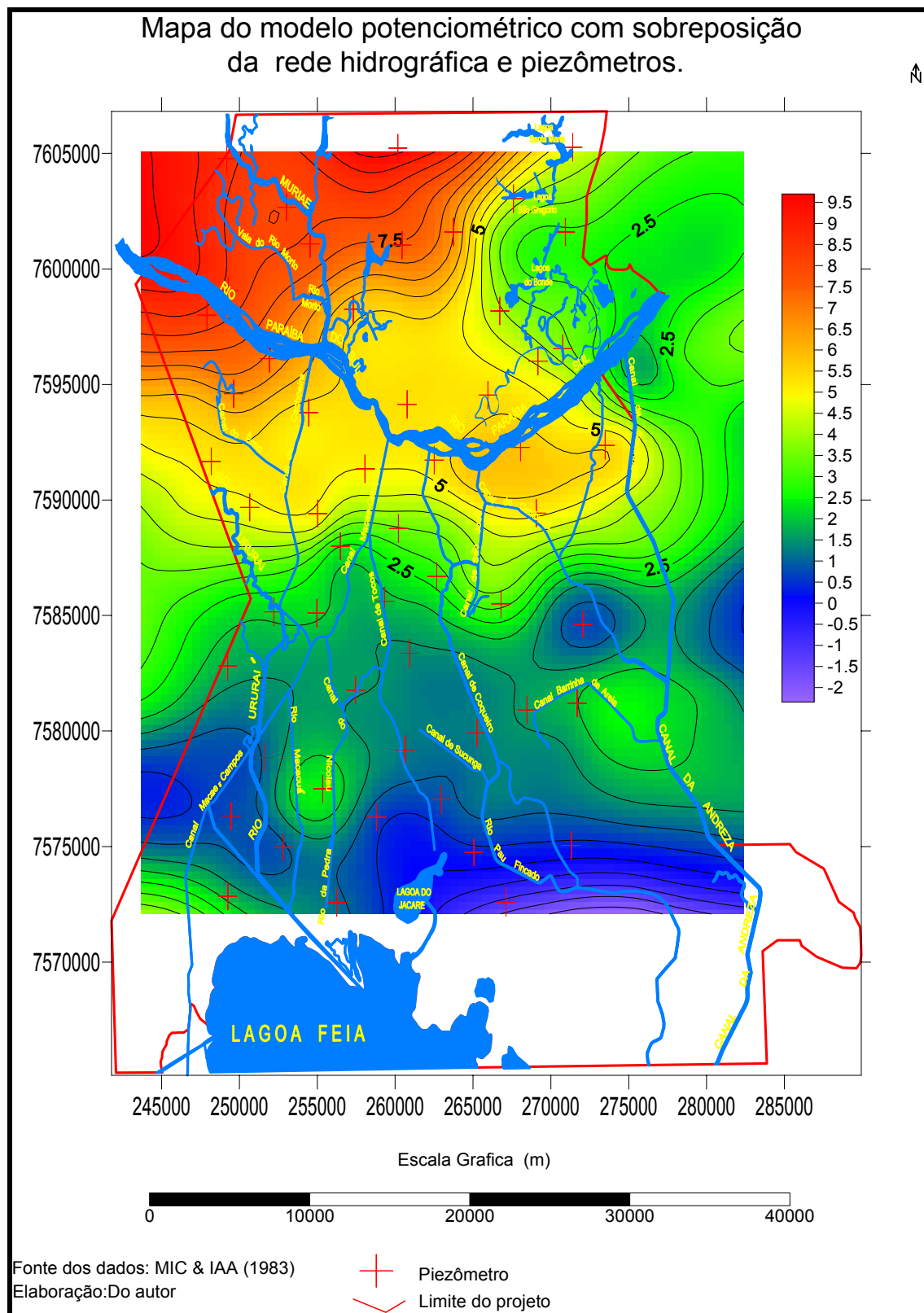


Figura 7.1– Mapa do modelo potenciométrico com sobreposição da rede hidrográfica e piezômetros.

7.2 Mapa de vulnerabilidade de aquíferos

O mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas da área estudada foi desenvolvido a partir do modelo *AVI (Aquifer Vulnerability Index)* implementado pelo Instituto Nacional de Pesquisa Hidrológica do Canadá (NHRI - Van Stempvoort *et al.* 1992). O mesmo foi escolhido em função dos dados disponíveis pelo PROJIR (1983) e pela sua fácil implementação para o local em estudo.

O mapa de vulnerabilidade foi gerado, conforme o fluxograma 3. Para isso, vários mapas intermediários foram criados, os quais serão descritos a seguir.

7.2.1 Modelo de elevação das condutividades hidráulicas do nível freático.

O valor da condutividade hidráulica é função das características do solo e do próprio líquido, destacando-se entre as primeiras: a textura, a estrutura e a porosidade. Quanto às características do líquido estão a viscosidade e a densidade.

Na área estudada observou-se extrema variação nas condições de condutividade hidráulica, motivada pela heterogeneidade dos solos lá encontrados.

No levantamento semidetalhado, realizado pelo PROJIR (1983), dos solos para a região estudada, foram feitos cerca de 9.800 observações, variando entre 1,50 e 5,0m de profundidade.

A determinação da condutividade hidráulica se processou através de teste de campo e de laboratório. Os testes de campo foram os seguintes:

- Teste de infiltração pelo método do duplo anel;
- Testes de permeabilidade em condições de lençol freático próximo à superfície, pelo método do furo de trado “*Pump-Out-Test*”;
- Testes de permeabilidade em condições de lençol profundo “*Pump-Out-Test*”.

A partir das observações e testes realizados pelo PROJIR (1983) foram elaboradas as cartas de condutividade hidráulica dos solos para a região de Campos, na escala 1:25.000.

Pela análise das nove cartas que recobrem a área de estudo, percebe-se claramente os altos valores de condutividade hidráulica e, ao mesmo tempo, uma grande variação entre estes ao longo do perfil do solo. Como forma de representar essa heterogeneidade o PROJIR (1983) criou polígonos de influência, dentro dos quais ocorrem, geralmente, várias classes de condutividade hidráulica, conforme Tabela 7.1 e Tabela 7.2.

Para adequar os dados de condutividade hidráulica para a geração do modelo de elevação foi adotada a classe com o menor valor, de acordo com Oliveira (2001), o qual comenta que, a classe de drenagem de um solo é comandada pela permeabilidade do horizonte menos permeável.

Tabela 7.1 – Classes de condutividade hidráulica de acordo com o PROJIR (1983).

Condutividade hidráulica	
Classe	Valor (m/dia)
Lenta	0,07
Moderadamente Lenta	0,31
Moderada	1,00
Moderadamente Rápida	2,25
Rápida	3,75
Muito Rápida	5,00

Tabela 7.2 – Condutividade hidráulica nos polígonos da área de estudo PROJIR (1983).

Valores de condutividade hidráulica (m/d)												
Polígonos												
1 ^a	1b	2a	2b	3a	4a	4b	4c	4d	5a	5b	6	2
5,00	1,00	0,07	1,00	0,07	1,00	0,07	0,07	1,00	1,00	3,75	0,07	0,31
3,75	3,75	0,31	3,75	1,00	2,25	0,31	3,75	3,75		1,00		
	5,00	3,75	5,00	2,25	1,00			0,31				
		5,00		5,00								

Após as digitalizações das cartas no *AutoCad Map 2000*, foram incorporados os valores de condutividade hidráulica às suas respectivas classes, findo o que, esses dados, foram exportados no formato Dxf 12 para o SIG *Idrisi* versão 3.2, no qual procedeu-se o processamento com a aplicação do interpolador *TIN* (*Triangular Irregular Network*), o qual Câmara *et al.* (1998) descreve como adequado para ser utilizado com o intuito de preservar as informações morfológicas importantes, como as descontinuidades representadas pelas feições lineares do relevo e das drenagens. Finalizada esta fase, o modelo de elevação (Figura 7.2) foi gerado no módulo de geração de superfície do *Idrisi* versão 3.2.

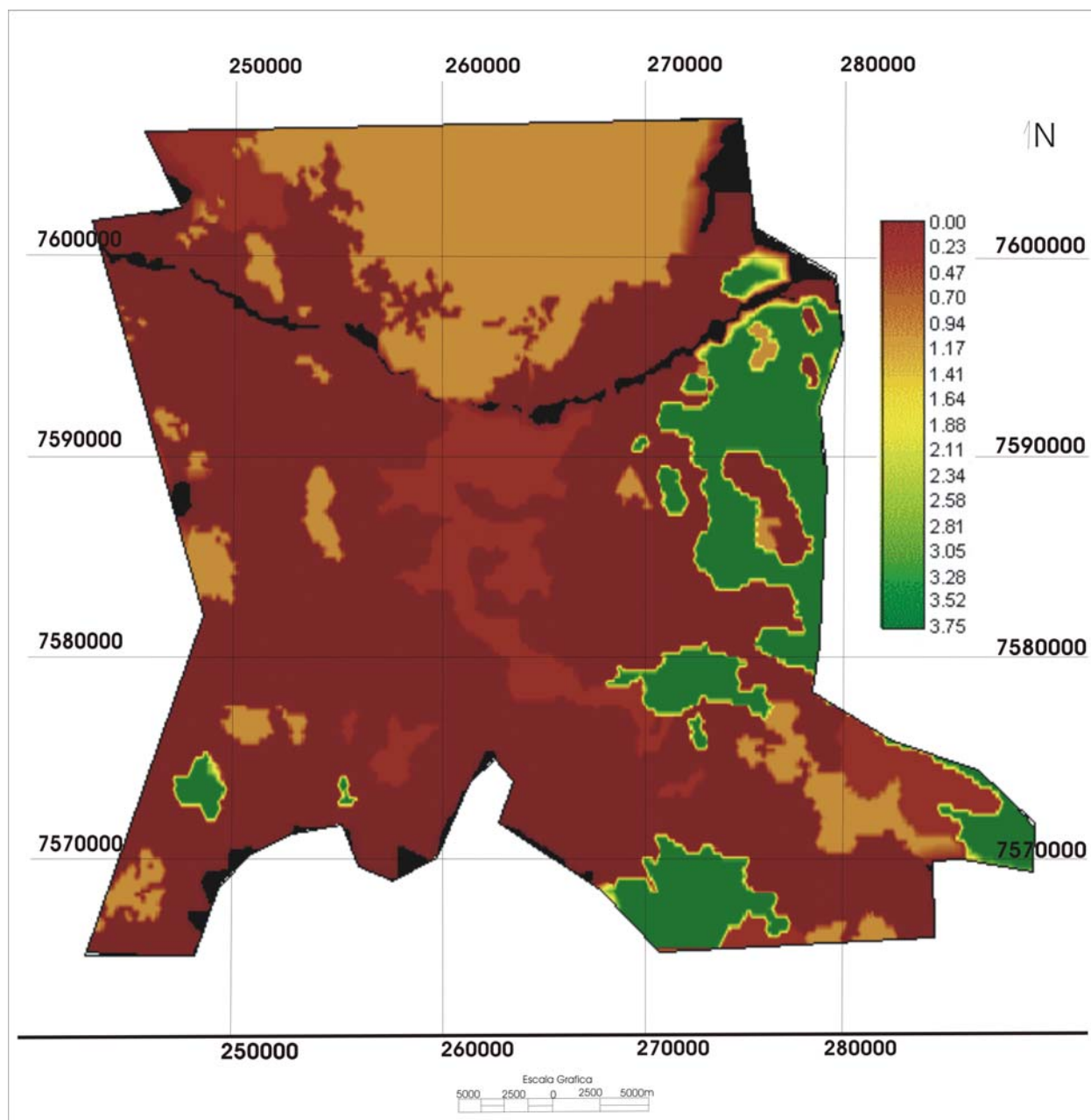


Figura 7.2 - Modelo digital da condutividade hidráulica dos aquíferos da área de estudo.

7.2.2 Modelo de elevação das profundidades do lençol freático

O projeto de irrigação e drenagem da cana-de-açúcar (PROJIR) desenvolvido na região Norte-Fluminense (PROJIR 1983), com o objetivo de analisar o comportamento do lençol freático para o estudo dos problemas de drenagem, elaborou o mapeamento com o registro das profundidades do lençol na estação de estiagem do ano de 1983 (junho a novembro) da região em estudo, na escala 1:25.000.

A partir da digitalização de nove cartas, através do *software AutoCad Map 2000* foram obtidos os dados do registro do lençol freático, os quais foram exportados em *dxf 12* para o SIG *Idrisi* versão 3.2. No módulo de análise e utilizando o interpolador *TIN*, os dados foram processados, gerando, assim, o modelo de elevação das profundidades (Figura 7.3).

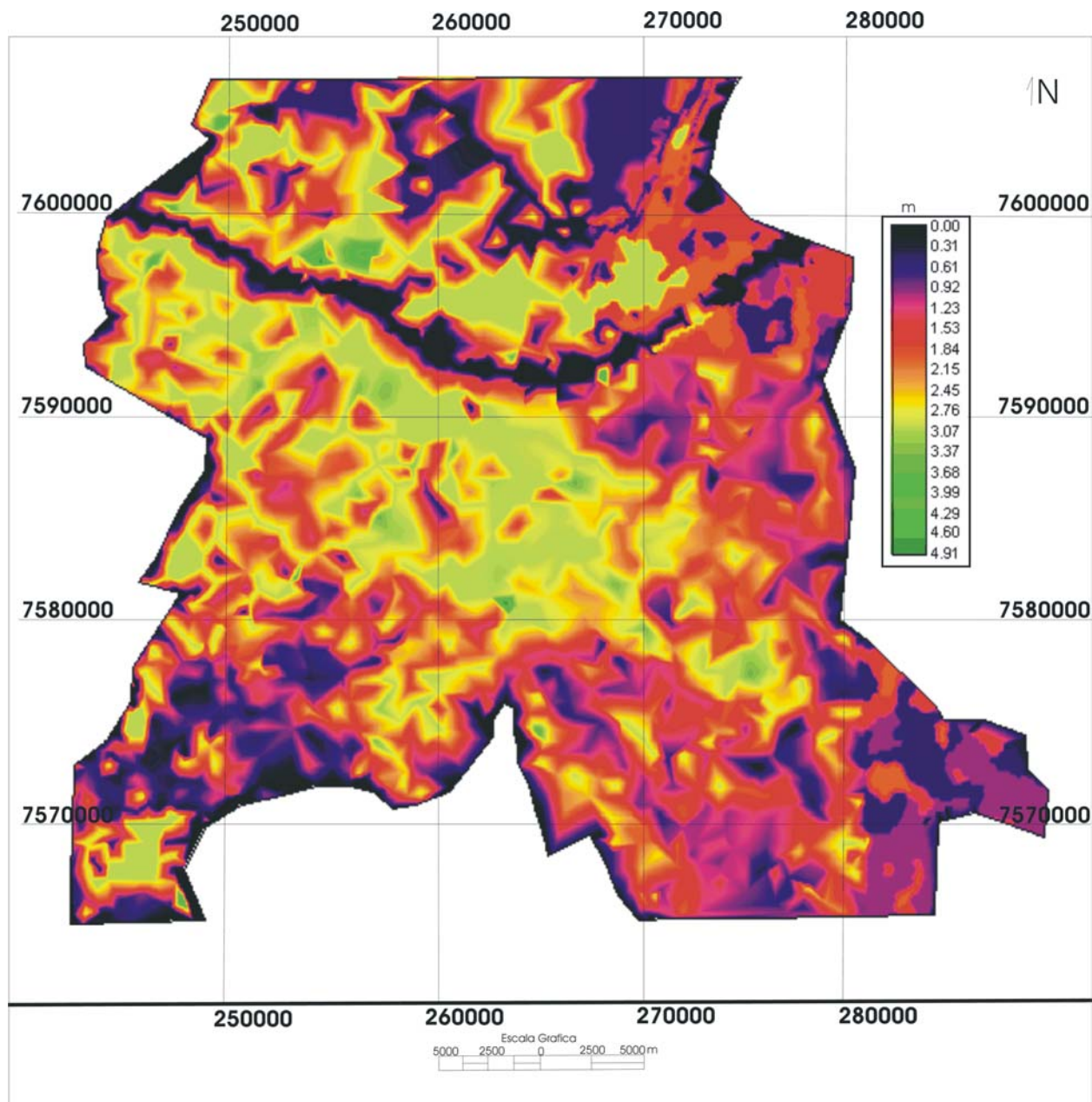


Figura 7.3 - Modelo digital das profundidades dos aquíferos da área de estudo.

7.2.3 Mapa de vulnerabilidade propriamente dita

Através do Sistema de Informações Geográficas (SIG), com o uso do *software Idrisi 3.2*, implementou-se o modelo *AVI*, expresso pela Equação 6.1. Utilizando a técnica de análise espacial, da qual faz parte a álgebra de mapas, foi realizada a operação de divisão, para os modelos de profundidade e condutividade, obtendo-se assim, um mapa com os valores das resistências hidráulicas. Após o que, usando um operador de contexto, esses valores foram

reclassificados, conforme as faixas cabíveis na Tabela 6.1. Com a finalização dessa reclassificação obteve-se o mapa formado pelas classes extremamente alta e alta vulnerabilidade (Anexo 3).

A classe com vulnerabilidade alta ocorre, em grande parte, na área localizada na margem direita do rio Paraíba do Sul, caracterizando dois extremos: a leste no sentido nordeste-sudeste compreendendo os aquíferos Deltáico e Barreiras com profundidade do lençol freático variando de 1 a 2m e condutividade hidráulica em torno de 0,1m/dia, com predominância de solos areno-argilosos e, à oeste, no sentido noroeste-sudoeste, separado por uma faixa de vulnerabilidade extremamente alta, compreende exclusivamente o aquífero Deltáico com profundidade do lençol freático em torno de 2,5m e condutividade hidráulica de 0,2m/dia, formada por solos mais argilosos. Pela margem esquerda ocorre também a classe de vulnerabilidade alta, na região de confluência do rio Muriaé com o Paraíba do Sul e uma faixa que vai das proximidades da área urbana de Campos até o limite do projeto.

A ocorrência desse índice de vulnerabilidade está diretamente ligada aos valores de condutividade hidráulica moderadamente lenta e lenta de acordo com (PROJIR 1983) e também às profundidades maiores do lençol freático.

A classe de vulnerabilidade extremamente alta concentra-se basicamente na parte norte do projeto, na área do Aquífero Barreiras, com profundidades do lençol freático variando de 0,9 a 2,5m e condutividade hidráulica por volta de 1m/dia, formada na grande maioria por solos Podzólicos Amarelos. Além desta, há a ocorrência de três faixas bem características com vulnerabilidade extremamente alta. A primeira delas é a que passa pela área urbana de Campos, no sentido sudeste, passando pelos distritos de Saturnino Braga e Muçurepe; vale salientar que essa faixa está disposta em uma região de antigos paleocanais, com profundidades do lençol freático em torno de 1,2m e condutividade hidráulica por volta de 1m/dia. Contornando a região da lagoa Feia passa a segunda faixa, em áreas dos aquíferos Deltáico e Barreiras com profundidades do lençol freático em torno de 0,9m e condutividade hidráulica em torno de 0,15m/dia. Nessa área predominam os solos com expressiva presença de matéria orgânica. A última faixa compreende uma porção entre o canal de Cambaíba e o canal de Andreza na parte leste do mapa. É uma área do aquífero Barreiras com profundidades em torno de 0,8m e de condutividade hidráulica por volta de 3m, com predomínio de solos Areno-Quartzosos.

Esta classe tem ocorrências, ora influenciadas pelos valores de condutividade hidráulica, como por exemplo, na parte norte da área do projeto, que possui valores de 1m/dia, assim como, também, na parte leste próximo ao canal de Cambaíba e Andreza com 3m/dia. Esta classificação é atribuída também à pequena profundidade do lençol freático, como ocorre na proximidade da lagoa Feia.

7.3 Mapa de uso e ocupação do solo

O mapa de uso e ocupação do solo foi utilizado para definir as atividades humanas que possuam cargas potenciais de contaminação do solo e da água subterrânea, bem como ser a base dos mapas de cargas contaminantes e de risco potencial à contaminação, pois mostram a situação espacial do uso e de seus possíveis impactos.

Para a elaboração deste mapa foi utilizada uma imagem do sensor *ETM⁺* do satélite *Landsat 7* (de fevereiro de 2003) da órbita 216 ponto 75, tendo as bandas 5 4 3 com pixel de 30m e a banda 8, com pixel de 15m de resolução espacial.

Para obtenção de melhores resultados na fase de classificação da imagem, uma composição colorida, falsa cor, foi realizada com as bandas 5 4 3, a qual permite uma fácil distinção da vegetação e das áreas antropizadas através da análise da reflectância dos alvos (Menezes e Madeira Neto 2001). Feito isso, procedeu-se a correção geométrica das imagens (composição colorida e pancromática) para, assim, minimizar as distorções ocasionadas pela posição em que a imagem foi adquirida, pois, a depender do ângulo de visada, um quadrado pode parecer um trapézio apenas por conta desta distorção (Molin 2001). Existem, basicamente, duas formas de correção geométrica: a partir do modelo orbital ou pela definição de pontos de controle no terreno. Optou-se pela segunda opção, a qual consiste, basicamente, na identificação de pontos homólogos no mapa como também na imagem (Crosta 1992). A partir da base cartográfica do IBGE, na escala 1:50.000, obtivemos as coordenadas dos pontos de controle e, utilizando o *Software ER Mapper* versão 6.2, realizamos a correção geométrica, conforme relatório de cálculo (Anexo 4). Posteriormente, uma nova imagem foi gerada a partir da fusão da composição colorida com a imagem pancromática, preservando as características da composição e obtendo uma resolução espacial de 15m.

De posse da imagem corrigida na composição colorida, falsa cor, com pixel de 15m, iniciou-se o processo de classificação multiespectral que, segundo Crosta (1999), consiste em atribuir cada pixel de uma imagem a uma de um grupo de classes. Sendo que, essa atribuição é feita com base em observações no pixel em si, na sua vizinhança e também numa série de regras. Crosta (1999) salienta que o maior problema da classificação é sua generalização em face da enorme complexidade de uma cena de satélite. Além disso, as técnicas disponíveis se baseiam apenas no agrupamento de valores de intensidade espectral. Por isso, a classificação apresenta bons resultados na indicação de tipos de cobertura caracterizados apenas por variações de intensidade, que é o caso do reconhecimento de tipos de cobertura vegetal e uso do solo.

Como abordagem para classificação de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto adotamo-se a classificação supervisionada, na qual o usuário precisa ter informações de campo para assim identificar na imagem as áreas que se deseja classificar (pastagens, hidrografia, área urbana, etc.). Por isso, na etapa de campo, foram levantados dados referentes ao uso e ocupação do solo através de um receptor GPS.

Para a classificação da imagem no *software Envi* versão 3.6 foi utilizado o método da Máxima Verossimilhança (*MaxVer*) que considera a ponderação das distâncias das médias. Em detrimento aos métodos do paralelepípedo e da distância mínima. Esta escolha foi em decorrência do exposto por Crosta (1992), que considera o método *MaxVer* superior aos dois outros métodos, em função deste ter uma maior base estatística e conseqüentemente uma classificação melhor dos *pixels* às suas respectivas classes.

Após a geração do mapa, o mesmo foi exportado para o *AutoCad Map 2000*, para a realização do tratamento cartográfico.

Pela análise deste mapa (Anexo 5), percebe-se uma grande presença de corpos d'água na área de estudo formado por lagoas, como a do Jacaré e Feia, sendo que esta ultima é local de descarga das águas subterrâneas, rios Paraíba do Sul, Muriaé e Morto, além de grandes áreas de inundação.

A monocultura da cana-de-açúcar ocupa a maior parte da área cultivável, contribuindo com uma constante carga de adubação formada por compostos químicos como a uréia e orgânicos oriundos da vinhaça.

A expansão urbana ocorre ao longo da rodovia BR-101 sentido (N-S), sendo que em Campos há a maior concentração populacional, em vista aos demais distritos como, por exemplo, Tocos, Goytacazes e Muçurepe.

O mapa forneceu uma base atualizada, com as principais características da área como culturas, hidrografia, áreas urbanas, solo exposto e estradas, para o cruzamento com as cargas potenciais de poluição, e atendeu às necessidades para o qual foi confeccionado. Além disso, poderá servir para o planejamento do espaço geográfico, já que o mesmo foi elaborado através de técnicas cartográficas apropriadas para a escala 1:50.000, sendo que, apenas para facilitar a visualização e o enquadramento no formato duplo *letter* foi impresso na escala 1:175.000.

Foi possível confirmar, também, que a composição colorida falsa-cor, resultante das bandas 543 em RGB e submetida a uma fusão com a imagem pancromática, possibilitou a obtenção de bons resultados após passar pelo sistema de classificação supervisionada pelo método *Max Ver*.

7.4 Mapa de solos

A partir do mapeamento pedológico feito pelo PROJIR (1983), para a região Norte Fluminense, foram obtidas as 10 cartas pedológicas na escala 1:25.000 no formato analógico para cobrir a área de estudo. Visando a geração de um mapa de solos mais generalizado para, assim, obter-se melhores resultados na interpretação deste com o mapa de vulnerabilidade, foram adotados os seguintes procedimentos a partir das cartas: escaneamento, mosaicagem, retificação, georreferenciamento, vetorização e acabamento cartográfico.

Utilizando um *scanner* de rolo as cartas foram escaneadas e salvas no formato *tiff*, após o que procedeu-se o recorte e mosaicagem das mesmas, através do *software PanaVue* na versão 2.12, o qual permite fazer junção (mosaicagem) de imagens sem estarem georreferenciadas, usando, para isso, o método baseado no *pixel*.

No *Software ER Mapper*, versão 6.4, o mosaico foi retificado e georreferenciado para o sistema de coordenadas UTM no *Datum* Córrego Alegre e fuso 24, após o que o mesmo foi salvo no formato *geotiff*. Dentro da plataforma gráfica do *AutoCad Map 2000*, procedeu-se as vetorizações dos polígonos das unidades de mapeamento, sendo que estas foram separadas por *layers*.

Como nas cartas pedológicas do PROJIR (1983), cada classe de solo era composta por várias unidades de mapeamento como, por exemplo, os aluviais, que são formados pelas unidades AE, AEB, AD1 e AD2, o que causava uma certa dificuldade de visualizar as classes, como a de Aluviais, no todo. Foi então que procedeu-se uma generalização, onde todas as unidades de mapeamento representativas de uma classe passaram a ser identificadas por uma única cor no mapa de solos, processo este facilmente executado no *AutoCad Map 2000*, pela simples mudança de cor do *layer*.

As informações geográficas de estradas, rios, drenagens, áreas alagadas e urbanas foram aproveitadas do mapa de uso e ocupação (Anexo 5), para serem lançadas no mapa de solos, como parte do acabamento cartográfico, sendo que, o mesmo, ficou enquadrado no formato duplo *letter*, estendido para ser impresso na escala 1:175.000.

Pelo mapa de solos da área de estudo (Anexo 6) pode verificar-se a grande variação e a irregular distribuição dos solos, principalmente pela margem direita do rio Paraíba do Sul.

De uma forma geral os solos Aluviais, Semidesenvolvidos não hidromórficos, com expressiva Gleização, Salinos e Orgânicos, possuem uma drenagem, que varia de moderado a imperfeitamente drenados. Já os solos com B textural e os solos Arenos-Quartzosos têm uma drenagem que varia, respectivamente, de bem drenados a excessivamente drenados.

Os solos Salinos Tiomórficos têm sua maior ocorrência ao sul e sudeste da área de estudo, onde predominam os menores valores de carga hidráulica, conforme o mapa potenciométrico (Figura 7.1), e também as áreas com maiores problemas de salinização, principalmente nas proximidades da lagoa Feia.

De acordo com o PROJIR (1983), provavelmente, a salinidade do lençol nessas áreas esteja relacionada com a história geológica da planície, ou seja, deve-se à influência marinha de épocas pretéritas, quando a várzea constituiu uma baía.

Atualmente, grande parte dessas terras estão sendo cultivadas com a cana-de-açúcar, conforme o mapa de uso e ocupação (Anexo 5) e, em função da salinidade acima apontada, os rendimentos obtidos, comumente no cultivo da cana-de-açúcar, são baixos, especialmente nas áreas onde o lençol está próximo ou na zona dos sistema radicular (PROJIR 1983).

7.5 Resíduos sólidos domiciliares

A disposição do lixo, a céu aberto, recebe o nome de aterro comum, simples descarga, vazadouro, bota-fora ou lixão. De acordo com a NBR 10.8703, de 1989 – ABNT, "O lixão é uma



Foto 7.1- Vista ilustrando a proximidade do manancial com o lixão (Foto do autor).

De acordo com os estudos de poluição de águas subterrâneas já realizados pelo IG (1997), os lixões sempre provocam algum tipo de poluição que acaba alterando a qualidade dos aquíferos.

Como decorrência dos processos de decomposição biológica dos resíduos sólidos urbanos, produz-se um líquido de coloração escura (chorume), ainda rico em matéria orgânica, que pode infiltrar-se no terreno e atingir o aquífero freático, poluindo-o. Em visita realizada ao lixão municipal de Campos, constatou-se o espalhamento do chorume pela área, o qual escoava direto para as águas superficiais do seu entorno.

Segundo Orth (1981), a percolação de águas que atravessa a massa de lixo e conseqüentemente arrasta o chorume, além de outros materiais em solução e ou suspensão produz os chamados percolados.

HERRERA (2000), comenta que para aterro sanitário a composição do percolado vai depender de diferentes fatores, tais como: características do lixo depositado no aterro, que são função da magnitude e das características da população servida, aspectos climáticos e hidrogeológicos, grau de estabilização do aterro sanitário, teor de umidade e idade dos resíduos

depositados. Na tabela 7.3 são relacionados alguns íons encontrados no percolado com suas possíveis origens de acordo com Segato & Silva (2000).

Tabela 7.3 -Alguns íons encontrados no percolado e suas possíveis origens (Segato & Silva 2000).

ÍONS	ORIGENS
Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}	Material orgânico, entulhos de construção, cascas de ovos, etc.
PO_4^{3-} , NO_3^- , CO_3^{2-}	Material orgânico.
Cu^{2+} , Fe^{2+} , Sn^{2+}	Material eletrônico, latas, tampas de garrafas, etc.
Hg^{2+} , Mn^{2+}	Pilhas comuns e alcalinas, lâmpadas, fluorescentes, fungicidas, tintas, amaciantes, produtos farmacêuticos, interruptores, etc.
Ni^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+}	Baterias recarregáveis (celular, telefone sem fio, automóveis), plásticos, ligas metálicas, pigmentos, papéis, vidro, cerâmica, inseticidas, embalagens, etc.
Al^{3+}	Latas descartáveis, utensílios domésticos, cosméticos, embalagens laminadas em geral, etc.
Cl^- , Br^- , Ag^+	Tubos de PVC, negativos de filmes de raio-X, etc.
As^{3+} , Sb^{3+} , Cr^{3+}	Embalagens de tintas, vernizes, solventes orgânicos, etc.

Freeze & Cherry (1979) estabeleceram faixas de variação dos teores de substâncias contaminantes dissolvidos no percolado de aterros sanitários. Na Tabela 7.4 encontram-se algumas dessas substâncias que devem estar presentes no percolado do lixão da área em estudo.

Tabela 7.4 - Faixas de variação dos teores de substâncias contaminantes dissolvidos no percolado de aterros sanitários modificado de Freeze & Cherry (1979).

PARÂMETRO	FAIXA DE VARIAÇÃO (mg/l)
K ⁺	200 – 1000
Na ⁺	200 – 1200
Ca ⁺²	100 – 3000
Mg ⁺²	100 - 1500
Cl ⁻	300 – 3000
SO ₄ ²⁻	10 – 1000
Alcalinidade	500 – 10000
Cu	< 10
Pb	< 5
Hg	< 0,2
NO ₃ ⁻	0,1 – 10
NH ₄ ⁺	10 – 1000
Demanda Química de Oxigênio	1000 – 90000
Sólidos Totais Dissolvidos	5000 – 40000
pH	4 à 8

Ao nível de um reconhecimento expedito, face às dificuldades de obtenção de informações para o lixão em estudo, adotou-se o método empírico denominado “Suíço” para o cálculo do percolado, o qual é utilizado em aterros sanitários.

O volume de líquidos percolados pode ser avaliado para os casos mais simples, pela Equação 7.1, abaixo, apresentada por Rocca (1981):

$$Q = (1/T) * P * A * K \quad \text{Equação (7.1)}$$

Onde:

Q = vazão média de líquido percolado (l/s);

P = precipitação anual média (mm);

A = área do aterro (m²);

T = número de segundos em 1 ano;

K = coeficiente dependente do grau de compactação dos resíduos urbanos, obtido pela Tabela 7.5, sendo que, para o caso do lixão, foi adotado o valor de K (0,50) para aterros fracamente compactados.

Tabela 7.5 – Valores de K para aplicação do método “Suíço” (Rocca 1981)

Tipo de aterro	Peso específico dos resíduos urbanos compactados (ton/m ³)	K
Aterros fracamente compactados	0,4 a 0,7	0,25 a 0,50
Aterros fortemente compactados	Acima de 0,7	0,15 a 0,25

Através da equação 7.1 e considerando a precipitação média de 1000mm/ano, a área do lixão efetivamente utilizada para o depósito, em torno de 10ha ou 100.000 m² e o valor de 0,50 para a constante K, calculou-se a vazão (Q) de 1,59 l/s de percolado.

Para o período de um ano o volume de percolado do lixão é de aproximadamente 50.000.000l, o que implica, conseqüentemente, na geração de uma grande quantidade de substâncias contaminantes dissolvidos neste, como o nitrato e o amônio.

Como forma de estimar a quantidade destas substâncias, além das quantidades de nitrogênio, foi utilizado a equação 7.2 de Custódio & Llamas (1976) para o cálculo da concentração deste elemento (N), presente no percolado na forma de amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻), após o que, através de regra de três simples envolvendo o volume total de percolado, obteve-se os valores (N) constantes na Tabela 7.7.

Tabela 7.6 – Peso atômico de elementos e substâncias.

	Elemento			Substância	
	N	H	O	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
Peso atômico	14	1	16	18	62

$$C_E = C_S * PA_E / PA_S \quad \text{Equação (7.2)}$$

Onde:

C_E = concentração do elemento (mg/l);

C_S = concentração da substância (mg/l);

PA_E = peso atômico do elemento;

PA_S = peso atômico da substância;

Tabela 7.7 - Quantidade de nitrogênio calculada a partir das faixas de concentração do amônio e nitrato, e em relação ao volume total de percolado produzido anualmente.

Substância	Faixas (mg/l) *	Peso (Kg) ***	Nitrogênio	
			Faixas (mg/l) **	Peso (Kg) ***
Amônio (NH₄⁺)	10 - 1000	500 – 50.000	7,78 - 777,78	388,89 – 38.889
Nitrato (NO₃⁻)	0,1 - 10	5 - 500	0,02 - 2,26	1,13 - 113
TOTAL (Anual)			-	390,02 – 39.002
(*) Faixas de concentração da substância no percolado (Tabela 7.4).				
(**) Faixas de concentração do Nitrogênio no percolado.				
(***) Em relação ao volume total de percolado (50.000.000l).				

Das formas de poluição das águas subterrâneas, resultante do lixão em estudo, considerou-se neste trabalho a poluição química, ou seja, a que se verifica através da percolação de elementos ou compostos químicos produzidos pela decomposição (estabilização) do lixo, capazes de poluir as águas subterrâneas, em particular o nitrogênio, cuja presença nos resíduos sólidos domésticos está relativamente alta e bem determinada, além de possuir maior mobilidade e persistência para atravessar o subsolo e atingir os aquíferos (principalmente na forma de nitratos, a mais estável).

Assim, o parâmetro de referência para caracterizar o potencial de poluição das águas subterrâneas do sistema aquífero sedimentar produzido pelo confinamento do lixo foi o nitrogênio.

No Brasil não existe uma legislação que forneça os limites de lançamento para este tipo específico de efluente (chorume), devendo-se obedecer às normas estaduais e a legislação federal. O valor de lançamento para efluentes de qualquer fonte poluidora estabelecido pelo CONAMA N°20 é de 5,0 mg/l para amônia, e a legislação Estadual (FEEMA) estabelece lançamento de 250mg/l para DQO, para efluentes de natureza industrial.

No trabalho realizado por Clement & Mertin (1995) há relatos de que a concentração de 404 mg/l de nitrogênio amoniacal (N - NH₄⁺) no percolado está alta, e é considerado tóxico.

Pelas considerações feitas, sobre o lixão, além de parâmetros de Freeze & Cherry (1979), Clement & Mertin (1995), CONAMA (1986), e pelos valores de nitrogênio amoniacal e nitrogênio nitrato calculados (Tabela 7.7), pode-se inferir uma carga elevada oriundo do lixão, conforme pode ser visto pelo mapa (Anexo 7).

7.6 Cemitérios

Estudos recentes (Matos 2001) provam que a prática de enterrar os mortos pode não ser a mais segura, pelo menos ambientalmente. A resolução de nº 335 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA estabelece, pela primeira vez em âmbito federal, uma série de normas para licenciamento ambiental de áreas onde haverá a construção de cemitérios. A iniciativa visa a preservação dos recursos hídricos.

Uma série de estudos vem demonstrando que os cemitérios são um dos principais responsáveis pela contaminação das águas subterrâneas. Junto com a contaminação da água, algumas doenças podem comprometer seriamente a saúde da população.

Cemitérios com carga hidráulica mais alta ou descarga mais profunda constituem a máxima ameaça de contaminação microbiológica e orgânica das águas subterrâneas (Foster & Hirata 1991).

O aquífero livre superior freático é muito susceptível e vulnerável a um processo antrópico deste tipo. Essa vulnerabilidade se deve ao seu posicionamento espacial no meio físico e acesso facilitado aos vetores químicos e microbiológicos, cujo ingresso é proporcionado pelo carreamento das águas superficiais infiltradas. Este aporte hídrico subterrâneo recarrega naturalmente o aquífero de maneira direta, perfazendo até 40% do total precipitado, em algumas situações geológicas (Silva 2000).

Foi constatada por Matos (2001) a presença de vírus e bactérias provenientes do *necrochorume* (líquido resultante da decomposição dos cadáveres) em águas subterrâneas. O líquido pode vazar para superfície ou, em alguns casos, se espalhar pelo subsolo e contaminar poços e córregos.

Dados da escassa literatura sobre o assunto indicam que o cadáver de um adulto, pesando em média 70kg, produz cerca de 30kg de *necrochorume*, dos quais 16kg é de carbono e 1,8kg de nitrogênio (Matos 2001).

Na área em estudo foram identificados 9 cemitérios de um total de 22 no município, sendo que, os mesmos, estão relacionados abaixo:

O cemitério do Caju está localizado no bairro de mesmo nome, praticamente nas margens do Rio Paraíba do Sul, possui as coordenadas em UTM N-7.593.622m e E-257.827m, com área em torno de 93.886m², e é o maior cemitério do Norte Fluminense, com uma média de 6

sepultamentos por dia, de acordo com a CODENCA, empresa municipal que administra os cemitérios de Campos.

O cemitério supracitado foi construído sobre depósitos Quaternários das planícies costeiras, formadas por sedimentos arenosos, areno-argilosos e argilosos. Situado na região formada pelo aquífero Deltáico, o qual caracteriza-se como aquífero livre, tendo sua recarga através do rio Paraíba do Sul. Isso faz com que esse cemitério se torne um dos maiores problemas de fonte de poluição do aquífero, com constantes ocorrências de água nas covas devido ao elevado nível d'água.

Os demais cemitérios estão relacionados na Tabela 7.8, com algumas características básicas.

O número de sepultamentos, além do Caju já relacionado, é de 1 cadáver ao dia por cemitério, de acordo com a CODENCA. A exceção é o Campo da Paz com 1,5 sepultamento, pelo que informou Amaral (informação verbal) proprietário do cemitério.

Tomando-se como base a composição de 6% de nitrogênio no necrochorume produzido por uma pessoa adulta, foram feitos os cálculos do volume de carga de poluição gerada pelos cemitérios.

Tabela 7.8 - Características gerais dos cemitérios em estudo.

Cemitério	Área (m²)	Coordenadas	Formação Geológica	Formação Hidrogeológica	Condutividade Hidráulica (m/dia)	Profº do Lençol (m)
Campo da Paz	60.000	N-7.588.659 E-259.418	Quaternário	Quaternário Deltáico	0,7	1,17
Tocos	10.000	N-7.578.088 E-261.773	Quaternário	Quaternário Deltáico	0,09	2,80
São Benedito	7.500	N-7.584.313 E-265.345	Quaternário	Quaternário Deltáico	0,6	>3.0
Barcelos	5.000	N-7.593.729 E-273.669	Quaternário	Barreiras	2,10	1,5
São Sebastião	5.000	N-7.581.093 E-272.097	Quaternário	Barreiras	0,3	>3.0
Santo Amaro	5.000	N-7.567.844 E-279.884	Quaternário	Emborê	0,2	2.60
São Bento	5.000	N-7.575.344 E-279.333	Quaternário	Emborê	0.3	>3.0

Na tabela abaixo, estão relacionados os cemitérios, número de sepultamentos anuais e suas devidas cargas de poluição.

Tabela 7.9 -Relação dos cemitérios com os respectivos valores calculados de necrochorume e de nitrogênio.

Cemitério	Número de sepultamentos anuais	Peso do cadáver ton/ano	Peso do necrochorume ton/ano	Peso do nitrogênio ton/ano
Caju	2.160	151,2	64,800	3,888
Campo da Paz	540	37,8	16,2	0,972
Tocos	365	25,5	10,9	0,657
São Benedito	365	25,5	10,9	0,657
Barcelos	365	25,5	10,9	0,657
São Sebastião	365	25,5	10,9	0,657
Santo Amaro	365	25,5	10,9	0,657
São Bento	365	25,5	10,9	0,657

Tomando-se como referência a carga de nitrogênio gerada pelos cemitérios (Tabela 7.9), e pelo que já foi exposto sobre os riscos de contaminação pelos mesmos, pode-se inferir uma carga elevada para o cemitério do Caju e moderada para os demais, como pode ser visto pelo mapa (Anexo 7).

7.7 Saneamento *in situ*

Os centros urbanos são os principais focos de potencial contaminação das águas subterrâneas, principalmente nas áreas sem rede de esgoto, onde o lançamento de águas servidas e excretas se dá pela infiltração, através de fossas e tanques sépticos ou negros.

Hirata (1997) salienta que as instalações sépticas, quando bem construídas, manejadas e dispostas em locais adequados, são alternativas eficientes e de baixo custo. Mas, quando carecendo destes preceitos, poderão contaminar as águas subterrâneas com bactérias e vírus patogênicos, nitratos e elevadas concentrações de sais.

Pesquisas têm comprovado que, em áreas de alta densidade de fossas sépticas, mesmo obedecendo às normas construtivas, ocorre a contaminação por nitratos (Hirata 1997).

Segundo Foster *et al.* (1992), problemas na qualidade das águas subterrâneas podem surgir quando:

- *“A espessura da camada não saturada e não consolidada abaixo da descarga do efluente é menor que três metros”;*
- *A área de infiltração é pequena, originando uma carga hidráulica excessiva e taxas de infiltração altas para permitir uma adequada filtração microbiológica, que é especialmente o caso onde numerosas casas são servidas por uma unidade individual;*
- *A densidade da população servida por saneamento in situ é alta, conduzindo uma carga excessiva de nitrogênio ao solo, causando problemas de contaminação por nitrato;*
- *Compostos de nitrogênio presentes nos excretas não representam, de imediato, perigo à qualidade das águas subterrâneas, mas podem causar problemas persistentes e de ocorrência ampla. A exemplo em um núcleo urbano, com densidade populacional de 20 hab/ha, representa uma descarga de 100 kg/ha/a que, se oxidado e lixiviado por uma infiltração de 100mm/ano, pode resultar em uma recarga ao aquífero de concentrações da ordem de 100mg NO₃ - N/l, 10 vezes maiores que as normas para água potável (10mg/l)”.*

A empresa Águas do Paraíba é atualmente a responsável pela manutenção e operação dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário para o município de Campos dos Goytacazes.

Segundo o Programa Estadual de Investimento da Bacia do Rio Paraíba do Sul (PEIBPS 1996) a cidade de Campos conta com um sistema de esgotamento sanitário implantado a partir de 1887 e que teve ampliações sucessivas de acordo com a expansão urbana da cidade.

O sistema existente atende a cerca de 50 % da população urbana através de 21.128 ligações domiciliares, 189.900 m de rede coletora em manilha de barro vidrado, com diâmetros que variam de 150 a 300mm e 20 estações elevatórias com suas respectivas linhas de recalque, as quais, na sua maioria, lançam os efluentes diretamente no rio Paraíba do Sul. Cabe ressaltar, no entanto, que a quase totalidade do sistema de esgotamento da cidade de Campos dos Goytacazes encontra-se implantado apenas na região da cidade localizada na margem direita do rio Paraíba do Sul.

A avaliação da carga poluidora urbano-residencial foi realizada com base nas informações do censo IBGE (2000) sobre o total da população nessas áreas.

As unidades mínimas de análise foram os distritos municipais de maiores relevâncias na área de estudo.

Seguindo a técnica desenvolvida por Foster & Hirata (1988), a qual considera que cada habitante seja responsável pela geração de 4kg de N-NO₃ /ano, foram calculadas as cargas poluidoras oriundas do saneamento *in situ* e classificadas em três níveis: reduzido para valores menores que 20.000kg N-NO₃ /ano, moderado para valores entre 20.000 a 50.000 N-NO₃ /ano e elevado para valores acima de 50.000kg N-NO₃ /ano. Na Tabela 7.10 estão os valores das cargas potencialmente poluidoras por localidade.

Considerando a população urbana de Campos de 316.494 habitantes, de acordo com IBGE (2000), e analisando a percentagem da população que tem atendimento por sistema de rede de esgoto, pode-se concluir que 50% da população de Campos utiliza fossa séptica. Para as demais localidades foi considerado que há uma utilização de 100% por fossa séptica.

Tabela 7.10 – Carga potencial poluidora do saneamento *in situ* em função de suas localidades.

Localidade	População que usa fossa séptica	Kg de N-NO₃ /ano	Índice de carga
Campos	158.247	632.988	elevada
Muçurepe	10.112	40.448	moderada
Tocos	7.627	30.508	moderada
Goytacazes	7.575	30.300	moderada
Santo Amaro	7.166	28.664	moderada
Ururaí	4.505	18.020	reduzida
Poço Gordo	340	1.360	reduzida
Total	209.758	839.032	

As cargas citadas acima juntamente com o mapa de uso e ocupação deram origem ao mapa de cargas de potencial poluidor, como pode ser visto no Anexo 7.

Vale salientar que mesmo a parte da população de Campos que dispõe de um sistema de rede de esgoto, gera uma carga potencial elevada, em função da precariedade deste.

7.8 Adubação para cultura da cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar na baixada campista existe desde o século XVII, quando a região de domínio deste produto agrícola ainda era a baixada fluminense (no recôncavo da Baía de Guanabara). Nas primeiras décadas do século XIX os canaviais já haviam dominado a paisagem litorânea do estado, incluindo a baixada campista. Um século depois, no início do século XX, a baixada campista torna-se a região de domínio da cana, alcançando também os tabuleiros e colinas entre as escarpas da Serra do Mar e a planície, formando uma extensa monocultura (CEDAE 1998).

Apesar da expressiva redução na atividade agrícola em todo o Estado, nos últimos anos, incluindo a cana-de-açúcar, esta cultura ainda é a maior do Estado, ocupando cerca de 136,7 mil hectares, o que representa 62% da área ocupada pelas principais lavouras.

De acordo com o censo agropecuário (IBGE 1996), o município de Campos dos Goytacazes ocupava uma área aproximada de 104.788 ha com a cana-de-açúcar, o que propicia a geração de inúmeras cargas potenciais de poluição, sendo que as mais impactantes são as oriundas da vinhaça, adubação química e aplicação de herbicidas, as quais serão abordadas a seguir.

7.8.1 Adubação através da aplicação da vinhaça

A vinhaça, conhecido líquido poluente e corrosivo, sempre foi um problema nas destilarias de álcool, sendo gerada numa proporção de 13 litros de vinhaça para cada litro de álcool produzido. Isso implica na geração de um grande volume de efluente; contudo dada a sua riqueza em potássio, matéria orgânica e teor de água, passou a ser aplicada na lavoura, com grande sucesso econômico. Para tanto, normalmente, as empresas utilizam canais sem revestimento para conduzir o líquido em pontos convenientes, onde através do método de aspersão do tipo montagem direta, é aplicada nos canaviais. Em geral, as destilarias dispõem de canal principal ou mestre, de onde o líquido é distribuído a outros canais, denominados secundários, a partir dos quais é aplicado por aspersão.

Por ser uma grande produtora de álcool, a região de Campos dos Goytacazes enfrenta sérios problemas ambientais pelo uso intensivo da vinhaça em sistema de fertirrigação do solo.

A vinhaça é produzida e utilizada durante toda a safra canavieira de Campos dos Goytacazes que, em geral vai de maio a dezembro. Durante esse período, e por anos e anos de aplicação, a infiltração do líquido vem atingindo o lençol freático e conseqüentemente provocando sua contaminação.

De acordo com Azevedo (1999) a área irrigada com a cultura da cana-de-açúcar na região Norte Fluminense, em 1999, era em torno de 21.324ha. Desse total, 12.700ha eram irrigados por aspersão na proporção de 225 m³/ha, sendo o restante da área irrigada pelo sistema de sulco de infiltração na proporção de 1000m³/ha de vinhaça.

Levando em consideração que a região em estudo é atualmente a maior produtora de álcool do estado do Rio de Janeiro e sabendo que as usinas relacionadas na Tabela 7.11 são responsáveis por maior parte dessa produção, projetou-se os dados a nível estadual de produção de álcool e regional da área de cultivo de cana para o município de Campos dos Goytacazes, do qual a área da pesquisa engloba maior parte.

Tabela 7.11 – Relação das usinas na área do projeto.

Usinas	Coordenadas (m)		Áreas para irrigação (ha)
	Norte	Este	
Sapucaia	7.603.523	250.957	7500
Santa Cruz	7.596.135	251.918	4000
Paraíso	7.576.325	263.628	1920
Cupim	7.586.540	252.248	1400
São José	7.584.873	264.917	1300

No trabalho realizado por Hirata (1994) para a caracterização da carga contaminante no subsolo em função das atividades alcooleiras que lançam a vinhaça em áreas de sacrifício, nota-se que as indústrias e destilarias que geram quantidades menores que 100 m³/dia são classificadas como de reduzido perigo potencial de geração de cargas poluidoras ao aquífero, entre 100 e 1000m³/dia, índice moderado; e elevado acima de 1000m³ /dia.

Através desses parâmetros e utilizando os dados disponíveis das usinas da área de estudo (Tabela 7.12), chegamos a uma classificação que varia de reduzido a moderado conforme (Tabela 7.13).

Tabela 7.12 - Produção de álcool/vinhaça na safra 2003 por usina, situadas na área de estudo.

Usinas	Álcool (milhões de litros)	Vinhaça (milhões de litros)
Santa Cruz	13,10	170,30
Sapucaia	11,60	150,80
São José	2,26	29,38
Paraíso	1,20*	15,60
Barcelos	1,00*	13,00
Cupim	0,80*	10,40

(*) Valores estimados em função da produção regional.

Tabela 7.13 – Classificação da carga poluidora oriunda da vinhaça e suas respectivas unidades produtoras.

Usinas	Vinhaça (milhões de litros)	Carga poluidora (m³/dia)*	Classificação
Santa Cruz	170,30	709	Moderado
Sapucaia	150,80	628	Moderado
São José	29,38	122	Moderado
Paraíso	15,60	65	Reduzido
Barcelos	13,00	54	Reduzido
Cupim	10,40	43	Reduzido

(*) Considerando 8 meses de safra.

Na região é utilizado também o método de fertirrigação e por isso houve a necessidade de recorrer a outros autores com seus respectivos parâmetros para uma avaliação do potencial de poluição causado pela vinhaça.

Gloeden *et al.*(1991), citado por Pereira (2003), estudando a mobilização dos elementos químicos que compõem a vinhaça na zona não saturada e saturada do aquífero Guarani, detectou que, após aplicações nas taxas de 150 a 300 m³/ha, havia risco de contaminação pelos elementos cloreto, carbono orgânico, amônia e nitrogênio.

Em considerações feitas por Pereira (2003) sobre impactos da vinhaça sobre o solo e água subterrânea, a autora cita o estudo de Cruz *et al.* (1991 apud Ludovice 1997), no qual foi demonstrado que há uma elevação de nitrato nas águas subterrâneas, em cultura de cana-de-açúcar que recebe uma taxa anual de 300m³/ha por aspersão, em áreas com variação de 0 a 15 anos de experimentação, apesar da manutenção da fertilidade do solo.

Levando em consideração os estudos acima, além de Freitas (2003), que levantou dados de campo referentes à qualidade da água subterrânea para a área do Aquífero Quaternário Deltáico, infere-se uma carga potencialmente moderada, oriunda da vinhaça conforme o mapa (Anexo 8).

7.8.2 Adubação química

É comum, ao nível de campo, os agricultores diversificarem o uso dos compostos químicos na lavoura, bem como alterarem, em algumas condições, as recomendações técnicas das dosagens dos produtos em uso; em função disso, procurou-se adotar as recomendações técnicas de campo para a realização dos cálculos de carga, expresso em valores de nitrogênio.

Levando em consideração que as áreas irrigadas já recebem adubação pela aplicação da vinhaça, portanto excluída da adubação química, principalmente por nitrogênio, tem-se uma área resultante de 83.464ha, disponível a essa prática de adubação.

Tendo como base as informações de Manhães (1999) no boletim técnico nº 12 da UFRRJ tem-se as seguintes formas de adubação:

- A adubação nitrogenada para a cana-planta é recomendada na dose de 60kg/ha a qual deve ser aplicada de uma só vez por ocasião do plantio;
- Em relação às canas socas, a adubação nitrogenada deve ser de 60, 70 e 80 kg/ha para a 1^a, 2^a e para 3^a soca respectivamente.

Para efeito de uniformização nos cálculos foi adotada apenas a primeira opção acima citada. Abaixo encontra-se a tabela com os devidos valores de cargas de nitrogênio:

Tabela 7.14 – Estimativa da carga potencial poluidora devido a aplicação de fertilizante nitrogenado para a cultura da cana-de-açúcar.

Cultura	Área (ha)	Dosagem Kg/ha/ano	Nitrogênio ton/ano
Cana-de-açúcar	83.464	60	5007,8

Na agricultura moderna, grandes quantidades de substâncias químicas são lançadas sobre a superfície do solo, principalmente na forma de fertilizantes com o intuito de incrementar a produção agrícola. Quando estes são aplicados acima da capacidade-suporte do solo, podem liberar íons e compostos tóxicos ou não, que poderão poluir o solo e as águas subterrâneas. Os íons disponibilizados na solução do solo podem ser adsorvidos ao solo, absorvidos pelas plantas ou lixiviados das camadas superficiais do solo (Costa *et al.* 1999).

De acordo com Edward *et al.* (1972), o nitrogênio na sua forma de íons de nitrato quando disponibilizados na solução do solo, são rapidamente carregados pelo perfil deste solo.

Segundo Spalding *et al.* (1982), aplicações excessivas de fertilizantes nitrogenados no solo têm sido a causa de freqüentes casos de contaminação das águas subterrâneas.

A alta solubilidade das formas nítricas e a conseqüente fraca interação com a matriz do solo, possibilita que o ânion acompanhe a frente de umedecimento da água no solo, possibilitando assim, o nitrato movimentar-se para baixo, devido as condições de excessiva precipitação ou irrigação, ou para cima, por capilaridade em períodos secos (Muchovej & Rechcigl 1994).

Nos solos positivamente carregados, os quais têm capacidade de troca aniônica não desprezível, o nitrato pode ser adsorvido. A textura do solo e o conteúdo de matéria orgânica têm mais influência nas perdas por lixiviação. Em função disso, solos de textura mais grosseira e de baixo percentual de matéria orgânica possibilitam maiores perdas de nitrato por lixiviação, enquanto os solos argilosos permitem menores perdas (Muchovej & Rechcigl 1994).

Em geral, para os mesmos autores, perdas de nitrato por lixiviação em solos arenosos são mínimas quando o nitrogênio é aplicado em taxas menores que 200kg/ha/ano e aumenta rapidamente em taxa maiores. Nesses solos, os limites de potabilidade (10mgL^{-1}) da água subterrânea foram suplantados por taxa de aplicação entre 350 e 400kg/ha/ano, em áreas cultivadas com pasto.

Comparando os valores (Tabela 7.14) com os parâmetros mencionados por (Muchovej & Rechcigl 1994) e levando em conta as considerações feitas por Foster *et al.* (1992) sobre estimacão da carga contaminante potencial na recarga das águas subterrâneas, pode-se concluir que, possivelmente, a carga poluidora derivada da adubação química nitrogenada para a área de estudo é moderada, como pode ser visualizado pelo mapa (Anexo 8).

7.9 Agrotóxicos

Estes produtos são definidos como: "Produtos químicos destinados ao uso em setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas nativas ou implantadas e de outros ecossistemas, e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como as substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores do crescimento" (Decreto nº 98.816, de 11 de janeiro de 1990).

De acordo com o relatório de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável divulgado em agosto de 2004 pelo IBGE, o uso de agrotóxico no Brasil aumentou de 2,3 kg/ha para 2,8 kg/ha, uma elevação de 22%. O Brasil está entre os maiores usuários do produto, perdendo apenas para a Holanda, Bélgica, Itália, Grécia, Alemanha, França e Reino Unido, segundo dados do Sindicato Nacional das Indústrias de Defensivos Agrícolas (SINDAG).

Na cultura da cana-de-açúcar, em Campos dos Goytacazes, são utilizados os controles biológicos em substituição de inseticidas e fungicidas, mas para o controle das plantas daninhas é intenso o uso de herbicidas tanto nas usinas e destilarias quanto entre os fornecedores devido a sua eficiência e a dificuldade de utilização isolada de outros métodos (manejo preventivo, cultural e mecânico). A cana-de-açúcar é uma das culturas que mais utiliza herbicidas no Brasil, entretanto, este quadro tende a se modificar com o aumento do corte mecanizado de cana crua (Thurler *et al.* 1999).

De acordo com Thurler *et al.* (1999) as aplicações de herbicidas podem ser feitas:

- Em pré-plantio realiza-se antes do plantio da cana-de-açúcar, podendo os herbicidas serem aplicados no solo preparado, em pré-emergência das plantas daninhas, ou pós-emergência. Os herbicidas mais utilizados para este tipo de aplicação são o *glyphosate* e o *trifluralin*;
- Em pré-emergência, realiza-se antes da brotação da cana-de-açúcar e da germinação das plantas daninhas. Diversos produtos são registrados para essa situação, podendo ser citados o *ametryne*, *diuron*, *isoxaflutole* e o *tebuthiuron*;
- Pós-emergência realiza-se após a emergência das plantas daninhas e normalmente também da cultura, podendo ser pós-inicial quando as plantas daninhas estão em estágio

de plântulas, ou em pós-tardia quando as plantas estão em estágio adulto. São utilizados os herbicidas ametryne, *diuron*, *2,4-D* e *MSMA*.

Em função da recomendação exposta foram relacionados os herbicidas constantes na Tabela 7.15. As respectivas propriedades físico-químicas dos princípios ativos dos produtos foram obtidas a partir de Rodrigues & Almeida (1998), Dores e De-Lamonica-Freire (2001) e Cezarino (1997) (Tabela 7.16).

É grande o grau de dificuldade na avaliação de riscos de contaminação de ambientes aquáticos, decorrente do uso dos agrotóxicos, dada a grande quantidade de processos envolvidos nessa dinâmica (Figura 7.5). Segundo Duarte (2003), os agrotóxicos depois de aplicados seguem os seguintes destinos:

- Absorção pelas plantas, exudação e retenção pelas culturas e/ou resíduos de culturas;
- Escorrimento superficial (*runoff*) na forma de soluto ou adsorvido;
- Adsorção/dessorção na matéria orgânica, argilas e superfícies minerais;
- Difusão na fase gasosa;
- Transporte hidrodinâmico, incluindo a advecção dispersão, como soluto na fase aquosa;
- Biodegradação ou degradação biológica, levando a molécula a ser transformada em metabólitos (ativos ou inativos) ou até mesmo à mineralização completa ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$);
- Degradação química sem intermediação de organismos vivos;
- Fotólise na superfície do solo, através da luz solar.

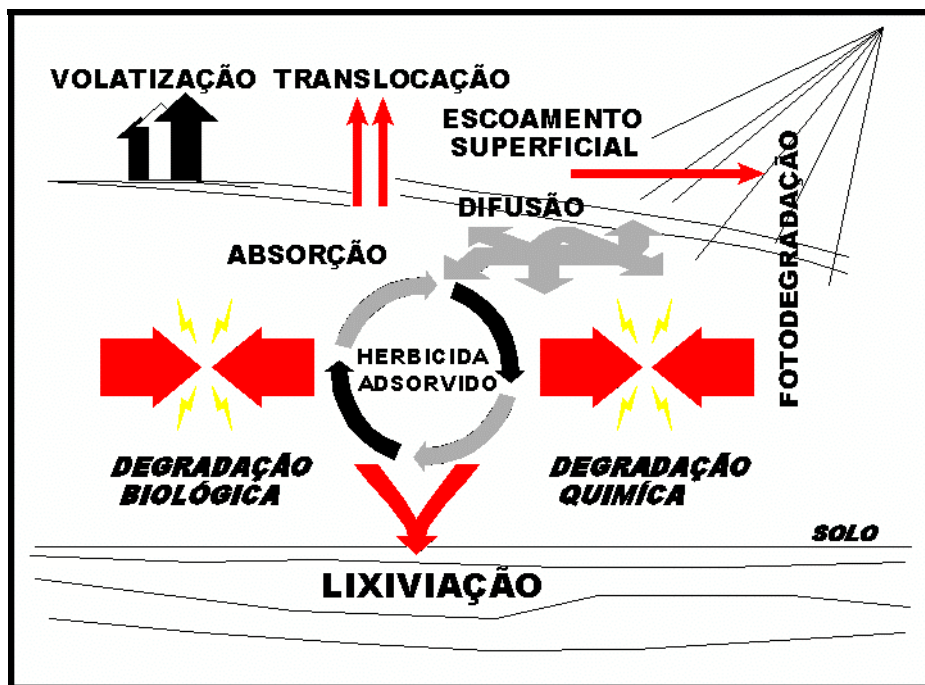


Figura 7.5 - Processos dos herbicidas no solo (Duarte 2003).

Diversos estudos têm demonstrado que a porcentagem dos produtos utilizados na agricultura, que atinge os ambientes aquáticos, é geralmente baixa, mas, quando se trata de pesticidas, persistentes e com grande mobilidade no ambiente, têm sido encontrados em águas superficiais e subterrâneas.

De acordo com Higashi (1991), a concentração da maioria dos agrotóxicos em água é baixa, em função de serem geralmente pouco solúveis em água e também pelo efeito de diluição. Isto, porém, não exclui a possibilidade de que concentrações muito altas venham a ocorrer, depois de pesadas chuvas, especialmente quando as áreas ao redor de um pequeno córrego tenham sido recentemente tratadas com altas doses de agrotóxicos. Mesmo em concentrações baixas, os agrotóxicos representam riscos para algumas espécies de organismos aquáticos que podem concentrar estes produtos até mil vezes.

Ao nível de avaliação preliminar de risco potencial, em função das características das substâncias usadas e do ambiente do local em estudo, foram adotados os seguintes critérios de “Screening”:

- Critério da Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos – EPA;
- GUS - “Groundwater Ubiquity Score”.

Cohen *et al.* (1995) descreve os critérios do método “*Screening*”, sugerido pela EPA na análise dos riscos, os quais são:

- Solubilidade em água > 30 mg/l;
- Coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo $K_{oc} < 300-500$;
- Constante da Lei de Henry $K_H < 10^{-2} \text{ Pa.m}^3/\text{mol}$;
- Especiação: negativamente carregado a pH normal do ambiente (5-8);
- Meia-vida no solo > 2-3 semanas;
- Meia-vida na água > 25 semanas;
- Condições de campo que favorecem a percolação no solo:
 - Pluviosidade anual > 250 mm;
 - Aquífero não confinado;
 - Solo poroso.

De acordo com Funari *et al.* (1991), o índice *GUS* é calculado através dos valores de meia-vida do composto no solo e do coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo, não levando em consideração outras propriedades como solubilidade em água.

O *GUS* é calculado pela equação:

$$GUS = \log T_{1/2} * (4 - \log K_{oc}) \quad \text{Equação (7.3)}$$

Onde:

$T_{1/2}$ = meia vida no solo (dia);

K_{oc} = Coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo (cm^3/g);

As faixas de classificação dos compostos, de acordo com sua tendência à lixiviação são:

- $GUS < 1,8$ – não sofre lixiviação;
- $1,8 < GUS < 2,8$ – faixa de transição;
- $GUS > 2,8$ – provável lixiviação.

Segundo Cohen *et al.* (1995), compostos classificados na faixa de transição e de lixiviação provável, de acordo com o índice *GUS*, requerem investigação adicional usando métodos mais detalhados. Compostos classificados como improváveis de sofrerem lixiviação podem, seguramente, ser considerados como não contaminantes de águas subterrâneas.

Aplicando os critérios acima, e considerando as propriedades apresentadas na Tabela 7.16, chegou-se a análise do risco de contaminação das águas subterrâneas oriundos dos herbicidas (Tabela 7.17).

Foram considerados contaminantes em potencial aqueles princípios ativos para os quais a maioria das propriedades físico-químicas disponíveis indicava uma possibilidade de contaminação das águas subterrâneas.

Pelo exposto fica claro que possivelmente a carga potencialmente poluidora gerada pelos herbicidas é elevada, para a área de estudo (Anexo 9).

Tabela 7.15 - Principais herbicidas utilizados na área de estudo.

Nome comercial	Princípio ativo	Classe química	Classe toxicológica
Gesapazi	Atrazine	Triazinas	III
Cmbine	Tebuthiuron	Derivado de uréia	III
Dessecan 480	MSMA	Arsênicas orgânicas	II
Gesapax 500	Ametryne	Triazinas	III
Glifosato	glifosate	Glicina	II
Trifluralina 600	trifluralin	Dinitroanilinas	II
Karmex	diuron	Uréias substituídas	II

Tabela 7.16 - Características físico-químicas dos princípios ativos.

	Princípio ativo						
	Atrazine	Tebuthiuron	MSMA	Ametryne	Trifluralin	Glifosate	Diuron
Pressão de vapor (Pa)	$2,9 \times 10^{-7}$	1×10^{-7}	1	$8,4 \times 10^{-7}$	$9,5 \times 10^{-3}$	desprezível	$6,9 \times 10^{-8}$
Solubilidade em água (mg/l)	133	2500	1040000	185	0,221	900000	42
Log Kow	2,5	1,8	—	2,63	5,2	$\text{Log } 0,17 \times 10^{-2}$	2,8
Kow (cm^3/g)	481	63,1	<1	427	118000	0,0006	589
Koc (cm^3/g)	124	80	7000	30	6.417	24000	420
DT50 água (dias)	105-200	—	—	—	—	—	—
DT50 no solo (dias)	60-150	360-430	180	120-180	170	47	90
KH ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}$)	$2,9 \times 10^{-4}$	—	—	—	—	—	—
GUS	3,86	5,45	0,34	5,48	0,43	0,64	2,70

Tabela 7.17 - Avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas com base nos critérios de “Screening” e no índice *GUS* para a área de estudo.

Principio ativo	Solubilidade	Koc	DT ₅₀ solo	DT ₅₀ água	KH	GUS	Resultado
Atrazine	α	α	α	α	α	α	CP
Tebuthiuronon	α	α	α	-	-	α	CP
MSMA	α	β	α	-	-	β	IN
Ametryne	α	α	α	-	-	α	CP
Trifluralin	β	β	α	-	-	β	NC
Glifosate	α	β	α	-	-	β	IN
Diuron	α	a	α	-	-	α	CP
α – substância atende ao critério como potencial perigoso; β – substância não atende ao critério como potencial perigoso; CP – contaminante em potencial; NC – não contaminante; IN – intermediário; KH –Constante da lei de Henry. DT – meia-vida							

7.10 Drenagens

As drenagens são fontes lineares de poluição quando há infiltração de águas superficiais de rios e canais contaminados para o aquífero freático. A possibilidade desta poluição ocorrer dependerá do sentido do fluxo de água subterrânea existente entre o curso d’água e o aquífero subjacente. É necessário enfatizar que, ao longo de um mesmo curso, há lugares onde o fluxo se dá do aquífero para o rio e outros onde se passa o inverso, isto é, as águas do rio se infiltram em direção ao aquífero.

Foster & Hirata (1991) classificam os cursos de água superficial em função de sua relação com as águas subterrâneas conforme Figura 7.6 em:

- Efluente: o curso de água que recebe descarga das águas subterrâneas;

- **Influente:** o curso de água que perde, cujos níveis são mais altos do que os níveis de água subterrânea e que tem o potencial para recarregar aquíferos.

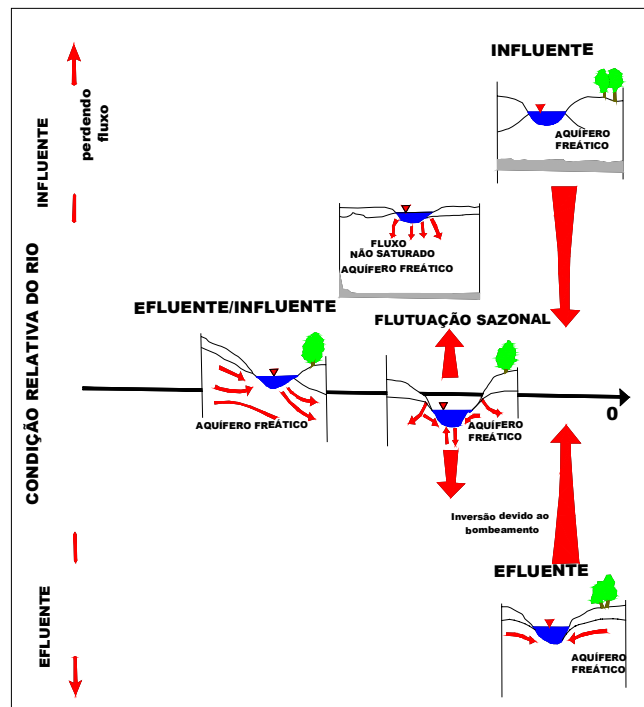


Figura 7.6 - Drenagem em relação ao aquífero (Foster & Hirata 1991).

Para avaliar o risco de contaminação das águas subterrâneas por cursos de água superficiais é necessário estimar a quantidade e qualidade da água infiltrada pelos leitos dos rios para as águas subterrâneas.

Ao nível de reconhecimento, é difícil estabelecer tais dados com segurança e, qualquer curso de água muito contaminado em condições de baixo fluxo deve ser considerado como um potencial elevado de contaminação das águas subterrâneas.

O Rio Paraíba do Sul em seu estágio sedimentar transpassa a Baixada numa cota superior, favorecendo no passado a ocorrência de inundações e alagamentos sazonais. Buscando o saneamento e a expansão de áreas agrícolas, o Departamento Nacional de Obras e Saneamento – DNOS, construiu uma extensa rede de canais artificiais, com cerca de 1500 km, com funções de irrigação e drenagem. Com a extinção do DNOS, em 1989, a manutenção e controle dos canais ficaram comprometidos, em função do abandono e da má utilização do sistema (Foto7.2). Um resultado caótico foi observado, principalmente devido às intervenções pontuais, de acordo com interesses particulares e isolados, causando ineficiência nos canais e uma série de conflitos pelo uso da água (PEIBPS 1996).



Foto 7.2 - Situação de abandono do canal Campos – Macaé (Tecnorte 2001).

Os problemas advindos do mau funcionamento do sistema são agravados pela condição climática da região, que apresenta períodos definidos de chuva e seca. No período de seca, quando o nível do Rio Paraíba do Sul está abaixo da cota de 5,70 m, a captação de água para os canais torna-se difícil e muitas vezes não ocorre, ficando complexa a regularização das águas. Na época chuvosa, ocorrem problemas de outra natureza, pois, com a elevação do nível das águas do Paraíba e a ocorrência de fortes chuvas, há a necessidade de controlar as comportas adequadamente, para se evitar inundações e represamentos (PEIBPS 1996).

De acordo com o PEIBPS (1996), outro grande problema no sistema é a sua manutenção. O controle periódico das cotas de fundo, da vegetação aquática e dos taludes exige equipamentos de grande porte (escavadeiras hidráulicas e mecânicas), além de mão de obra treinada e experiente. Associado a esses problemas, os canais também são utilizados para deposição de lixo e esgoto, principalmente na zona urbana (Foto 7.3), o que se torna um agravante.

A partir do quadro descrito acima, se conclui que no período chuvoso, devido a topografia plana, a rede de canais deveria assumir papel preponderante no processo de drenagem, enquanto no período seco, atuariam como canais de adubação para uso agropecuário. A não regularização do sistema e as intervenções de interesses individuais fazem com que o sistema não funcione adequadamente, causando sérios transtornos nas áreas urbana e rural.



Foto 7.3 - Trecho em área urbana do canal Coqueiro (Tecnorte 2001).

Os canais Macaé-Campos, Tocos, Nicolau e Coqueiros foram considerados como carga potencialmente elevada, principalmente por receberem resíduos urbanos. Já os demais canais, como Cambaíba, Andreza e Cachoeira, por não terem influência direta da área urbana, foram classificados como de carga moderada, em face da situação de abandono que geralmente se encontram (Anexo 10).

7.11 Postos de combustíveis

O município de Campos está totalmente defasado com relação à existência de bases cartográficas, dificultando assim, o planejamento, a organização e o desenvolvimento do seu território. O único documento cartográfico disponível data da década de 80 e foi elaborado pelo PROJIR nas escalas de 1:10.000 e 1:25.000. Diante dessa situação e pela necessidade da obtenção de uma base cadastral com os arruamentos atualizados, é que se utilizou o recurso do processamento de imagens para a montagem de um mosaico baseado na fusão de pixel a partir dos dados do setor censitário do IBGE para o ano de 2001.

A documentação do IBGE é formada por arquivos digitais, no formato *Pdf*, de toda a área urbana do município distribuída por setores censitários, sendo que, estes estão em diversas escalas. Devido a este problema, primeiramente foi estimada a quantidade de arquivos a serem

processados, obtendo um número total de 50. Posteriormente, através do *software Corel Draw* versão 10, os arquivos foram convertidos para o formato *tiff* e, como nas margens dos mesmos existiam notas explicativas, recorreu-se à utilização do recurso *Cropping* do *software PanaVue* na realização da operação de recorte, automaticamente, para todas as imagens. A partir daí, deu-se início a montagem do mosaico, com as imagens recortadas, no *software PanaVue*. Percebeu-se, ao decorrer do processamento, a grande capacidade do *software* em fazer a junção das imagens (que apresentavam diferentes escalas como 1:4.700 e 1:6.000), originando um produto de boa qualidade.

Após a formação do mosaico final, o mesmo, foi georreferenciado no *AutoCad Map 2000* tendo, como referência para obtenção das coordenadas, a base cartográfica do IBGE na escala 1:50.000.

O detalhamento da área foi necessário para a locação dos postos de gasolina existentes na área urbana (principalmente) e definir regiões com ausência de saneamento básico, fontes estas potenciais de contaminação.

De acordo com Foster *et al.* (1993) os vazamentos de combustíveis em tanques subterrâneos são acidentes ambientais e suas ocorrências podem resultar numa carga poluente e descontinua no subsolo.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) criou a resolução de nº 273 de 29 de novembro de 2000, pautado em considerações feitas sobre os vazamentos de derivados de petróleo e outros combustíveis e seu potencial de contaminação aos recursos hídricos; incluindo o risco de incêndio e explosões decorrentes desses vazamentos.

No ciclo de circulação dos combustíveis dentro de um posto, pode-se caracterizar três partes principais:

- Sistema de armazenamento subterrâneo;
- Respiros;
- Bombas abastecedoras.

O sistema de armazenamento subterrâneo é composto por tanques e dutos subterrâneos.

Os respiros são responsáveis pela exalação de vapores durante o abastecimento dos tanques subterrâneos, e os mesmos devem ser colocados no ponto mais alto destes. Sempre que for possível, os respiros devem ser visíveis pelo ponto de enchimento, além de terminarem em área aberta, numa posição em que qualquer vapor do combustível seja dispersado e, no caso de um

transbordamento, não haja danos à propriedade, riscos de incêndio, contaminação do solo ou cursos de água (Resolução CNP N° 08/71).

As bombas abastecedoras cumprem a função de distribuir os combustíveis aos veículos.

Em função desta estrutura e conforme (Guiguer 2000) pode-se relacionar algumas causas principais de vazamentos:

- Um derramamento durante a operação de transferência de produto para o tanque;
- Vazamentos no sistema, devido à corrosão;
- Falhas estruturais do tanque ou da tubulação conectada ao tanque;
- Instalação inadequada;
- Caixas separadoras de água e óleo.

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA 1991) o tamanho e a idade de um tanque podem contribuir para a extensão da contaminação e para o tipo de ação corretiva a ser utilizada no local.

De acordo com Guiguer (2000) pesquisas realizadas pelo Departamento de Recursos Ambientais da Pensilvânia (PADER) demonstram que os vazamentos em postos de serviço neste estado estão relacionados a:

- 49 % dos vazamentos ocorrem nos tanques;
- 39 % ocorrem nos dutos subterrâneos;
- 12 % ocorrem nos tanques e nos dutos.

Além disso, 53% dos vazamentos nos dutos ocorreram dentro de 10 anos após a instalação e 77%, dentro dos primeiros 15 anos. Em contraste, 71% dos vazamentos ocorridos em tanques aconteceram depois de 10 anos de instalação e 46%, depois de 15 anos.

Dados da CETESB revelam que, nos últimos cinco anos, ocorreu um número significativo de casos de vazamento de combustíveis no Estado de São Paulo, causados pela falta de manutenção de equipamentos, pela deterioração de tanques e tubulações e, também, por falhas operacionais decorrentes do despreparo dos profissionais que atuam nesses estabelecimentos. Para a Divisão de Tecnologia de Riscos Ambientais da CETESB, os vazamentos em postos de gasolina têm sido responsáveis por cerca de 10% de todas as emergências atendidas. Foram 33 casos registrados em 1997, 69 em 1998, 67 em 1999, 54 em 2000 e 38 casos em 2001.

No município de Campos dos Goytacazes a situação não é muito diferente em relação a São Paulo, com o agravante que em Campos há um crescimento exacerbado de novos postos de

combustíveis o que torna preocupante a nível de risco de poluição do lençol freático. De acordo com a Secretaria de Meio Ambiente de Campos (SEMAM) o crescimento é impulsionado pela proximidade do centro de distribuição de combustíveis da Petrobrás que fica localizado em Macaé, além do próprio desenvolvimento pelo qual o município vem passando, fruto dos *royalties* do petróleo e gás.

Na área do projeto foram identificados 44 postos de combustíveis a partir de uma listagem de 80 postos, fornecida pela Associação dos Proprietários de Postos de combustíveis, na qual constavam os dados cadastrais do empreendimento e seu respectivo proprietário; não foi possível obter a posição geográfica dos mesmos, haja vista não ser comum o georeferenciamento dos postos junto aos órgãos ambientais, e nem tão pouco realizar o levantamento dos mesmos com o Sistema de Posicionamento Global (GPS), devido o pequeno espaço de tempo alocado para as atividades de campo para este projeto. Para contornar essa situação os postos foram agrupados pelo nome de suas respectivas ruas, foram posicionados ao nível de quadra (Anexo12) tomando como referencia a base cartográfica gerada a partir dos dados dos setores censitários da área urbana de Campo dos Goytacazes, obtendo assim as suas respectivas coordenadas no sistema UTM (Anexo 11). A partir daí eles foram lançados no mapa de uso e ocupação de solo na escala de 1:50.000 da área em estudo.

Devido à falta de informações técnicas concernentes aos postos e pela demora por parte da Secretaria da Fazenda, único órgão capaz de fornecer dados a respeito do tempo de funcionamento dos mesmos, foi adotado uma classificação de acordo com as informações verbais obtidas da SEMAM e da Associação dos Postos de Combustíveis.

Pela análise das informações levantadas foi possível concluir que:

- Há uma grande concentração de postos com idade acima de 10 anos;
- Muitos dos postos estão em situação irregular frente às exigências ambientais vigentes;
- Não há um monitoramento eficiente da abertura de novos postos, nem tão pouco, o acompanhamento das atividades dos mesmos. Fato este que ficou evidente quando em visita a SEMAM, foi deixado uma cópia da listagem dos postos de combustíveis fornecida pela Associação dos Proprietários de Postos;
- Comercialização de produtos adulterados.

Levando em consideração estes fatores e pelo que já foi exposto, pode-se esperar que a carga potencialmente poluidora gerada pelos postos de combustíveis seja elevada conforme ilustrado pelo mapa (Anexo13).

8 RISCO DE CONTAMINAÇÃO

De acordo com o IG/CETESB/DAEE (1997) o risco de contaminação das águas subterrâneas fica bem caracterizado pela associação e interação da vulnerabilidade do aquífero com a carga poluidora que é aplicada no solo ou em subsuperfície.

Pelo esquema conceitual de risco de contaminação de Foster & Hirata (1988) ilustrado pela Figura 14, pode existir casos de alta vulnerabilidade, mas, sem risco de contaminação caso a carga poluidora seja insignificante ou vice-versa.

Após a caracterização da vulnerabilidade para a área de estudo, esta foi representada em mapa na escala 1:175.000 no formato duplo *letter*, com a delimitação das distintas áreas de susceptibilidade (extremamente alta e alta) (Anexo 3).

As cargas potenciais de contaminação foram classificadas a partir de métodos específicos, após o que foram também representadas através de mapas na escala 1:175.000 no formato duplo *letter* com suas classes (elevada, moderada e reduzida).

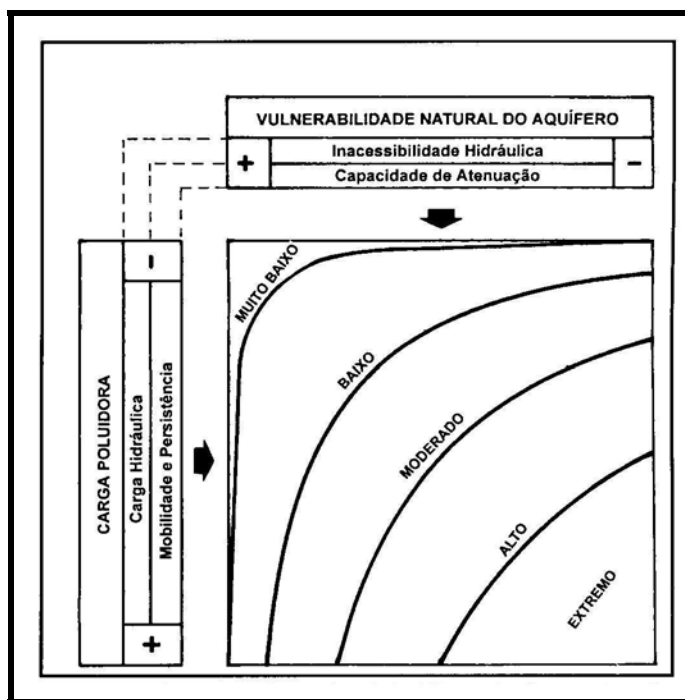


Figura 8.1 - Esquema conceitual de risco (Foster & Hirata 1988).

De posse dos mapas de vulnerabilidade e das cargas potenciais de poluição, estes foram sobrepostos pelo recurso do *Overlay* do *SIG Idrisi 3.2*, após o que foram gerados os mapas com

as áreas de risco de poluição das águas subterrâneas da área em estudo conforme os anexos 14, 15, 16, 17 e 18.

Também foi elaborada a matriz de risco, a qual é originada da interação da vulnerabilidade e as cargas poluidoras potenciais (Tabela 8.1).

Conforme o exposto pelo IG/CETESB/DAEE (1997), após a caracterização das áreas de risco é possível estabelecer uma hierarquização das cargas poluidoras de cada atividade antrópica, possibilitando assim definir prioridades nas ações voltadas para o monitoramento e controle das questões ambientais envolvendo as águas subterrâneas.

Hirata (1994) adverte que o risco de contaminação advindo do cruzamento das informações de vulnerabilidade e os mapas de cargas de perigo potencial servem para dar indicações preliminares de risco de contaminação das águas subterrâneas, e que a classificação gerada não permite comparar atividades diferentes, como saneamento e indústria, entre si.

Tabela 8.1 - Definição qualitativa de risco de contaminação das águas subterrâneas a partir dos índices de vulnerabilidade e carga poluidora potencial.

Carga potencial poluidora		Vulnerabilidade	
Fonte	Classe	Alta	Extremamente Alta
Drenagens	Elevada	Alto	Extremo
	Moderada	Alto	Alto
Lixão	Elevada	Alto	Extremo
Postos de combustíveis	Elevada	Alto	Extremo
Vinhaça	Moderada	Alto	Alto
Adubação química	Moderada	Alto	Alto
Cemitérios	Elevada	Alto	Extremo
	Moderada	Alto	Alto
Saneamento <i>in situ</i>	Elevada	Alto	Extremo
	Moderada	Alto	Alto
	Reduzida	Moderado	Alto
Agrotóxicos	Elevada	Alto	Extremo

9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A caracterização da vulnerabilidade dos aquíferos na região de Campos dos Goytacazes – RJ, e suas principais fontes potenciais de contaminação foram estabelecidas neste trabalho.

O ferramental de Sistema de Informação Geográfica foi utilizado devido à existência de um grande volume de informações envolvidas, um complexo nível de processamento de imagens e geração de diversos mapas temáticos. Este sistema mostrou-se apropriado para trabalhos desta envergadura como também fornece bases digitais que podem ser atualizadas continuamente.

O método de vulnerabilidade adotado para este trabalho (*AVI – Aquifer Vulnerability Index*) apresentou-se adequado para a região, uma vez que esta possuía dados para cálculos de resistência hidráulica do aquífero (condutividades hidráulicas e espessuras de camadas da zona não saturada). No entanto, as faixas de classificação das resistências são grandes, tendendo às classes de maiores vulnerabilidades. Estas faixas podem desconsiderar pequenas variações de condutividade hidráulica e espessura, que podem ser relevantes em algumas situações.

Os mapas produzidos conseguiram mostrar um cenário da situação ambiental da região, com ênfase ao recurso hídrico subterrâneo, fornecendo subsídios para uma elaboração de políticas públicas para preservação, proteção e uso racional deste manancial.

A região apresenta uma grande sensibilidade à contaminação das águas subterrâneas, com classificações que variam de Alta a Extremamente Alta.

Apesar do tempo escasso e da carência de alguns dados, o cadastro das cargas potenciais pôde delinear clara e confiavelmente, embora em macro-escala, o panorama da situação de perigo de poluição dos aquíferos do sistema sedimentar da região de Campos dos Goytacazes, na qual pôde-se constatar um grande descaso com os recursos hídricos subterrâneos, não havendo um gerenciamento de uso e proteção desses recursos. Para as cargas de potencial poluidor oriundo das drenagens, adubação química, lixo, saneamento *in situ*, fertilirrigação, cemitérios e postos de combustíveis não há nenhum programa consistente para o seu monitoramento e controle de possíveis contaminações das águas subterrâneas da área estudada.

Isso leva a casos absurdos como o cemitério de Campo da Paz, que devido ao alto nível freático e condutividade hidráulica faz com que em períodos chuvosos os caixões aflorem na superfície, havendo a contaminação direta do freático pelo necrochorume. Há também o cemitério do Caju, o maior da região Norte-Fluminense com uma grande produção de

necrochorume, localizado às margens do rio Paraíba do Sul, que por sinal recarrega o Aquífero Quaternário Deltáico.

Há também a falta de conhecimento da população e ao mesmo tempo necessidade de água para o consumo. Devido à falta de um melhor sistema de abastecimento público de água, há uma enorme utilização de poços tipo cacimba, o qual fica a poucos metros de profundidade, o que leva a uma captação da água do lençol freático que possivelmente já se encontra comprometido por contaminação de nitrato, fruto da grande quantidade de fossas sépticas na área urbana.

O lixão, que há mais de 20 anos vem contribuindo para uma degradação do meio ambiente, reforça a situação de fragilidade em que se encontram os recursos hídricos subterrâneos de Campos.

Além disso, existem postos de combustíveis sem licença de funcionamento, em péssimo estado de conservação e grande proliferação de novos postos.

Nas áreas rurais, uso intenso da fertirrigação, adubação nitrogenada e aplicação de herbicidas de comprovado risco de poluição fecha o cenário de grave situação na questão das cargas potenciais de contaminação.

Através dos mapas de vulnerabilidade e das cargas potenciais, gerou-se o mapa das áreas de risco e conseqüentemente as matrizes de risco. Em geral, o risco de poluição para as águas subterrâneas dos sistemas aquíferos sedimentares da região de Campos dos Goytacazes é considerado alto.

Este risco elevado e este cenário de situação provêm também da alta vulnerabilidade encontrada nestes aquíferos e requer muitos cuidados para a preservação das águas subterrâneas, face aos índices de extremamente alta e alta vulnerabilidade para os aquíferos da área estudada.

Há casos de contaminação das águas subterrâneas por salinização na região próxima à Lagoa Feia, que necessita de maiores estudos.

Face ao exposto recomenda-se que as autoridades responsáveis pelos recursos hídricos do município de Campos analisem as várias situações hidrogeológicas e de uso da água na região, levando em consideração o alto risco de contaminação a que estão submetidos os aquíferos sedimentares freáticos (Formação Barreiras, Quaternário Deltáico e Formação Emborê) pelas fontes potencialmente poluidoras estudadas.

Para o caso das fontes (Lixão, os cemitérios Campo da Paz e Caju, os canais Campos-Macae e Coqueiro) é notória a urgência de ações como a intervenção e estudo mais detalhado na

área do lixão para se definir os reais níveis de poluição e sua abrangência. Já para os cemitérios uma reestruturação principalmente na forma de sepultamento, dando ênfase para o sistema de gaveta, o qual impossibilita o contato do necrochorume com o solo. E, finalmente, a recuperação dos canais através de obras de engenharia como, por exemplo, a dragagem e aumento da calha de escoamento.

Para as demais fontes (postos de combustíveis, adubação nitrogenada e fertirrigação e saneamento *in situ*) fazem-se necessário montar um programa de fiscalização e conscientização ambiental envolvendo os empresários, trabalhadores e associações de moradores para assim haver um maior compromisso em minimizar os impactos destas fontes potencialmente poluidoras.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLER, L., BENNET, T., LEHR, J.H. AND PETTY, R.J. **DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings**. 1987. U.S. EPA Report 600/2-85/018.

ALBINET, M., MARGAT, J. **Cartographie de la Vulnérabilité a la Pollution des Nappes d'eau Souterraine**, Bull. 1970. BRGM 2me Series 3 (4).

AZEVEDO, H.J. **Aspectos Técnicos e Operacionais da Irrigação da Cana-de-Açúcar na Região Norte Fluminense**. 1999. Boletim técnico nº 13. Campus Dr. Leonel Miranda, Campos dos Goytacazes.

CAETANO, L.C. **Água Subterrânea no Município de Campos dos Goytacazes: Uma opção para o abastecimento**. 2000. 163p. Dissertação (Mestrado em Geociências)-Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CÂMARA, G., CLEMENTE, C., BARBOSA, F., DAVIS, C., FONSECA, F. **Fundamentos de Geoprocessamento**. 1998.

CEDAE. Companhia Estadual de Águas e Esgotos. ENCO. Engenharia, Consultoria e Planejamento Ltda. **Relatório referente à execução dos serviços técnicos especializados de água subterrânea no município de Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro. Anexo A - Inventário dos Poços na Região de Campos**. 1980. 156p. Rio de Janeiro.

CEDAE. Companhia Estadual de Águas e Esgotos. **Relatório dos Serviços de Recuperação dos Poços de Donana 01 e Goytacazes**. 1988. 10p. Rio de Janeiro.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Estudo Preliminar de Poluição das Águas Subterrâneas de São Paulo**. 1977. São Paulo.

CEZARINO, V. **Isoxoflutole** – Nova molécula herbicida para as culturas da cana-de-açúcar e do milho. In: **Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas**, 21.:1997 : Caxambu, MG. Palestras e mesas redondas. Viçosa, MG: SBCPD, 1997. 189p.

CIDE. Fundação Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro. **Território**. 1997. 80p. Rio de Janeiro.

CLEMENT, B., MERTIN, G. **“The contribution of ammonia and alkalinity to land-fill leachate toxicity to duckweed”**, The Science of the Total Environment.1995.p71-79. vol. 170.

CRÓSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 1992. 170p. Campinas.São Paulo.

CONAMA 20, **Classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional**. Conselho Nacional de Meio Ambiente, Resolução 20, 18/06/1986.

COHEN, S.Z., WAUCHOPE, R.D., KLEIN, A.W., EADSFORTH, C.V., GRANEY, R. **Offsite Transport of Pesticides in Water: Mathematical Models of Pesticide Leaching and Runoff**. Pure & Applied Chemistry. 1995. 67(12): 2109-2148, International Union of Pure and Applied Chemistry.

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. **Hidrologia Subterrânea**. Ediciones Omega, S.A., Barcelona.1976. 1157 p.

DORES, E.F.G.C., DE-LA MONICA-FREIRE, E.M. **Contaminação do Ambiente Aquático por Pesticidas. Estudo de caso: Águas Usadas para Consumo Humano em Primavera do Leste, Mato Grosso – Análise Preliminar**. 2001. p 27-36. Primavera do Leste.

DUARTE, N.F. **Potenciais Impactos Ambientais da Monocultura da Cana-de-Açúcar. Análise Integrada do Meio Ambiente – Lagoa da Prata**. 2003. Publicação em CD-ROM, Belo Horizonte, UFMG.

EASTMAN, J.R. **IDRISI for Windows User Guide**. 1995. Universidad de Clark, Worcester, Ma., USA.

EDWARDS, D.M., FISCHBACH, P.E., YOUNG, L.L. **Movement of nitrate under irrigated agriculture. Transactions of the ASAE**. 1972. p. 73-75.

ENGESAT. Empresa de Comercialização de imagens Ltda. 2003.

EPA **Agencia de Proteção Ambiental Norte-Americana**.1991. Disponível em: <http://www.epa.qld.gov.au/publicationsreport=all> . Acesso em: 5 de junho, 2003.

FONSECA, M.J.G. **Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro**. 1998. 141p. DNPM. Rio de Janeiro.

FOSTER, S. "Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy", In :W. Van Duijvanbooden and H.G. van Waegeningh (eds.), **Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution, Proceedings and Information**. 1987. N° 38 of the International Conference held in the Netherlands.

FOSTER, S., HIRATA, R.C.A., ROCHA, G. Risco de Poluição das Águas Subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. In: **Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas 5**. São Paulo. 1998. Anais. São Paulo: ABAS. p.175-85.

FOSTER, S. **Poluição das Águas Subterrâneas: Um documento executivo da situação da América Latina e Caribe**. 1993.

FOSTER, S., HIRATA, R.C.A **Groundwater pollution risk evolution: the methodology using available data**. 1988. CEPIS-PAHO/WHO. Lima, 78p.

FOSTER, S., ADANS, B., MORALES, M., TENJO, S. **Groundwater Protection Policy: a guide to requirements**. 1992 .CEPIS Tech.Report. (Who-Paho-CEPIS). Lima, Peru.

FOSTER, S., HIRATA, R.C.A. **Determinacion del riesgo de contaminación de águas subterrâneas. Una metodología baseada en datos existentes**. 1991. Lima, Peru.

FOSTER, S., HIRATA, R.C.A. **Poluição das Águas Subterrâneas - um documento executivo da situação da América Latina e Caribe com relação ao abastecimento de água potável**. 1993. Manual.

FREITAS, D.M. **Águas Subterrâneas na Baixada Campista: Geometria, Qualidade e Dinâmica do Aquífero Quaternário Deltaico**. 2003. 197p. Dissertação (Mestrado em Geociências)-Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

FUNARI, E., BOTTONI, P., GIULIANO, G. In: **Chemistry Agriculture and the environment: Richardson, M.L.**; Ed.; The Royal Society of Chemistry. 1991. p. 235. Cambridge.

GALLIOLI ENGENHARIA LTDA. **Saneamento das Várzeas nas Margens do rio Paraíba do Sul a Jusante de São Fidélis: Estudo e Planejamento das Obras Complementares**. Departamento Nacional das Obras de Saneamento. n° 379. 1969. Baixada Campista.

GAMA, Jr.E. **Sistemas Depositionais e Modelo de Sedimentação das Formações Campos e Emborê, Bacia de Campos**. 1977. 104p. Tese (Doutorado em Geociências)-Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GUIGUER, N. **Poluição das Águas Subterrâneas e do Solo Causada por Vazamentos em Postos de Abastecimento**. 2000. 356p. Waterloo Hydrogeologic-Consultoria Ambiental, Software e Treinamento.

HIGASHI, K. **Relatório do XV Encontro Nacional de Analistas de Resíduos de Pesticidas**. 1991. São Paulo.

HIRATA, R.C.A. **Fundamentos e Estratégias de Proteção e Controle da Qualidade das Águas Subterrâneas. Estudo de Casos no Estado de São Paulo**. 1994. 195p. Tese (Doutorado Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

HERRERA, R.G., CÁRDENAS, L.K., CASTILLO, R. R. Basureros Activos. Simulacion de la lixiviacion – el caso de Mérida. In: **XVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2000, Porto Alegre. **Anais**. CD- ROOM.

KOMOR, S.C., ANDERSON, H.W. **Nitrogen isotopes as indicators of nitrate sources in Minnesota sand-plain aquifers: Ground Water**. 1993. p. 260–270. v. 31, nº.2.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base cartográfica obtida a partir de fotografia aérea. 1968.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico de 1996. Campos dos Goytacazes. CD-ROOM.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico de 2000. Campos dos Goytacazes. CD-ROOM.

IG/CETESB/DAEE. **"Mapa de Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**. 1993. Relatório Técnico. IG/CETESB/DAEE, São Paulo, 2 v.

LEME, E.J., SCARDUA, R., MORETTI FILHO, J. **Aplicação da Vinhaça Através do Sistema de Irrigação por Sulco de Infiltração em Cana-de-açúcar**. 1980. P47-59. Brasil Açucareiro. Rio de Janeiro.

LENEC. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. **Assessment of Groundwater Vulnerability to Pollution Using Six Different methods: AVI, GOD, DRASTIC, SI, EPPNA AND SINTACS Application to the Évora Aquifer**. 2002. 77p. Relatório 184/02-GIAS.

MOLIN, J.P. **Agricultura de Precisão. O gerenciamento da variabilidade**. 2001. 83p. Piracicaba, SP.

MANHÃES, M.S. Adubação, Correção do Solo e Uso de Resíduos da Agroindústria In: **Tecnologia Canavieira nas Regiões Norte Fluminense e Sul do Espírito Santo**. 1999. Boletim Técnico nº12 .UFRRJ.

MARTIN, L., SUGUIO, K., DOMINGUEZ, J.M.L., FLEXOR, J.M. **Geologia do Quaternário costeiro do Litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo**. CPRM. Belo Horizonte. 1997. 112p.

MATOS, B. A. **Avaliação da Ocorrência e do Transporte de Microrganismos no Aquífero Freático do Cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, Município de São Paulo**. 2001.113p. Tese (Doutorado Recursos Minerais e Hidrogeologia)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MELO, J.G. **Impactos do Desenvolvimento Urbano nas Águas Subterrâneas de Natal-RN**. 1995. Tese (Doutorado em Geociências)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MENESES, P.R., MADEIRA NETTO, J.S. **Sensoriamento Remoto: Reflectância dos Alvos Naturais**. 2001. 262p. Brasília-DF-UNB-Planaltina.

Ministério de Minas e Energia, Secretaria-Geral, **Projeto RADAM**. 1983. Levantamento de Recursos Naturais, volume 32, FOLHA SF. 23/24 – Rio de Janeiro/Vitoria, Projeto RADAM, Rio de Janeiro, 775 p.

MUCHOVEJ, R.M.C., REHCIGL, J.E. **Impacts of Nitrogen Fertilization of Pastures and Turfgrasses on Water Quality**. 1994. Lewis Publication.

- OLIVEIRA, J.B. **Pedologia Aplicada**. 2001. 414p. Jaboticabal. São Paulo.
- ORTH, M.H. **Aterros Sanitários**. 1981. p. 26-34. Revista de Limpeza Pública. São Paulo, V. 8, Nº.20.
- PEIBPS. Programa Estadual de Investimentos da Bacia do Rio Paraíba do Sul.**Projeto BRA/96/017**. 1996. Governo do Estado do Rio de Janeiro. CD-ROOM.
- PEREIRA, S. Y. **Impactos da aplicação da vinhaça na água subterrânea**. 2003. Vol. 1, p.1-10. Científico Nacional, I Workshop Sobre Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo: Avanços e Desafios - (16-17/09/2003) -, Jaguariúna, SP, BRASIL.
- PROJIR. **Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-Açúcar na Região Norte-Fluminense. Síntese dos Estudos Básicos. Relatório Técnico Final**. 1983. 179p. Vol.1,Tomo I.
- RAMIRO, R.C., AURORA, A.H., ANGEL, M.G.J., JOEL, B.I. **Aquifer Pollution Risk Assessment for a Multi Source Process. The Salamanca Case 3**. 2001. Reporte Técnico CEAG, IGF-UNAM.
- RESOLUÇÃO CNP Nº **08/71**. Instruções Gerais para Armazenamento de Petróleo e seus Derivados Líquidos. DOU de 13/10/71.
- ROCCA, A.C.C. **Drenagem Sub-Superficial em Aterros Sanitários**. 1981. p.16-27. Revista de Limpeza Pública. São Paulo, v.8, n.19.
- RODRIGUES, N.B., ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicida**. 1998. Ed. Agris. Londrina- PR.
- SEGATO, L. M., SILVA, C. L. Caracterização do Lixiviado do Aterro Sanitário de Bauru. In: **XVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2000. Porto Alegre. Anais. CD-ROOM.
- SONDOTÉCNICA. Engenharia de Solos S.A., **Síntese dos Estudos Básicos para o Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-açúcar na Região Norte-Fluminense**. 1983. 179p. Relatório Técnico Final. V.1., Tomo I.
- SONDOTÉCNICA. Engenharia de Solos S.A., **Estudos e Levantamentos Pedológicos para o Projeto de Irrigação e Drenagem da Cana-de-açúcar na Região Norte- Fluminense**. 1984. 80p. Relatório Técnico Setorial.V. 1. Tomo I.

SPALDING, R.F., EXNER, M.E., LINDAU, C.W., EATON, D.W. **Investigation of Sources of Groundwater Nitrate Contamination in the Bubank Wallula area of Washington**. 1982. USA.

SILVA, C. G. **Estudo da Evolução Geológica e Geomorfológica da Região da Lagoa Feia**. 1987. 160p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói (RJ).

SILVA, L.M. 2000. Disponível: <http://chat.terra.com.br/chat/leziromarquesilva.htm>. Acessado em: julho de 2003.

SINDAG Sindicato das indústrias de defensivos Agrícolas. Disponível em: http://www.quimica.com.br/revista/defensivos_agricolas.htm. Acessado em: maio de 2004.

TALTASSE, P. **Mapas de vulnerabilidade à Poluição dos Lençóis Aquíferos do Município de Campinas**. 1972. Publicação Avulsa Nº 1. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

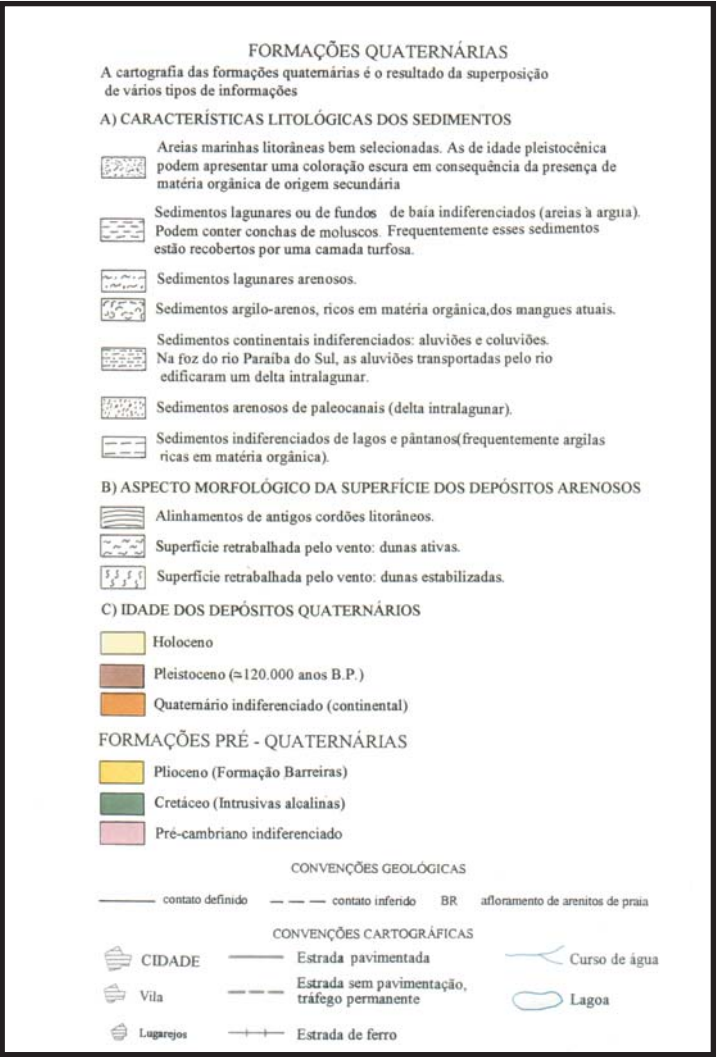
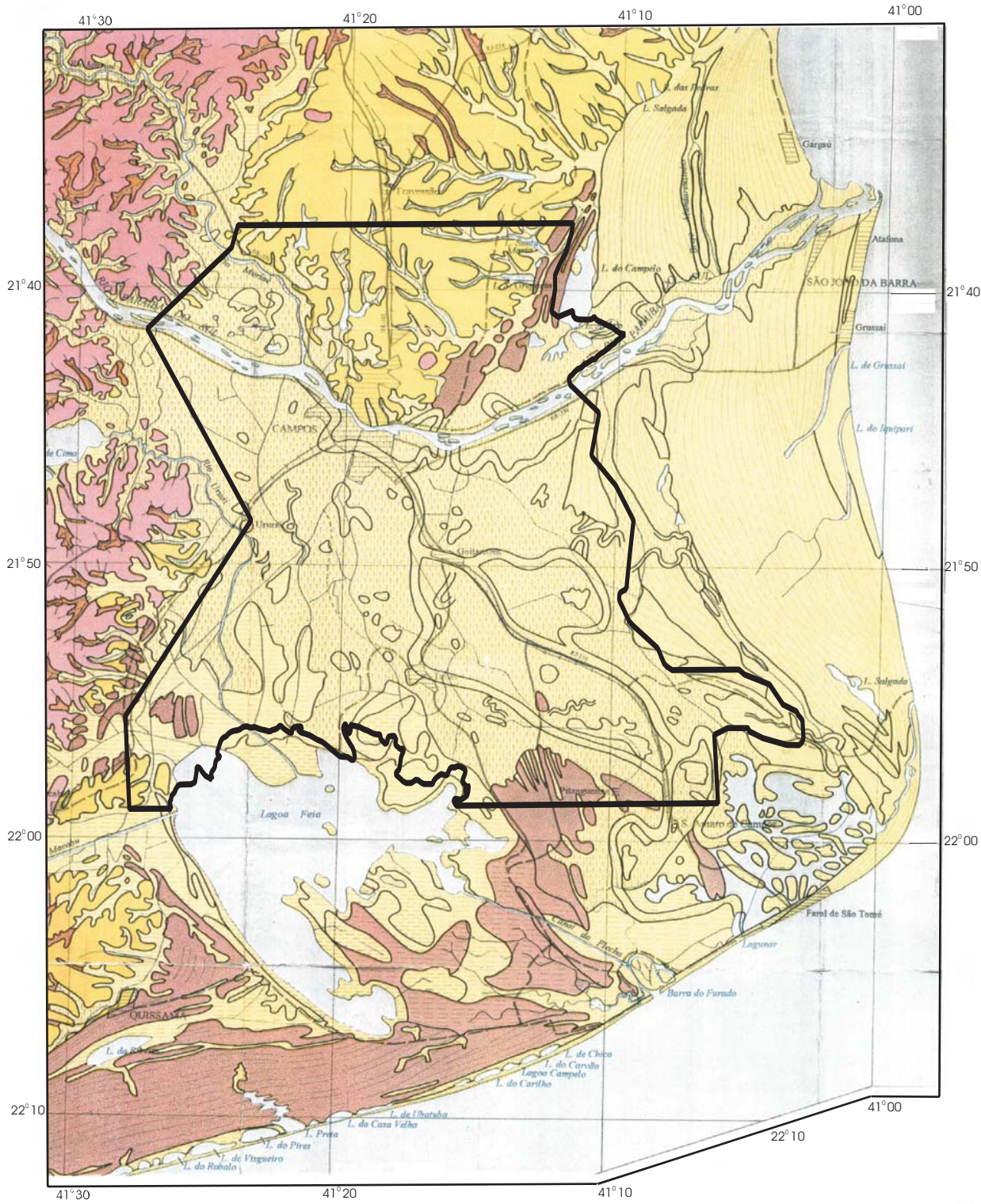
TECNORTE. Tecnologia do Norte Fluminense. **Diagnostico dos Canais de drenagem da Baixada Campista**. 2001. Campos dos Goytacazes - RJ. CD-ROOM.

THURLER, A. M., RAMALHO, J.F.G., MORGADO, I. F. Conservação dos solos e práticas culturais In: **Tecnologia Canavieira nas Regiões Norte Fluminense e Sul do Espírito Santo**. 1999. Boletim Técnico nº12.UFRRJ.

VAN STEMPOORT, D., EWERT, L., WASSENAAR, L. **AVI: A Method for Groundwater Protection Mapping in the Prairie Provinces of Canada**. 1992. 23 p. PPWD pilot project, Sept. 1991 - March 1992. Groundwater and Contaminants Project, Environmental Sciences Division, National Hydrology Research Institute.

ANEXO 1 - Mapa geológico.

MAPA GEOLÓGICO DO QUATERNÁRIO COSTEIRO
DA METADE NORTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (Martin *et al.* 1997)



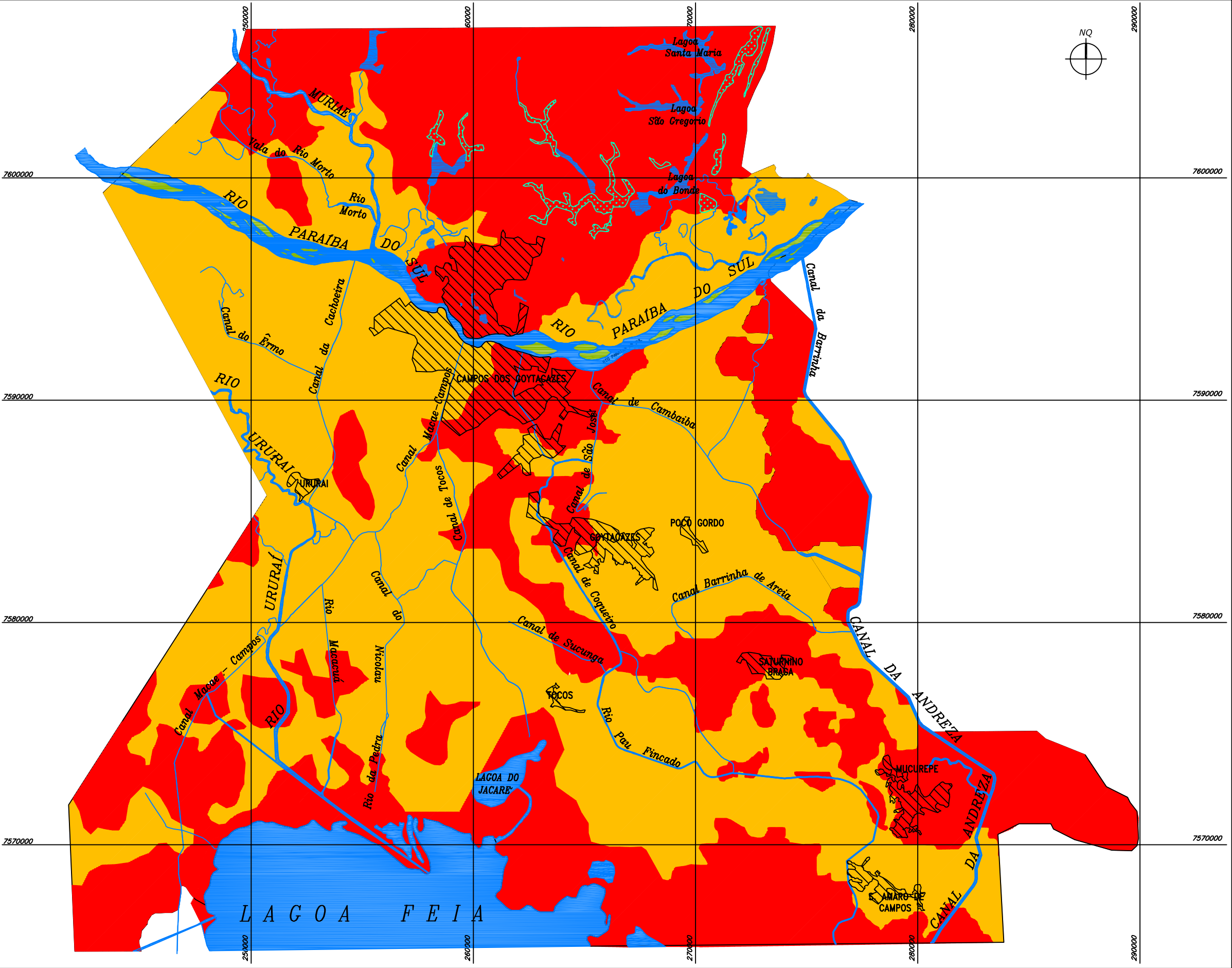
LIMITE DO PROJETO

ANEXO 2 - Dados da campanha piezométrica realizada entre o período de janeiro a fevereiro de 1983 (PROJIR 1983).

PIEZÔMETRO	COORDENADAS UTM (m)			PROF.
	ESTE	NORTE	COTA DA BOCA	NA
1	254450	7593780	7,268	2,00
2	247920	7598000	12,492	4,20
3	249630	7594600	9,113	3,26
4	246105	7598250	11,116	2,93
5	245660	7595270	9,293	1,55
6	243470	7592340	4,839	2,70
7	251930	7596115	8,678	1,50
8	248195	7591665	7,483	2,83
9	250660	7589680	6,953	2,40
10	249245	7582815	6,037	3,61
11	252215	7585160	6,230	4,20
12	259320	7585620	4,632	2,76
13	254975	7585105	5,734	3,70
14	257455	7581770	4,109	2,64
15	255345	7577500	5,282	2,90
16	260210	7588770	6,024	2,60
17	256485	7588000	6,024	3,82
18	258060	7591350	8,067	3,17
19	255030	7589410	7,607	2,80
20	262670	7586690	7,142	3,45
21	262510	7591725	8,069	2,22
22	268055	7592275	7,236	1,80
23	273855	7595615	5,967	0,80
24	269170	7596010	3,451	1,80
25	273490	7592360	5,012	2,86
26	269065	7589430	5,536	1,77
27	277780	7588725	3,832	1,37
28	278400	7589885	4,572	2,57
30	278635	7587060	4,118	2,10
31	266800	7585500	4,839	4,00
32	272070	7584620	3,684	2,69
33	275240	7583795	3,335	2,00
35	260940	7583365	6,547	5,20
36	268470	7580910	5,971	3,50
37	271690	7581200	4,115	2,15
38	277115	7581365	4,145	2,83
39	260655	7579175	3,810	2,73
40	265255	7579920	3,588	2,15
41	274045	7579600	3,309	2,50
42	280100	7578900	3,333	1,35
43	246840	7580030	3,879	1,30
44	245520	7577050	4,315	1,35

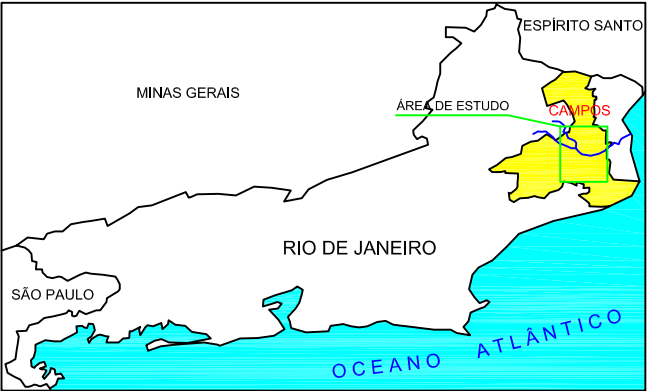
45	251590	7578855	2,528	1,82
46	258810	7576270	3,849	3,50
47	262980	7577035	4,374	3,23
48	276580	7577990	3,128	2,30
49	249470	7576320	3,047	2,40
50	265060	7574750	3,625	3,68
51	271315	7575050	2,539	2,15
52	283620	7574935	1,619	2,28
53	249255	7572850	6,059	2,70
54	256250	7572575	4,042	2,90
55	267120	7572595	2,709	5,00
56	276645	7572330	1,478	1,80
57	281460	7572120	2,839	2,30
58	288100	7573010	1,334	0,86
59	244180	7574780	5,027	1,50
60	245450	7571560	4,790	2,75
61	259850	7570965	2,270	1,70
63	246845	7568775	3,057	1,57
64	272110	7569280	2,619	2,07
65	279100	7567950	2,151	2,25
66	269425	7567240	2,399	1,30
67	273725	7566540	2,100	1,60
68	282975	7566935	1,632	1,76
72	243870	7566500	3,451	1,94
73	247420	7566360	3,530	3,00
90	252840	7574960	2,098	1,25
99	249280	7599060	11,030	2,10
100	254545	7601085	8,454	0,50
101	257310	7598255	8,509	3,00
102	260770	7594140	10,051	4,80
103	265960	7594540	6,807	2,00
104	266720	7598180	4,625	1,40
105	270770	7596550	5,173	2,25
106	274110	7599260	4,004	1,98
107	249185	7604780	12,287	2,98
108	253020	7602670	11,104	3,05
109	260445	7601030	8,121	1,20
110	263740	7601600	5,097	1,90
111	267595	7603040	4,167	1,00
112	270930	7601600	6,037	3,58
113	260175	7605230	10,263	1,20
115	271400	7605265	5,488	2,50

ANEXO 3 - Mapa de vulnerabilidade.



MAPA DE VULNERABILIDADE
DOS SISTEMAS AQUÍFEROS
SEDIMENTARES DA REGIÃO DE
CAMPOS DOS GOYTACAZES–RJ

PLANTA DE SITUAÇÃO (SEM ESCALA)



LEGENDA

- VULNERABILIDADE EXTREMAMENTE ALTA
- VULNERABILIDADE ALTA
- CAMPO/PASTAGENS
- ÁREA INUNDÁVEL
- HIDROGRAFIA
- ÁREA URBANA
- LIMITE DO PROJETO

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
ESCALA 1:175.000
1,75 0 1,75 3,5 5,25 7Km
Origem da quilometragem : Equador e Meridiano 45° W.Gr.
acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente
Datum vertical : máregrafo Imbituba, SC
Datum horizontal : Corrego Alegre, MG

ANEXO 4 - Relatório de correção geométrica da imagem do sensor ETM⁺ do satélite Landsat 7 na composição colorida 543 em RGB.

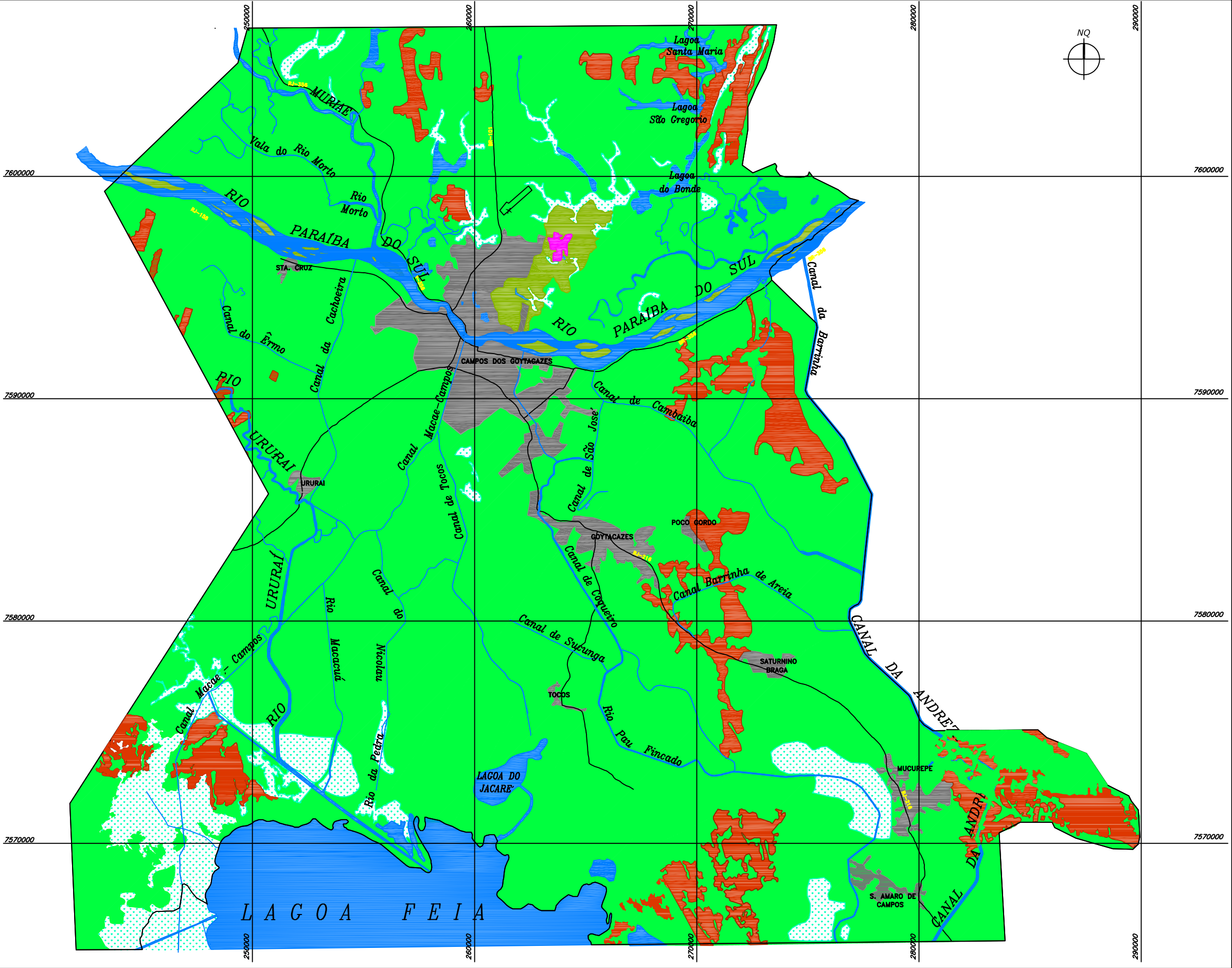
```

#
# GCPs for dataset D:\Geodatum\Topo2004\tese\landsat\LANDSATcampos.ers
#
# Total number of GCPs: 4
# Number turned on 4
# Warp order 1
# GCP CORRECTED map projection details:
# Map Projection SUTM24
# Datum CORRALEG
# Rotation 0.000
#
# Point On Locked    Cell-X    Cell-Y          To-X          To-Y
"1" Yes    No      433.595    117.217      248725.8413550  7607698.3274139
"2" Yes    No      3038.396    109.270      287577.8500275  7607879.6883616
"3" Yes    No       587.092    2377.233      251123.2310324  7573775.0088152
"4" Yes    No      2532.658    2274.518      280224.5846840  7575362.8377865

# RMS error report:
# Warp Type - Polynomial
# -----ACTUAL----- ---PREDICTED---
#   Point    Cell-X    Cell-Y    Cell-X    Cell-Y    RMS
#   "1"      433.595    117.217    434.978    117.227    1.3827
#   "2"      3038.396    109.270    3036.930    109.260    1.4662
#   "3"       587.092    2377.233    585.225    2377.220    1.8671
#   "4"      2532.658    2274.518    2534.608    2274.532    1.9506
#
# Average RMS error: 1.667
# Total RMS error: 6.667
# End of GCP details

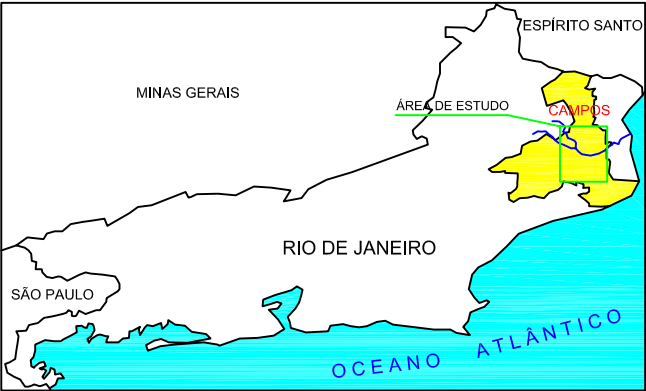
```

ANEXO 5 - Mapa de uso e ocupação.



MAPA DE USO E OCUPAÇÃO

PLANTA DE SITUAÇÃO (SEM ESCALA)



LEGENDA

- CANA-DE-AÇÚCAR
- CAMPO/PASTAGENS
- SOLO EXPOSTO
- ÁREA INUNDÁVEL
- HIDROGRAFIA
- ÁREA URBANA
- LIMITE DO PROJETO
- LIXÃO

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- ESTRADA PAVIMENTADA
- AEROPORTO

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

ESCALA 1:175.000



Origem da quilometragem : Equador e Meridiano 45° W.Gr.
acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente
Datum vertical : máregrafo Imbituba, SC
Datum horizontal : Corrego Alegre, MG

ANEXO 6 - Mapa de solos.

MAPA DE SOLOS DA REGIÃO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES,
DELIMITADO PELOS LIMITES DA ÁREA PESQUISADA

LEGENDA

- SOLOS PLANÍCIE DOS RIOS PARAIBA E AFLUENTES
- SOLOS ALUVIAIS
- AE Assoc. de: ALUVIAL Tm EUTRÓFICO text. org./aren. + ALUVIAL Tm EUTRÓFICO SOLÓDICO text. org. e arg./aren. + CAMBISSOLO Tm EUTRÓFICO SOLÓDICO text. org./méd + inclusões de GLEY POUCO HÔMICO Tb DISTRÓFICO text. org. mod dren., microrrelevo suave e mod.
- AED Complexo de ALUVIAL Tm EUTRÓFICO text. org./aren. e méd./aren. + ALUVIAL Tm DISTRÓFICO text. aren. + ALUVIAL Tb DISTRÓFICO text. indicrim + CAMBISSOLO Tm EUTRÓFICO text. arg./ + GLEY HÔMICO Tb DISTRÓFICO text. arg. + GLEY POUCO HÔMICO Tb DISTRÓFICO text. arg.; bem, mod e imperf. dren. microrrelevo mod. e forte
- AD1 Assoc. de: ALUVIAL Tm DISTRÓFICO text. aren + ALUVIAL Tm EUTRÓFICO text. méd./aren + ALUVIAL Tm EUTRÓFICO SOLÓDICO text. org./méd e arg./aren + ALUVIAL Tb ALÍCO text. arg./aren + ÁREA QUARTZOSA DISTRÓFICA A fraco + ÁREA QUARTZOSA DISTRÓFICA A mod. GLEY POUCO HÔMICO Tb DISTRÓFICO text. arg./aren, mod e imperf dren, microrrelevo suave e mod.
- AD2 Assoc. de: ALUVIAL Tb DISTRÓFICO text. indicr + GLEY POUCO HÔMICO Tb DISTRÓFICO text. org./aren; imperf. dren, microrrelevo mod.
- SOLOS SEMIDENSVOLVIDOS NÃO HIDROMÓRFICOS
- CE1 Assoc. de: CAMBISSOLO Tm EUTRÓFICO e DISTRÓFICO text. arg + CAMBISSOLO Tb EUTRÓFICO text. arg. + ALUVIAL Tm EUTRÓFICO text. arg.; bem dren, rel. plano e microrrelevo suave.
- CE2 Assoc. de: CAMBISSOLO Tb EUTRÓFICO text. arg. + ALUVIAL Tm EUTRÓFICO text. méd./mod e bem dren, rel. plano
- CE3 Assoc. de: CAMBISSOLO Tm EUTRÓFICO e DISTRÓFICO text. arg. + CAMBISSOLO Tb EUTRÓFICO text. arg. + ALUVIAL Tm ALÍCO text. arg.; mod e imperf dren, rel plano e microrrelevo suave
- CE4 Assoc. de: CAMBISSOLO Tm EUTRÓFICO text. arg. + CAMBISSOLO Tm EUTRÓFICO SOLÓDICO text. org. sobre méd. + CAMBISSOLO Tb EUTRÓFICO SOLÓDICO text. arg. + ALUVIAL Tm EUTRÓFICO SOLÓDICO text. arg. sobre média, mod e imperf. dren., rel plano.
- CE5 Assoc. de: CAMBISSOLO Tm EUTRÓFICO text. arg. + CAMBISSOLO Tm EUTRÓFICO SOLÓDICO text. org./méd. + ALUVIAL Tm EUTRÓFICO text. org./ aren; bem e mod. dren., microrrelevo mod.
- CE6 Assoc. de: CAMBISSOLO Tm SÓDICO text. org. + CAMBISSOLO Tb SÓDICO text. arg./méd + CAMBISSOLO Tb EUTRÓFICO SOLÓDICO text. arg. + ALUVIAL Tm SÓDICO text. indicr. + Incl. GLEY SÓDICO Tb text. org. lig. salina; mod e imperf. dren., rel plano.
- SOLOS COM EXPRESSIVA GLEIIZAÇÃO
- GP1 Assoc. de: GLEY POUCO HÔMICO Tb DISTRÓFICO text. org. + GLEY POUCO HÔMICO Tb EUTRÓFICO SOLÓDICO text. org./aren. + GLEY POUCO HÔMICO Tm EUTRÓFICO SOLÓDICO text. org. + GLEY HÔMICO Tb DISTRÓFICO text. org./aren. + GLEY HÔMICO Tm DISTRÓFICO text. org. lig. salina + ALUVIAL Tm EUTRÓFICO e SOLÓDICO text. arg.; mal dren; rel plano e subcôncavo.
- GP2 Assoc. de: GLEY POUCO HÔMICO Tb EUTRÓFICO e DISTRÓFICO text. arg. + GLEY POUCO HÔMICO Tm DISTRÓFICO text. arg./aren. + GLEY POUCO HÔMICO Tm DISTRÓFICO e EUTRÓFICO SOLÓDICO text. org. + GLEY POUCO HÔMICO Tb DISTRÓFICO A fraco text. mod. + GLEY HÔMICO Tb DISTRÓFICO e EUTRÓFICO SOLÓDICO text. org. + GLEY HÔMICO Tb DISTRÓFICO text. arg./aren. + GLEY HÔMICO Tb DISTRÓFICO SOLÓDICO text. org./aren + ALUVIAL Tm EUTRÓFICO SOLÓDICO text. arg./aren, imperf dren, rel plano, e microrrelevo suave.
- GP3 Assoc. de: GLEY POUCO HÔMICO Tb EUTRÓFICO text. arg. + GLEY POUCO HÔMICO Tm EUTRÓFICO SOLÓDICO text. org. + GLEY HÔMICO Tb EUTRÓFICO text. arg. + ALUVIAL Tm SÓDICO text. indicr. + Incl. GLEY SÓDICO Tb text. org. lig. salina; mod e imperf. dren., rel plano.
- GP4 Assoc. de: GLEY POUCO HÔMICO Tb ALÍCO text. arg. + GLEY HÔMICO Tb ALÍCO text. arg. + ALUVIAL Tm ALÍCO text. arg.; imperf. dren., microrrelevo suave.
- GH2 Assoc. de: GLEY HÔMICO Tb ALÍCO text. arg. lig. salina + GLEY HÔMICO Tm DISTRÓFICO text. argll; mal e imperf. dren., relevo plano.
- GH3 Assoc. de: GLEY HÔMICO Tb ALÍCO text. arg. lig. salina + ORGÂNICO TIOMÓRFICO SALINO; mal dren. rel. plano.

- SOLOS SALINOS TIOMÓRFICOS
- GS1 Assoc. de: GLEY Tb SÓDICO text. arg. lig. salina + GLEY SALINO SOLÓDICO text. arg. + ALUVIAL Tb SALINO SOLÓDICO text. arg./aren.
- GS2 Assoc. de: GLEY TIOMÓRFICO Tb SALINO text. arg. + GLEY SÁLICO SOLÓDICO text. indicr. + GLEY HÔMICO Tb DISTRÓFICO text. arg./aren. + ALUVIAL Tb SALINO SOLÓDICO text. arg./aren. + ALUVIAL Tb SÁLICO text. indicr. + ÁREA QUARTZOSA DISTRÓFICA A mod; muito mal dren.; rel. plano e subcôncavo.
- GS3 Assoc. de: GLEY TIOMÓRFICO Tb SALINO e SÁLICO text. arg. + ORGÂNICO TIOMÓRFICO SALINO + GLEY HÔMICO Tb EUTRÓFICO text. arg. lig. salina; muito mal dren.; rel. plano.

- SOLOS DAS PLANÍCIE DOS RIOS MACABU, PRATA E BACIA MENORES
- SOLOS ORGÂNICOS
- OD1 Assoc. de: ORGÂNICO DISTRÓFICO + ORGÂNICO DISTRÓFICO lig. salina + GLEY HÔMICO Tb ALÍCO text. org.; mal dren.; rel./ plano e subcôncavo.
- OD2 Assoc. de: ORGÂNICO SALINO + ORGÂNICO TIOMÓRFICO SALINO + GLEY TIOMÓRFICO Tb SALINO text. arg.; mal dren.; rel. plano e subcôncavo.

- SOLOS DOS CORDÕES LITORÂNEOS ANTIGOS E RECENTES
- SOLOS ARENO- QUARTZOSOS
- AQ1 Assoc. de: ÁREAS QUARTZOSAS DISTRÓFICAS A mod. e A fraco + PODZOL HIDROMÓRFICO A fraco + ALUVIAL Tm DISTRÓFICO text. aren.; excessiv. dren. rel. suave-ond.
- AQ2 Assoc. de: ÁREAS QUARTZOSAS DISTRÓFICAS A mod. e fraco; excessiv. dren; rel. suave ondulada. ALUVIAL Tm DISTRÓFICO text. aren.; excessiv. dren, rel. suave-ond.

- SOLOS DAS DEPRESSÕES INTERTABULEIRO E ÁREAS DE TRANSIÇÃO
- BAIXADA - TERRAS ALTAS

- SOLOS COM EXPRESSIVA GLEIIZAÇÃO
- GH1 Assoc. de: GLEY HÔMICO Tb DISTRÓFICO text. org. lig. salina + GLEY POUCO HÔMICO Tb DISTRÓFICO text. méd.; mod. dren.; rel. plano e subcôncavo

- GP5 Assoc. de: GLEY POUCO HÔMICO Tb DISTRÓFICO text. arg. + ALUVIAL Tb DISTRÓFICO SOLÓDICO text. méd./arg.; imperf a mod. dren.; rel. ondulado.

- SOLOS COM B TEXTURAL

- PA6 Assoc. de: PODZOLU AMARELO Tb DISTRÓFICO A fraco text. méd. + PODZOLU VERMELHO AMARELO Tb PINTADO A mod. text. méd. e arg. + LATOSSOLO AMARELO PETROLÍNTICO ALÍCO A mod. text. méd. + ALUVIAL Tb DISTRÓFICO text. aren./ méd. + ALUVIAL Tb DISTRÓFICO SOLÓDICO text. arg./mod. e imperf. dren.; rel. plano e microrrelevo suave.

- SOLOS DAS TERRAS ALTAS DO TERCIÁRIO E PRÉ- CÂMBRICO

- SOLOS COM B TEXTURAL

- PA1 Assoc. de: PODZOLU AMARELO Tb DISTRÓFICO A fraco e mod. text. arg. + PODZOLU AMARELO Tb DISTRÓFICO LATOSSOLUO A mod. text. méd. e arg. + PODZOLU AMARELO Tb DISTRÓFICO LATOSSOLUO A fraco text. arg. + PODZOLU AMARELO Tb DISTRÓFICO A mod. text. arg. + PODZOLU AMARELO Tb ALÍCO LATOSSOLUO A fraco text. méd. + PODZOLU AMARELO Tb DISTRÓFICO A prom. text. arg. + LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO A mod. text. méd.; bem e mod. dren., rel. suave-ond.

- PA2 Assoc. de: PODZOLU AMARELO Tb DISTRÓFICO A fraco e mod. text. arg. + PODZOLU AMARELO Tb LATOSSOLUO ALÍCO A fraco, text. méd. e arg.; bem dren.; rel. ond.

- PA3 Assoc. de: PODZOLU AMARELO Tb DISTRÓFICO A fraco e mod. text. arg. + LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO A mod. text. méd. + LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO A mod. text. arg.; bem dren.; rel. suave-ond. e ond.

- PA4 Assoc. de: PODZOLU AMARELO Tb DISTRÓFICO A fraco text. arg. + LATOSSOLO AMARELO Tb PETROLÍNTICO ALÍCO A mod. text. méd.; bem dren., rel. ond. e forte-ond.

- PA5 Assoc. de: PODZOLU AMARELO Tb DISTRÓFICO A fraco text. arg. + PODZOLU AMARELO Tb EUTRÓFICO text. aren./ méd.; bem dren., rel. suave-ond. e ond.

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

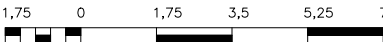
- ÁREA
- ÁREA INUNDÁVEL
- ÁREA URBANA
- ÁREA NÃO-MAPEADA
- ESTRADAS
- LIMITE DO PROJETO

HIDROGRAFIA

- CURSO D'ÁGUA PERMANENTE
- LAGOA

PROJECAO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

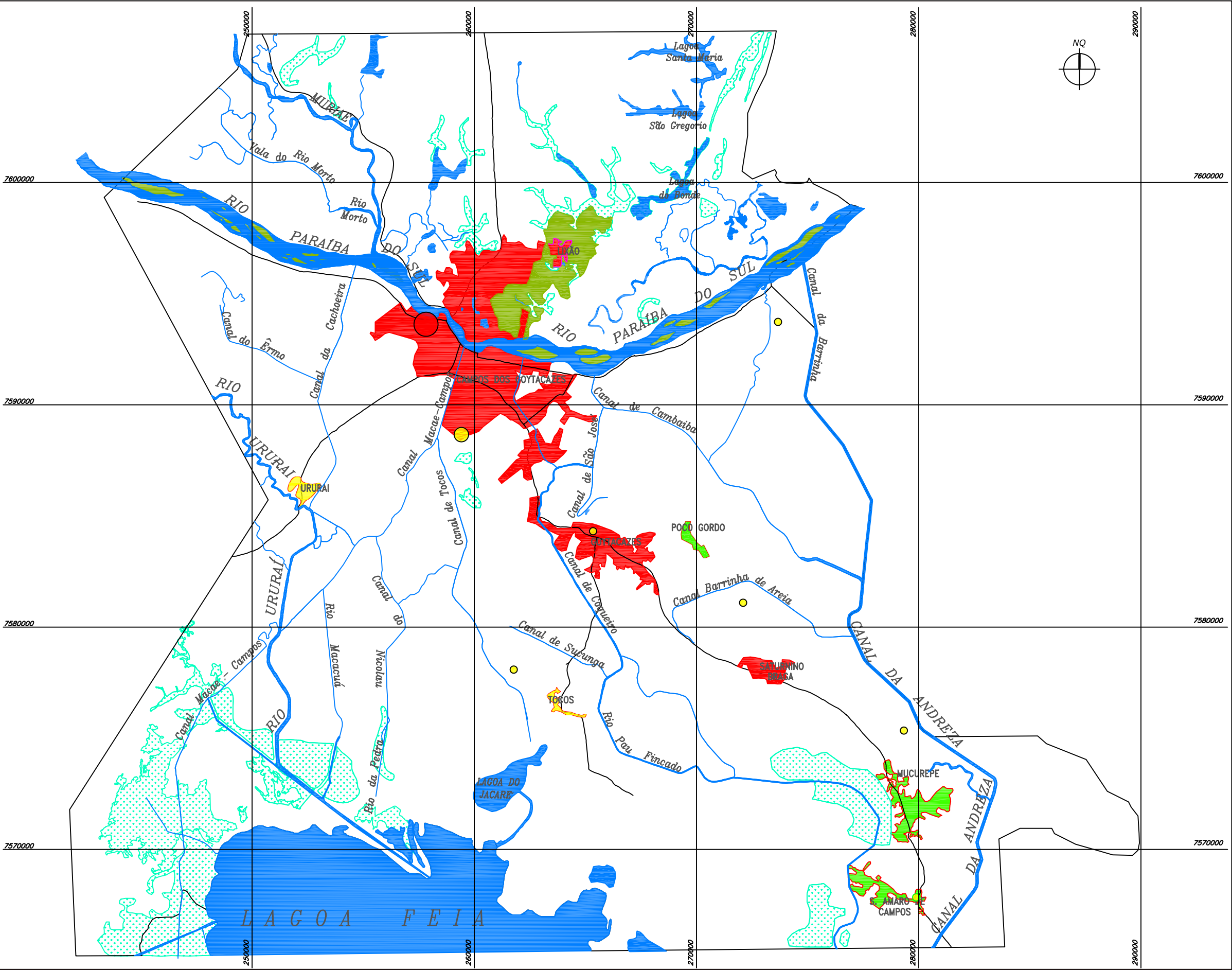
ESCALA 1:175.000



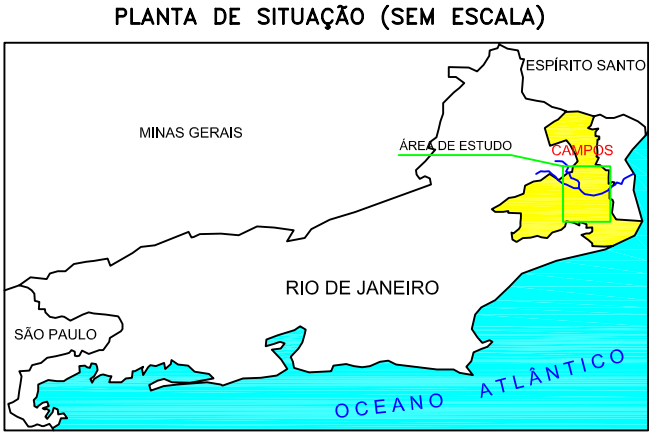
Origem da quilometragem : Equador e Meridiano 45° W.Gr.
acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente
Datum vertical : mágrafo Imbituba, SC
Datum horizontal : Corrego Alegre, MG

Mapa produzido a partir da copilação de dados
de 10 cartas pedológicas na escala 1: 25.000
e do mapa de uso e ocupação gerado (anexo 6)

**ANEXO 7 - Mapa das cargas potenciais de poluição na área urbana
(cemitérios, lixo e saneamento *in situ*).**



MAPA DAS CARGAS POTENCIAIS
POLUIDORAS NA ÁREA URBANA
(SANEAMENTO IN SITU, CEMITÉRIOS E LIXÃO).



CLASSE(S) DAS CARGAS

- ELEVADA
- MODERADA
- REDUZIDA

LEGENDA

- HIDROGRAFIA
- ÁREA INUNDADA
- LIMITE DO PROJETO
- ESTRADAS
- CAMPO/PASTAGENS
- CEMITÉRIO COM MÉDIA DE 6 SEPULTAMENTOS POR DIA.
- CEMITÉRIO COM MÉDIA DE 1SEPULTAMENTO POR DIA.
- CEMITÉRIO COM MÉDIA DE 1,5 SEPULTAMENTO POR DIA.

PROJECAO: UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

ESCALA 1:175.000

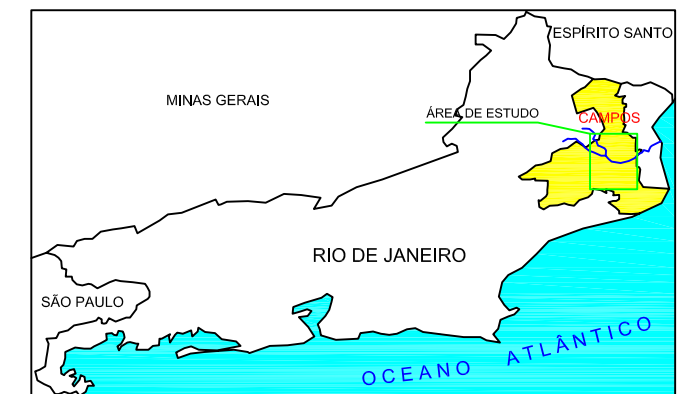


Origem da quilometragem : Equador e Meridiano 45° W.Gr.
acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente
Datum vertical : maregrafo Imbituba, SC
Datum horizontal : Corrego Alegre, MG

**ANEXO 8 - Mapa das cargas potenciais de poluição da adubação
(química e da vinhaça).**

MAPA DA CARGA POTENCIAL
POLUIDORA DA ADUBAÇÃO PARA
O CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR

PLANTA DE SITUAÇÃO (SEM ESCALA)



CLASSE(S) DAS CARGAS

CARGA MODERADA:

ADUBAÇÃO QUÍMICA NITROGENADA



LEGENDA

 CAMPO/PASTAGENS
SOLO EXPOSTO

 ÁREA INUNDÁVEL

 ÁREA URBANA

HIDROGRAFIA

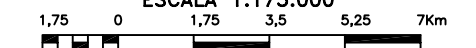
LIXÃO

 LIMITE DO PROJETO

— ESTRADAS

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

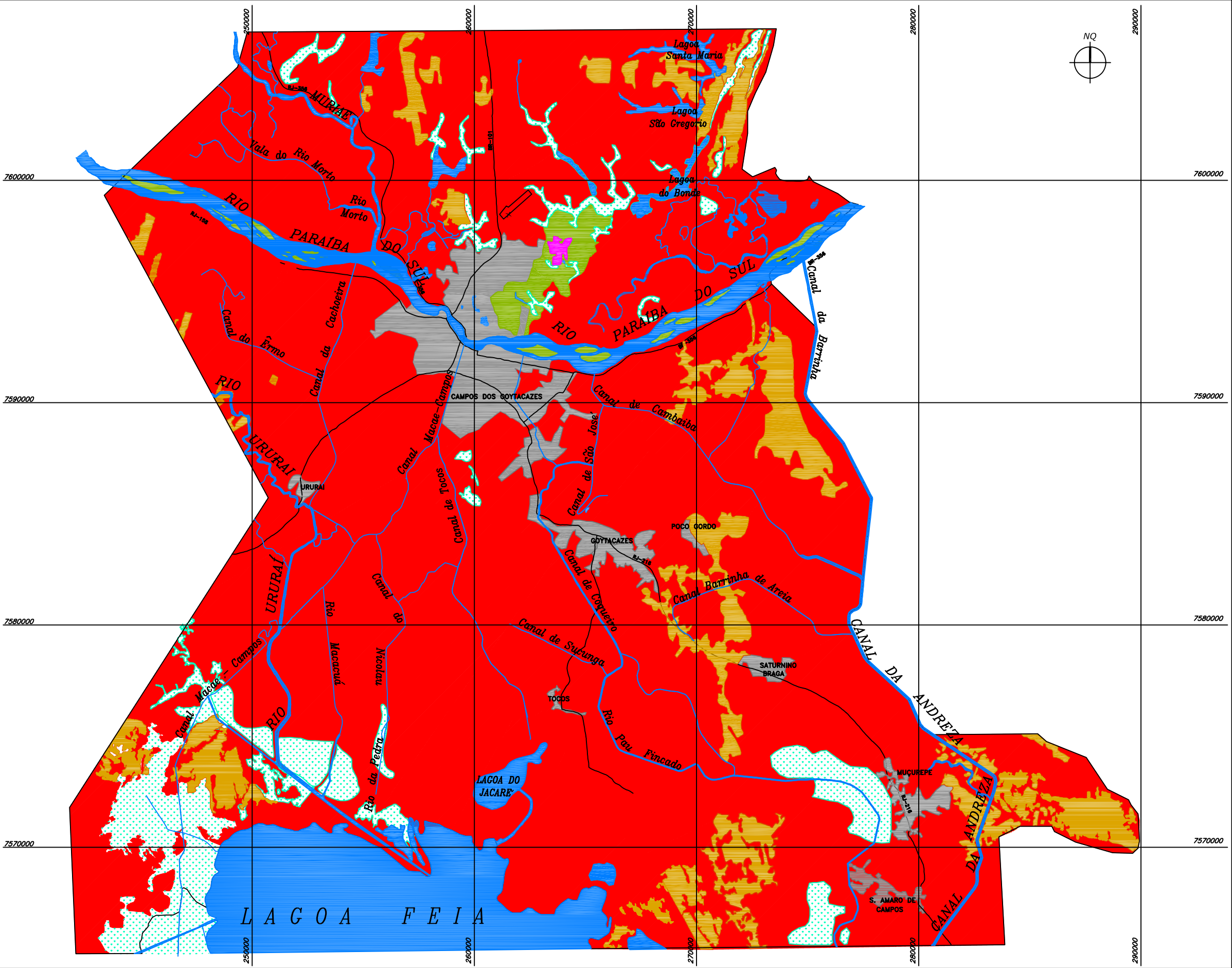
ESCALA 1:175.000



Origem da quillometragem : Equador e Meridiano 45° W.Gr.
acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente

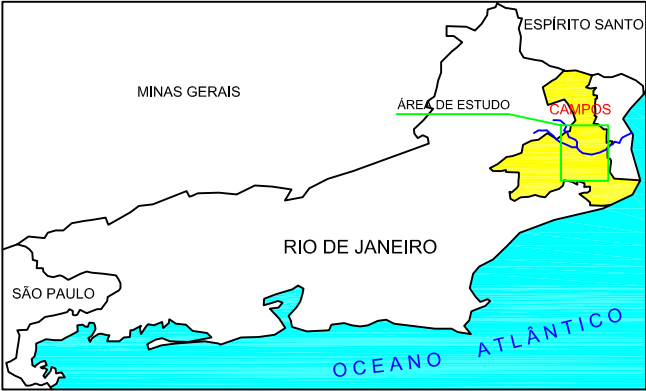
Datum vertical : mágrafo Imbituba, SC
Datum horizontal : Corrego Alegre, MG

ANEXO 9 - Mapa da carga potencial de poluição dos herbicidas.



MAPA DA CARGA POTENCIAL
POLUIDORA DOS HERBICIDAS

PLANTA DE SITUAÇÃO (SEM ESCALA)



CLASSE(S) DAS CARGAS

ELEVADA

LEGENDA

- CAMPO/PASTAGENS
- SOLO EXPOSTO
- ÁREA INUNDÁVEL
- ÁREA URBANA
- HIDROGRAFIA
- LIXÃO
- LIMITE DO PROJETO
- ESTRADAS

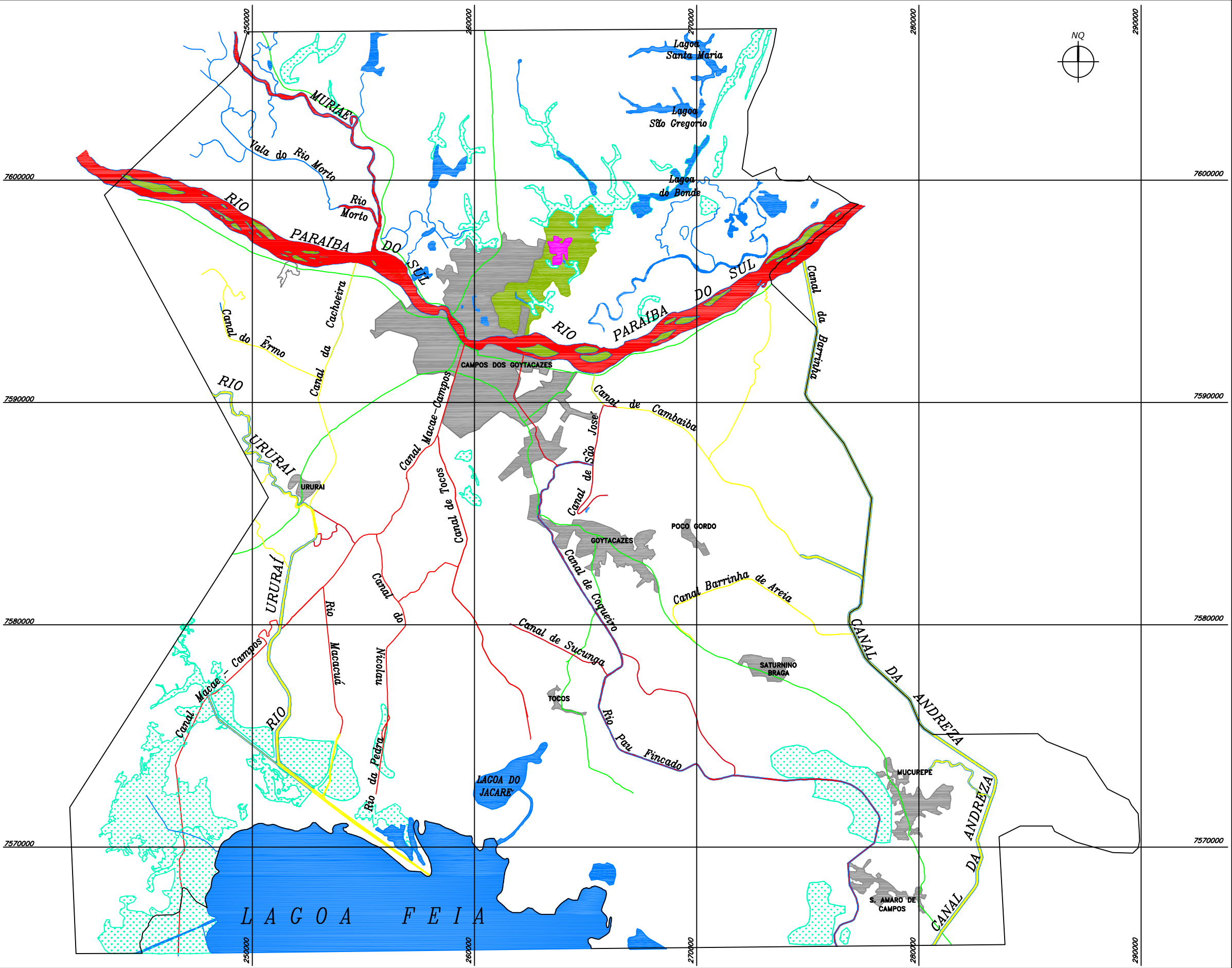
PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

ESCALA 1:175.000

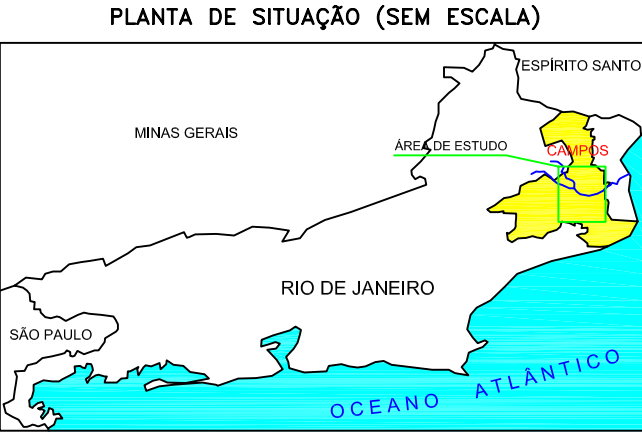
1,75 0 1,75 3,5 5,25 7Km

Origem da quilometragem : Equador e Meridiano 45° W.Gr.
acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente
Datum vertical : máregrafo Imbituba, SC
Datum horizontal : Corrego Alegre, MG

ANEXO 10 - Mapa da carga potencial de poluição das drenagens.



MAPA DA CARGA POTENCIAL
POLUIDORA DAS DRENAGENS



CLASSE(S) DAS CARGAS

- ELEVADA
- MODERADA

LEGENDA

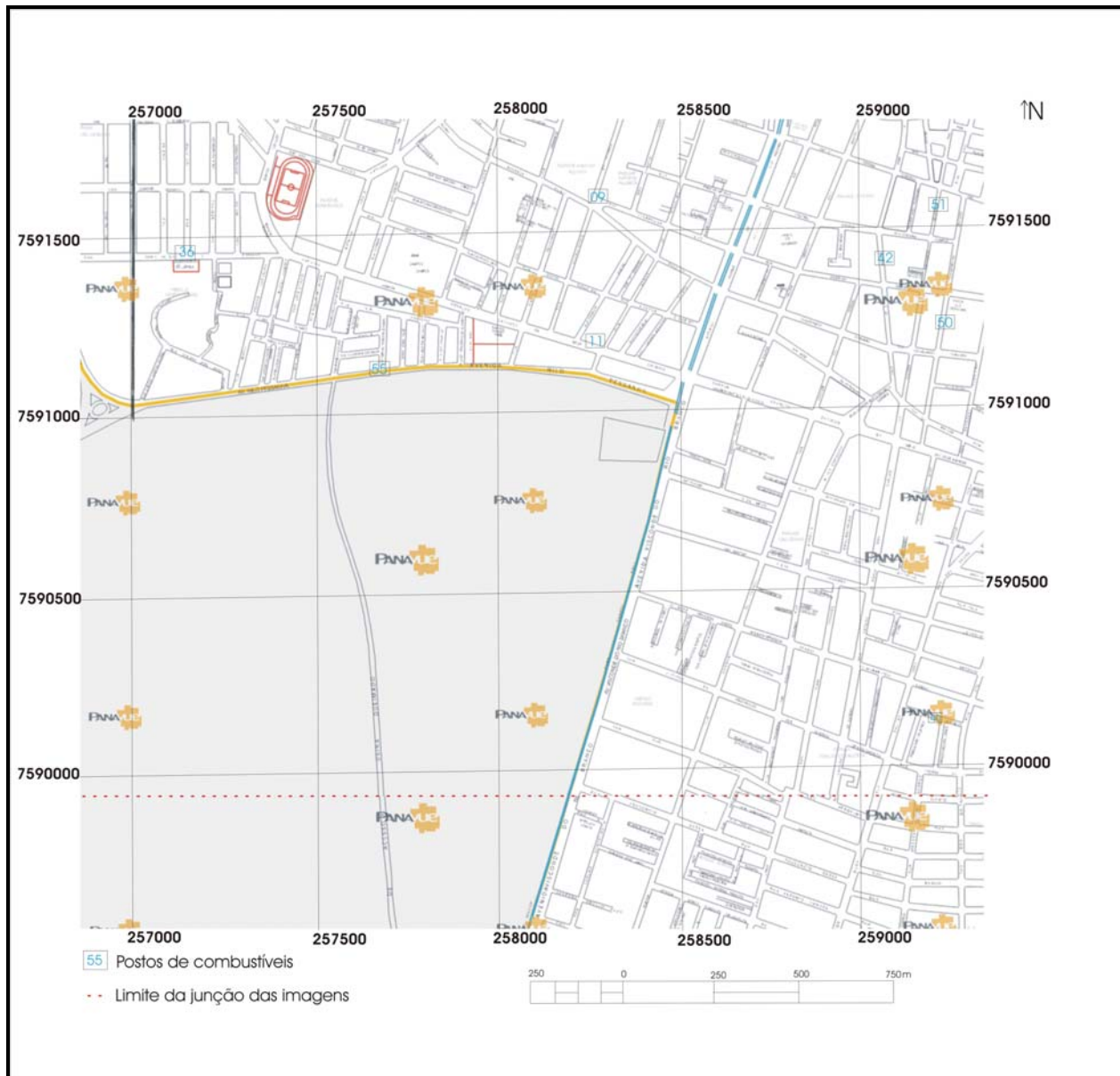
- ÁREA URBANA
- HIDROGRAFIA
- ÁREA INUNDADA
- LIMITE DO PROJETO
- ESTRADAS
- LIXÃO
- CAMPO/PASTAGENS

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
ESCALA 1:175.000
1,75 0 1,75 3,5 5,25 7Km
Origem da quilometragem : Equador e Meridiano 45° W.Gr.
acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente
Datum vertical : mágrafo Imbituba, SC
Datum horizontal : Corrego Alegre, MG

ANEXO 11 - Planilha com as coordenadas aproximadas, em nível de quadra, das posições dos postos de combustíveis.

POSTOS DE COMBUSTÍVEIS			
Nº	NOME	COORDENADAS (m) *	
		NORTE	ESTE
01	POSTO CENTRAL LTDA.	7592400	259090
02	POSTO MOREIRA SANTOS	7592177	257667
03	POSTO SANTO AMARO	7589496	260797
04	POSTO SÃO CRISTÓVÃO DE CAMPOS	7592198	258584
05	POSTO SANTA CRUZ	7593720	258739
06	POSTO PAGODE	7596893	260451
07	POSTO ABOLIÇÃO	7592069	260428
08	POSTO RIO-CAMPOS VEÍCULOS	7591913	258133
09	POSTO SANTANA	7592033	259574
10	TOP SET AUTO POSTO	7591475	258118
11	POSTO PEDRALVA	7593601	258826
12	POSTO ALVORADA	7594709	259634
13	POSTO FLAMBOYANT	7591023	260897
14	POSTO GUERRA	7591040	259273
15	POSTO DA PENHA DE CAMPOS	7588041	263053
16	POSTO TROPICAL	7593040	261284
17	POSTO GAROUPA 2	7592518	259056
18	POSTO SÃO CAETANO	7592824	257529
19	POSTO SAINT GERMAIN	7594437	256603
20	POSTO SÃO JOSÉ	7595104	258820
21	POSTO TOP 8	7596895	259347
22	POSTO BONSUCESSO	7596073	259608
23	POSTO CAROBELLA	7593466	255877
24	POSTO GMC	7591703	259719
25	POSTO LÍDER	7593464	258915
26	POSTO CONTORNO DE CAMPOS	7592376	257581
27	POSTO IMPACTO 2	7593270	256711
28	POSTO IMPACTO	7592455	258948
29	POSTO VENENO	7592072	258840
30	POSTO REDE ENERGIA	7591777	261098
31	POSTO ESSO SÃO JOSÉ	7591683	258980
32	POSTO UNIVERSO	7591743	261773
33	POSTO NOVA GERAÇÃO	7592353	259195
34	POSTO BOM MARCHE	7593140	257298
35	POSTO UNIVERSITÁRIO	7593240	256814
36	POSTO MONZA	7591478	259141
37	POSTO 13 DE MAIO	7591850	259154
38	POSTO BEIRA RIO	7592450	259189
39	POSTO AICÁ	7591370	257505
40	POSTO WEB MAX	7592026	260567
41	POSTO SETE DE SETEMBRO	7592059	259417
42	POSTO BRASIL	7598521	261019
43	POSTO IPS	7590291	259076
44	AUTO POSTO CURCIO	7599357	261009
Fonte: (APPC, 2003). Ccoordenadas UTM - Datum Córrego Alegre			

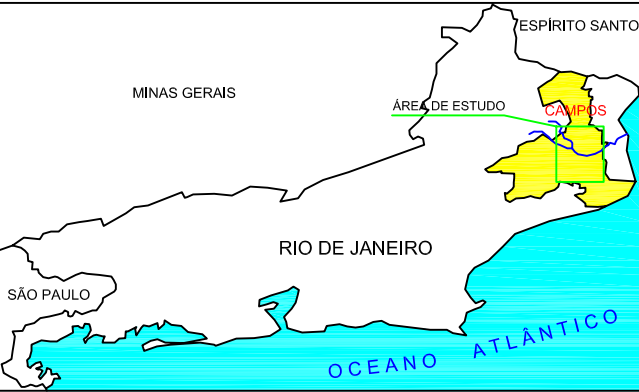
ANEXO 12 - Detalhe da base cartográfica da área urbana de Campos dos Goytacazes, com a posição aproximada de alguns postos de combustíveis.



ANEXO 13 - Mapa da carga potencial de poluição dos postos de combustíveis.

MAPA DA CARGA
POTENCIAL POLUIDORA
DOS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

PLANTA DE SITUAÇÃO (SEM ESCALA)



CLASSE(S) DAS CARGAS



ELEVADA

LEGENDA

ÁREA URBANA

HIDROGRAFIA

ÁREA INUNDADA

LIMITE DO PROJETO

ESTRADAS

LIXÃO

CAMPO/PASTAGENS

POSTO DE COMBUSTÍVEIS

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

ESCALA 1:175.000

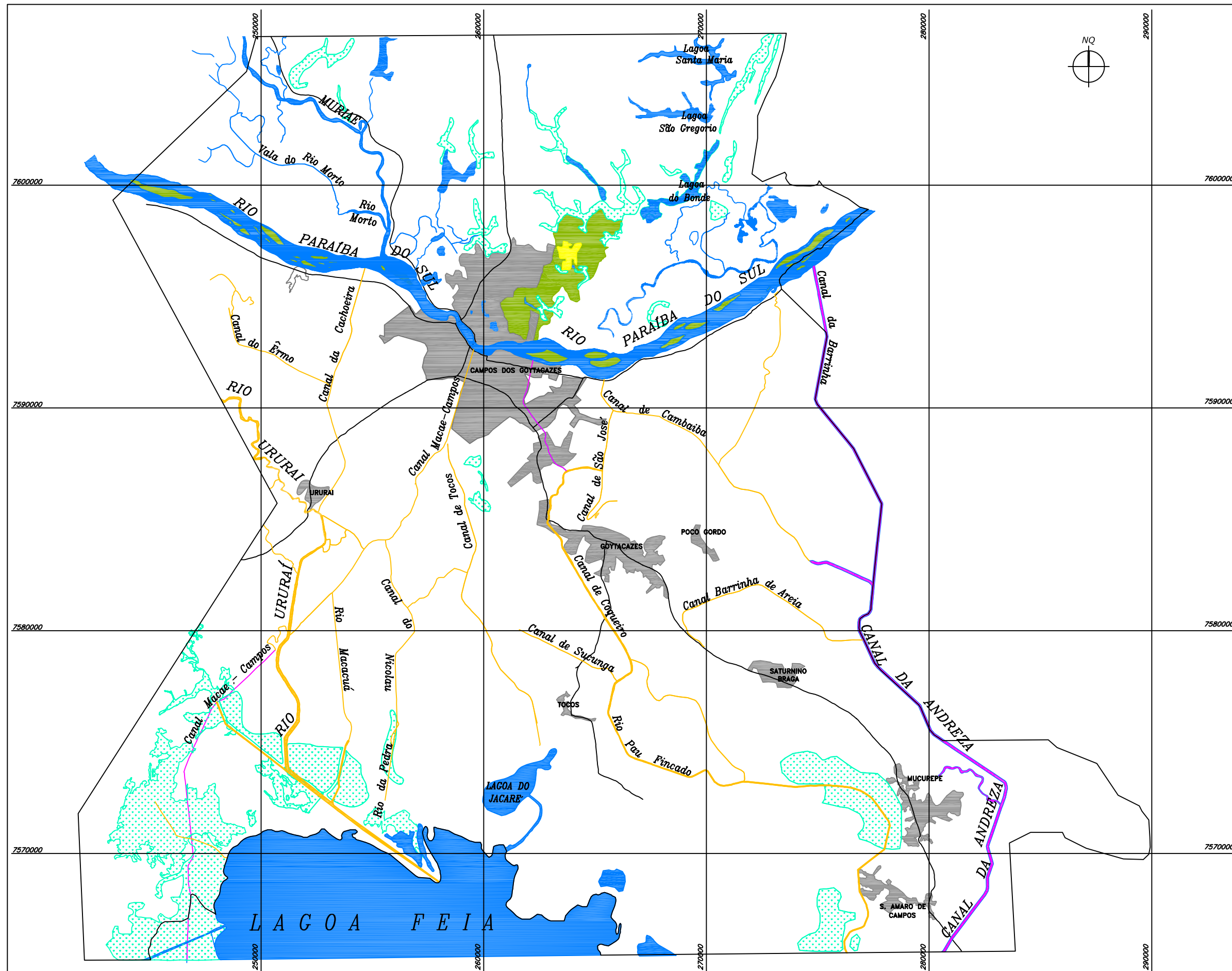


Origem da quilometragem : Equador e Meridiano 45° W.Gr.
acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente
Datum vertical : mágrafo Imbituba, SC
Datum horizontal : Corrego Alegre, MG

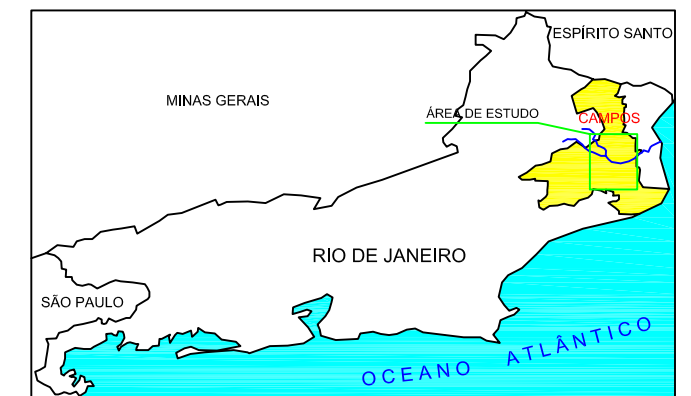
**ANEXO 14 - Mapa das áreas de risco de adubação
(química e fertirrigação).**

ANEXO 15 - Mapa das áreas de risco das drenagens.

MAPA DE RISCO DAS DRENAGENS



PLANTA DE SITUAÇÃO (SEM ESCALA)



CLASSE(S) DE RISCO

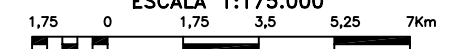


LEGENDA



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

ESCALA 1:175.000



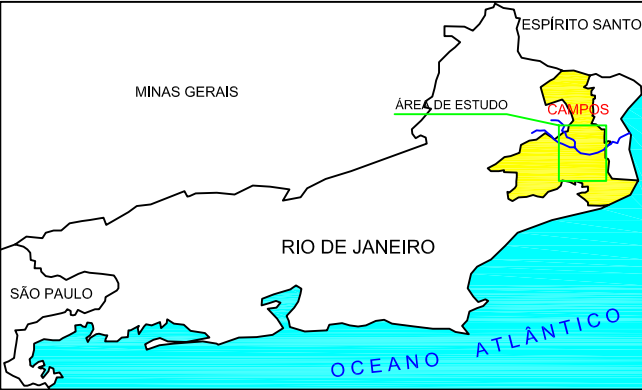
Origem da quilometragem : Equador e Meridiano 45° W.Gr.
acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente

Datum vertical : máregrafo Imbituba, SC
Datum horizontal : Corrego Alegre, MG

ANEXO 16 - Mapa das áreas de risco dos postos de combustíveis.

MAPA DE RISCO
DOS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

PLANTA DE SITUAÇÃO (SEM ESCALA)



CLASSE(S) DE RISCO

- EXTREMO
- ALTO

LEGENDA

- ÁREA URBANA
- HIDROGRAFIA
- ÁREA INUNDADA
- LIMITE DO PROJETO
- ESTRADAS
- LIXÃO
- CAMPO/PASTAGENS
- POSTO DE COMBUSTÍVEIS

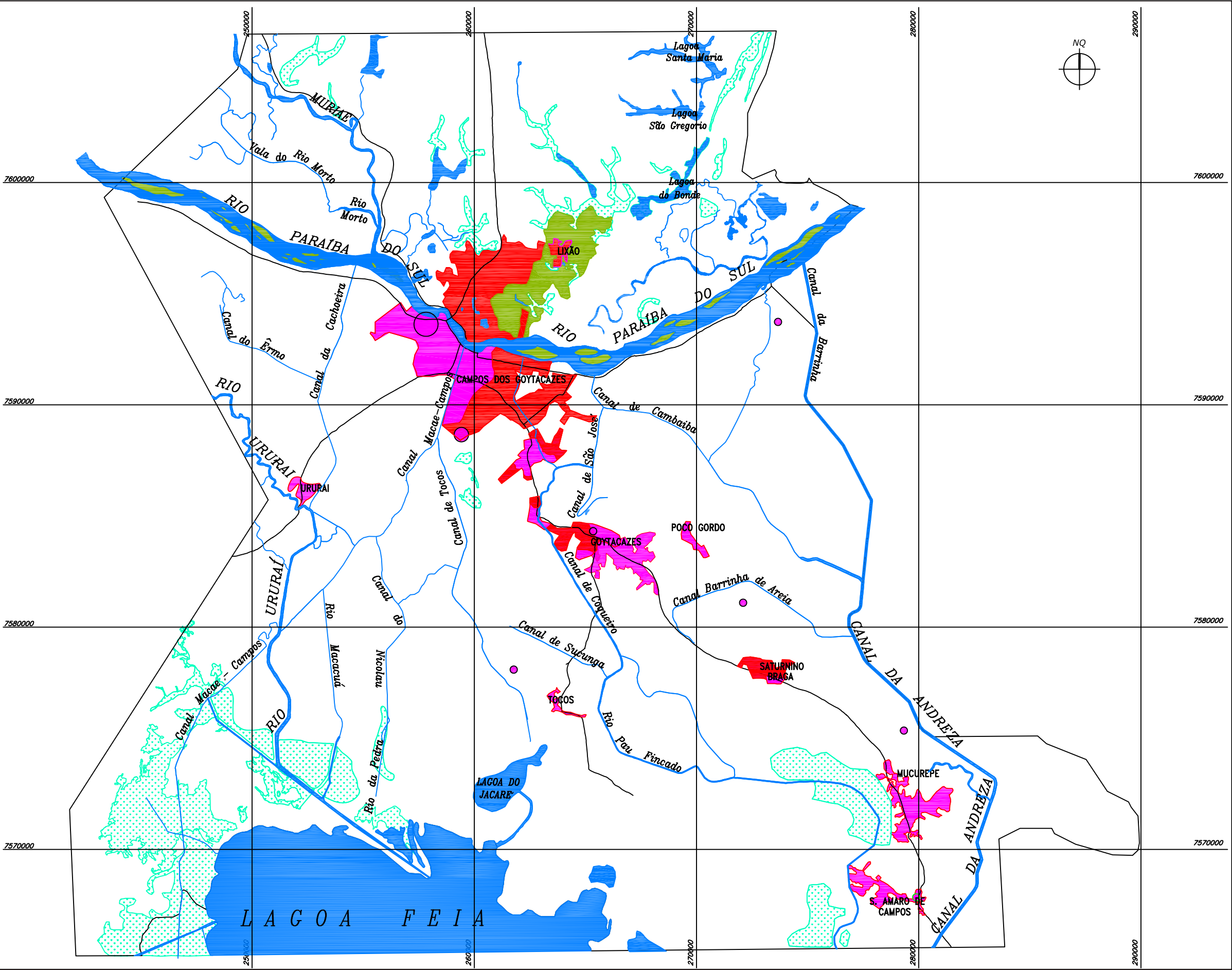
PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

ESCALA 1:175.000

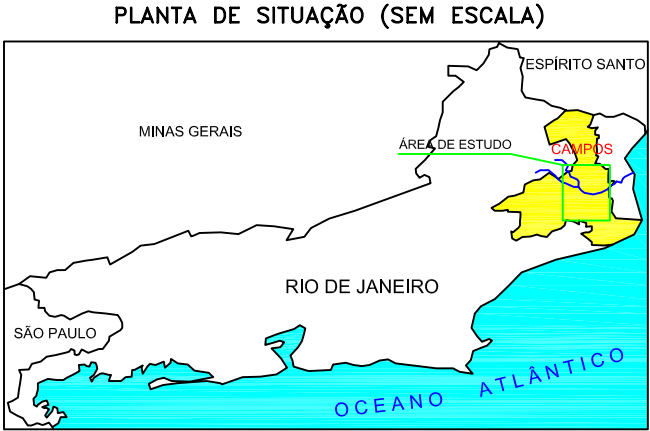


Origem da quilometragem : Equador e Meridiano 45° W.Gr.
acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente
Datum vertical : máregrafo Imbituba, SC
Datum horizontal : Corrego Alegre, MG

**ANEXO 17 - Mapas das áreas de risco na área urbana
(lixão, saneamento *in situ* e cemitérios).**



MAPA DAS ÁREAS DE RISCO
NA ÁREA URBANA
(SANEAMENTO IN SITU, CEMITÉRIOS E LIXÃO).



CLASSE(S) DE RISCO

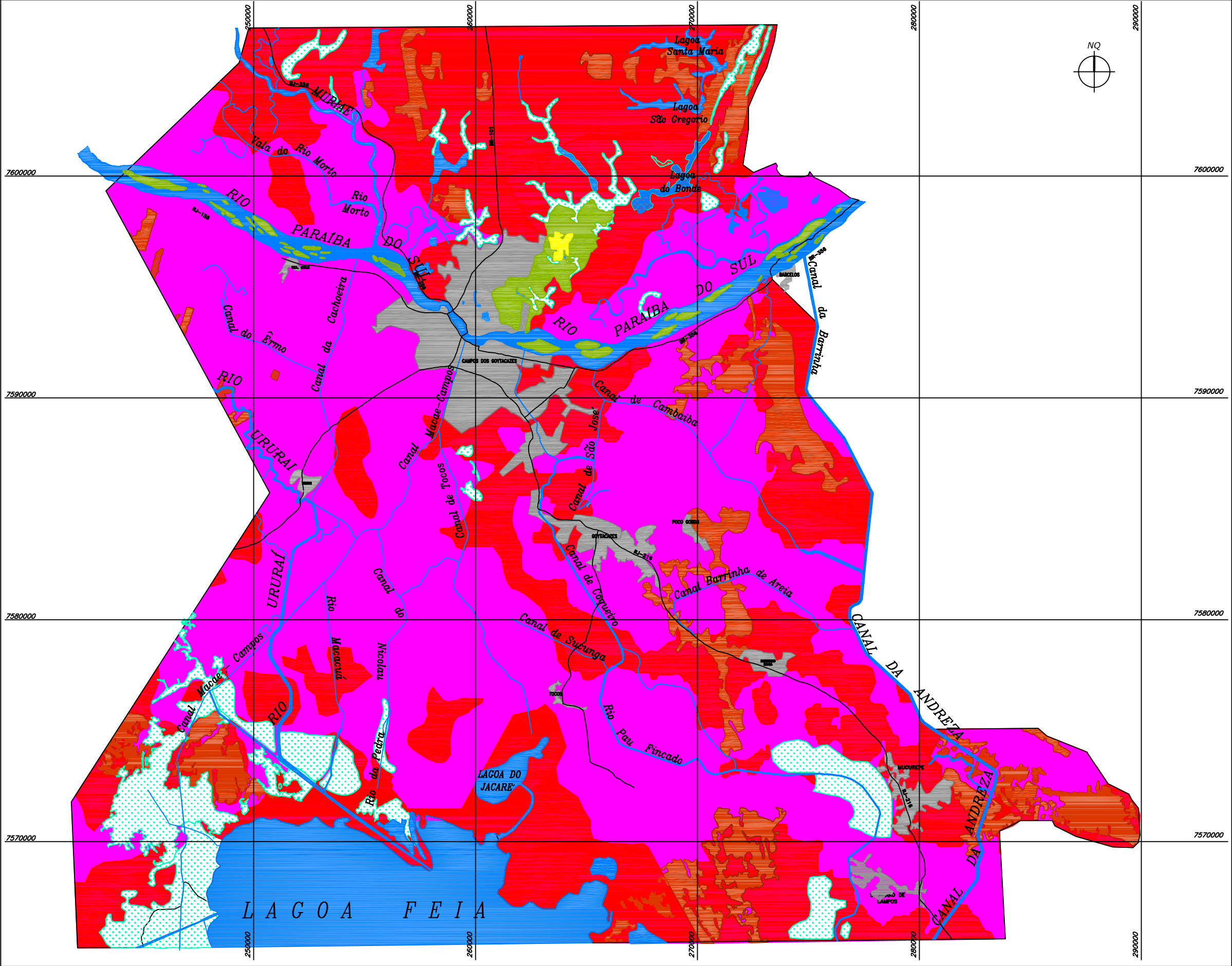
- EXTREMO
- ALTO

LEGENDA

- HIDROGRAFIA
- ÁREA INUNDADA
- LIMITE DO PROJETO
- ESTRADAS
- CAMPO/PASTAGENS
- CEMITÉRIO COM MÉDIA DE 6 SEPULTAMENTOS POR DIA.
- CEMITÉRIO COM MÉDIA DE 1SEPULTAMENTO POR DIA.
- CEMITÉRIO COM MÉDIA DE 1,5 SEPULTAMENTO POR DIA.

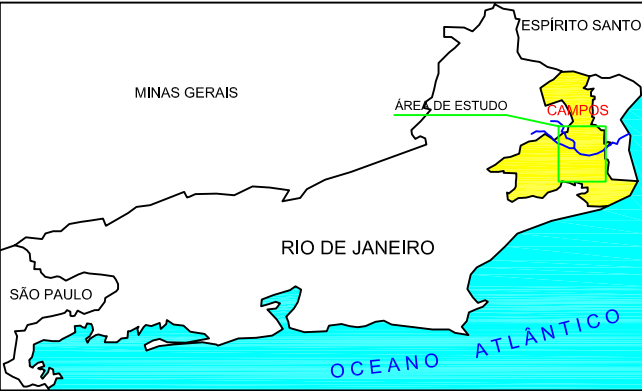
PROJECAO. UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
ESCALA 1:175.000
1,75 0 1,75 3,5 5,25 7Km
Origem da quilometragem : Equador e Meridiano 45° W.Gr.
acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente
Datum vertical : maregrafo Imbituba, SC
Datum horizontal : Corrego Alegre, MG

ANEXO 18 - Mapas das áreas de risco dos herbicidas.



MAPA DAS ÁREAS DE RISCO
DOS HERBICIDAS

PLANTA DE SITUAÇÃO (SEM ESCALA)



CLASSE(S) DE RISCO

- EXTREMO
- ALTO

LEGENDA

- ÁREA URBANA
- HIDROGRAFIA
- ÁREA INUNDADA
- LIXÃO
- CAMPO/PASTAGENS
- SOLO EXPOSTO
- LIMITE DO PROJETO
- ESTRADAS

PROJECAO: UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

ESCALA 1:175.000



Origem da quilometragem : Equador e Meridiano 45° W.Gr.
acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente
Datum vertical : maregrafo Imbituba, SC
Datum horizontal : Corrego Alegre, MG