UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

PRECIPITAÇÕES CRÍTICAS, PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO DAS DRENAGENS SUPERFICIAIS UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS: REFINARIA PRESIDENTE BERNARDES – CUBATÃO (RPBC)

RITA CRISTINA CANTONI PALINI

CAMPINAS
2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

RITA CRISTINA CANTONI PALINI

PRECIPITAÇÕES CRÍTICAS, PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO DAS DRENAGENS SUPERFICIAIS UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS: REFINARIA PRESIDENTE BERNARDES – CUBATÃO (RPBC)

Disssertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos.

Orientador: Antonio Carlos Zuffo

CAMPINAS

2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Palini, Rita Cristina Cantoni
P176p Precipitações críticas, planejamento e gerenciamento das drenagens superficiais utilizando sistemas de informações geográficas: Refinaria Presidente Bernardes - Cubatão (RPBC) / Rita Cristina Cantoni Palini. -- Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: Antonio Carlos Zuffo.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Drenagem. 2. Residuos industriais. 3. Petroleo - Refinarias. 4. Petróleo. 5. Sistemas de informação geografica. I. Zuffo, Antonio Carlos. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Critical rains, planning and run-off management using geografic information system on Presidente Bernardes - Cubatão Refinery (RPBC)
Palavras-chave em Inglês: Drainage, Waste, Disposal of, Oil refineries, Petroleum, Geographic Information System (GIS)
Área de concentração: Recursos Hídricos
Titulação: Mestre em Engenharia Civil
Banca examinadora: Rodrigo de Melo Porto, Eglé Novaes Teixeira
Data da defesa: 30/01/2008
Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

RITA CRISTINA CANTONI PALINI

PRECIPITAÇÕES CRÍTICAS, PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO DAS DRENAGENS SUPERFICIAIS UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS: REFINARIA PRESIDENTE BERNARDES – CUBATÃO (RPBC)

Disssertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Carlos Zuffo
FEC - UNICAMP

Prof. Dr. Rodrigo de Melo Porto
EESC - USP

Profª. Drª. Eglé Novaes Teixeira
FEC - UNICAMP

Campinas, 30 de janeiro de 2.008

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu marido, Luís, eterno incentivador, que com seu amor sempre apoiou o meu crescimento profissional.

Aos meus filhos, Ana Cristina, Enzo, Aline e Beatriz, fonte de inspiração em tudo o que faço.

E, aos meus pais, sem os quais eu nada faria.

“Se eu falar a língua dos homens e dos anjos e não tiver caridade (amor), sou como o metal que soa , ou como o sino que tine. E se eu tiver o dom de profecia, e conhecer todos os mistérios, e quanto se pode saber: e se tiver toda fé, até o ponto de transportar montes, e não tiver caridade, não sou nada.”

1ª. Epístola de São Paulo aos Coríntios.

Evangelho de Jesus Cristo

AGRADECIMENTOS

Ao Profº. Dr. Antonio Carlos Zuffo, orientador e amigo, que acreditou que era possível a realização e me auxiliou diretamente a concretizá-lo.

À Profª. Drª. Eglé Novaes Teixeira, por suas intervenções construtivas que me auxiliaram a nortear a finalização dos trabalhos.

À Profª. Drª Maria Teresa Françoso que prestou preciosas informações para a realização deste trabalho.

Às Profªs. Rozely Ferreira dos Santos e Mônica Zuffo, pelo apoio, sugestões e confiança a mim dedicados.

Ao meu coordenado, Carlos Alberto Violatti Jr, e ao meu gerente, Antonio Carlos D'Ornellas Pereira, que viabilizaram a execução deste trabalho.

Aos meus colegas e amigos da Petrobrás, e em especial, à Sandra, à Célia, ao Edson, Márcio, Paulo Pena, Carletti e Rubens, que me auxiliaram na obtenção de informações e subsídios, necessários à realização deste trabalho.

Agradeço todos os funcionários da Secretária de Pós-Graduação, em especial, à Sueli e à Paula, que sempre estiveram à disposição para os esclarecimentos necessários, com prontidão e alegria.

A todos os meus professores da FEC, em especial, aos Profºs. Drs. Abel Maia Genovez e Ana Inês Borri Genovez, que com disposição e dedicação nos ensinaram a aprender.

E, por fim, e não menos importante, à Socióloga Josiene Silva e ao Arq. Delcides Regatieri, da Prefeitura Municipal de Osasco, à Arq. Débora Sibantos Penteado, da Prefeitura Municipal de São Paulo e ao Engºs. Marcos, Maria de Lourdes (Itatiba) e Mário Albino Martins (São Paulo), da Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (SABESP), pela amizade e confiança que me permitiram continuar com o programa de mestrado

RESUMO

PALINI, Rita Cristina C. **Precipitações críticas, planejamento e gerenciamento das drenagens superficiais utilizando sistemas de informações geográficas na Refinaria Presidente Bernardes - Cubatão (RPBC)**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2008. 188 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2008.

O aumento das intensidades de precipitação verificado nas últimas décadas tem solicitado mais os itens que compõem os sistemas de drenagem, mostrando a deficiência de alguns projetos de décadas passadas. Aliado a isto, a sociedade tem a necessidade premente de conservação dos recursos hídricos, por causa da escassez de água. Numa refinaria de petróleo este assunto é particularmente importante por causa dos grandes volumes de água utilizados e consumidos no processo industrial, assim como também por causa das grandes dimensões das áreas de processo e de estoque de matéria-prima e produtos acabados, que têm potenciais riscos ambientais associados (óleo cru, naftas, benzeno, "*slop*", enxofre). Quando a água precipita sobre estas áreas gera diferentes tipos de escoamentos, que podem ser simplesmente escoamento superficial livre (água pluvial), se livres de contaminação proveniente da área industrial, ou efluentes que devem ser tratados, caso venham a contaminar-se em sítios específicos dessas grandes áreas industriais. Neste trabalho pretende-se reunir

os conceitos de hidrologia e de precipitações intensas, assim como os conceitos relacionados à produção do escoamento limpo ou efluente contaminado e aplicá-los aos elementos reais da Refinaria Presidente Bernardes (RPBC) em um Sistema de Informação Geográfica - SIG. Desta forma, constrói-se a análise-diagnóstico do problema considerando toda a dinâmica complexidade ambiental, econômica e legal que envolve a planta industrial na drenagem das suas águas.

PALAVRAS-CHAVES: Drenagem industrial. Precipitação intensa. Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Coeficiente de escoamento superficial. Petróleo. Hidrocarbonetos. Refinaria. Petrobrás.

ABSTRACT

PALINI, Rita Cristina C. **Critical rains, planning and run-off management using geografic information system on Presidente Bernardes - Cubatão Refinary (RPBC)**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2008. 188 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2008.

The increase on the rains intensity veryfied on last decades has requested the conveyances over than their capacity, showing deficiencies on old designed systems. At the same time, society has the crying need of water resources conservation, justified by the water's scarcity. In an oil refinery this subject is particularly important because of the great amounts of water that are used and consumed into the industrial process, and also because of the great dimensions of the process and stock of raw material and products areas, which has substances with great environmental risks associated (crude oil, naftas, benzene, slop, sulphur). When the water falls over these areas creates different flows, that may become storm water flow, when free from the refinery contamination, or may become polluted effluents that must be treated, when contamined in specific industrial area sites. This work intends to join the concepts of hydrology and rain intensity, and also the concepts related to the clean and contamined discharge rate that are produced into the industrial plant and aply them to the Refinery Presidente Bernardes – Cubatão, into a Geographic Information System Database (GIS). By this

way, it builds analysis-diagnosis of the problem considering the whole environmental, economics and legal complexity dynamics that involves the water drainage into the industrial plant.

Key-Words: Industrial Drainage. Intense Precipitation. Geographic Information Systems (GIS). Run-Off Coefficient. Petroleum. Hydrocarbons. Refinery. Petrobras.

b

LISTA DE FIGURAS

		pág.
FIGURA 4.1	Refinaria Presidente Bernardes Cubatão, Serra do Mar, Cubatão, Rodovias Anchieta e a atual Rodovia Cônego Domenico Rangoni, antiga Rodovia Piaçagüera-Guarujá.	43
FIGURA 4.2	Ocupação do solo atual e prevista, estabelecimentos industriais no município de Cubatão/Baixada Santista.	45
FIGURA 4.3	Perfil Topográfico da Serra do Mar/ Baixada Santista de NO a SE.	46
FIGURA 4.4	Área degradada na Serra do Mar. Note-se as árvores mortas, retorcidas, a ausência de vegetação desenvolvida, e a erosão progressiva das encostas.	47
FIGURA 4.5	Área degradada na Serra do Mar. Note as árvores mortas, retorcidas, a ausência de vegetação desenvolvida, e a erosão progressiva das encostas.	47
FIGURA 4.6	Área da tancagem, junto à Bacia do Córrego das Pedras, onde ocorreu a corrida de lama de 06 de fevereiro de 1994.	49
FIGURA 4.7	Bacia do Córrego das Pedras, onde ocorreu a corrida de lama de 06 de fevereiro de 1994.	49
FIGURA 4.8	Lama entre a área da tancagem e a área de processo, logo após a corrida de lama de 06 de fevereiro de 1994.	50
FIGURA 4.9	Disponibilidade Hídrica x população residente.	51
FIGURA 4.10	Situação dos principais rios componentes da Bacia do Atlântico Sudeste: relação entre retirada de água (demanda) e a capacidade de doação (disponibilidade hídrica) dos rios.	53

pág.

FIGURA 4.11	Situação dos rios componentes da Bacia do Paraná em relação à retirada de água (demanda) e a capacidade de doação (disponibilidade hídrica) dos mesmos.	55
FIGURA 4.12	Estrutura típica de separação do “First Flush” – recomendação da EPA Australiana.	59
FIGURA 4.13	Situação do Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público na região de estudo.	63
FIGURA 4.14	Parâmetros avaliados pelo Índice de Qualidade da Água, suas funções de valor e pesos ponderados.	65
FIGURA 4.15	Disposição do Disco de Secchi para leitura e medição da transparência ou claridade da água.	73
FIGURA 4.16	Diferenças conceituais entre os tratamentos de séries de chuvas pelos métodos de séries totais e de séries anuais.	81
FIGURA 4.17	Informações sobrepostas: área de atendimento dos pontos comerciais existentes, mercado consumidor potencial e acessos..	106
FIGURA 5.1	Relação entre os *“softwares”* da família ArcGIS – ArcVIEW, ArcEditor, ArcINFO.	126
FIGURA 5.2	Esquema das micro-bacias e estruturas associadas às redes – redes de W-4 e redes de W-14.	127
FIGURA 5.3	Fluxograma básico da modelagem - drenagem das micro-bacias.	128
FIGURA 6.1	Desenho da Planta Industrial da Refinaria Presidente Bernardes – RPBC.....	132
FIGURA 6.2	Área de Estoque de Produto nas Áreas Oeste (AROE), Norte (ARNO) e Leste (ARLE) da RPBC.	133
FIGURA 6.3	Área de Estoque de Produto na Área Sul – Pátio de esferas (à esquerda) e armazenamento de gasolina de aviação – GAV – (à direita) e produtos leves (propano, p. ex.).	134
FIGURA 6.4	Unidades de Produção da Área Oeste (AROE) e da Área Norte (ARNO).	135
FIGURA 6.5	Unidades de Produção da Área Leste (ARLE) à esquerda e da Área SUL (ARSUL) à direita.	135

pág.

FIGURA 6.6	Unidades UB e UTG na da Área Leste (AROE) à esquerda e unidades URE e HDT na Área Leste (ARLE) à direita.	136
FIGURA 6.7	Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI), dividido em ETDI Velho (área de tratamento primário) e ETDI Novo (área de tratamento secundário	137
FIGURA 6.8	Central Termelétrica (que inclui a Casa de Força), acima, e a Estação de Tratamento de Água (ETA), abaixo.	138
FIGURA 6.9	Oficinas de Manutenção, acima, e Pátio de Manutenção de Máquinas, embaixo.	139
FIGURA 6.10	Áreas administrativas.....	140
FIGURA 6.11	Áreas administrativas – Área Sul (ARSUL) e junto ao rio Cubatão.	141
FIGURA 6.12	A rede modelada e parte dos dados que estão dentro do BD do SIG.	147
FIGURA 6.13	Imagem *raster* da planta industrial.	155
FIGURA 6.14	Trecho da imagem da refinaria, reconstituída de sobrevôo, que foi utilizada para interpretação.	156
FIGURA 6.15	Ambiente do *ArcMap*, onde existem as ferramentas de interpretação de imagem. À esquerda, o *ArcToolbox* aberto, dentro do *Spatial Analyst Tools*, a divisão *Multivariate*, e dentro desta, as ferramenta *Iso Cluster* e *Maximum Lilkelihood*.	157
FIGURA 6.16	Interpretação dos dados *raster* segundo 40 classes discretas. Abaixo, a distribuição da quantidade de *pixels* por classe de cobrimento.	158
FIGURA 6.17	Distribuição de *pixels* por CN identificado.	160
FIGURA 6.18	Determinação do CN a partir da imagem *raster.*	161
FIGURA 6.19	Áreas e perímetros dos locais drenados para a rede W-14 na ARLE.	162
FIGURA 6.20	Áreas resumidas por unidade gerencial – contribuição para W-14.	163

LISTA DE TABELAS E QUADROS

pág.

TABELA 4.1 População, área, PIB e distribuição do PIB por setor produtivo..... 42

TABELA 4.2 Resumo das características físico-climáticas relevantes para o estudo. 44

TABELA 4.3 Comparação da disponibilidade Hídrica e a População no Brasil.. 51

TABELA 4.4 Valores dos limites inferiores e superiores das substâncias Tóxicas e Organolépticas, utilizadas para compor as funções de avaliação de qualidade. 67

TABELA 4.5 Aval. da presença de cianobactérias para composição do **IAP**..... 68

TABELA 4.6 Substâncias componentes do IPMCA e suas ponderações.. 70

TABELA 4.7 Avaliação de IPMCA..... 71

TABELA 4.8 Classificação do Estado Trófico (rios) modificado por Toleto ou ainda Índice de Carlson Modificado – Rios..... 72

TABELA 4.9 Classificação do Estado Trófico modificado por Toledo ou ainda Índice de Carlson Modificado – Reservatórios..... 72

TABELA 4.10 Avaliação final do IET..... 74

TABELA 4.11 Tabela de cálculo do IVA em função do IPMCA e do IET..... 74

TABELA 4.12 Classificação Final do IVA..... 75

TABELA 4.13 Coeficientes de conversão das alturas precipitadas..... 88

pág.

TABELA 4.14 Recomendação para utilização da distribuição de HUFF..... 90

TABELA 4.15 Tipos de solos de acordo com o Modelo SCS..... 95

TABELA 4.16 Valores de **CN** para diferentes tipos de ocupação urbana..... 96

TABELA 4.17 Valores de **CN** para áreas agrícolas. 96

TABELA 4.18 Correção de **CN** de acordo com a umidade antecedente. 97

TABELA 4.19 Coeficiente de escoamento superficial de áreas impermeáveis - $\mathbf{C_i}$. 100

TABELA 4.20 Valores Limites (máximos) para adoção do Método Racional, segundo diversos autores. 101

QUADRO 4.1 Diferença entre os softwares SIG e CAD 108

TABELA 5.1 Matriz de Decisão para Escolha do Software. 123

QUADRO 5.1 Camadas de Informações do Modelo em SIG. 129

QUADRO 6.1 Precipitações de um dia para diversos $\mathbf{T_r}$ (em anos). 142

TABELA 6.1 Tratamento dos dados chuva através do Método Gumbel-Chow, e aplicação do Método da Probabilidade Acumulada de Kimbal..... 143

TABELA 6.2 Coeficientes de transporte de alturas precipitadas, conforme Magni, 1984..... 143

TABELA 6.3 Intensidades Precipitadas a partir da equação desenvolvida, na proporção dos coeficientes preconizados por Magni, 1984. 144

TABELA 6.4 Intensidades Precipitadas x duração da precipitação, para cada período de recorrência, conforme equações **4.39** e **4.40**..... 144

TABELA 6.5 Correlação entre as intensidades precipitadas para as diversas durações, na proporção das equações de Magni e Mero, 1986..... 145

TABELA 6.6 Intensidades Precipitadas a partir da equação desenvolvida, na proporção de Magni e Mero, 1986..... 145

TABELA 6.7 Coeficientes da CETESB corrigidos por Weiss, 1964..... 145

TABELA 6.8 Intensidades Precipitadas a partir da equação desenvolvida, na proporção dos coeficientes preconizados por CETESB corrigidos por Weiss, 1964..... 146

pág.

TABELA 6.9 Alturas precipitadas **P**, para $t_{c=}$ 20min, em função do $T_{r.}$. 148

TABELA 6.10 Primeira iteração para cálculo de t_c, aplicando a equação **5.4**..... 149

TABELA 6.11 Segunda iteração para cálculo de t_c, aplicando a equação **5.4**..... 149

TABELA 6.12 Terceira iteração para cálculo de t_c, aplicando a equação **5.4** 149

TABELA 6.13 Quarta iteração para cálculo de t_c, aplicando a equação **5.4** 149

TABELA 6.14 Intensidades de Precipitação (**I** ou I_p) e Altura Precipitada (**P**) em função do T_r e do t_c. 150

TABELA 6.15 Valores de t_c, I_p e **P** calculados pelo Método da Onda Cinemática. 150

TABELA 6.16 Dados de cada um dos "softwares" frente os critérios de avaliação 151

TABELA 6.17 Matriz de Decisão para a seleção da melhor opção de *software*.. 152

TABELA 6.18 Avaliação das opções utilizando-se o método ***CP***..... 153

TABELA 6.19 Avaliação das opções utilizando-se o método ***CGT***..... 153

TABELA 6.20 Avaliação das opções utilizando-se o método ***Média Ponderada***.. 154

TABELA 6.21 Cálculo do Coeficiente **C** do Método Racional utilizando-se os dados de interpretação de imagens, de redes através do software SIG..... 160

TABELA 6.22 Cálculo das vazões pela equação do Método Racional. 163

TABELA 7.1 Comparação entre os valores obtidos com a equação de chuva desenvolvida neste trabalho e os de Magni e Mero, 1986. 165

TABELA 7.2 Comparação entre os coeficientes para cálculo das alturas precipitadas a partir da equação de chuva. 166

TABELA 7.3 Comparação entre os valores obtidos neste trabalho e os de Pfafstetter – 24hs..... 166

TABELA 7.4 Comparação entre os valores obtidos neste trabalho e os de Pfafstetter – 30 min..... 167

TABELA 7.5 Comparação entre os valores obtidos neste trabalho e os de Pfafstetter – 15 min..... 167

TABELA 7.6 Comparação entre os valores obtidos neste trabalho e os de Pfafstetter – 5 min..... 167

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RPBC: Refinaria Presidente Bernardes Cubatão.

SIG: Sistema de Informações Geográficas.

ESRI: Environmental Systems Research Institute

Petrobras: Petróleo Brasileiro S.A.

PIB: Produto Interno Bruto

IAP: Índice de Qualidade da Água Bruta para Fins de Abastecimento Público

IPMCA: Índice de Variáveis Mínimas para Preservação da Vida Aquática

IET: Índice de Estado Trófico

IVA: Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas.

CAD: *Computer Aided Design*.

SCS: *Soil Conservation Service*.

CN: Coeficiente adimensioal de escoamento superficial para cálculo de vazão de escoamento superficial do Modelo SCS.

C_i: Coeficiente adimensional de escoamento superficial para áreas impermeabilizadas para cálculo de vazão de escoamento superficial do Método Racional.

C_p: Coeficiente adimensional de escoamento superficial para áreas permeáveis para cálculo de vazão de escoamento superficial do Método Racional.

C: Coeficiente adimensional de escoamento superficial ponderado para áreas impermeáveis e permeáveis para cálculo de vazão de escoamento superficial do Método Racional.

DAEE: Departamento de Águas e Energia Elétrica.

T_r: Período de Retorno do envento Crítico.

CETESB: Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

P ou p: Altura Precipitada durante um período, normalmente em milímetros, por vezes em metros.

t_c: Tempo de Concentração característico de uma bacia, para a chuva de projeto, normalmente em minutos.

I: Intensidade precipitada durante uma chuva de projeto, expressada mais comumente em mm/h, ou mm/min, ou m/h.

CP: *Compromise Programming* ou Programação por Compromisso

CGT: *Corporative Games Theory* ou Teoria dos Jogos Corporativos.

W-4 ou W4: Rede de águas oleosas (ou esgoto oleoso) da RPBC.

W-5 ou W5: Rede de águas pluviais limpas de RPBC.

W-14 ou W-14: Rede de águas contaminadas (ou esgoto contaminada) da RPBC.

ARNO: Área Norte ou Setor Norte da planta industrial da RPBC.

ARSUL: Área Sul ou Setor Sul da planta industrial da RPBC.

ARLE: Área Leste ou Setor Leste da planta industrial da RPBC.

AROE: Área Oeste ou Setor Oeste da planta industrial da RPBC.

GAV: Gasolina de Aviação.

ETA: Estação de Tratamento de Água.

BD: Banco de Dados.

PETROBRAS: Petróleo Brasileiro S.A.

SAO: Separador(es) Água e Óleo.

ONU: Organização das Nações Unidas.

TECUB: Terminal de Cubatão.

IDH-M: A rede modelada e parte dos dados que estão dentro do BD do SIG.

ETDI: Estação de Tratamento de Despejos Industriais.

UTDI: Unidade de Tratamento de Despejos Industriais.

CUBA 0027: Posto de monitoramento (CETESB) da qualidade das águas à montante da área de implantação da RPBC.

CUBA 0039: Posto de monitoramento (CETESB) da qualidade das águas à jusante da área de implantação da RPBC.

IQA: Índice de Qualidade da Água.

ISTO: Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas.

Π ou π: Produtória.

Q_i ou q_i: i-ésimo parâmetro de qualidade da água.

W_i ou w_i: Peso do i-ésimo parâmetro de qualidade.

ST: Substâncias Tóxicas.

SO: Substâncias Organolépticas.

q_{TA}: Parâmetro de qualidade avaliado pelo Teste de Ames

q_{THMFP}: Parâmetro de qualidade avaliado pelo Potencial de Formação de Trihalometanos.

q_{Cd}: Parâmetro de qualidade avaliado pelo teor de Cádmio.

q_{Pb}: Parâmetro de qualidade avaliado pelo teor de Chumbo.

q_{Cr}: Parâmetro de qualidade avaliado pelo teor de Cromo.

q_{Ni}: Parâmetro de qualidade avaliado pelo teor de Níquel.

q_{Hg}: Parâmetro de qualidade avaliado pelo teor de Mercúrio.

q_{NCC}: Parâmetro de qualidade avaliado pela presença e quantidade de cianobactérias.

q_{Al}: Parâmetro de qualidade avaliado pelo teor de Alumínio.

q_{Cu}: Parâmetro de qualidade avaliado pelo teor de Cobre.

q_{Zn}: Parâmetro de qualidade avaliado pelo teor de Zinco.

q_{Fe}: Parâmetro de qualidade avaliado pelo teor de Ferro.

q_{Mn}: Parâmetro de qualidade avaliado pelo teor de Manganês.

LI: Limite inferior.

LS: Limite superior.

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

OD: Oxigênio Dissolvido.

PE: Variáveis essenciais.

CL: Clorofila.

PT: Fósforo total

I, i_p ou i: Intensidade de precipitação (mm/h, mm/min, m/h, mm/h).

T_r: Período de recorrência.

Δt: Intervalo de duração ou, simplesmente, duração.

t_c: Tempo de concentração.

N: Número de anos de observação.

S_r: Frequência da chuva, ou ainda, o inverso do período de retorno.

So: Parâmetro constante de ajuste para o método de Alekseev, representa a média de freqüência anual de todas as chuvas maiores do que uma altura de chuva pré-determinada

x: Parâmetro constante de ajuste para o método de Alekseev.

n: Parâmetro constante de ajuste para o método de Alekseev, normalmente adotado entre 0,4 ou 0,5 para chuvas até 2hs.

h_{tr}: Altura precipitada da chuva considerada intensa para um determinado período de retorno.

P_r: Função probabilidade obtida a partir da observação de eventos reais.

X ou I: Grandeza variável sujeita à extremos.

r: Quantidade de eventos independentes reais observados.

T_m: Período de retorno de eventos particulares em séries muito grandes.

P_m: Probabilidade de ocorrência de um evento específico em séries muito grandes

P(X): Função probabilidade de um evento que seja maior ou igual ao evento X.

a, c ou a_1, b_1: Constantes da equação assintótica que define as probabilidades de eventos extremos.

A, B ou a_2, b_2,n: Constantes da equação exponencial que descrevem a probabilidade de ocorrência de eventos extremos.

y: Equação de redução das constantes assintóticas que descrevem a probabilidade de ocorrência dos eventos extremos.

K: Equação de probabilidade de eventos extremos, segundo Gumbel-Chow.

α: Variável da equação de probabilidade de ocorrência de eventos extremos de acordo com as simplificações e linearização propostas por Gumbel e modificadas por Chow.

β: Variável da equação de probabilidade de ocorrência de eventos extremos de acordo com as simplificações e linearização propostas por Gumbel e modificadas por Chow.

μ: Média da amostra de eventos sujeito à eventos extremos.

ς: Desvio padrão da amostra de eventos sujeito à eventos extremos.

t: Duração do evento crítico.

ε: Valor variável que depende da duração da precipitação para a equação que descreve evento extremo de chuva no trabalho de Otto Pfafstetter, para os postos no Brasil.

δ: Valor variável que depende da duração da precipitação para a equação que descreve evento extremo de chuva no trabalho de Otto Pfafstetter, para os postos no Brasil.

γ, e, f, g: Constante que depende de cada posto para a equação que descreve evento extremo de chuva no trabalho de Otto Pfafstetter, para os postos no Brasil.

Δt_{des}: Intervalo de duração da chuva desejada, equivale ao Δ_{t1}.

Δt_{ref}: Intervalo de duração da chuva referência, equivale ao Δ_{t2}.

Δ_{t1}: Intervalo de tempo inicial do evento crítico.

h_{t1}: Altura precipitada no evento crítico de duração igual ao intervalo inicial.

Δ_{t2}: Intervalo de tempo que é parte do intervalo de tempo inicial, para o evento crítico.

h_{t2}: Altura precipitada, no intervalo parcial, menor do que o intervalo de tempo inicial.

M: Número de ordem da respectiva intensidade do evento crítico, ou ainda, se é o evento mais crítico observado, M é igual a 1, se é o segundo evento mais crítico, M é igual a 2, e assim por diante.

N ou n: Número total de elementos.

D, E, F: Constantes para distribuição das chuvas segundo o método de Chicago ou método dos Blocos Alternados.

r_1: Relação entre o instante do pico da chuva e a duração total da chuva.

t_p: Instante do pico da chuva.

t_d: Duração total da chuva.

t_b: Instante genérico antes do instante de pico.

t_a: Instante genérico depois do instante de pico.

I_p: Intensidade de pico.

Q_p: Vazão de pico, gerada pelo escoamento superficial de uma chuva.

A_d ou A_t: Área total de drenagem.

Q_u: Vazão de chuva gerado pelo escoamento superficial, unitário, ou ainda por centímetro de chuva não infiltrante.

$Q_{u,p}$: Vazão de chuva gerado pelo escoamento superficial, unitário, ou ainda por centímetro de chuva não infiltrante.

t_R: Duração da chuva não infiltrante.

t_L: Tempo de resposta da bacia.

T_B: Tempo de base do hidrograma triangular de aproximação para iniciar o método do SCS.

d: Parcela da área que é impermeável, ou ainda parcela drenante.

i_e: Precipitação não infiltrante da área permeável.

Q_j: Vazão oriunda do escoamento superficial provocado pela intensidade de precipitação Ij no instante j.

Q_{j-1}: Vazão de escoamento superficial no instante imediatamente anterior ao instante j, provocada pela intensidade de precipitação imediatamente anterior ao instante j.

GPS: *Global Positioning System.*

PC: *Personal Computer.*

CGIS: Canada Geographic Information Systems.

MOSS: Plataforma SIG para pesquisa e cadastramento de ambientes e seus biocomponentes do Forest Service

ELAS: Plataforma SIG para pesquisa e cadastramento de ambientes e seus biocomponentes da NASA, o nome são as iniciais do Earth Resources Laboratory Applications Software.

DIME: Plataforma SIG para pesquisa e cadastramento de ambientes, ruas e estradas do U.S. Census Bureau, o nome significa Dual Independent Map Encoding.

ArcINFO: Plataforma SIG para pesquisa e cadastramento de ambientes e seus componentes (bióticos ou abióticos) da ESRI.

MGE: Plataforma SIG para pesquisa, cadastramento e roteamento, o nome significa Modular GIS Environment

GEOMEDIA: Plataforma SIG para pesquisa e cadastramento de ambientes e seus componentes bióticos e abióticos, porém possui funcionalidades específicas direcionados para utilização em transportes e roteamento.

JANAÍNA: Plataforma SIG para pesquisa e cadastramento de elementos do saneamento ambiental e urbano.

GEMPI: Empresa especializada em soluções de TI georreferenciadas, seu nome fantasia provem da abreviatura de Gestão Empresarial e Informática Ltda.

SAGRE: Sistema Automático de Gerência de Rede Externa, software para gerenciamento do sistema de rede elétrica externa da Telebras.

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

SPRING: Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas desenvolvido por um convênio entre INPE, Petrobras/CENPES, EMBRAPA/CNPTIA, IBM Brasil e TECGRAF.

TERRAVIEW: Aplicativo construído sobre a biblioteca de geoprocessamento TerraLib, que manipula dados vetoriais e matriciais em SGBD relacionais ou geo-relacionais de mercado.

EVTE: Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental.

VIP: Value Incremental Practice, ou ainda, Práticas de Incrementos de Valor

MATD, MCDM ou MCDA: Métodos de auxílio à tomada de decisão, *Multicriteria Decision Making* ou *Multicriteria Decision Aid*.

DM: *Decision Maker* ou Tomador de Decisão.

IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS.

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HEC-GeoRAS: Hidrologic Engineering Center Georreferenced River Analysis System

HEC-RAS: Hidrologic Engineering Center River Analysis System

US: United States

USACE: Unites States Army Corp of Engineers

EMPLASA: Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A.

AGEM: Agência Metropolitana para Desenvolvimento da Baixada Santista.

f: Fator de conversão para correlação entre eventos críticos, onde a duração do evento procurado é parte da duração do evento conhecido.

n_i: Ordem do intervalo que está sendo analisado. O evento principal é dividido em n intervalos iguais e organizados em ordem crescente, sendo que o objeto de atenção é o $n\text{-}iésimo$ elemento.

$\int x \, \partial x$: Integral do intervalo de tempo de tamanho x (que varia de 0,5 até 1, ou seja, de metade deste intervalo até o intervalo total).

n_m: Coeficiente de rugosidade de manning

L: Comprimento total do talvegue considerado.

S_p: Declividade do fundo do canal (m/m).

H: Diferença total entre as cotas do talvegue considerado

P: Altura total de água precipitada.

Q: Altura total que provoca o escoamento superficial, ou que gera a vazão de chuva, já descontados as parcelas infiltrantes de chuva.

I_a: Perdas iniciais da altura precipitada.

S: Capacidade de armazenamento da camada superior do solo.

A_p: Parcela da área total drenante que é permeável.

A_i: Parcela da área total drenante que é impermeável.

C1: Equação para avaliação de custos de software, na matriz de decisão.

l_s: Avaliação da opção x frente a todos os parâmetros propostos

$\sum$: Somatório

α_i^s: Pesos atribuídos a cada parâmetro de avaliação.

f_i: É o valor do parâmetro i para a opção x.

$f_{i,w}$: É o pior avaliação do parâmetro em todas as opções.

f_i^*: É a melhor avaliação de todos em todas as opções.

UV: Unidade de destilação atmosférica V

UC: Unidade de destilação atmosférica C

UVN: Unidade de destilação a vácuo da UN

UVC: Unidade de destilação a vácuo da UC

UFCC: Unidade Fracionamento Fluido Catalítico, ou, *'Fluid Catalitic Cracking'*.

URC: Unidade de Reforma Catalítica.

URA: Unidade de Reforma Atmosférica.

UPF: Unidade de Pré-Fabricação.

UGAV: Unidade de Gasolina de Aviação.

UCP-I: Unidade de Coque de Petróleo I

UCP-II: Unidade de Coque de Petróleo II

HDT: Unidade de Hidrotratamento.

URE: Unidade de Remoção de Enxofre.

UTG: Unidade de Tratamento de Gás.

UB: Unidade de adição de chumbo tetraetila

ETA: Estação de Tratamento de Água

UTE: Unidade Termo-Elétrica.

DNOS: Departamento Nacional de Obras e Serviços

SUMÁRIO

1.	**INTRODUÇÃO**	**31**
2.	**OBJETIVO**	**35**
3.	**JUSTIFICATIVA**	**37**
4.	**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**	**39**
4.1	MICRO BACIA DO RIO CUBATÃO	40
4.2	DEMANDA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO BRASIL E NO SUDESTE BRASILEIRO	50
4.3	CONTAMINAÇÃO INDUSTRIAL DAS ÁGUAS E A QUALIDADE DAS ÁGUAS.	56
4.4	MODELO DE PRECIPITAÇÃO E DE PRODUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	75
4.5	SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	101
5.	**METODOLOGIA**	**111**
5.1	LEVANTAMENTO DOS DADOS	111

5.2 EQUAÇÕES E MODELOS MATEMÁTICOS DAS VARIÁVEIS REPRESENTATIVAS DOS FENÔMENOS DE PRECIPITAÇÃO E GERAÇÃO DOS ESCOAMENTOS 112

5.3 OBTENÇÃO DE DADOS PARA A ÁREA DE ESTUDO 120

5.4 PESQUISA, SELEÇÃO E CAPACITAÇÃO NO SIG PARA DESENVOLVIMETO DA APLICAÇÃO 122

5.5 DESENVOLVIMENTO DA MODELAGEM 127

6. RESULTADOS 131

6.1 DIVISÃO DA PLANTA INDUSTRIAL EM ÁREAS HOMOGÊNEAS SEGUNDO OS EFLUENTES GERADOS 132

6.2 DETERMINAÇÃO DE UMA ÁREA PILOTO 141

6.3 INTENSIDADES PRECIPITADAS DETERMINADAS PELA EQUAÇÃO DE CHUVA DESENVOLVIDA 142

6.4 SELEÇÃO DO “SOFTWARE” ADEQUADO AO TRABALHO 151

6.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL ATRAVÉS DO SIG 155

7. DISCUSSÃO 165

8. CONCLUSÕES 173

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 175

GLOSSÁRIO 183

APÊNDICE A 189

APÊNDICE B 196

1. INTRODUÇÃO

Os efeitos das mudanças climáticas se fazem sentir cada vez mais, em particular com as intensidades máximas diárias das chuvas que têm aumentado sensivelmente. Alguns conceitos, como a necessidade de se rever as equações de intensidades de chuvas (ANA, 2007; ZUFFO, 2004) têm sido comprovados, pois as séries de intensidades precipitadas sofreram mudanças significativas em seus parâmetros básicos.

Por outro lado, os problemas verificados nos últimos anos em relação aos recursos hídricos, ou seja, os conflitos em relação ao uso da água e a qualidade decrescente dos recursos disponíveis, já permearam a história desde os primórdios da civilização. A disponibilidade hídrica, em quantidade e qualidade suficiente, e o seu manejo foi determinante para a fixação do homem na terra, com a criação da agricultura e da pecuária. Este período, localizado há aproximadamente 20.000 anos, é chamado de *Revolução Verde* (BLAINEY, 2007). Esta disponibilidade hídrica também foi determinante para o desenvolvimento das civilizações oriundas da fixação do homem à terra desde quando os registros históricos puderam ser resgatados. Desde os egípcios, com a exploração do rio Nilo, e da mesopotâmia, utilizando os recursos dos rios Tigre e Eufrates, passando pelo manejo das águas na irrigação promovida por Incas e Astecas, na América, a água, e os conflitos gerados relação do homem com este elemento, ajudaram a desenhar a história do homem (BLAINEY, 2007).

Nas concentrações humanas, água precipitada em uma bacia agora está confinada em pequenos canais revestidos, canais estes cercados pelas avenidas

marginais, por edifícios, casas, ruas e estradas. Antes da ocupação humana esta água podia escoar pelos vales, ocupar planícies de inundações e cumprir seu papel no ciclo de vida local. E a sociedade, que não se percebe como invasora destes espaços, (antes ocupados pelos inúmeros outros elementos componentes da paisagem) condena a água que, por vezes, não cabe nestes pequenos redutos aos quais foi confinada, e extravasa, reocupando as ruas, as avenidas e os edifícios, que antes eram seu habitat natural (PALINI, 2006).

Além das inundações e enchentes serem as manchetes habituais nas épocas de chuvas na região Sudeste do Brasil, onde a ocupação é intensa e a produção de bens ganhou destaque nacional no último século, o conflito entre as águas e a ocupação antrópica (que precisa da água, mas não deseja que a água se comporte como o esperado na natureza) é assunto que tem mobilizado todos os seguimentos sociais.

No Brasil, o mesmo roteiro se repete: a água em quantidade suficiente para permitir o desenvolvimento dos núcleos urbanos, industriais e agropecuários vem sendo, por estes mesmos núcleos, deteriorada em qualidade e diminuída em quantidade em suas reservas (ANA, 2007). Nas bacias da Grande São Paulo e da Baía de Guanabara, o relatório da Agência Nacional da Águas de 2007 – Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2007, p. 90), é claro ao colocar a situação presente: "(...) É o caso da bacia do Alto Tietê e dos rios que deságuam na região da Baía de Guanabara, atingindo valores menores que 500 m^3/hab/ano". Este índice está muito longe da situação considerada confortável, que ocorre quando se encontra acima de 1700 m^3/hab/ano, e no limite inferior da situação de estresse (entre 500 m^3/hab/ano e 1700 m^3/hab/ano) (ANA, 2007).

O setor industrial é importante consumidor de recursos de hídricos e suas atividades impactam significativamente no consumo e na qualidade das águas. As refinarias são grandes consumidoras de água, não só pela força de trabalho empregada (1 a 6 mil empregados), mas também porque os processos de destilação, separação e reforma dos derivados de petróleo necessitam de grandes montantes do recurso para

seus processos (PLSMS, 2007). Muita água oleosa também é separada do óleo cru em equipamentos chamados dessalgadoras. Essa água oleosa, também rica em sais, é a chamada salmoura. Esta água que vem emulsionada no petróleo, deve ser tratada pelas refinarias de modo a não impactar na qualidade dos corpos d'água onde será lançada finalmente (THOMAS, 2004). Enfim, os montantes hídricos envolvidos são de alguns milhares de metros cúbicos por hora, e devem ser gerenciados de modo a convergir com a atual necessidade de preservação da qualidade e da quantidade de recursos hídricos (PLSMS, 2007).

Neste trabalho acadêmico estudou-se uma refinaria de petróleo, a Refinaria Presidente Bernardes (RPBC), dentro de uma micro-bacia situada em um loteamento industrial da Baixada Santista, mais especificamente dentro da cidade de Cubatão. Este loteamento industrial, como se retratará neste trabalho, ocupa lugar de destaque na produção nacional de bens de consumo, mas também já ocupou lugar de destaque dentre os principais desastres ambientais nacionais, e hoje se encontra em processo de recuperação ambiental e social (GUTBERLET, 1996). E dentro do contexto da recuperação ambiental e social da região de Cubatão, a modelagem do comportamento das águas e as ferramentas de gestão que podem ser associadas a ela se tornam particularmente importantes, dando conhecimento e agilidade ao planejamento e ao gerenciamento do uso e do tratamento das águas e aos processos de tomada de decisão à eles associados.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é propor um modelo representativo das redes de drenagem das águas oleosas e contaminadas para a área da planta industrial da Refinaria Presidente Bernardes Cubatão que modele, com toda a complexidade relevante, a situação da produção de escoamento superficial devido a precipitações críticas.

Ainda neste trabalho uma área da RPBC foi modelado, de modo a testar a viabilidade do arcabouço lógico-matemático, uma porção da área industrial e sua respectiva rede. A rede em questão recebe os efluentes gerados pelo escoamento superficial das águas contaminadas, ou ainda, águas com traços de hidrocarbonetos.

3. JUSTIFICATIVA

Genericamente, em uma refinaria, várias são as fontes de efluentes, e apenas como exemplo, pode-se citar: as águas que precipitam sobre superfícies contaminadas se tornam efluentes hídricos a serem tratados; as águas dos processos que são descartadas para a rede de drenagem de águas contaminadas ou oleosas devem ser tratadas; a salmoura também deve ser tratada antes de ser disposta no corpo d'água receptor. Nestes efluentes existe a possibilidade da presença de amônias e cianetos, e a certeza de contaminação de hidrocarbonetos das mais variadas naturezas. O monitoramento destes compostos é constantemente feito pela sede da PETROBRAS e pelos órgãos ambientais (PETROBRAS, 2000; 2003; 2005; 2006a; 2007e; 2007f).

Os efluentes, que no início da implantação das refinarias no Brasil eram lançados no rio Cubatão, depois de tratados por um simples Separador Água e Óleo (SAO) (THOMAS, 2004), hoje incluem tratamento biológico, vários estágios de flotação, aeração e sedimentação, por vezes, devolve-se ao corpo receptor água mais limpa do que a que foi retirada deste mesmo rio. A diluição destes efluentes por águas consideradas limpas aumentam os custos do tratamento, aumentando também a necessidade de espaço físico para acomodar ocorrências de emergências e contingências. Reduz, por conseguinte, o espaço para implantação de novas unidades produtivas e de tratamento de produtos, reduzindo a lucratividade do capital empregado.

Outra face importante do problema é a particular geografia e geomorfologia na qual a refinaria está inserida. A Refinaria Presidente Bernardes-Cubatão (RPBC) se

encontra em área sujeita à precipitações constantes e muito intensas, com índices pluviométricos acima das médias amazônicas (FUNDESPA, 2007; ANA, 2007) e precipitações intensas como às comumente encontradas em climas temperados. Suas encostas íngrimes, sob a incidência destas precipitações freqüentemente são submetidas à Corridas de Lamas, ou "Debris Flows", que são massas de lama com detritos que perdem a estabilidade, rompem e descem a serra arrastando tudo pela frente. Suas planícies fluviais ou marítimas são freqüentemente atingidas pelas inundações das épocas de chuvas. E a refinaria ali instalada, em uma planície fluvial à beira da Serra do Mar, está sujeita à essas ocorrências, mesmo possuindo atividades, equipamentos e produtos de altíssima periculosidade.

Assim, se torna imperiosa a necessidade de modelagem de sua bacia, como se comporta a precipitação no local, como se originam os escoamentos superficiais, assim como do estudo e elaboração de estratégias de contingência e minimização dos riscos aos quais a refinaria está submetida. Portanto, é fundamental o gerenciamento otimizado destes efluentes, reduzindo gerações e encaminhamentos, conhecendo as vazões que circulam por canais e tubulações enterradas, e os volumes reservados nos diques e outras estruturas de preservação para que a operação deste sistema tenha sucesso.

Para auxiliar na análise-diagnóstico que precede a melhoria de um sistema, propõe-se neste trabalho a modelagem do comportamento da bacia industrial frente às precipitações críticas e a modelagem das redes existentes conhecidas.

A unidade que será estudada, a RPBC, tem mais de 50 anos, possui uma diversidade de processos de produção e tratamento grande e bastante peculiar, e por ter sido a segunda refinaria implantada no país (a primeira de grande porte para a época) (PEREIRA; LIMA, 1975) reúne toda a necessidade e a complexidade que tornam interessante a implementação do modelo proposto.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As precipitações e seu comportamento têm grande importância dentro dos recursos hídricos: recarregam os lençóis subterrâneos, realimentam os corpos d'água, trazendo água propriamente dita, oxigênio e biodiversidade (pólen, microorganismos, nutrientes). As águas precipitadas e seu fluxo superficial e sub-superficial umedecem e fertilizam os terrenos e recarregam corpos d'água.

Por outro lado, estas mesmas precipitações nas cidades e ambientes urbanizados, se não for considerada da forma correta, pode provocar danos materiais, perda da qualidade de vida e, por vezes até mortes (CAVALCANTI, 2004; MACHADO, 2003; SANTOS, 2004).

O regime de pluviosidade/precipitação afeta sensivelmente a qualidade dos corpos d'água e as possibilidades de desenvolvimento de uma dada região; por sua vez o próprio desenvolvimento pode afetar o regime de precipitações, provocando processos de desertificação ou de inundação de áreas secas, de assoreamento de corpos d'água e/ou de erosão do solo, em suas planícies, planaltos, margens (MACHADO, 2003; SANTOS, 2004).

Para situar este trabalho em toda a complexidade envolvida no tema, os principais tópicos, bases teórico-científicas e os principais temas associados são desenvolvidos nos subitens a seguir, quais sejam: Micro-bacia do Rio Cubatão; Demanda e Disponibilidade Hídrica no Brasil e no Sudeste Brasileiro; Contaminação Industrial das Águas e Qualidade das Águas; Modelos de Precipitações e de Produção

Escoamento Superficial; e, por fim, Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e suas aplicações junto ao projeto, planejamento e gestão dos Recursos Hídricos.

4.1 MICROBACIA DO RIO CUBATÃO

A Refinaria Presidente Bernardes – Cubatão (RPBC) se encontra implantada em área situada na Baixada Santista, junto à Serra do Mar, em uma Micro-Bacia Hidrográfica que deságua no rio Cubatão. Esta micro-bacia tem sua cabeceira situada no Parque Estadual da Serra do Mar, sendo que a própria refinaria tem algumas de suas instalações dentro do próprio parque. Esta situação se configurou na medida em que a criação da refinaria se deu levando em conta fatores como: disponibilidade de água e energia em quantidade suficiente para a produção de derivados de petróleo; proximidade da malha rodoviária, hidroviária e ferroviária necessária para transporte de insumos, mão de obra e produtos; proximidade do mercado consumidor; proteção estratégica; e, inserção dentro de pólo industrial, que é potencial mercado consumidor dos produtos de uma refinaria (PEREIRA e LIMA, 1975; GUTBERLET, 1996; COUTO, 2003). Toda construção do atual cenário social e ambiental da região promove o entendimento das razões pelas quais é necessário gerenciar a produção de derivados tão perigosos ao ambiente em área com tantos riscos à vida humana e às instalações projetadas. E para construir esse conhecimento, discorre-se a seguir sobre os registros históricos, geográficos e geomorfológicos da região.

4.1.1 HISTÓRIA, CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO LOCAL

A região, cujos primeiros registro são datados de 1553, foi local de passagem e pousada de tropas que subiam e desciam pela calçada do Lorena, até meados do século XIX. A calçada do Lorena foi o primeiro caminho de interligação criado entre o

planalto e a baixada santista, na época do Brasil colônia, foi construído por escravos e se orientava pela trilha dos tupinanbás (GUTBERLET, 1996; COUTO, 2003). Este caminho levava mercadorias da produção nacional (açúcar bruto, toucinho, água ardente de cana,...) para o Porto de Santos e trazia para São Paulo as mercadorias importadas, tais como vinhos portugueses, vidros, azulejos, ferragens, assim como produtos oriundos de outras regiões brasileiras (sal, por exemplo).

Várias foram as tentativas de ocupação do local, inclusive com a presença de jesuítas na região. Até meados dos século XVIII (COUTO, 2003), as atividades mais importantes da região se restringiam ao cultivo da cana-de-açúcar, à extração da banana e do tanino, à produção de tijolos e à pesca. Somente com a instalação dos primeiros estabelecimentos industriais no final do século XIX, o curtume Costa Muniz Indústria e Comércio (antiga Companhia Curtidora Mex), e no começo do século XX, Companhia de Anilinas e Produtos Químicos do Brasil e a Cia. Santista de Papel, é que a economia da região ganhou impulso. Em 1940, os dados demográficos da região indicam que 71,28% (4.683 habitantes) da população era rural, sendo apenas 28,72% urbana (1.887). Os primeiros bairros, que eram pobres, surgiram às margens da Piaçagüera, por ocasião da construção da rodovia e da ferrovia local. Com as obras de construção da via Anchieta, entre 1938 e 1947, formaram-se os bairros operários nas encostas da serra do Mar, que depois expandiram para os hoje conhecidos bairros Cota 95/100, Cota 200, Cota 400 e Cota 500. Somente algumas empresas constituíram vilas para os seus operários, como a Cia Santista de Papel e a Light, mas as casas eram oferecidas principalmente aos funcionários de médio e alto escalão. Já os operários eram obrigados a se acomodarem nas vilas operárias, que careciam de infra-estrutura adequada, assentada em ocupações desordenadas do espaço, nos bairros pobres, em situação de total vulnerabilidade social (GUTBERLET, 1996). A estes atores sociais a esperança residia (e até hoje reside) na saída da situação marginal por meio do emprego formal nas indústrias da região. A Figura 4.1 mostra a área de estudo nos dias de hoje

O PIB *"per capta"* de Cubatão em 2004 é mais de oito vezes o PIB *"per capta"* médio nacional em 2005 (IBGE, 2007), que foi de US$ 4.289,00 (cerca de R$

8.363,00), e reflete o nível extremamente alto de produção de riquezas no município, um dos principais pólos industriais do país e da América do Sul. E quando se analisa Índice Paulista de Vulnerabilidade Social – IPVS (SEADE, 2007), verifica-se que apenas 0,4% da população do município se apresenta sem vulnerabilidade social e que 60,2% se apresenta em situação de média a muito alta vulnerabilidade social, o que reflete o altíssimo índice de concentração de renda e o baixíssimo grau de desenvolvimento na região (ABRAMOVAY *et al*., 2007). Estas vulnerabilidades sociais, construídas desde os mais remotos tempos e que persistem até hoje, obrigam a população a ocupar lugares inadequados à moradia, isto é, ao lado de indústrias, junto a mangues e alagados, junto às encostas instáveis da região (GUTBERLET, 1996). Aliás, a geomorfologia da região é peculiar e sujeita a diversos desastres naturais freqüentes, tais como enchentes recorrentes e deslizamentos de encostas, conforme é demonstrado no item 4.1.2 Geomorfologia da região de Cubatão.

Tabela 4.1 População, área, PIB e distribuição do PIB por setor produtivo – 2004 e 2005

DESCRIÇÃO	Valor
Valor adicionado na agropecuária (mil Reais)	0
Valor adicionado na indústria (mil Reais)	5.842.729,892
Valor adicionado no serviço (mil Reais)	1.486.610,276
Impostos (mil Reais)	770.519,063
PIB (mil Reais)	8.061.953,807
População (habitantes)	117.120
PIB per capita (Reais)	68.834,99
Área (km^2)	142

Fonte: Adaptado de IBGE, 2007

Segundo os dados do IBGE (IBGE, 2007), em 2007 (embora os dados relativos ao PIB e à distribuição dos valores adicionados por setor produtivo sejam de 2004), o município em números se caracteriza como apresentado na tabela 4.1.

Figura 4.1 Refinaria Presidente Bernardes Cubatão, Serra do Mar, Cubatão, Rodovias Anchieta e a atual Rodovia Cônego Domenico Rangoni, antiga Rodovia Piaçagüera-Guarujá. Fonte: Adaptado de GOOGLE, 2007.

4.1.2 GEOMORFOLOGIA DA REGIÃO DE CUBATÃO

A região da bacia do rio Cubatão é cercada ao Norte (Nordeste, Noroeste) pela Serra do Mar e a Sul-Sudeste-Leste pela planície litorânea e o Oceano Atlântico. A Serra do Mar, de formação cristalina atinge altitudes de até 900 m (ver figuras 4.2 e 4.3) (GUTBERLET, 1996). Em GUTBERLET, 1996, p. 52, tem-se *"As principais formações rochosas da serra costeira são granitos, gnaisse, quartzos e xistos estruturados."* Ainda sobre os solos da região têm-se a clara diferenciação dos solos das encostas e os

solos da áreas planas (planície litorânea). Enquanto que na serra os solos possuem baixa profundidade, com médias de 2 m, e com predominância de podsolos e latossolos amarelos/vermelhos, de conformação do tipo solos eluviais, depósitos alóctonos e solos aluviais (IPT, 1985 apud GUTBERLET, 1996; FUNDESPA, 2007); nas áreas planas da baixada existem solos profundos, arenosos e argilosos, compostos por materiais transportados da Serra à planície. Os altos índices pluviométricos da região (DAEE, 2007; ANA, 2007; GUTBERLET, 1996) auxiliam os intensos processos de decomposição dos solos na região.

Tabela 4.2 Resumo das características físico-climáticas relevantes para o estudo

Atributo	Macro-grupos territoriais	Medida
Declividade	De 100 m a 800 m de altitude	25% a 65%
	De 15 m a 100 m de altitude	10% a 40%
	De 3 m a 15 m de altitude	0,01% a 10%
Tipo de solo	Encostas de 15 a 800 m de altitude	Solo saprolítico sobre formações rochosas tipo granitos, gnaisses, quartzos e xistos estruturados
	Planície de 0 a 15 m de altitude	Solos eluviais, depósitos alóctonos, solos aluviais
Profundidade do solo	Encostas de 100 a 800 m de altitude	Aproximadamente de 2 a 5 m (solos rasos)
	Planície de 0 a 100 m de altitude	Até 30 m ou mais (solos profundos)
Impermeabi-lização	Encostas de 20 a 730 m de altitude	Baixa
	Planície de 0 a 15 m de altitude	Média (localizada nos parques industriais, intercalada com áreas depreservação / proteção)
Precipitação média anual	Encostas de 100 a 800 m de altitude	4000 (mm/ano)
	Planície de 0 a 100 m de altitude	3000 (mm/ano)

Fonte: Adaptado de GUTBERLET, 1996 e FUNDESPA, 2007

A região se encontra no limite do clima tropical e subtropical, sob influência dos ventos do Sudeste. Estes ventos têm origem na forte queda de pressão atmosférica entre o centro do anticiclone subtropical do Atlântico Sul e o centro do ciclone equatorial. Os anticiclones são as regiões da atmosfera com baixa pressão que atraem as regiões atmosféricas de alta pressão, ou ainda, os ciclones. As condições

meteorológicas locais favorecem, no inverno, a formação de garoa e, no verão, de chuvas de origem orográficas, com a precipitação de nuvens do tipo cúmulos-nimbo a baixas alturas que são espremidas pelos ventos contra a Serra do Mar, precipitando por estas encostas. A temperatura média anual varia entre 24°C e 26°C (GUTBERLET, 1996). Recente estudo na região executado pela FUNDESPA (FUNDESPA, 2007) apresenta precipitação anual média de cerca de 3000 mm, segundo últimos dados do DAEE tratados neste relatório. Em resumo, esta micro bacia possui a configuração apresentada na tabela 4.2.

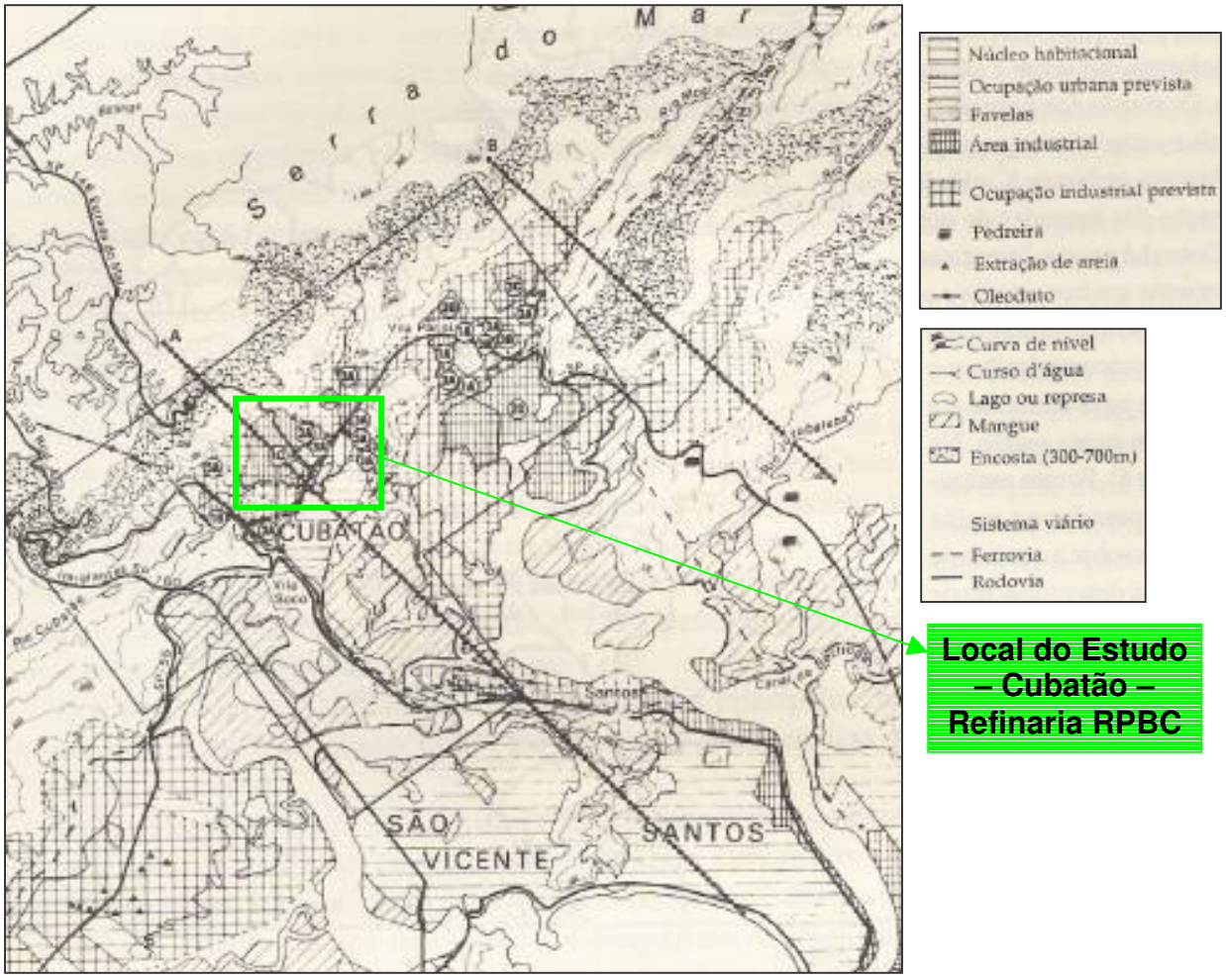


Figura 4.2 Ocupação do solo, estabelecimentos industriais no município de Cubatão/Baixada Santista. Fonte: GUTBERLET, 1996.

No mapa da figura 4.2, e seu respectivo corte apresentado na figura 4.3, demonstra-se a situação em que se encontra a refinaria, dentro do município de Cubatão, no estado de São Paulo.

A vegetação local, originalmente era coberta totalmente pela Mata Atlântica, ou como em GUTBERLET, 1996, pág. 58-59 "[...] classificada como floresta tropical sempre verde, floresta úmida sempre verde ou floresta tropical serrana, a *coastal tropical forest*."

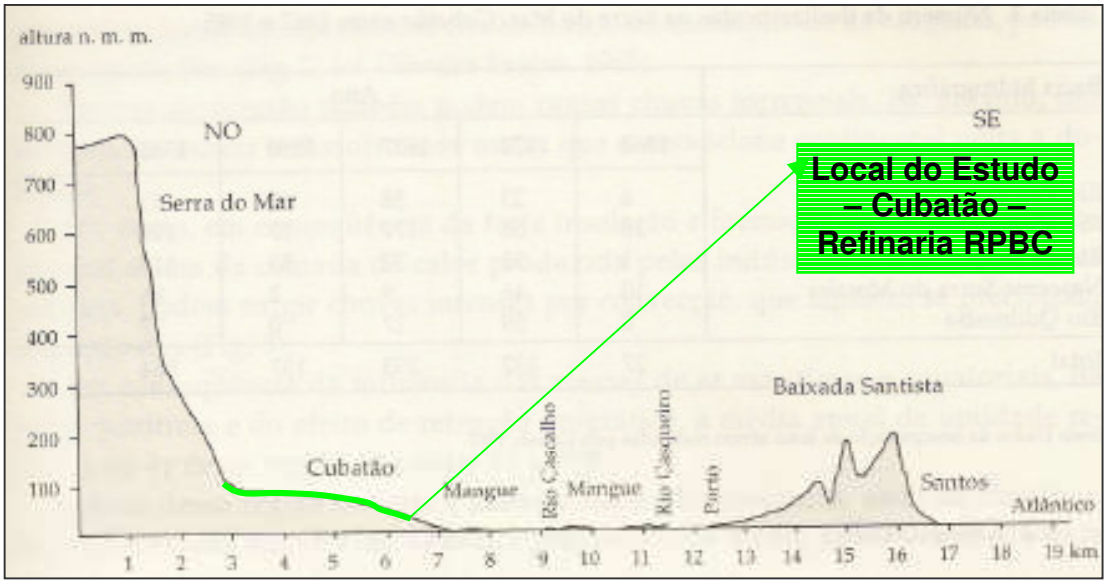


Figura 4.3 – Perfil Topográfico da Serra do Mar/ Baixada Santista de NO a SE (linha A de perfil na figura 4.2). Fonte: GUTBERLET, 1996

Desde o tempo do Brasil Colônia esta floresta vêm sendo degradada, inicialmente pela extração de madeira, depois pela ocupação por culturas, e finalmente e mais profundamente degradada pela poluição industrial. Na década de 1980, a situação de degradação das encostas foi tão profunda que causou a morte de praticamente toda a vegetação nas encostas atingidas pelos gases tóxicos emanados das indústrias (GUTBERLET, 1996; COUTO, 2003). Nas figuras 4.4 e 4.5 são ilustradas a degradação que existia no local, na década de 1980.

Figura 4.4 Área degradada na Serra do Mar. Note-se as árvores mortas, retorcidas, a ausência de vegetação desenvolvida, e a erosão progressiva das encostas. Fonte: GUTBERLET, 1996

Figura 4.5 Área degradada na Serra do Mar. Note as árvores mortas, retorcidas, a ausência de vegetação desenvolvida, e a erosão progressiva das encostas. Fonte: GUTBERLET, 1996

A vegetação nestas encostas tem a função primordial de, com suas raízes emaranhadas, “costurar” o solo raso das encostas, e as copas das árvores ajudam a dissipar a energia das gotas que caem sobre o solo. A pequena profundidade dos solos das encostas é bastante frágil frente à intensidade de água precipitada na região; a interface solo-rocha é “lubrificada” pela água infiltrada, diminuindo ou eliminando a adesão dessas camadas distintas, e os processos de deslizamentos de encostas e corridas de lama (*“debris-flow”*) são freqüentes na região. Assim, a supressão parcial da vegetação de maior porte teve impacto significante sobre a região, e aumentou a ocorrência destes deslizamentos e rompimentos dos solos superficiais das encostas (GUTBERLET, 1996).

Nas planícies, cujas altitudes baixas associadas à grande ocorrência de rios e mangues deixam o lençol freático a pouquíssimos metros da superfície, a capacidade de infiltração de precipitações é mínima e favorece aos fenômenos de inundação das calhas dos rios. De fato, a quantidade de rios e mangues é tão grande que se unem uns aos outros, formando uma grande e única planície de inundação (COUTO, 2003). A cidade de Cubatão ocupa pequena parte deste sistema de inundação, e são freqüentes as invasões das águas dos rios da região dentro dos núcleos habitacionais, centros comerciais e industriais, inclusive na região do rio Cubatão.

Em 1994, houve dois grandes eventos de corrida de lama na refinaria, e em aprenas um deles cerca 300.000 m^3 de lama e detritos, invadiram boa parte da área de tancagem e processo da refinaria. A natureza destes detritos é que torna o fenômeno mais perigoso: troncos de árvores, blocos de rocha, tudo é arrastado e a massa chega se deslocar a mais de 100 km/h. As áreas de processos ficaram repletas de lamas e detritos, ficando paralisadas por cerca de 10 dias, causando prejuízos da ordem de US$ 44 milhões à época. (MASSAD et al, 1998, MASSAD et al, 2004). As figuras 4.6, 4.7 e 4.8 ilustram esta ocorrência de 1994.

Figura 4.6 Área da tancagem, junto à Bacia do Córrego das Pedras, onde ocorreu a corrida de lama de 06 de fevereiro de 1994. Fonte: PETROBRAS, 2007a

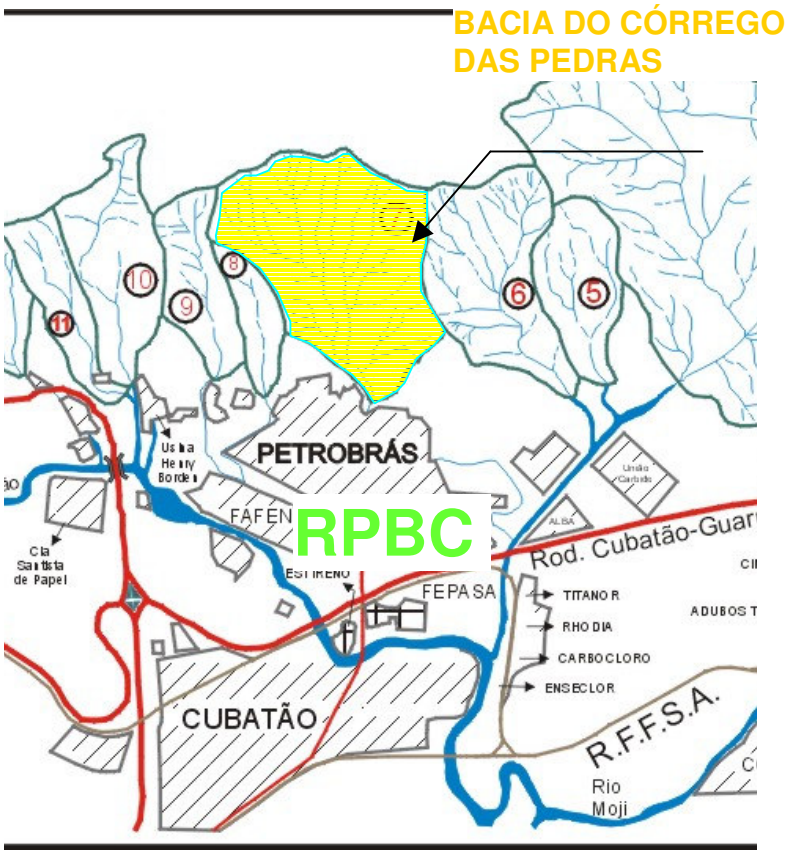


Figura 4.7 Bacia do Córrego das Pedras, onde ocorreu a corrida de lama de 06 de fevereiro de 1994. Fonte: PETROBRAS, 2007a

Figura 4.8 Lama entre a área da tancagem e a área de processo, logo após a corrida de lama de 06 de fevereiro de 1994. Fonte: PETROBRAS, 2007a

4.2 DEMANDAS E DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO BRASIL E NO SUDESTE BRASILEIRO.

No Brasil, País que detém 12% da água doce disponível para consumo humano no mundo, a distribuição territorial de toda essa água, comparada à população, por regiões é a apresentado na tabela 4.3.

Entretanto, a população não é distribuída homogeneamente e nem os recursos hídricos o são. Muitas vezes se verifica a aglomeração de cidades, indústrias e atividades agropecuárias em áreas distantes do recurso hídrico abundante, obrigando assim a transposição das massas d'água cruzando tais bacias e criando desequilíbrios maiores ainda.

Na figura 4.9 são apresentadas as bacias hidrográficas no território nacional e a situação de cada bacia em relação à vazão média per capta anual (m^3/hab/ano), que é o índice adotado pela ONU (ANA, 2007) para determinar se uma região se encontra com situação de escassez, estresse ou conforto em relação à disponibilidade de água.

Tabela 4.3 Comparação da disponibilidade Hídrica e a População no Brasil

Região Hidrográfica	População		Vazão Média	Vazão "*per capta*" anual	Fração da Vazão média Total
	(10^6 hab.)	%	(m^3/s)	(m^3/hab*ano)	%
1 – Amazônica	8	4,71	131.947	533.096	73,54
2 -Tocantins/Araguaia	7	4,12	13.624	59.858	7,59
3 - Atlântico Nord. Ocidental	5	2,94	2.683	15.958	1,50
4 – Parnaíba	4	2,35	763	6.456	0,43
5 – Atlântico Nord. Oriental	21	12,35	779	1.145	0,43
6 – São Francisco	13	7,65	2.850	7.025	1,59
7 - Atlântico Leste	14	8,24	1.492	3.362	0,83
8 - Atlântico Sudeste	25	14,71	3.179	3.972	1,77
9 - Atlântico Sul	12	7,06	4.174	11.316	2,33
10 – Uruguai	4	2,35	4.121	33.893	2,30
11 – Paraná	55	32,35	11.453	6.607	6,38
12 – Paraguai	2	1,18	2.368	39.559	1,32
BRASIL	**170**	**100**	**179.433**	**33.376**	**100**

Fonte: Adaptado de ANA, 2007

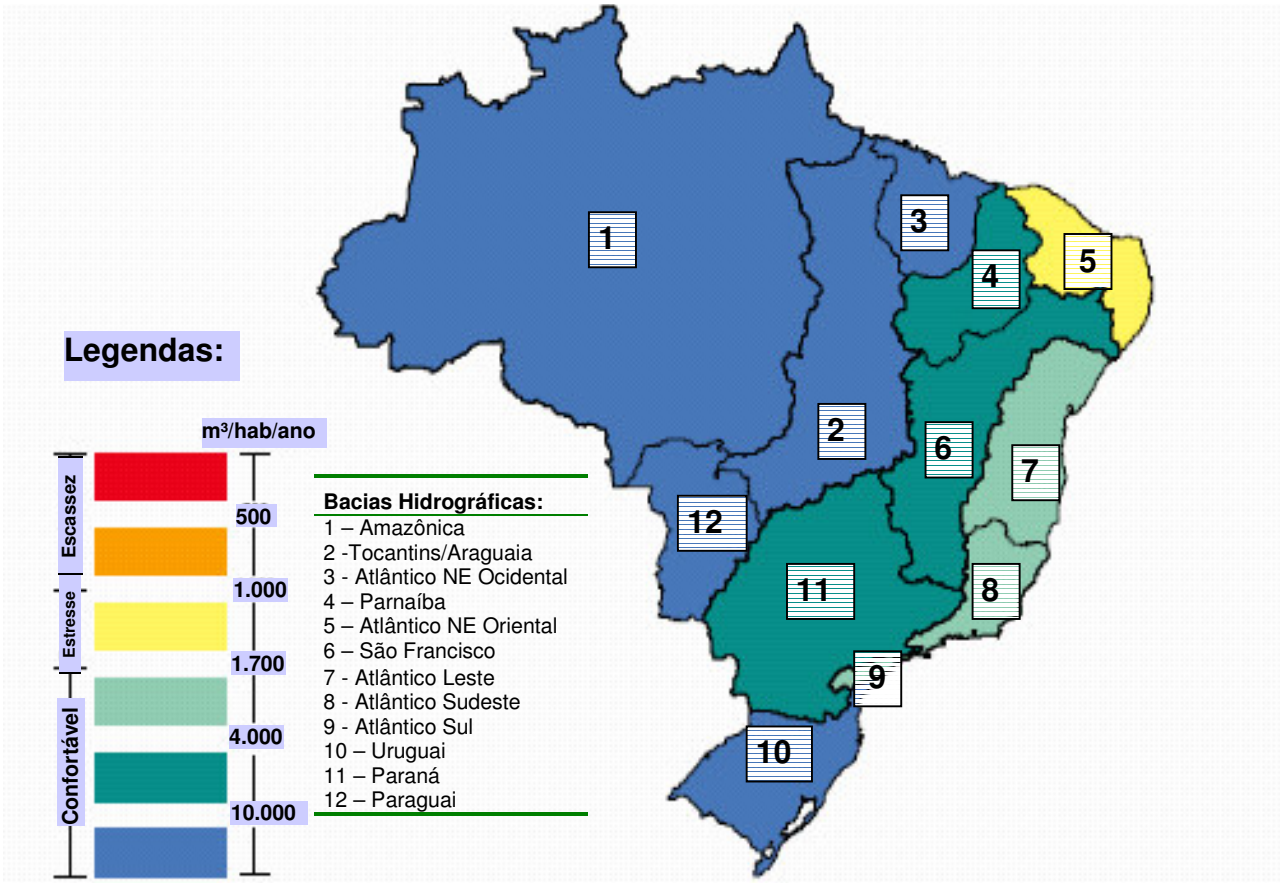


Figura 4.9 Disponibilidade Hídrica x população residente. Fonte: Adaptado de ANA, 2007

Na figura 4.9 observa-se que apenas a bacia do Atlântico Nordeste Oriental encontra-se em situação de estresse em relação à disponibilidade hídrica, ou seja, a razão entre as reservas potenciais de recursos hídricos e a população regional atendida beira à insuficiência, o que pode acarretar na degradação destes recursos.

Na figura 4.10 (ANA, 2007) ilustra-se a situação da Bacia do Atlântico Sudeste, que é a bacia na qual está inserida a área de estudo, e verifica-se que, embora a média da bacia esteja bastante confortável, existem áreas como a Bacia da Guanabara (região rosa entorno do Rio de Janeiro) e na Região de Campos (trechos em vinho e vermelho próximo à cidade de Campos dos Goytacazes) que possuem relações preocupantes, críticas e até muito críticas entre a demanda de água e disponibilidade. Estes índices de demanda x disponibilidade se aproximam dos índices de países da áfrica, onde os níveis de miséria e escassez de recursos são inadmissíveis.

Na Bacia do Paraná, bacia vizinha à do Atlântico Sudeste, a situação também se repete. Principalmente na área próxima às grandes áreas urbanas, tais como a Grande São Paulo, a Grande Campinas, Goiânia, Distrito Federal, Curitiba, a relação entre a demanda de água e a disponibilidade do recurso é muito crítica (ver figura 4.11) (ANA, 2007).

A situação da Grande São Paulo em relação aos recursos hídricos é muito importante para a área em questão. Mesmo que estejam separadas pela Serra do Mar, grande divisor de águas do Sudeste Brasileiro, as Bacias do Paraná e do Atlântico Sudeste interferem entre si há muitos anos, desde a inauguração da Usina Hidrelétrica Henry Bordem e a implantação do projeto Serra em meados da década de 1920 (VITORINO, 2003). As águas da represa *Bilings* trazem as águas do rio Pinheiros, cujo curso natural que corria para o Rio Tietê foi revertido através de diversas intervenções em seu leito, e através do vertedor que impulsiona as turbinas da usina alcançam o rio Cubatão, transpondo massas d'água da bacia do Paraná para as águas da Bacia do Sudeste.

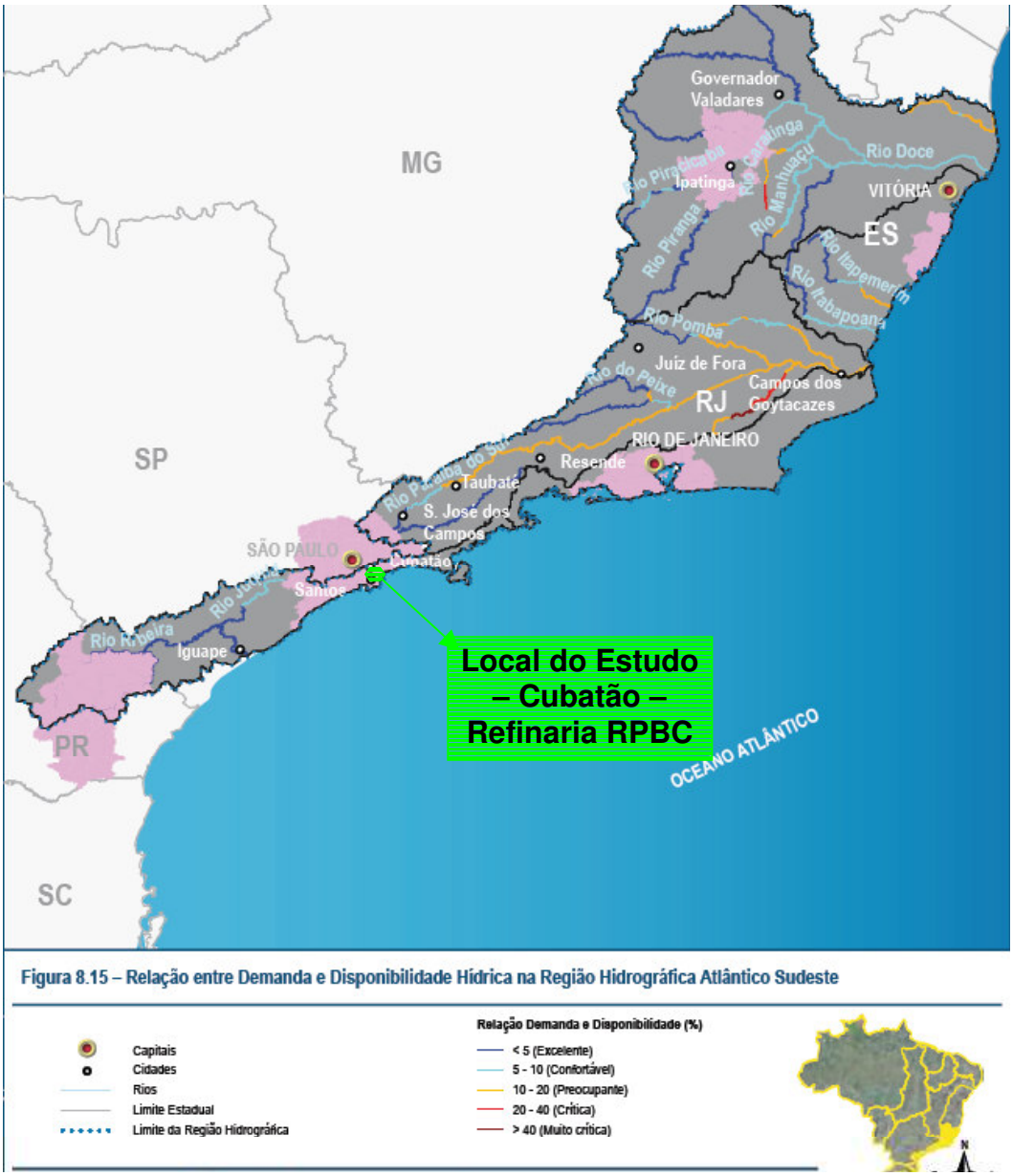


Figura 4.10 Bacia do Atlântico Sudeste: relação entre demanda e a disponibilidade hídrica. Em rosa, as áreas de situação de estresse hídrico. Fonte: ANA, 2007.

Não só por esta comunicação através da Usina Henry Bordem é que estas bacias são intimamente ligadas. Ambas são eixos importantes de produção e exportação e por elas se estima que circule cerca de 31% das importações e exportações de bens e produtos em portos brasileiros. O porto de Santos, junto com o

Terminal de Cubatão (TECUB), é o maior porto em movimento do Brasil, e um dos maiores da América Latina (BRASIL, 2000).

A mancha metropolitana do grande núcleo da cidade de São Paulo (ver figura 4.3) se confunde com a mancha metropolitana da cidade de Santos. O escoamento dos produtos de e para o interior do estado de São Paulo, de Minas Gerais e dos Estados do Centro-Oeste passa através do eixo formados pelas estradas e vias de tráfego rápido Anhangüera, Bandeirantes, Castelo Branco, Raposo Tavares, Dutra, Régis Bittencourt, Marginais do Pinheiros e Tietê, Anchieta e Imigrantes, até chegar ao Porto. Por outro lado, as atividades econômicas da região são em grande parte devidas ao porto e ao parque industrial ali instalado, parque este ali construído inclusive por causa da proximidade ao porto. Apenas para ilustrar a riqueza que é gerada no local, tem-se o PIB da cidade de Cubatão, que já foi citado no item 4.1. A Micro-bacia do Rio Cubatão e que é da ordem de oito vezes o PIB brasileiro e o alto Índice de Desenvolvimento Humano (IDH-M) (ONU, 2004) de Santos, que é o 5º. lugar dentre os municípios do País no ano de 2000, no valor 0,871, equivalente a IDH-M de países desenvolvidos.

A relação entre disponibilidade hídrica e a demanda por recursos hídricos das duas bacias estão intimamente ligadas, ou seja o caminho das águas (através da Usina *Henry Bordem*), os caminhos (eixos de estradas) e as riquezas (produtos e mercadorias) da bacia do Paraná dependem da bacia do Atlântico Sudeste, assim como as riquezas, as águas e os caminhos da bacia do Atlântico Sudeste dependem da bacia do Paraná. Ou ainda, embora localmente a refinaria não esteja inserida diretamente em microbacia com situação de escassez de recursos hídricos (CETESB, 2006), em seu entorno, vizinhos a ela, existem municípios que possuem altos índices de escassez, tais como os que compõe a região metropolitana de São Paulo. Na figura 4.11 ilustra-se a situação descrita.

Por outro lado, não apenas a quantidade de água importa para os usos consuntivos. A qualidade do recurso, que é melhor à medida que esta água não possuir poluentes e contaminantes, é determinante para possibilitar a utilização do recurso para dessedentação, lazer e turismo, dentro da indústria, do comércio e agropecuária.

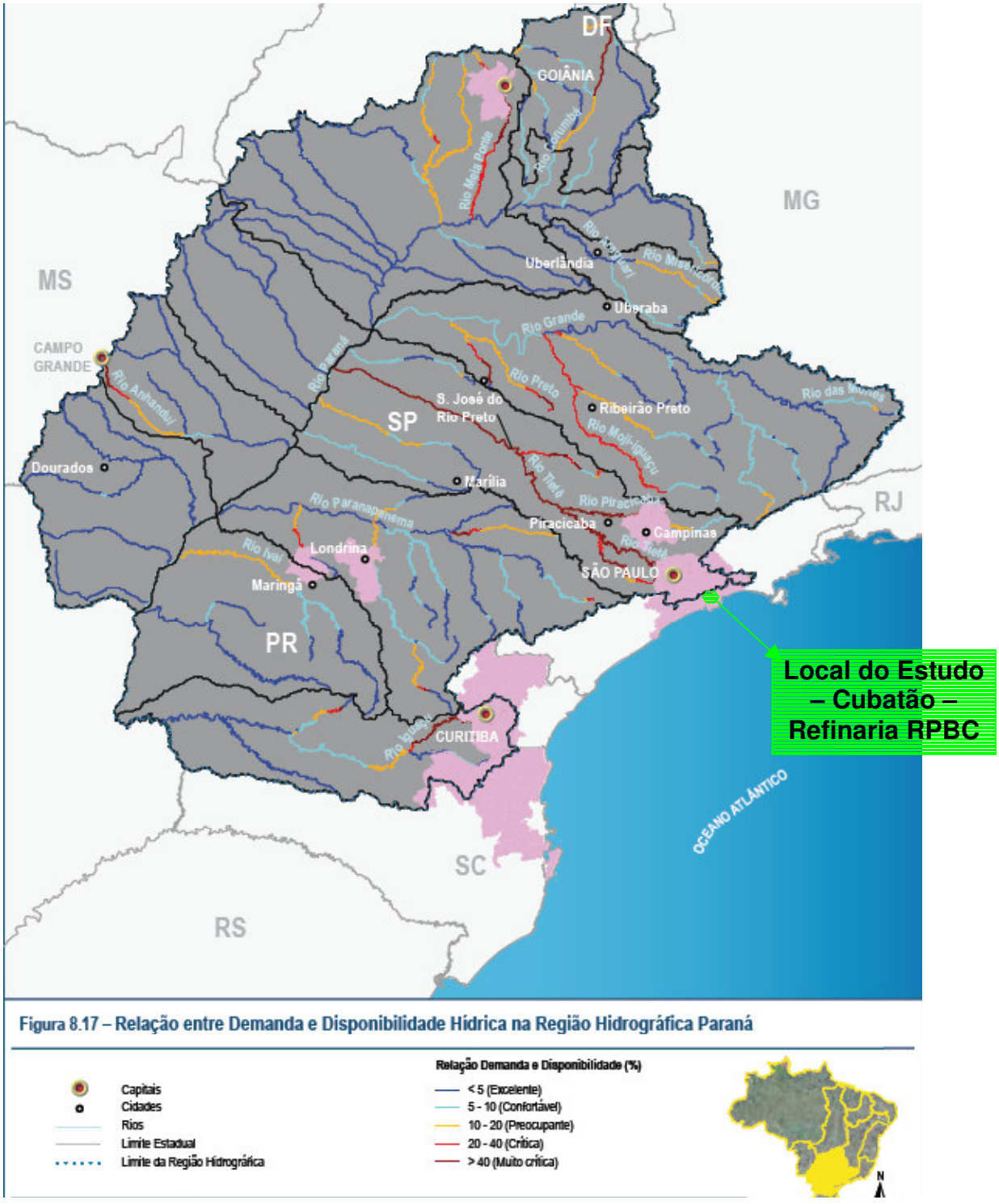


Figura 8.17 – Relação entre Demanda e Disponibilidade Hídrica na Região Hidrográfica Paraná

Figura 4.11Bacia do Paraná: relação entre a demanda e a disponibilidade hídrica . Fonte: ANA, 2007.

SANTOS, 2004, p. 85, declara que a bacia hidrográfica é

> *"[...] território drenado por um rio principal, seus afluentes e subafluentes permanentes ou intermitentes [...] toda ocorrência de eventos em uma bacia hidrográfica, de origem antrópica ou natural, interfere na dinâmica desse sistema, na quantidade dos cursos d'água e sua qualidade."*

Como destacado, a influência antrópica, e derivada de suas atividades, é determinante para a qualidade e a quantidade das águas (CAVALCANTI, 2004; MACHADO, 2003). E é sobre essa qualidade que se deve considerar alguns pontos importantes, principalmente levando-se em conta a atividade industrial e as formas de controle de qualidade dessa água.

4.3 CONTAMINAÇÃO INDUSTRIAL DAS ÁGUAS E A QUALIDADE DAS ÁGUAS

A qualidade dos corpos d'água é muito impactada por qualquer fuga de produtos ou efluentes que sejam oriundos de uma refinaria, pois são em grande parte hidrocarbonetos aromáticos, metais pesados na forma de sais, enxofre, compostos nitrogenados (THOMAS, 2004). Uma vez que estes produtos químicos podem estar aderidos às superfícies e dispersos na atmosfera, as precipitações podem conduzi-los até os corpos d'água receptores, situação indesejável pois provoca a degradação destas águas. Na seqüência, apresenta-se os principais compostos químicos envolvidos na indústria do petróleo que provocam impacto negativo na qualidade dos corpos d'água e a forma como a qualidade destes corpos d'água é avaliada pelos órgãos ambientais.

4.3.1 CONTAMINAÇÃO INDUSTRIAL DAS ÁGUAS DAS REFINARIAS

As refinarias de petróleo e as unidades de tratamento de gás natural são ambientes industriais que processam combustíveis fósseis. O petróleo e o gás são constituídos basicamente por uma mistura de compostos orgânicos (THOMAS, 2004). Quando esta mistura contém uma maior quantidade de moléculas pequenas se apresenta na forma de gás, e quando as moléculas são maiores ele se apresenta na forma líquida. É constituído basicamente por :

- hidrocarbonetos:
    - hidrocarbonetos parafínicos normais. Exemplos: metanos a butanos;
    - hidrocarbonetos parafínicos ramificados. Exemplos: isobutanos a 3-metil-pentanos;
    - hidrocarbonetos parafínicos cíclicos. Exemplos: ciclopropanos a ciclohexanos;
    - hidrocarbonetos insaturados. Exemplos: etenos, etinos, propenos; e;
    - hidrocarbonetos aromáticos. Exemplos: benzenos, toluenos, naftalenos;
- não-hidrocarbonetos:
    - compostos sulfurados: é o terceiro elemento mais abundante no petróleo. Exemplos mais freqüentes: sulfetos, polissulfetos, benzotiofenos, dissulfetos de carbono;
    - compostos nitrogenados: o teor médio de nitrogênio é de 0,17% do peso bruto do mesmo. Os compostos de nitrogênio mais freqüentes são as formas orgânicas (termicamente estáveis);
    - compostos oxigenados: presentes na forma complexa, tais como ácidos carboxílicos, fenóis, cresóis, ésteres, amidas cetonas e benzofuranos;
    - resinas e asfaltenos: moléculas grandes com alta relação carbono/hidrogênio e enxofre, oxigênio e nitrogênio. Possuem de 3 a 10 anéis aromáticos em cada molécula. As resinas se apresentam dissolvidas no petróleo e os asfaltenos, na forma coloidal; e,

- compostos metálicos: se apresentam na forma de sais (removidos nas dessalgadoras) e na forma de compostos organometálicos complexos, que tendem a se concentrar nas frações mais pesadas do petróleo.

Os processos dentro da refinaria existem para separar estes compostos, que naturalmente estão misturados para fabricar os combustíveis (gasolina ou nafta, diesel, querosene, gás), os solventes (benzeno, tolueno), o enxofre, o nitrogênio, as resinas e os asfaltos para aplicação dentro dos diversos setores (industrial, agropecuário, comercial, infra-estrutura) da sociedade (THOMAS, 2004).

Assim, embora os processos industriais possuam boa estanqueidade, não são perfeitamente estanques. Ora por deficiência tecnológica, ora por acidente ou incidente, tais produtos escapam de dentro dos equipamentos e estruturas que os confinam e entram em contato com o ambiente externo. E, neste momento, tais elementos químicos, que são considerados de alta periculosidade à vida e ao ambiente, podem entrar em contato com as águas precipitadas sobre as áreas industriais.

Várias são as formas para se evitar que estes contaminantes entrem efetivamente em contato com as águas precipitadas sobre a planta industrial. Desde a cobertura física das áreas de produção e tratamento das matérias-primas, produtos, co-produtos e despejos (sólidos e líquidos), até a utilização de dispositivos *"first-flush"*, passando pela segregação de efluentes segundo a sua natureza, a não contaminação das águas, à luz da legislação ambiental contemporânea, são comportamentos empresariais que minimizam custos econômicos e sociais, reduzem os passivos ambientais (MACHADO, 2003) e contribuem para a valorização da marca da empresa, pois se traduz em imagem positiva frente os seus clientes internos e externos.

Os dispositivos "first flush" (MARTINSON e THOMAS, 2005) são bastante usados nos países desenvolvidos, e o seu principal conceito é: os primeiros milímetros precipitados de uma chuva lavam as superfícies retirando quase que a totalidade dos contaminantes destas superfícies. Assim, nestes países, existe a recomendação para que sejam reservados os primeiros milímetros de chuva, por serem os mais

contaminados, e envia este volume para tratamento, enquanto o restante da chuva, considerada fase limpa da chuva, é enviado para a rede comum de águas pluviais. Os dispositivos “First Flush” são muito empregados para abatimento da poluição provocada pela chuva em áreas contaminadas sem que haja a excessiva sobrecarga dos sistemas, sejam estes sistemas de captação de água de chuva para tratamento e uso consuntivo (uso humano, agropecuária, industrial, comercial) (MARTINSON e THOMAS, 2005) ou de tratamento de águas servidas/esgoto (seja industrial ou comum). Na figura 4.12 ilustra-se um destes dispositivos.

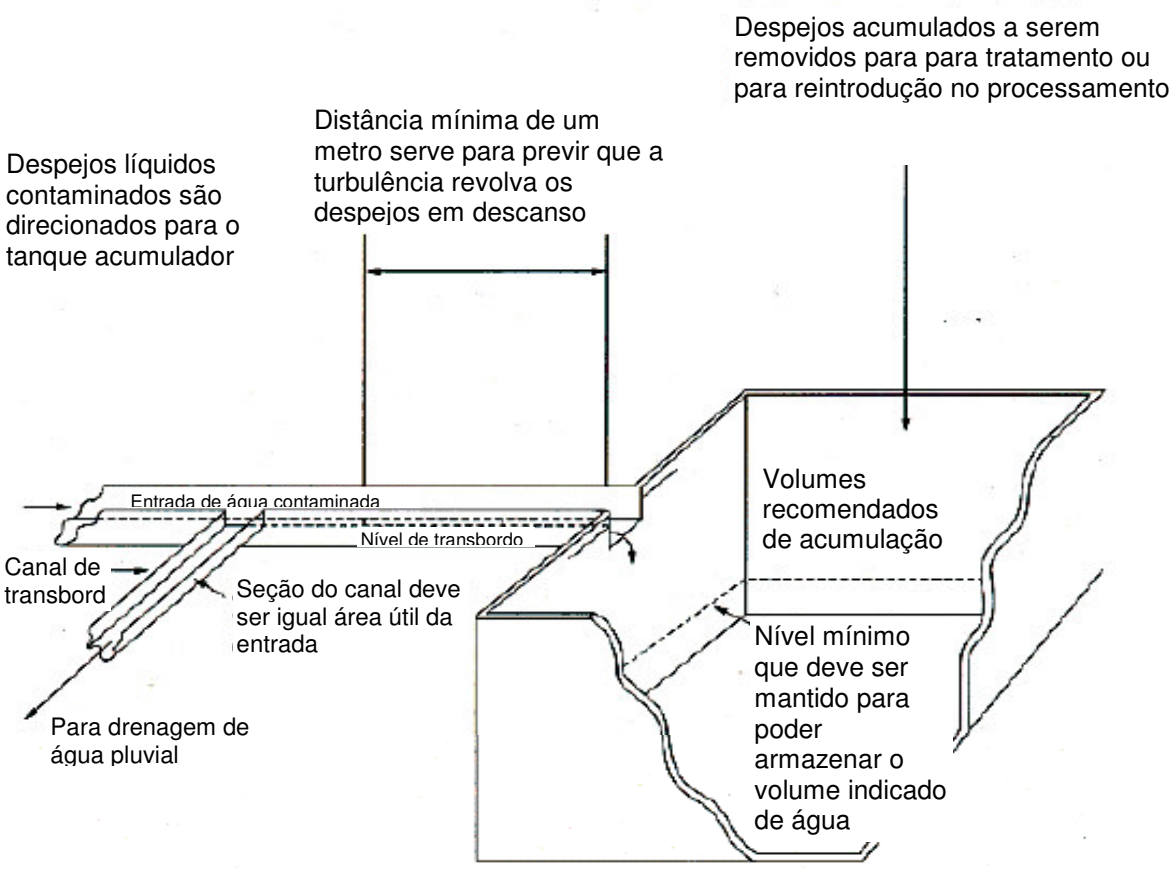


Figura 4.12 – Estrutura típica de separação do “First Flush”. Fonte: Adaptado de DECC, 2007

A recomendação desta mesma agência australiana é de que para refinarias de petróleo, petroquímicas em geral, a altura reservada nos dispositivos de separação de

"first flush" seja de 15 mm, enquanto que para outras áreas impermeáveis comerciais ou industriais em que não existem produtos reservados em nem processos produtivos de óleos, graxas e hidrocarbonetos não-voláteis, a recomendação é de separação dos primeiros 10 mm de chuva.

Já a *Environmental Protection Agency of United States of América* (EPA ou USEPA) (USEPA, 2002) no final do século XX, fez um plano para recuperação ambiental em território americano e as refinaria ganharam atenção especial. Neste plano, várias foram as ações para proteção dos mananciais e, em sua seção 402, itens (l) (2), é explicita ao colocar:

> *" (2) ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE ÁGUAS DE CHUVA PROVENIENTES DE OPERAÇÕES COM ÓLEOS, GASES OU DE MINERAÇÃO"*
> *O Administrador (público) não requererá uma licença sob esta seção, nem o administrador requererá diretamente ou indiretamente a qualquer estado uma licença, para descargas de efluentes gerados a partir do escoamento superficial de águas de chuva sobre as áreas das operações de mineração ou a exploração do óleo e do gás, de sua produção, de seus processamento, ou de suas as operações do tratamento ou dos condutores,(...) sejam eles únicos ou sistemas de condutores (incluindo, mas não limitado a estes, tubulações, canalizações, valas e canaletas) usados para coleta e condução deste escoamento superficial, mesmo que não seja contaminado pelo contato com (...) nenhum destes processos ou produtos, mas que incida sobre a área (...), além de também não permitir quaisquer transbordamento destes sistemas de coleta água, de material cru, de produtos intermediários, de produto terminado, de produto secundário ou subproduto, ou despejos localizados nas instalações de tais operações"*
> Fonte: Traduzido e adaptado de USEPA, 2002.

Toda esta restrição é baseada na presença de respingos e emanações de óleos e materiais contaminantes (enxofre, amônia, por exemplo), nos sítios que envolvem a produção, o transporte, o estoque e o tratamento dos combustíveis derivados de reservas fósseis tais como o carvão, o gás natural e o petróleo. As águas de chuvas são contaminadas pela presença destes elementos tanto nas superfícies quanto disperso na atmosfera imediata às unidades e estruturas envolvidas com os produtos brutos ou derivados destes combustíveis fósseis.

As normas internas Petrobrás refletem, atualmente, a cultura e a legislação atualmente vigentes no Brasil. São segregadas todas as águas que precipitam sobre a área de tancagem (estoque de matéria-prima, produtos intermediários e acabados, *"slop"*, "água ácida"), sobre as áreas de processo (unidades de destilação atmosférica e fracionamento catalítico, unidades de reforma de atmosférica e catalítica, ...) e áreas de tratamento (unidade de remoção de enxofre, de hidrotratamento, ...), estação de tratamento de despejos industriais, "*pipe-racks*" e "*pipe ways*", estação de resíduos sólidos, pátios de manuenção, pátios de bomba, ... segundo as possibilidades de contaminação das mesmas. A N-0038 (PETROBRAS, 2000), define os efluentes da seguinte forma:

- águas pluviais: escoamentos limpos oriundos da planta industrial que não entram em contato direto com materiais contaminantes, tais como drenagem das ruas internas, das áreas administrativas, ...
- águas contaminadas: são as águas que podem entrar em contato com contaminantes (compostos orgânicos) em quantidades mínimas, tais como as drenagens de "*pipe-racks*" e "*pipe-ways*", das áreas externas aos tanques e esferas, das unidades de tratamento de produtos, dentre outras;
- águas oleosas: águas cuja a presença de produtos é importante, em teores bem mais alto do que as águas contaminadas, como por exemplo as águas de drenagem de diques de bombas, de amostragem de produtos, de dessalgadoras, dentre outros;

Por esta classificação, nas refinarias são construídas redes de drenagem que segregam os efluentes segundo a sua origem e conduzindo-os a destinos diferentes, ou seja, as águas contaminadas e oleosas são conduzidas às Estações de Tratamento de Despejos Industriais ou Unidades de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI ou UTDI) (PETROBRAS, 2000). As águas consideradas pluviais são conduzidas diretamente aos corpos receptores de água. Esta segregação visa ao correto manejo dos recursos hídricos, diminuindo custos econômicos, ambientais e sociais, objetivando à recuperação da qualidade do recurso hídrico utilizado ou do escoamento gerado pela precipitação. Os instrumentos governamentais de controle da qualidade das águas,

controle este exercido no Estado de São Paulo pela CETESB, são descritos nos próximos tópicos.

4.3.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS E DOS CORPOS D'ÁGUA

Conforme já foi discutido anteriormente, as águas têm sua qualidade muito adulterada pelos efluentes contaminados e oleosos de uma refinaria. E, em passado não muito distante, foi o que ocorreu. Os corpos d'água recebiam todo tipo de contaminantes e a sua qualidade decaiu drasticamente (GUTBERLET, 1996). A partir de 1984, ou melhor, e a partir de 1988 com a promulgação da nova Constituição Federal e da posterior organização do instrumentos estatais de legislação, justiça e governança ambiental (MACHADO, 2003, VICTORINO, 2003), CETESB têm conduzido a política de atendimento aos anseios da sociedade em relação à recuperação dos recursos naturais na região do pólo industrial do município de Cubatão.

Apresentam-se a seguir os principais indicadores que avaliam a qualidade dos corpos d'água, e que são utilizados pela CETESB para efetuar o diagnóstico destes corpos d'água, e avaliar a evolução histórica destes recursos naturais.

4.3.2.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA PARA FINS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO (IAP)

A CETESB, em seu mapa de monitoramento da qualidade das águas interiores (CETESB, 2006), indica os postos de monitoramento das águas do rio Cubatão. Nestes dois postos, CUBA 0027 e CUBA 0039, existe a indicação de que o Índice de Qualidade da Água Bruta para Fins de Abastecimento Público (**IAP**) se classifica como bom, o que traduz o resultados dos programas de controle dos despejos neste rio, desenvolvido pela própria CETESB, pela RPBC e outras indústrias componentes do Pólo Industrial

de Cubatão (ver figura 4.13). Isso demonstra como são apurados os resultados das políticas ambientais adotadas para região. Além do **IAP**, existe outro índice, o **IVA**, ou seja, o Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas, que é utilizado para medir a capacidade do ambiente suportar e perpetuar a flora e fauna aquáticas. Embora ambos sejam índices, são compostos de diversos outros índices e indicadores, explicados a seguir.

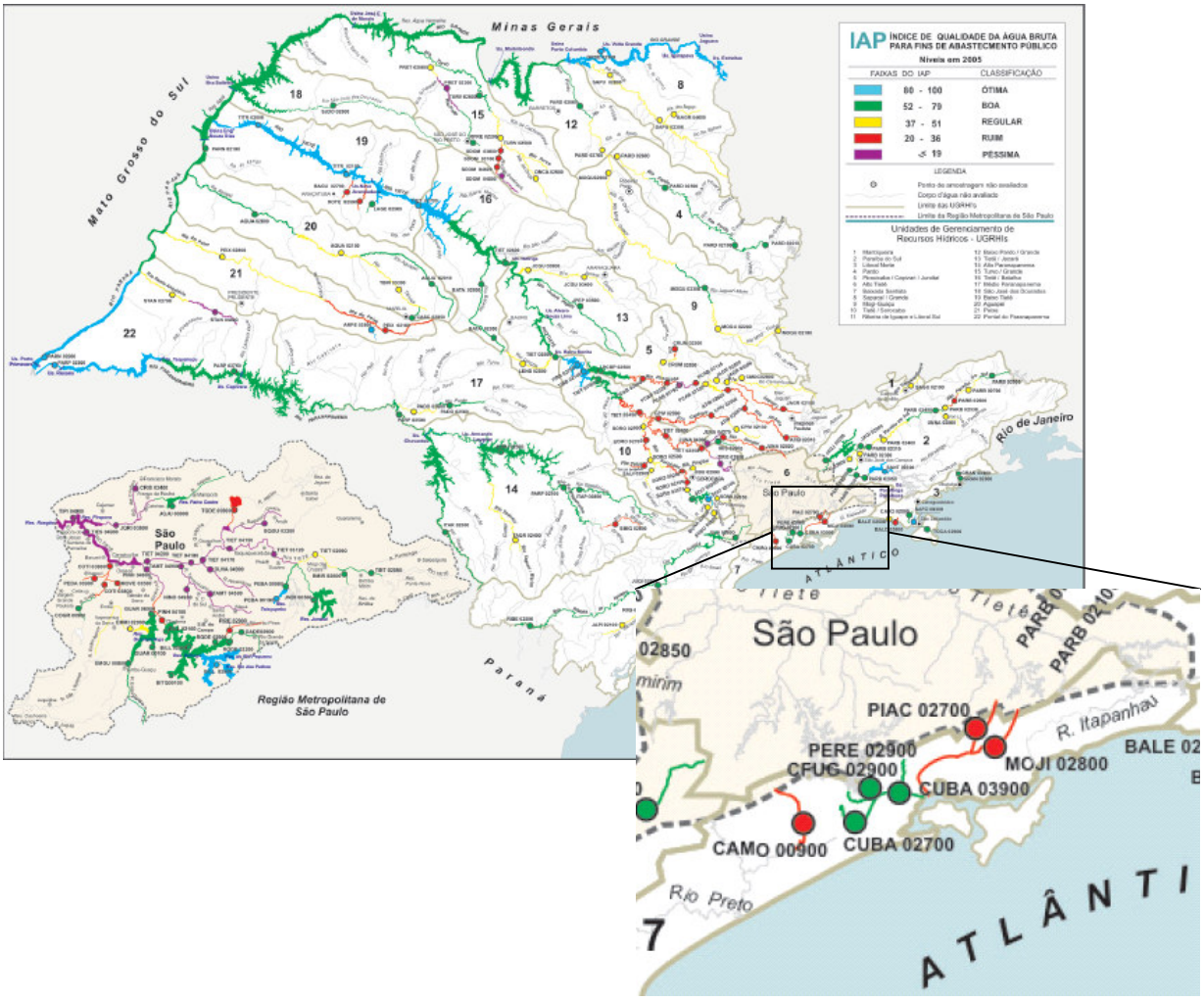


Figura 4.13 Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público na região de estudo. Fonte: Adaptado de CETESB, 2006

O **IAP** é o índice que avalia a qualidade de corpos d'água em relação ao consumo humano. Composto por outros dois índices, o Índice de Qualidade da Água (**IQA**) e o Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas (**ISTO**), é produto de suas ponderações, ou seja, pela equação **(4.1)** (CETESB, 2006).

$$\mathbf{IAP = IQA \times ISTO} \qquad \mathbf{(4.1)}$$

Os parâmetros de qualidade, medidos em amostras do corpo d'água, são: Coliformes Fecais, pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Temperatura, Turbidez, Resíduo Total e Oxigênio Dissolvido. Estes parâmetros, com os seus respectivos pesos e funções de valor, se encontram na figura 4.14.

O **IQA** é o índice calculado por meio de produtória (**π**) entre as avaliações dos parâmetros de qualidade da água, elevados ao peso da sua importância relativa na formação da qualidade (ZUFFO & GENOVEZ, 2006; CETESB, 2006) conforme equação **(4.2)**:

$$\mathbf{IQA} = \pi_{i=1}^{n} q_i^{w_i} \qquad \mathbf{(4.2)}$$

em que $\mathbf{q_i}$ é o **q-iésimo** parâmetro, elevado ao peso $\mathbf{w_i}$, com **i** variando de 1 a **n**, sendo **n** igual a 9. A somatória dos pesos ponderados wi é igual a unidade.

O **ISTO** é obtido utilizando-se dois outros índices: o das Substâncias Tóxicas (**ST**) e o das Substâncias Organolépticas (**SO**), e sua representação matemática é:

$$\mathbf{ISTO = ST \times SO} \qquad \mathbf{(4.3)}$$

O Índice das Substâncias Organolépticas (**SO**) é dado pela média aritmética das avaliações de qualidade das substâncias que o compõe, representada pela equação **(4.4)** (CETESB, 2006).

$$\mathbf{SO = Média\ Aritmética\ (q_{Al}, q_{Cu}, q_{Zn}, q_{Fe}, q_{Mn})} \qquad \mathbf{(4.4)}$$

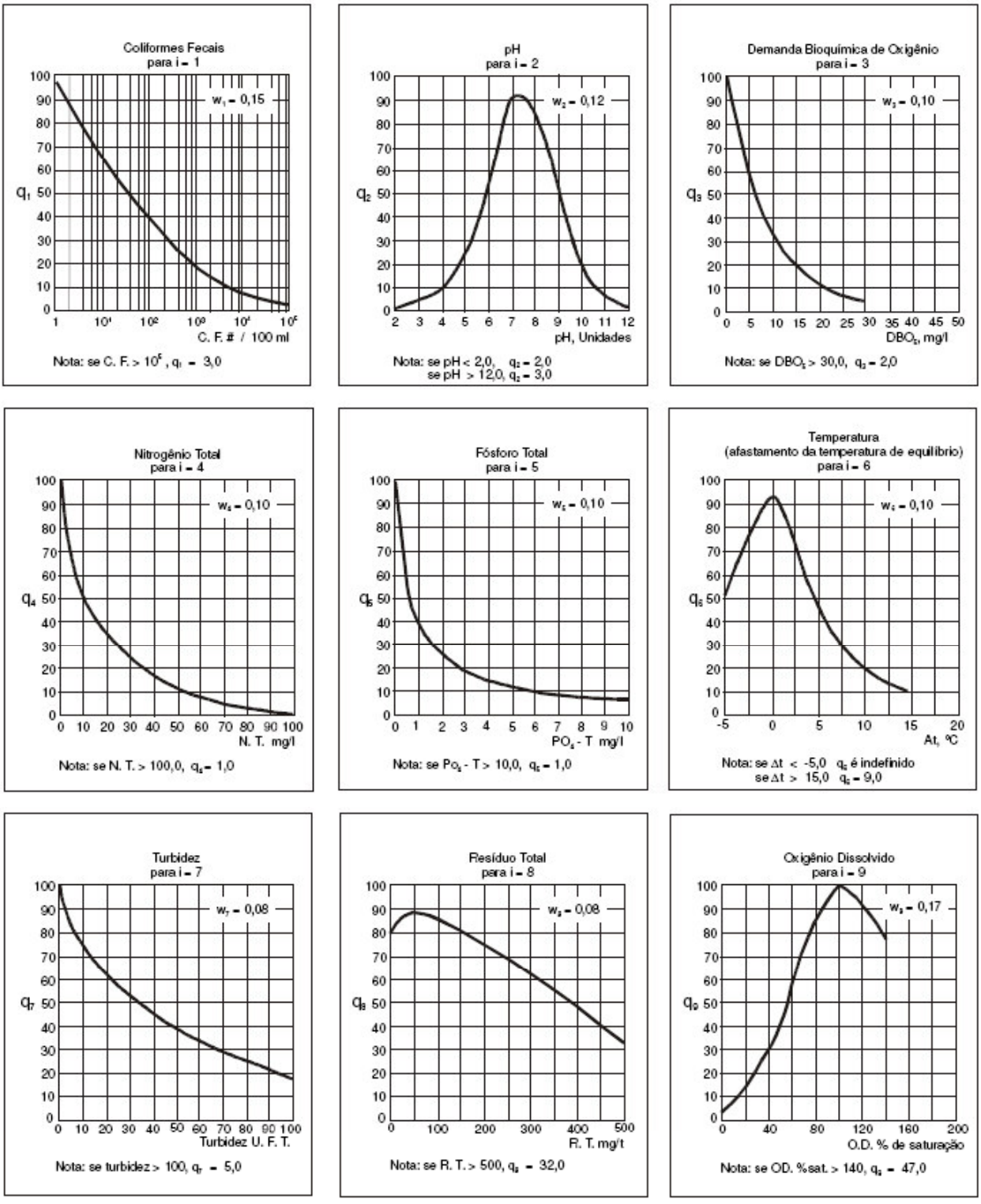


Figura 4.14 Parâmetros avaliados pelo Índice de Qualidade da Água, suas funções de valor e pesos ponderados. Fonte: CETESB, 2006, ZUFFO & GENOVEZ, 2006.

A avaliação das Substâncias Tóxicas (ST) é dada pela ponderação das duas avaliações mais críticas das substâncias que compõem o índice, na equação (**4.5**) (CETESB, 2006).

ST = Mín-1(qTA, qTHMFP, qCd, qPb, qCr, qNi, qHg, qNCC) x
x Mín-2 (qTA, qTHMFP, qCd, qPb, qCr, qNi, qHg, qNCC) **(4.5)**

Sendo que:

$\mathbf{q_{TA}}$: Qualidade avaliada pelo teste de Ames;

$\mathbf{q_{THMCFP}}$: Qualidade avaliada pelo Potencial de Formação de Trihalometanos;
$\mathbf{q_{Cd}}$: Qualidade avaliada pelo teor de Cádmio;
$\mathbf{q_{Pb}}$: Qualidade avaliada pelo teor de Chumbo;
$\mathbf{q_{Cr}}$: Qualidade avaliada pelo teor de Cromo;
$\mathbf{q_{Ni}}$: Qualidade avaliada pelo teor de Níquel;
$\mathbf{q_{Hg}}$: Qualidade avaliada pelo teor de Mercúrio; e,
$\mathbf{q_{NCC}}$: Qualidade avaliada pela presença e quantidade de cianobactérias que indica a presença de algas e a sua quantidade.

As avaliações dos teores de Cádmio, Chumbo, Cromo, Níquel, Mercúrio e do Potencial de Formação de Triahalometanos, com seus limites inferiores e superiores de concentração que são utilizados na função de valor de qualidade dada pelas equações (**4.6**), (**4.7**) e (**4.8**), e representada na figura 4.15, são apresentadas na tabela 4.4.

para **Valor Medido ≤ Limite Inferior ou LI → q_i = 1,00** **(4.6)**
para **Limite Inferior ou LI < Valor Medido ≤ Limite Superior ou LS →**
→ q_i = (Valor Medido – LI)/(LS – LI) **(4.7)**
para **Valor Medido ≥ Limite Superior → q_i = 0,50** **(4.8)**

E, frisando, esta curva é válida para todos os elementos listados na tabela 4.4. Para avaliação da Presença e Quantidade de Algas utilizam-se, respectivamente, as

equações **(4.9)**, **(4.10)** e **(4.11)** e a tabela 4.5 , que resumem a representação matemática do Teste de Ames.

Tabela 4.4 Valores dos Limites Inferiores e Superiores das substâncias Tóxicas e Organolépticas, utilizadas para compor as funções de avaliação de qualidade.

Grupo	Variáveis	Unidade	Limite Inferior	Limite Superior
Tóxicos	Cádmio	mg/l	0,005	0,01
	Chumbo	mg/l	0,033	0,05
	Cromo	mg/l	0,05	0,059
	Níquel	mg/l	0,02	0,025
	Mercúrio	mg/l	0,001	0,002
	PFTHM*	mg/l	373	461
Organo-lépticos	Alumínio Dissolvido	mg/l	0,2	2
	Cobre Dissolvido	mg/l	1	4
	Ferro Dissolvido	mg/l	0,3	5
	Manganês Dissolvido	mg/l	0,1	0,5
	Zinco Dissolvido	mg/l	5	5,9

Fonte: CETESB, 2006.
*Obs: O PFTHM é o Potencial de Formação de Trihalometano.

Para o Teste de Ames ($\mathbf{q_{TA}}$), ou ensaio da Salmonella tiphymurium/microssoma, que avalia a condição da água em relação à Genotoxicidade, a formulação matemática difere bastante. Por este teste verifica-se a existência de substâncias mutagênicas e/ou cancerígenas (CETESB, 2006), e a sua forma de avaliação é dada por:

$$\textbf{Se: } 100<\text{Revertentes/L}<10.000 \Rightarrow q_{TA} = (1-(0,25*\text{Log}(\text{Revertentes/L}) \quad (4.9)$$

$$\textbf{Se: } 0< \text{Revertentes/L}<100 \Rightarrow q_{TA}=0,50 \quad (4.10)$$

$$\textbf{Se: Revertentes/L}>10.000 \Rightarrow q_{TA}=0,00 \quad (4.11)$$

em que **Revertentes** é o número de organismos que se diferenciam para poder lidar com o genotóxico presente na amostra de líquido e que é colocado em contato com eles (exemplo de genotóxico: Metais Pesados) e **L** é o volume de controle, ou seja, 1 litro ou 1 L (UP-FF, 2007).

Para a avaliação de organismos que depreciam a qualidade das águas para dessedentação, foi adotado a presença das cianobactérias como parâmetro de avaliação. A avaliação da qualidade da água em relação à presença destes seres vivos

é dada pela tabela 4.5 (CETESB, 2006). Este parâmetro é o $\mathbf{q_{NCC}}$, medida da **q**ualidade da água em relação ao **N**úmero de **C**élulas de **C**ianobactérias.

Tabela 4.5 – Avaliação da presença de cianobactérias para composição do **IAP**.

Níveis	Avaliação ou (q_{NCC})
N°. de células ≤ 20.000	1,00
20.000 < N°. de células ≤ 50.000	0,80
50.000 < N°. de células ≤ 100.000	0,70
100.000 < N°. de células ≤ 200.000	0,60
200.000 < N°. de células ≤ 500.000	0,50
N°. de células > 500.000	0,35

Fonte: CETESB, 2006

Assim, com os parâmetros avaliados, pode-se ponderar as condições do corpo d'água para o abastecimento humano, através da equação (**4.5**). Entretanto, este não é o único índice que interessa ser avaliado. Conforme colocado no início deste item, além do **IAP**, existe o Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas (**IVA**), objeto o próximo tópico, e que é tão importante para a sustentabilidade do sistema quanto o IAP. As comunidades ribeirinhas muitas vezes são dependentes dos mananciais não só porque necessitam das suas águas para dessedentação, mas também porque necessitam do alimento que estes produzem para sustentar-se física e economicamente.

4.3.2.2 Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas (IVA)

Com o objetivo de avaliar a condição das águas para proteção da fauna e da flora, este índice é o resultado da ponderação de dois outros índices, quais sejam, o Índice de Variáveis Mínimas para Preservação da Vida Aquática (IPMCA), que leva em conta a presença e a concentração de contaminantes químicos tóxicos (toxicidade) e de duas variáveis essenciais para a biota (pH e oxigênio dissolvido), e o Índice do Estado Trófico modificado por Toledo (CETESB, 2006) ou IET, que fornece dados sobre o seu

grau de trofia, ou ainda, avalia os elementos essenciais para a manutenção da cadeia alimentar ou até das condições ideais para explosão da população em um ambiente (CETESB, 2006).

Na determinação do IPMCA considera-se dois grupos de substâncias distintos: o das Substâncias Tóxicas (cobre, zinco, chumbo, cromo, mercúrio, níquel, cádmio, surfactantes e fenóis) e o das Variáveis Essenciais (oxigênio dissolvido, pH e toxicidade), conforme descrito na tabela 4.6. Para cada substância são estabelecidos três diferentes níveis de qualidade, com ponderação numérica de 1 a 3, que correspondem a padrões de qualidade de água estabelecidas pela resolução CONAMA 357/05, conforme colocado por CETESB, 2006, pág. 11:

> *"....CONAMA 357/05 , padrões preconizados pela legislação americana (...) e francesa (...), que estabelecem limites máximos permissíveis de substâncias químicas na água, com o propósito de evitar efeitos de toxicidade crônica e aguda à biota aquática."*
>
> Fonte: CETESB, 2006.

Os três níveis (1 a 3) são descritos a seguir, e na tabela 4.6 fornece-se as avaliações dos teores das substâncias consideradas de acordo com enquadramento nestes níveis:

A: águas com as características desejáveis para manter a sobrevivência e a reprodução dos organismos aquáticos (ponderação 1);

B: águas com as características desejáveis para a sobrevivência dos organismos aquáticos, porém a reprodução pode ser afetada a longo prazo (ponderação 2); e,

C: águas com características que podem comprometer a sobrevivência dos organismos aquáticos (ponderação 3).

Uma vez medidos os limites dos parâmetros e enquadrados nos limites preconizados pela tabela 4.6, tem-se os valores das ponderações que deverão ser

introduzidas na equação 4.12. Observe que a maior multiplicação possível resulta em 9, que é o valor máximo possível para este índice.

Tabela 4.6 Substâncias componentes do IPMCA e suas ponderações.

Grupos	Variáveis	Níveis	Faixa de variação	Ponderação
VARIÁVEIS ESSENCIAIS (PE)	OD (mg/L)	A	≥ 5,0	1
		B	3,0 a 5,0	2
		C	< 3,0	3
	pH (Sörensen)	A	6,0 a 9,0	1
		B	5,0 a < 6,0 e > 9,0 a 9,5	2
		C	< 5,0 e > 9,5	3
	Toxicidade (p.ex.: Teste de Ames)	A	Não Tóxico	1
		B	Efeito Crônico	2
		C	Efeito Agudo	3
SUBSTÂNCIAS TÓXICAS (ST)	Cádmio (mg/L)	A	≤0,001	1
		B	> 0,001 a 0,005	2
		C	> 0,005	3
	Cromo (mg/L)	A	≤ 0,05	1
		B	> 0,05 a 1,00	2
		C	> 1,00	3
	Cobre (mg/L)	A	≤ 0,02	1
		B	> 0,02 a 0,05	2
		C	> 0,05	3
	Chumbo (mg/L)	A	≤ 0,03	1
		B	> 0,03 a 0,08	2
		C	> 0,08	3
	Mercúrio (mg/L)	A	≤ 0,0002	1
		B	> 0,0002 a 0,001	2
		C	> 0,001	3
	Níquel (mg/L)	A	≤ 0,025	1
		B	> 0,025 a 0,160	2
		C	> 0,160	3
	Fenóis (mg/L)	A	≤ 0,001	1
		B	> 0,001 a 0,050	2
		C	> 0,050	3
	Surfactantes (mg/L)	A	≤ 0,5	1
		B	> 0,5 a 1,0	2
		C	> 1,0	3
	Zinco (mg/L)	A	≤ 0,18	1
		B	>0,18 a 1,00	2
		C	> 1,00	3

Fonte: CETESB, 2006.

O cálculo de IPMCA se dá por meio da equação (**4.12**):

IPMCA = PE x ST **(4.12)**

Em que:

IPMCA: Índice de Variáveis Mínimas para Preservação da Vida Aquática.

PE: Valor da maior ponderação do grupo de variáveis essenciais;

ST: Valor médio das três maiores ponderações do grupo de substâncias tóxicas.

O resultado deve ser um número inteiro (portanto, arredondado), pode variar de 1 a 9 , sendo subdivididos em 4 faixas de qualidade conforme tabela 4.7.

Tabela 4.7 Avaliação de IPMCA

Categoria	Ponderação
BOA	1
REGULAR	2
RUIM	3 e 4
PESSIMA	≥ 5

Fonte: CETESB, 2006.

Já com o Índice do Estado Trófico **(IET)** modificado por Toledo classificam-se os corpos d'água em diferentes graus de trofia (ou seja, o enriquecimento da água por nutrientes) e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou macrófitas aquáticas (POMPÊO, 2007). São duas as substâncias/parâmetros utilizados para o cálculo do Índice do Estado Trófico: clorofila (Índice do Estado Trófico para clorofila – **IET(CL)**) e fósforo total (Índice do Estado Trófico para o fósforo – **IET(PT)**). As equações (**4.13**) a (**4.16**) que fornecem as avaliações para estes dois índices são divididas por ambiente de ocorrência, conforme segue (CETESB, 2006):

- Rios

IET (CL) = 10x(6-((-0,7-0,6x(ln CL))/ln 2))-20 **(4.13)**

IET (PT) = 10x(6-((0,42-0,36x(ln PT))/ln 2))-20 **(4.14)**

- Reservatórios

IET (CL) = 10x(6-((0,92-0,34x(*ln*CL))/*ln*2)) **(4.15)**

IET (PT) = 10x(6-(1,77-0,42x(*ln*PT)/*ln*2)) **(4.16)**

em que:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg/L;

CL: concentração de clorofila a medida à superfície da água, em µg/L;

O resultado apresentado para avaliação do **IET** será a média aritmética simples dos dois índices, ou seja (CETESB, 2006), conforme tabelas 4.8 e 4.9, para rios e lagos, respectivamente:

IET = [IET (PT) + IET (CL)]/2 **(4.17)**

Tabela 4.8 Classificação do Estado Trófico (rios) modificado por Toleto ou ainda Índice de Carlson Modificado - Rios

Categoria (Estado Trófico)	Ponderação (m)	Fósforo total ($mg.m^{-3}$)	Clorofila a ($mg.m^{-3}$)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	P ≤ 13	CL ≤ 0,74
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	13< P ≤ 35 0	0,74 < CL ≤ 1,31
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	35 < P ≤137	1,31 < CL ≤ 2,96
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	137< P ≤ 296	2,96 < CL ≤ 4,70
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	296 < P ≤ 640	4,70 < CL ≤ 7,46
Hipereutrófico	IET >67	P > 640	CL > 7,46

Fonte: CETESB, 2006

Tabela 4.9 Classificação do Estado Trófico modificado por Toledo ou ainda Índice de Carlson Modificado - Reservatórios

Categoria (Estado Trófico)	Ponderação (m)	Secchi – S (m)	P – total (mg/m^3)	Clorofila a (mg/m^3)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	S ≥ 2,4	P ≤ 8	CL ≤ 1,17
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	2,4 > S ≥ 1,7	8 < P ≤ 19	1,17 < CL ≤ 3,24
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	1,7 > S ≥ 1,1	19 < P ≤ 52	1,31 < CL ≤ 11,03
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	1,1 > S ≥ 0,8	52 < P ≤ 120	11,03 < CL ≤ 30,55
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	0,8 > S ≥ 0,6	120 < P ≤ 233	30,55 < CL ≤ 69,05
Hipereutrófico	IET >67	S < 0,6	P > 233	CL > 69,05

Fonte: CETESB, 2006

Sendo que:

Ultraoligotrófico: corpos d'água muito claros e com baixíssima produtividade de organismos vivos em relação à produtividade natural;

Oligotrófico: corpos d'água claros e com baixa produtividade de organismos vivos em relação à produtividade natural;

Mesotrófico: corpos d'água com mediana clareza e com produtividade de organismos vivos equivalente à produtividade natural;

Eutrófico: corpos d'água turvos e com produtividade de organismos vivos acima da produtividade natural;

Supereutrófico: corpos d'água mais turvos e com altíssima produtividade de organismos vivos em relação à produtividade natural;

Hipereutrófico: corpos d'água muito turvos e com produtividade de organismos vivos comprometedora, que tende a esgotar e a inviabilizar a continuidade das colônias naturais neste corpo d'água (adaptado de METCALF & EDDY, 1981).

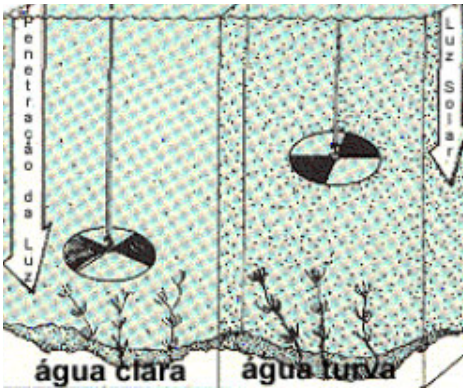


Figura 4.15 Disposição do Disco de Secchi no fluido. Fonte: UFRRJ, 2007

Para reservatórios há ainda mais um parâmetro introduzido: a medida da transparência ou claridade com o Disco de Secchi (POMPÊO, 2007). Este método de avaliação de transparência consiste na introdução no meio líquido de um disco padrão (ver figura 4.15) e a anotação das profundidades em que este disco desaparece e

reaparece novamente. O resultado final do teste naquele ponto é a média das duas profundidades anotadas.

Com os valores obtidos anotados, pode-se dar entrada na tabela 4.9, onde se obtém a classificação cruzando-se os valores de trofia do corpo d'água levando-se em consideração a medida obtida pelo Disco de Secchi (S).

A avaliação final do IET é apresentada no Tabela 4.10.

Tabela 4.10 Avaliação final do IET

Categoria	Ponderação
Ultraoligotrófico	0,5
Oligotrófico	1
Mesotrófico	2
Eutrófico	3
Supereutrófico	4
Hipereutrófico	5

Fonte: CETESB, 2006

Uma vez calculados os valores para ambos os índices, IPMCA e IET, o valor final do IVA é retirado do Tabela 4.1.

Tabela 4.11 Tabela de cálculo do IVA em função do IPMCA e do IET

	IPMCA					
IET	Ponderação	1	2	3	4	5 a 9
	0,5	1,7	2,9	4,1	5,3	7,7 – 11,3
	1	2,2	3,4	4,6	5,8	8,2 – 11,8
	2	3,2	4,4	5,6	6,8	9,2 – 12,8
	3	4,2	5,4	6,6	7,8	10,2 – 13,8
	4	5,2	6,4	7,6	8,8	11,2 – 14,8
	5	6,2	7,4	8,6	9,8	12,2 – 15,8

Fonte: CETESB, 2006

A Classificação Final do IVA será fornecida pelo ábaco da tabela 4.12 (CETESB, 2006):

Tabela 4.12 Classificação Final do IVA

Categoria	Ponderação
ÓTIMA	IVA ≤ 2,5
BOA	2,6 ≤IVA≤3,3
REGULAR	3,4≤IVA≤4,5
RUIM	4,6≤IVA≤6,7
PÉSSIMA	6,8≤IVA

Fonte: CETESB, 2006

Todos estes parâmetros apresentados são utilizados pela CETESB para avaliação dos efluentes da refinaria, assim como para avaliação dos rios da região. Portanto, os cuidados no tratamento dos efluentes, na segregação dos efluentes para tratamento e a robustez e confiabilidade de todo sistema é bastante importante para que sejam mantidos estes efluentes dentro dos limites estabelecidos por este órgão ambiental.

4.4 MODELO DE PRECIPITAÇÃO E DE PRODUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

No estudo de engenharia da drenagem de uma bacia, a medida do escoamento superficial é uma das análises importantes a serem efetuadas (GARCEZ, ALVAREZ, 1988; TUCCI, 1998; LANÇA, 2000). As grandezas características representativas do escoamento superficial são:

- coeficiente de deflúvio ou "*run-off*" (C ou CN): relação entre a quantidade de água escoada pela seção e a quantidade de água precipitada sobre a bacia contribuinte (adimensional ou %);

- volume superficial ou nível da água: altura atingida pela água na seção em relação a uma certa referência (mm, cm, m). Embora possua a denominação de volume, a grandeza é medida pela altura da lâmina d'água;
- velocidade: relação espaço percorrido pela partícula líquida e o tempo de percurso (m/s ou km/h);
- vazão: é o volume de líquido escoado num determinado intervalo de tempo através de uma dada seção (l/s ou m^3/h);
- módulo de deflúvio anual: total escoado num ano (m^3 ou km^3)
- vazão específica ou contribuição unitária: é a relação entre a vazão gerada pela precipitação em uma bacia e a área desta mesma bacia ($l/s.m^2$)
- altura média: relação entre o volume total escoado num período (ano, mês, dia) e a área da bacia. Também é grandeza medida pela altura da lâmina escoada média num determinado tempo (mm/ano, mm/mês);
- declividade: relação entre as diferenças de nível (ou altitude) entre dois pontos de uma mesma linha d'água, superfície, talvegue ou fundo de vale ou canal artificial e a distância horizontal entre esses dois pontos (m/m, %); e,
- tempo de concentração: é o tempo, contado a partir do início da precipitação, necessário para que a mais distante gota de água precipitada chegue à seção de controle-descarga do modelo (segundos, minutos, horas);

Entretanto, para se chegar a estes produtos finais diversas são as características que devem ser estudadas e seus parâmetros representativos devem ser muito bem definidos. São eles:

- equação de chuvas ou relação entre a Intensidade média máxima da precipitação (i ou I) em função do tempo de recorrência (Tr) e em função da duração (Δt);
- hidrograma unitário: é a distribuição da vazão de escoamento gerado pela água (chuva) precipitada sobre uma área unitária;
- tempo de recorrência da chuva de projeto: é o intervalo de tempo médio esperado entre dois eventos de chuva da mesma magnitude da precipitação de

projeto. Quanto maior o tempo de recorrência, mais intensa é a chuva (medido em anos);

- taxa de precipitação: é a velocidade de precipitação, medida em mm/min; e,
- Intervalo de Precipitação ou Duração: duração da precipitação de projeto, normalmente medido em minutos e igual $\mathbf{t_c}$.

Os fundamentos de cada um destes elementos que definem as precipitações e os escoamentos por ela originados são apresentados a seguir.

4.4.1 MODELO DE PRECIPITAÇÃO

Precipitação é a queda de água, sólida ou líquida, em uma determinada superfície. Para o Brasil, o tipo de precipitação que interessa é a de água em sua forma líquida, a chamada chuva.

Existem vários tipos de chuva: chuva orográfica, que é a elevação de ar quente e úmido, que tenta galgar as encostas das montanhas, e provoca precipitações locais, muito freqüente no litoral do Sudeste do Brasil; chuva ciclônica, que é provocada pelos ciclones com depressões centrais, por onde o ar quente e úmido se eleva, expande e esfria nas altas camadas da atmosfera, e por vezes precipita, podendo ser frontais (encontro entre frente quente e fria ou entre frente fria e quente) ou não frontais; chuva de convecção, que resulta de movimentos ascendentes de massas quentes de ar, que são mais leves que o ar frio que as cerca, o vento na altura do solo é no sentido da zona de pressão para a zona de depressão e nas altas partes da atmosfera no sentido oposto, retroalimentando o sistema (WILKEN, 1978; GARCEZ, ALVAREZ, 1988; TUCCI, 1998; LANÇA, 2000). Os elementos característicos das precipitações são: a altura precipitada (em mm), que se relaciona com a intensidade precipitada; a duração da chuva (em min ou h) e a freqüência em que a chuva ocorre (ano^{-1}), sendo este último o inverso do período de retorno, ou ainda:

- intensidade: é a medida da altura precipitada em um determinado intervalo de tempo (mm/min, mm/h);
- duração: período de tempo no qual ocorre a precipitação (min, h, dias);
- freqüência: é a expectativa de que uma dada altura de chuva poderá se igualada ou excedida (ano^{-1}). É o inverso do período de retorno;e,
- período de retorno: é o intervalo de tempo médio (aproximado) entre dois eventos que se igualam ou superam (bienal, centenária).

Os dados de chuva podem ser coletados utilizando-se pluviógrafos e/ou pluviômetros, podendo ser organizados em dois tipos de séries: as séries anuais ou de intensidades máximas anuais e as séries de duração parcial ou de chuvas de intensidade acima de uma certa base (WILKEN, 1978; GARCEZ, ALVAREZ, 1988). Para projeto de estruturas hidráulicas é necessárias a determinação de uma equação de chuvas que relaciona a freqüência das chuvas com a sua intensidade de precipitação. É a chamada equação de chuvas. A determinação de uma equação de chuva parte do tratamento empírico ou estatístico das series parciais ou anuais, e sua determinação é crucial para as análises dos volumes de deflúvio que podem ser gerados em uma bacia e que irão solicitar as estruturas hidráulicas projetadas (WILKEN, 1978; GARCEZ, ALVAREZ, 1988).

4.4.1.1 DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE CHUVAS POR SÉRIES PARCIAIS.

Para exemplificar alguns dos métodos que analisam séries parciais de chuvas destacar-se-á três deles analisados por WILKEN, 1978, pág. 25-35. O primeiro, Método de Sherman, supõe-se que "(...) os registros de N anos de observação representam bem a média (...)". A máxima intensidade neste período deve ter a recorrência estimada em N, ou ainda, este é o seu período de retorno. Já os valores seguintes, de segunda grandeza, devem ter o período de retorno de N/2 anos, e assim sucessivamente. Entretanto, ao observar-se apenas N anos, não se pode ter certeza se a sua freqüência

real é maior ou menor que a observada, pois estatisticamente a amostra é muito pequena. Assim, Sherman, para minimizar o efeito da falta de mais informações sobre os eventos, desprezou as duas primeiras grandezas e passou a colocar em gráficos as informações de freqüência e intensidade em um papel bilogarítimo, determinando a curva para cada um dos períodos.

No segundo método, Método de Fair-Geyer, faz-se o seguinte tratamento: para uma série de observações de chuvas intensas, anota-se a freqüência de intensidades observadas (houve 12 chuvas de 1,0 mm/min, 5 chuvas de 1,3 mm/min e 2 chuvas de 1,7 mm/min) em um período de tempo (no exemplo, 30 anos). As freqüências destas chuvas são, respectivamente neste exemplo, 2,5 anos, 6 anos e 15 anos. Para saber outros tempos de recorrência, basta interpolar ou por vezes extrapolar.

Por fim, no Método de Alekseev prega-se a aplicação da distribuição de freqüência de Goodrich, por meio da equação **(4.18)** (WILKEN, 1978):

$$\mathbf{S_r = S_o - 10^{(-h/x)^n}} \qquad \mathbf{(4.18)}$$

em que:

$\mathbf{S_r}$ = 1/**Tr,** é a freqüência da chuva de recorrência de **r** anos^{-1};

Tr = Período de retorno;

$\mathbf{h_{Tr}}$ = altura precipitada da chuva considerada intensa para um determinado **Tr** (somente as chuvas acima desta base são consideradas intensas) em mm; e,

n, $\mathbf{S_o}$ e **x** = parâmetros da curva de distribuição.

O significado físico de $\mathbf{S_o}$ é que ele é a média da freqüência anual de todas as chuvas maiores que uma altura precipitada pré-determinada. O **n** é constante e pode ser adotada como 0,4 ou 0,5 para chuvas de até 2hs. Simplifica-se a equação (**4.18**) para equação (**4.19**) (WILKEN, 1978).

$$\mathbf{h_{Tr} = x.(logS_o + log_{Tr})^{1/n}} \qquad (\mathbf{4.19})$$

sendo os parâmetros $\mathbf{h_{Tr}}$, **x,** $\mathbf{S_o}$, $\mathbf{T_r}$, **n** são os mesmos definidos para a equação (**4.18**).

Assim, para cada duração de chuva, separam-se os eventos de chuva em faixas de altura precipitada. Exemplificando:

- chuvas intensas de duração de 15 min:
  - 1ª. faixa: alturas acima de 20 mm. Freqüência: 31 eventos;
  - 2ª. faixa: alturas acima de 23 mm. Freqüência: 14 eventos;
  - 3ª. faixa: alturas acima 26 mm. Freqüência: 6 eventos;
  - 4ª. faixa: alturas acima de 29 mm. Freqüência: 3 eventos; e,
  - 5ª. faixa:, acima de 32 mm. Freqüência: 1 evento.

Determina-se a freqüência de precipitação, ou seja, quantas foram as ocorrências registradas na amostra, e para cada altura, $\mathbf{h_{Tr}}$, determina-se o $\mathbf{S_o}$, que é o número de ocorrências dividida pelo total de ocorrências da amostra. O $\mathbf{T_r}$, tempo de recorrência, é resultado da divisão do tamanho da amostra pelo número de ocorrências. Continuando o exemplo proposto:

- o tamanho da amostra é de 15 anos. Assim, o tempo de recorrência de chuvas de duração 15 min é, e a altura correspondente $\mathbf{h_{Tr}}$ é de acordo com a faixa de precipitação:
  - 1ª. faixa: $\mathbf{T_r}$ = 15/31 = 0,484 anos e $\mathbf{h_{Tr}}$= 20 mm;
  - 2ª. faixa: $\mathbf{T_r}$ = 15/14 = 1,071 anos e $\mathbf{h_{Tr}}$= 23 mm;
  - 3ª. faixa: $\mathbf{T_r}$ = 15/6 = 2,5 anos e $\mathbf{h_{Tr}}$= 26 mm;
  - 4ª. faixa: $\mathbf{T_r}$ = 15/3 = 5 anos e $\mathbf{h_{Tr}}$= 29 mm; e,
  - 5ª. faixa: $\mathbf{T_r}$ = 15/1 = 15 anos e $\mathbf{h_{Tr}}$= 32 mm.

Assim, sobra como incógnita apenas **x**, que é determinado para cada par ($\mathbf{h_{Tr}}$, $\mathbf{S_o}$). Desenha-se os pares de coordenadas em um gráfico e retira-se a equação da chuva da curva aproximada deste gráfico. Faz-se para ambos os valores de n, 0,5 e 0,4, e aquele que tiver menor desvio padrão resultará na equação que deve ser usada (WILKEN, 1978).

Ao analisar como estes métodos determinam os períodos de recorrência e as intensidades precipitadas, percebe-se que nos métodos parciais, a falta de informações sobre as chuvas, devido ao tamanho reduzido das amostras, pode levar a resultados equivocados. Portanto, são métodos que assumem premissas frágeis (WILKEN, 1978). Por outro lado, os métodos parciais consideram vários eventos considerados intensos em um ano. Entretanto, isto pode implicar em erro, pois o ano hidrológico é um evento contínuo, e pode ser chuvoso ou seco, de acordo com a associação de diversos condicionantes metereológicos. Então, um ano chuvoso terá maior quantidade de eventos intensos e um ano seco terá uma menor quantidade de eventos intensos. Assim a chuva mais intensa daquele ano (chuvoso ou seco) é um ente representativo de toda essa associação de leis e condicionantes meteorológicos.

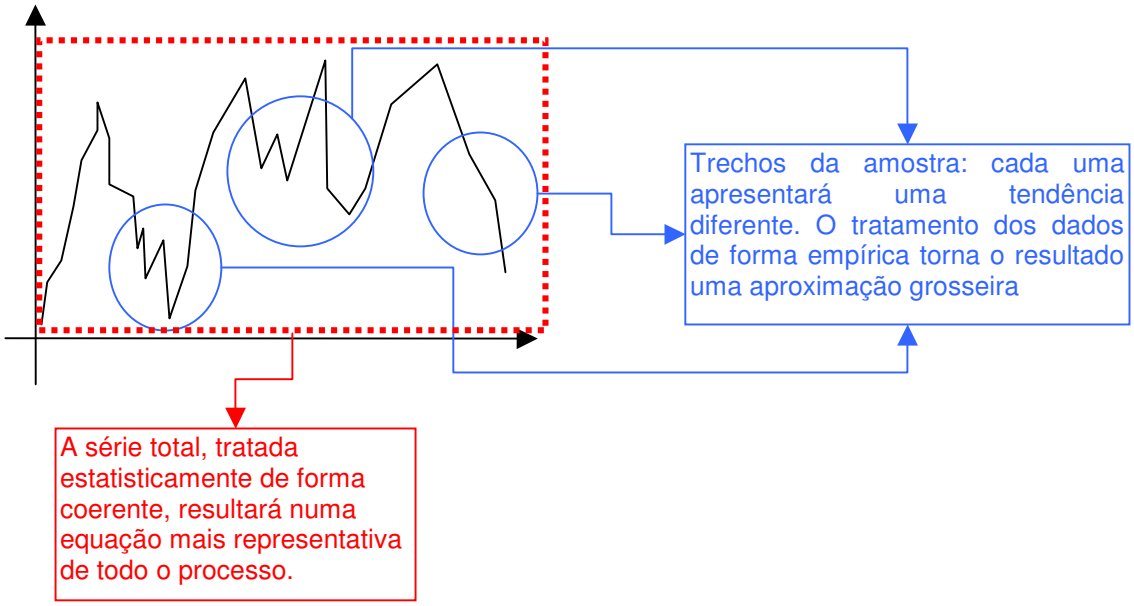


Figura 4.16 – Diferenças conceituais entre os tratamentos de séries de chuvas pelos métodos de séries totais e de séries anuais. Fonte: Baseado em WILKEN, 1978

Se forem adotados diversos entes deste único ano hidrológico a representatividade da amostra será descaracterizada. Além de toda essa discussão, existe o problema dos ciclos hidrológicos mais extensos. Existem ciclos hidrológicos com durações que variam desde os decenários até os milenares, e que ao se adotar

um pequeno trecho desta amostra, certamente se estará analisando um pequeno trecho destes ciclos. Desta forma, a análise destes dados apresentará as tendências conforme o ciclo no qual está inserida, e isso também levará a erros grosseiros. Na figura 4.7 ilustra-se esta explicação.

Enfim, os métodos das séries totais são considerados melhores embasados nas leis estatísticas, e, portanto, são mais confiáveis na representação matemática dos fenômenos das chuvas intensas.

4.4.1.2 DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE CHUVAS POR SÉRIES ANUAIS

O método mais usual, há quase meio século, é o Método de Gumbel-Chow. Para facilitar o entendimento dos conceitos ligados a teoria da lei de Gumbel e aos melhoramentos introduzidos por Ven te Chow, apresentam-se alguns conceitos básicos:

- probabilidade: proporção de sucessos entre todos os eventos quando a amostra cresce indefinidamente (WILKEN, 1978). Neste caso , tem-se a equação **(4.20)**:

  $$\mathbf{P_r = r \,.\, P(X)} \qquad \mathbf{(4.20)}$$

  Sendo:

  X: grandeza variável, sujeita a extremos;

  P(X): probabilidade de um dado evento que exceda X;

  $\mathbf{P_r}$: função P(X) obtido na observação de eventos reais; e,

  r: quantidade de eventos reais, ou ainda, é a quantidade de eventos independentes de cada ano da amostra.

- período de retorno: intervalo de tempo em que o evento é igualado ou excedido (WILKEN, 1978; GARCEZ, ALVAREZ, 1988);

  As relações entre a probabilidade e o período de retorno são dadas pelas equações (**4.21**) e (**4.22**):

$$T_r = 1 \text{ ano}/P_r \quad (4.21)$$

$$T_m = 1 \text{ ano}/P_m \quad (4.22)$$

Sendo que P_r já foi definido para a equação **(4.20)**, e as demais variáveis das equações são:

T_r: Período de retorno obtido baseado em séries reais;
T_m: Período de retorno baseado em séries reais muito grandes; e,
P_m: probabilidade de ocorrência obtida a partir de séries reais muito grandes.

- relação entre o valor extremo e a série fundamental, ou ainda, o intervalo de tempo (ou período de retorno) em que o evento é igualado ou excedido é dado pela equação **(23)** (WILKEN, 1978).

$$1- P(X) = 1- P_r/r \quad (4.23)$$

Em que, **P(X)**, P_r e **r** já foram definidos para equação (**4.20**). A probabilidade de que nenhum dos r eventos do ano o excederá é de calculada pela equação (**4.24**) (WILKEN, 1978):

$$1-P_m = (1-P_r/r)^r \quad (4.24)$$

Se o número de eventos for grande, pode-se usar as equação (**4.25**), ou a equação (**4.26**) ou ainda a equação (**4.27**):

$$1- P_m = e^{-P_r} \quad (4.25)$$

$$P_m= 1-e^{-P_r} \quad (4.26)$$

$$P_r = -(\ln(1-P_m)) \quad (4.27)$$

Em termos de T_r e T_m, tem-se equação (**4.28**)

$$1/T_r = -\ln(1-1/T_m) \text{ (em anos}^{-1}) \quad (4.28)$$

Para períodos acima de 3 anos, tem-se a equação (**4.29**):

$$T_r = T_m - 0,5 \qquad (4.29)$$

- probabilidade de valores extremos: é a curva que define os valores probabilísticos de ocorrências extremas, que têm forma assintótica, tendendo a zero. Sua representação é dada pela equação (**4.30**) (WILKEN, 1978) :

$$P_r = e^{-(a+X)/c} \qquad (4.30)$$

Substituindo a equação (**4.25**) na equação (**4.30**) obtém-se a equação (**4.31**):

$$1-P_m = e^{-e^{-(a+X)/c}} \qquad (4.31)$$

E fazendo y = (a+X)/c obtém-se a equação (**4.32**).

$$1-P_m = e^{-e^{-y}} \qquad (4.32)$$

Que é uma "*lei exponencial dupla, com a variável reduzida y"*. Uma forma alternativa desta lei é a retirada de logaritmos naturais da equação **(4.32)** de ambos os lados reduzindo-a para a equação **(4.33)** (WILKEN, 1978):

$$X \text{ ou } I = A + B \; ln \; ln \; (1/(T_m-1)) \qquad (4.33)$$

em que os parâmetros **X** ou **I** e T_m já foram deduzidos anteriormente, e **A** e **B** são constantes a serem calibradas quando do ajuste da curva desenhada..

- ajustamento da reta obtida pelo lançamento dos pares de valores (**X** ou **I**, T_m) no papel probabilístico por meio do método dos mínimos quadrados (WILKEN, 1978);
- linearização, que é a proposta refletida na fórmula (34). Existem duas formas possíveis segundo WILKEN, 1978 e TOMAZ, 2002, sendo essas formas dadas pelas equações **(4.34)** (Gumbel) e **(4.35)** (Chow):

$$K = ln\ ln\ (1/(T_m-1)) \quad (4.34)$$

$$K = -((6^{0,5})/\pi)*[\gamma + \ln \ln\ (T_m/(T_m-1))] \quad (4.35)$$

Outras simplificações foram sendo propostas para o método de Gumbel e atualmente a equação de Gumbel-Chow se escreve conforme equação **(4.36)** (TOMAZ, 2002):

$$P(1dia;T) = \alpha - \beta \ln(\ln((T-1)/T)) \quad (4.36)$$

em que $\alpha = (\mu - 0,577*\beta)$ e $\beta = \sqrt{6} * \varsigma / \pi$, com **μ** sendo a média das intensidades das amostras e ς sendo o desvio padrão da amostra.

Usando esta conceituação, Magni e Mero, em 1986, desenvolveram em um trabalho extenso, fórmulas para algumas cidades brasileiras, dentre as quais (MAGNI & MERO, 1986 apud CANHOLI, 2005):

- São Paulo - Estação do IAG (Período dos dados: 1931 a 1949)

$$I = (t+20)^{-0,914}[31,08 - 10,88\ ln\ (ln\ (T/(T-1))] \text{ para } 10 \leq t \leq 60 \quad (4.37)$$

$$I = t^{-0,821}[16,14 - 5,65\ ln\ (ln\ (T/(T-1))] \text{ para } 60 < t \leq 1440 \quad (4.38)$$

- Santos (Período dos dados: 1921 a 1951)

$$I = (t+20)^{-0,76}[15,53 - 6,08\ ln\ (ln\ (T/(T-1))] \text{ para } 10 \leq t \leq 60 \quad (4.39)$$

$$I = t^{-0,662}[8,60 - 3,36\ ln\ (ln\ (T/(T-1))] \text{ para } 60 < t \leq 1440 \quad (4.40)$$

em que **I** é a intensidade precipitada em mm/min, **t** é a duração da chuva em min e **T** é o período de retorno em anos.

No Brasil, as análises estatísticas de longas séries (equações **4.41** a **4.43**) fornecem equações onde a intensidade de precipitação média máxima aparece em função do período de retorno ou tempo de recorrência, ou seja (GARCEZ, ALVAREZ, 1988):

$$I \text{ ou } P = f(T_r, \Delta t) \quad (4.41)$$

$$I_m = a_1 / (b_1 + t) \quad (4.42)$$

$$I_m = a_2 * (b_2 + t)^{-n} \quad (4.43)$$

Em que b_1, b_2 são constantes e a_1, a_2 variam com a freqüência, ou período. Várias foram as equações determinadas desta forma por vários estudiosos da área para as cidades São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba e Belo Horizonte.

Outro extenso e conceituado estudo é o de Otto Pfafstetter, que em seu livro ***Chuvas Intensas no Brasil*** (PFAFSTETTER, 57 apud GARCEZ, ALVAREZ, 1988), determinou uma extensa série de equações de chuvas para diversas cidades brasileiras, baseado na observação de 98 postos distribuídos pelo país e cujos dados estavam disponíveis no Arquivo do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura. Apresentou seu resultado em ábacos organizados pelo período de retorno, e onde se cruzam a intensidade de chuva procurada pela duração da mesma. A equação **(4.44)** apresenta a equação genérica do seu estudo.

$$P = T^{\sigma + \varepsilon/(T^{\gamma})} [\, at + b \log (1 + c*t)] \quad (4.44)$$

Fator de Probabilidade

em que **P** é a precipitação máxima em (mm), **T** é o tempo de recorrência em anos, **t** duração da precipitação em horas, **σ** e **ε** são valores que dependem da duração da precipitação, γ, **a**, **b**, **c** são constantes para cada posto. O primeiro fator, o Fator de Probabilidade, define a forma de ajustamento da curva à representação gráfica. Apresenta-se, como Apêndice B no final deste trabalho o desenvolvimento desta equação para Santos, para o posto de Santos propriamente dito e para o posto de Itapema, pois é referência muito utilizada dentro da Petrobras. Em 6. Resultados é apresentada a comparação das alturas precipitadas e das intensidades de precipitação segundo a equação de chuva desenvolvida para este trabalho e a equação 4.44.

Para se obter o valor da intensidade precipitada a partir da chuva de um dia utiliza-se a correlação estatística também proposta por Magni (MAGNI, 1984) para a

cidade de Santos, conforme a correlação entre a chuva de 1 dia e a de 24hs, apresentada na página 117, que é de 1,034, e as equações **4.45**, **4.46** e **4.47** que fornecem a relação entre a altura precipitada ($\mathbf{h_{t1}}$) no intervalo de tempo inicial ($\mathbf{\Delta t_1}$) e a altura precipitada ($\mathbf{h_{t1}}$) no subintervalo que se deseja ($\mathbf{\Delta t_1}$), pois este é uma parte do intervalo inicial. As equações são as seguintes:

Para $\mathbf{\Delta t_{des}}$ e $\mathbf{\Delta t_{ref}} \leq 60$ min⇒

$$\Rightarrow \quad \frac{h_{t1}}{h_{t2}} = \frac{\Delta t_1 * (\Delta t_2 + 20)^{0,76}}{\Delta t_2 * (\Delta t_1 + 20)^{0,76}} \qquad \textbf{(4.45)}$$

Para $\mathbf{\Delta t_{des}}$ e $\mathbf{\Delta t_{ref}} > 60$ min⇒

$$\Rightarrow \quad h_{t1}/h_{t2} = (\Delta t_1 / \Delta t_2)^{0,338} \qquad \textbf{(4.46)}$$

Para $\mathbf{\Delta t_1} \leq 60$min e $\mathbf{\Delta t_2} > 60$min ⇒

$$\Rightarrow \quad h_{t1}/h_{t2} = 1,808 * \Delta t_1 * (\Delta t_2^{-0,338}) * (\Delta t_1 + 20)^{0,76} \qquad \textbf{(4.47)}$$

Assim, conforme a situação projetada, e a partir da equação de chuva obtida através do Método de Gumbel-Chow, se obtém o valor final da precipitação crítica ou precipitação de projeto para a duração de projeto, que normalmente é adotada como sendo aproximadamente igual ao tempo de concentração.

Não se pode deixar de citar um método bastante simplificado de cálculo de probabilidades e freqüências, o Método de Kimbal . O princípio adotado é de que a primeira maior grandeza tem a probabildade de ocorrer ou ser superada aproximadamente 1 vez em cada **N+1** períodos de tempo. A segunda grandeza tem a probabilidade de ser igualada e/ou superada 2 vezes em cada de **N+1** períodos de tempo, e assim por diante. Note que se o período de tempo é o ano hidrológico, trata-se de séries totais de chuvas. Se o período (que deve ser constante para toda a amostra)

é de partes do ano hidrológico, o tratamento estatístico será característico de séries parciais. A equação deste método é a **(4.48)** (SILVA; RAO, 2002):

$$\textbf{Prob(I ou P) = M / (N+1)} \qquad \textbf{(4.48)}$$

em que **M**, que adota como valores os números naturais acima de 1 (1, 2,.., **N**), é o número de ordem da intensidade de precipitação e **N** é o número total de elementos da amostra.

Outra possibilidade interessante é utilizar a tabela de correções preconizadas pelo CETESB (CETESB, 2007), que se apresenta através da tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Coeficientes de conversão das alturas precipitadas.

Duração	CETESB	Duração	CETESB
5min/30min	0,34	5min/24h	0,11
10min/30min	0,54	10min/24h	0,17
15min/30min	0,7	15min/24h	0,22
20min/30/min	0,81	20min/24h	0,25
25min/30min	0,91	25min/24h	0,28
30min/1h	0,74	30min/24h	0,31
1h/24h	0,42	1h/24h	0,42
6h/24h	0,72	6h/24h	0,72
8h/24h	0,78	8h/24h	0,78
10h/24h	0,82	10h/24h	0,82
12h/24h	0,85	12h/24h	0,85

Fonte: Adaptado de Zuffo, 2002

4.4.2 DISTRIBUIÇÃO DA CHUVA AO LONGO DO TEMPO DE PRECIPITAÇÃO, OU AINDA, OS HIETOGRAMAS

Existe uma outra implicação importante para o estudo das precipitações intensas, além da determinação das intensidades críticas características de uma região, que é a determinação da distribuição desta chuva ao longo de toda sua duração. A esta distribuição da chuva no intervalo de sua duração dá-se o nome de

hietograma. Alguns dos principais métodos para a construção do hietograma, ou ainda, o gráfico de distribuição da chuva no tempo (CANHOLI, 2005):

- Bloco de Tormenta (Block Rainstorm): é o método mais simples e supõe a intensidade média distribuída ao longo do tempo;
- Método Sifalda (1973): modificação do método do bloco de tormenta onde divide-se a duração em três trechos de sub-durações (0,25t, 0,25t e 0,50t respectivamente início, meio e fim da precipitação) e propõe-se que a primeira curva seja um trapézio com base menor igual 15% de I_m (intensidade média) e base maior igual a I_m, a segunda curva seja um retângulo de altura igual 2,3 I_m, e a terceira curva seja um trapézio de base maior igual a I_m e base menor igual a 15% de I_m;
- Método Chicago e Método dos Blocos Alternados: métodos onde as tormentas são dividas em blocos de precipitação constantes. As intensidades são divididas em períodos constantes (por exemplo, 5min, 6min, 10min,...) e a partir desta divisão é construída uma relação de intensidades constantes neste período, que vão crescendo até a intensidade máxima e decrescendo até o último intervalo que completa a duração total da chuva de projeto. Apenas para ilustrar o conceito, apresenta-se as equações **(4.49)** e **(4.50)** que representam o método de Chicago para as parcelas de precipitação antes e depois da intensidade máxima, respectivamente.

$$\mathbf{I = E\ [\ (\ 1\text{-}F\ )*(\ t_b/\ r_1\ )^F + G]\ /\ [\ (\ t_b/\ r_1\ )^F + G} \qquad \mathbf{(4.49)}$$

$$\mathbf{I = E\ [(\ 1\text{-}F\ )*(\ t_a/(1\text{-}\ r_1)\ )^B + G]\ /\ [\ (\ t_a/(1\text{-}\ r_1)\ )^F + G]} \qquad \mathbf{(4.50)}$$

Em que **t** é o instante da parcela de precipitação, $\mathbf{r_1 = t_p\ /\ t_d}$ (coeficiente de avanço da tormenta), $\mathbf{t_p}$ é instante de pico, $\mathbf{t_d}$ é a duração total da chuva**,** $\mathbf{t_b = t_p - t}$ e $\mathbf{t_a = t - t_p}$. O coeficiente $\mathbf{r_1}$ é estimado a partir das observações das séries locais;

- Método desenvolvido por Yen e Chow (1983) : propõe um hietograma triangular onde a intensidade de pico é dada pela equação **(4.51)**

$$\mathbf{I_p = 2p/t_d} \qquad \mathbf{(4.51)}$$

Em que, $\mathbf{I_p}$ é a intensidade de pico (mm/min); **2p** é a precipitação total em mm; $\mathbf{t_d}$ é o tempo de duração da precipitação em min;

- Método de Huff: são quatro tipos de distribuições temporais para chuvas intensas desenvolvidas por Huff (1967). As distribuições são denominadas quartis, 1º. ao 4º. , e são recomendadas segundo a distribuição da tabela 4.14.

Tabela 4.14 Recomendação para utilização da distribuição de HUFF

Duração da Chuva	QUARTIL
$t_d < 12$ h	1º., 2º. Quartil
$12h < t_d < 24$ h	3º. Quartil
$t_d > 24$ h	4º. Quartil

Fonte: CANHOLI, 2005

A distribuição da precipitação preconizada por cada quartil não será demonstrada pois não será utilizada neste trabalho. Entretanto, para cada quartil existe um ábaco de percentagem de chuva distribuída nos intervalos iguais de tempo.

Além destes métodos ora expostos, existe também o desenvolvimento de hietogramas a partir da observação em pluviógrafos de chuvas intensas consideradas típicas, e a utilização da distribuição observada como base proporcional para o cálculo de outras chuvas de período de retorno superior ou inferior ao período de retorno desta chuva observada(TOMAZ, 2002). Um exemplo é o hietograma desenvolvido pelo DAEE, que tomou por base uma chuva de 2 horas de duração ocorrida em 2 de fevereiro de 1983 (TOMAZ, 2002). Entretanto, por ser distribuição baseada na observação de evento(s) específico(s), não resulta em equação representativa de eventos em outra localização geográfica.

4.4.3 MODELOS DE PRODUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL OU MODELOS CHUVA X DEFLÚVIO

Existem modelos que refletem o comportamento conhecido e característico de rios onde existe uma coleção de dados. Tais hidrogramas são extraídos através do tratamento estatístico destas séries de intensidades de precipitações e vazões, em uma amostra real e contínua. Podem ser feitos através de métodos conhecidos como os métodos de Füelle, de Ven te Chow, de Foster-Hazen, de Galton-Gibrat, dentre outros. Entretanto, quando não existem medições suficientes, ou ainda, quando se irá intervir na geografia, urbanizando o local, o mais apropriado é adotar hidrogramas teóricos ou sintéticos, através de modelos (GARCEZ, ALVAREZ, 1988; CANHOLI, 2005).

Uma vez determinados a chuva de projeto e o hietograma característico, pode-se simular o comportamento desta precipitação sobre a superfície. A esta simulação dá-se o nome de *Modelo de Produção de Escoamento* ou *Modelos Chuva x Deflúvio* (GARCEZ, ALVAREZ, 1988; CANHOLI, 2005). Para estes modelos existem variáveis características, que embora mudem de nome às vezes, refletem os parâmetros mais importantes que influem na geração de um deflúvio a partir de uma precipitação. São eles (TOMAZ, 2002, CANHOLI, 2005):

- chuva excedente ou deflúvio (ou “runoff”) é a parcela não-infiltrante da precipitação, que efetivamente forma a vazão, e para sua determinação existem: o Método da Infiltração variável e específica do local ou método de Horton (1939); o Método da Razão Constante de Infiltração; do Balanço de Massa (derivado da Equação do Método Racional de Hidrograma Unitário); o Método do Número de Curva (CN-SCS), dentre outros; e,
- tempos de concentração que, como já foi dito, é tempo em que a gota precipita no ponto mais distante do talvegue leva para chegar à seção de controle, e para se obtê-la tem-se: Método da Velocidade ou Método Cinemático; Cálculo do Tempo de Escoamento Superficial (Travel Time) do SCS; Fórmula de Kirpich;

Fórmula do California Culverts Practice; Fórmula SCS Lag; Equação de Kerby; Fórmula da Onda Cinemática; dentre outros.

Com estes dois parâmetros determinados é possível calcular o Hidrograma Sintético. Alguns dos métodos de elaboração de Hidrogramas Sintéticos que são utilizados para pequenas bacias são descritos a seguir.

4.4.3.1 MÉTODO RACIONAL

Método utilizado para estimar vazões de pico em bacias pequenas. Existem várias indicações de limites de áreas para utilização deste método, que vão desde 50ha. até 8 km² (TOMAZ, 2002). Usualmente, outro limite para este método é que o tempo de concentração seja inferior a 20 minutos, onde se pode adotar a hipótese de precipitação constante durante todo o processo. Geralmente é adotado o hidrograma sintético em forma de triângulo isóceles, com a base igual ao dobro do tempo de concentração. A duração da precipitação é adotada igual ao tempo de concentração (TOMAZ, 2002, CANHOLI, 2005). A vazão de pico é calculada pela equação **(4.52)**:

$$\mathbf{Q_p = C*I*A_d} \qquad \mathbf{(4.52)}$$

sendo: $\mathbf{Q_p}$ a vazão de pico em m³/h; **C** o coeficiente de deflúvio ou de escoamento superficial (em % ou adimensional); **I** a precipitação média em (m/h) e $\mathbf{A_d}$ a área de drenagem em m².

O coeficiente **C** é tabelado em função do cobrimento superficial, em faixas discretas, sendo o seu valor a parcela do escoamento que se transforma em vazão de escoamento superficial. Portanto seus valores se encontram entre 0 e 1, ou ainda entre 0% e 100%.

4.4.3.2 MÉTODO DO SOIL CONSERVATION SERVICE

Este método especifica um hidrograma unitário adimensional. Suas grandezas características são $\mathbf{Q_u}$, que é vazão de chuva excedente por centímetro de chuva excedente (que não infiltra no solo, calculada pelo coeficiente de deflúvio do mesmo método) em m³/s.cm, $\mathbf{Q_{u,p}}$, que é a vazão de pico excedente por centímetro de chuva excedente, também em m³/s.cm; e $\mathbf{t_p}$, que é o tempo de ocorrência do pico de vazão.

As equações **(4.53)**, **(4.54)** e **(4.55)** são utilizadas para o cálculo destes parâmetros (TOMAZ, 2002, CANHOLI, 2005):

$$\mathbf{t_p = t_R/2 + t_L} \qquad \mathbf{(4.53)}$$

$$\mathbf{t_L = 0{,}6 * t_c} \qquad \mathbf{(4.54)}$$

$$\mathbf{Q_{u,p} = (2{,}08 * A_d) / t_p} \qquad \mathbf{(4.55)}$$

em que $\mathbf{t_R}$ é a duração da precipitação excedente em h, $\mathbf{t_L}$ é o tempo de resposta da bacia (em h) e $\mathbf{A_d}$ é a área de drenagem em km². Este método apresenta algumas limitações, sendo o que $\mathbf{t_R}$ deverá ser menor ou igual a $\mathbf{0{,}25 * t_p}$ ou menor ou igual a $\mathbf{0{,}17 * t_c}$. Pode ser aproximado para um hidrograma triangular com o tempo de base $\mathbf{T_B = 2{,}67 * t_p}$. .

4.4.3.3 MÉTODO SANTA BÁRBARA

Neste método as perdas por causa da infiltração podem ser calculadas pelo Método de Horton ou Método do SCS-CN. Este método combina o deflúvio gerado nas parcelas impermeáveis e permeáveis da bacia para desenvolver o hidrograma instantâneo das vazões excedentes. Este hidrograma excedente é amortecido em um reservatório imaginário que é igual ao tempo de concentração da bacia, e para cada

intervalo Δt determinado é calculado o valor da ordenada do hidrograma através das equações **(4.56)**, **(4.57)** e **(4.58)**:

$$I = [\, i * d + i_e * (1 - d) \,] * A_d \qquad (4.56)$$

$$Q_j = Q_{j-1} + Kr * (I_{j-1} + I_j - 2 * Q_{j-1}) \qquad (4.57)$$

$$K_r = \Delta t / (2 * t_c + \Delta t) \qquad (4.58)$$

sendo **I** a ordenada do hidrograma instantâneo acumulado, ou ainda, o volume superficial acumulado instantâneo em m^3, **i** a precipitação em m, **d** a parcela da área impermeável (adimensional ou %), $\mathbf{i_e}$ a precipitação excedente da área permeável em m, $\mathbf{A_d}$ a área total de drenagem e m, **Q** é o deflúvio ou vazão de escoamento em m^3/h e $\mathbf{t_c}$ o tempo de concentração em h. Os índices $_{j-1}$ e $_j$ indicam intervalos sucessivos de tempo (TOMAZ, 2002, CANHOLI, 2005). O instante inicial, ou ainda o I_0 e o Q_0 são iguais a 0 nos casos de chuvas isoladas. No caso de sobreposição de eventos de chuva, será necessário somar as vazões nos instantes discretos.

4.4.3.4 RELAÇÃO ENTRE O COEFICIENTE DE DEFLÚVIO (CN) DO *SCS* E COEFICIENTE DE DEFLÚVIO (C) DO MÉTODO RACIONAL

O modelo SCS é um modelo que tem sido muito utilizado para simulação de hidrogramas de cheias e projeto de obras, adequado a bacias menores que 8 km^2. Entretanto, o objeto de análise será **Q**, ou seja o volume superficial acumulado, sendo que para isso utiliza-se a equação **(4.59)**, deste modelo SCS (TOMAZ, 2002; GARCEZ, ALVAREZ, 1988; TUCCI, 1998; LANÇA, 2000).

$$Q = (P - I_a)^2 / (P + S - I_a) \qquad (4.59)$$

em que, **Q** = altura precipitada, em mm, $\mathbf{I_a}$ = perdas iniciais, ou ainda $\mathbf{I_a}$ = 0,2S, **S** = capacidade de armazenamento da camada superior do solo.

A variável **S** é determinada em função de **CN** (TOMAZ, 2002; GARCEZ, ALVAREZ, 1988; TUCCI, 1998; LANÇA, 2000), sendo este último resultado de uma série de iterações de tabelas, medido em escala que vai de 1 a 100. A equação **(4.60)** determina S, e é dada por:

$$S = (25400/CN) - 254 \qquad (4.60)$$

Sendo que a variável **CN** reflete as condições de cobertura do solo e capacidade de infiltração da sub-superfície (TOMAZ, 2002; GARCEZ, ALVAREZ, 1988; TUCCI, 1998; LANÇA, 2000). Por levar em consideração diversas características do solo, de sua umidade superficial e do subsolo, sendo que os dois últimos parâmetros apenas são levadas em consideração neste modelo matemático, utilizou-se uma correlação deste **CN** com o **C**, Coeficiente de Deflúvio do Método Racional. Os parâmetros necessários para a determinação de **CN** se encontram nas tabelas 4.15, 4.16, 4.17 e 4.18.

Tabela 4.15 Tipos de solo de acordo com o Modelo SCS.

Tipo de solo	Descrição
A	Produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos com pouco silte e argila.
B	Menos permeáveis e menos profundos que (A), embora ainda arenosos e com permeabilidade superior à média
C	Solos pouco profundos e com parcela considerável de argila. Produzem escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média.
D	Contém argilas expansivas e são pouco profundos, com muito baixa capacidade de infiltração, gerando maior proporção de escoamento superficial.

Fonte: LANÇA, 2000

A tabela 4.17 indicam-se os valores de CN para as áreas rurais. Já para áreas urbanas tem-se a tabela 4.16.

Tabela 4.16 Valores de **CN** para diferentes tipos de ocupação urbana

Uso do Solo			**A**	**B**	**C**	**D**
Espaços abertos	Matos ou gramas cobrem 75% ou mais da área		39	61	74	80
	Matos cobrem de 50% a 75% da área		49	69	79	77
Áreas comerciais (85% impermeáveis)			89	92	94	95
Distritos industriais (72% impermeáveis)			81	88	91	93
Áreas Residenciais	Tamanho do lote (m²)	Área Impermeável (%)				
	< 500	65	77	85	90	92
	1000	38	61	75	83	87
	1300	30	57	72	81	86
	2000	25	54	70	80	85
	4000	20	51	68	79	84
Parques e estacionamentos , telhados, viadutos			98	98	98	98
Arruamentos e estradas	Asfaltadas e com drenagem pluvial		98	98	98	98
	Paralelepípedos		76	85	89	91
	Terra		72	82	87	89

Fonte: LANÇA, 2000.

Tabela 4.17 Valores de **CN** para áreas agrícolas

Uso do Solo	**Superfície**	**A**	**B**	**C**	**D**
Solo Lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações Regulares	Em curvas de níveis	67	77	83	87
	Terraceamento em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de Cereais	Em curvas de níveis	62	74	82	85
	Terraceamento em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de níveis	60	72	81	84
	Terraceamento em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens em curvas de nível	Pobres	47	67	81	88
	Normais	25	59	75	83
	Boas	6	35	70	79
Campos Permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras, estradas de terra	Normais	56	75	86	91
	Ruim	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Floresta	Muita esparsa, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: LANÇA, 2000

O processo cálculo é: na tabela 4.15 verifica-se qual é o solo da área de estudo (A, B, C ou D); se a ocupação for urbana, utiliza-se a tabela 4.16 e o CN preliminar é o obtido a partir do cruzamento da coluna com o tipo de solo e a cobertura vegetal local; se a área for agrícola, o CN será dado pelo mesmo cruzamento de informações, só que na tabela 4.17. Por fim, é necessário corrigir a condição de absorção de água conforme a umidade do solo. Para isso, adota-se uma das situações a seguir descritas como **AMC I**, **II** ou **III**, sabendo que as tabelas 4.16 e 4.17 sempre são elaboradas para a situação **AMC II**. Assim, de acordo com o regime de precipitações críticas no local, prevê-se a situação mais desfavorável possível dos solos quando da incidência da precipitação de projeto.

Tabela 4.18 Correção de **CN** para umidade antecedente do solo

Valores Médios	Correção para AMC I	Correção para AMC III
100	100	100
95	87	98
90	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43
20	9	37
15	6	30
10	4	20
5	2	13

Fonte: LANÇA, 2000

Na condição descrita como **AMC I**, os solos se encontram secos, existe, portanto um período seco antecedente. Nos meses de menor precipitação, a lâmina acumulada nos 5 dias anteriores não supera 36 mm. Em meses úmidos, a precipitação

acumulada anterior é no máximo 13 mm. Para **AMC II**, a condição de umidade é média; onde o solo se encontra na capacidade de campo de absorção de água. Por fim, tem-se **AMC III** em que o solo se encontra saturado. No período seco, precipitações anteriores superam 53 mm. Já no período úmido, a precipitação acumulada nos 5 dias anteriores são maiores que 28 mm.

Após o enquadramento do solo em uma das três categorias **AMC**, a tabela 4.18 corrige o valor de **CN** segundo a umidade do solo:

Para o cálculo do Coeficiente de Deflúvio do Método Racional, **C**, o trabalho do Prof. Dr. Carlos Eduardo M. Tucci, (TUCCI, *Apud* TOMAZ, 2002.) o propõe o um método de correlação destes e o Método do "*Soil Conservation Service*".

Aproximando o **C** como o Coeficiente de Deflúvio representativo de uma micro-bacia é a ponderação de seus parâmetros representativos de cada um dos tipos de associação cobertura/subsolo/umidade. Assim, simplificando para apenas dois tipos de cobertura (permeável/impermeável), tem-se a equação **(4.61)**.

$$\mathbf{C = (C_p * A_p + C_i * A_i) / A_t} \qquad \mathbf{(4.61)}$$

sendo: $\mathbf{C_p}$ = coeficientes de escoamento superficial para a área permeável da bacia; $\mathbf{C_i}$ = coeficientes de escoamento superficial para a área impermeável da bacia; $\mathbf{A_p}$ = área superficial permeável da bacia; $\mathbf{A_i}$ = área superficial impermeável da bacia; $\mathbf{A_t}$ = área total da bacia; **C** = coeficiente de escoamento superficial obtido pela média ponderada. O coeficiente **C** representa a porcentagem do volume superficial precipitado que produz escoamento, o que se traduz na equação **(4.62)**:

$$\mathbf{C = Q/P} \qquad \mathbf{(4.62)}$$

sendo **Q** o volume superficial escoado e **P** a precipitação total que incide na bacia. Para as áreas permeáveis, adota-se a equação de **Q (4.59)** do Método do *"Soil Conservation Service"*, que aplicada em **(4.62)** resulta na equação **(4.63).**

$$C_p = (P - I_a)^2 / [P*(P+S-I_a)] \quad (4.63)$$

Como I_a é adotado geralmente como **0,2*S**, a equação final se apresenta conforme a equação **(4.64).**

$$C_p = (P - 0,2*S)^2 / [P*(P+0,8*S)] \quad (4.64)$$

em que **S** é dado pela equação **(4.60), P** é a intensidade precipitada (em mm/h ou mm/min) multiplicada pelo tempo de concentração (considerado a duração da chuva de projeto), ou ainda, dada pela representação na equação **(4.65)**:

$$P = I * t_c \quad (4.65)$$

P pode ser definido também como a precipitação calculada através da equação de chuva (obtida através do Método de Gumbel-Chow), que fornece a precipitação de um dia para o **Período de Retorno (T ou T_r)** desejado, e corrigido através dos coeficientes que podem ser dados pela tabela 4.13, ou as equações de 4.45 a 4.47, até a duração de projeto aproximada, conforme equação **(4.66)** a seguir:

$$P(\Delta t_{referências}, T) = P (1dia, T))*(Coef*...*Coef) \quad (4.66)$$

Divide-se, então, a intensidade precipitada em intervalos proporcionais e próximos ao que serviu de referência, obtendo-se assim a intensidade precipitada é dada pela equação **(4.67)**:

$$I (mm/min) = P (\Delta t_{referência}, T) / \Delta t_{referência} \quad (4.67)$$

Assim, com todos os parâmetros definidos, é possível calcular o Coeficiente de Deflúvio **C** do Método Racional à partir de **CN** do Método do *"Soil Conservation Service"*.

Tabela 4.19 – Coeficiente de escoamento superficial de área impermeáveis - C_i.

Tipo de superfície	Coef. escoamento sup. para áreas impermeáveis - C_i	
	Valor Médio	Faixa de valores
Cimento e Asfalto	0,95	0,90 a 0,95
Paralelepípedo	0,60	0,58 a 0,81
Blockets	0,78	0,70 a 0,89
Concreto e Asfalto Poroso	0,03	0,05
Solo Compactado	0,66	0,59 a 0,79

Fonte: Tucci, RBRH janeiro/março do ano 2000 *apud* TOMAZ, 2002.

Para as área impermeáveis o tratamento é diferenciado. Como a influência do subsolos nestes casos inexiste, só importa o cobrimento superficial. O valor de C_i é encontrado na tabela 4.19.

Determinados os coeficientes C_p e C_i é possível calcular o coeficiente ponderado **C** dos dois tipos de cobertura (permeável e impermeável), e aplicá-la à equação do Método Racional, ou seja, equação **(4.52)**:

$$Q_d = C^* i_p * A_d \qquad (4.52)$$

Determinando a vazão de escoamento superficial Q_d oriunda da precipitação i_p sobre a bacia de área A_d. E, importante ressaltar que é um processo interativo, pois é necessário se estimar t_c para se determinar i_p, e a partir de i_p e obtém t_c. Discute-se entre os especialistas a aplicabilidade do método racional para pequenas urbanas. Essa discussão se apresenta no próximo item.

4.4.3.5 INDICAÇÃO BIBLIOGRÁFICA DO MÉTODO RACIONAL PARA PEQUENAS BACIAS

O Método Racional é bastante simples, e por isso mesmo, muito utilizado. Entretanto, existem diversas limitações. Este método adota a hipótese de precipitação constante ao longo de todo o intervalo de duração da chuva crítica, o hietograma

chamado Bloco de Tormenta, ou ainda, o *"Block Rainstorm"*, o que é muito simplificado. Normalmente, o que ocorre é as chuvas aumentarem de intensidade e depois diminuírem ao longo de sua duração. Entretanto, para pequenas bacias, este método possui bastante aderência, pois o Bloco de Tormenta reflete as ocorrências de chuvas intensas mais freqüentes que já provocam grandes problemas, ou seja, pancadas rápidas e muito intensas, localizadas, que não possuem tempo e nem área suficiente para serem amortizadas. O limite de área considerado adequado para adoção do método racional é feita por todos os autores relevantes que tratam das precipitações críticas, e a relação dos limites indicados por alguns deles se encontra na tabela 4.20.

Tabela 4.20 – Valores Limites (máximos) para adoção do Método Racional, segundo diversos autores.

Autores	**Área**	
	(ha)	(km²)
David H. Pilgrim e Ian Cordery (Austrália) – Mét. Probab. – 1993	de 2.000 a 50.000	20 a 500
Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica de São Paulo (FCTH) – adotado por Engº. Plínio Tomaz – 1998	300	3
Wanielista et al. – 1997	20 a 40	0,2 a 0,4
Ven Te Chow	40 a 81	0,4 a 0,81
DAEE e CETESB	até 100	até 1
Porto – 1995	até 300	até 3
Linsley at al.	de 40 a 486	de 0,4 a 4,86
Paulo Sampaio Wilken	até 500	até 5
Linsley e Franzini	até 500	até 5
Osmar Akan, 1993	até 1300	até 13
California Highways	até 4050	até 40,5
Otto Pfasfstetter	até 20.000	até 200
American Society of Civil Engineering (ASCE) – 1992	até 500	até 5
Debo e Reese, 1995	Até 80	até 0,8
Regulamento do Sul da Califórnia – proíbe acima de 8 ha	Até 8	até 0,08
McCuen – 1998	5 min	0,098

Fonte: Adaptado de TOMAZ, 2002

4.5 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

As ferramentas computacionais de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) nos últimos 40 anos, e aproveitando-se da evolução das ferramentas tecnológicas e de

inteligência artificial, tiveram grande desenvolvimento. Desde as primeiras bases cartográficas digitais nos anos 60 (nos Estados Unidos e Canadá) até 2008 (com as ferramentas para computadores pessoais e com "*softwares*" livres e de código aberto), o que era privilégio e vantagem competitiva de alguns se tornou acessível à grande maioria dos executivos, dentro da esfera pública e privada, e auxilia a uma parte considerável de atividades dentro das empresas.

4.5.1 DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

Nos últimos 20 anos, houve um grande desenvolvimento das ferramentas de coleta de informações em campo, tais como equipamentos de topografia dotados de *Global Positioning System* (GPS) (CÂMARA *et al.*, 1996 , TEIXEIRA & CHRISTOFOLETTI, 1997), ou ainda Estações Totais. São instrumentos capazes de fornecer em tempo real a latitude e longitude de uma posição com precisões da ordem de alguns milímetros. Os "*softwares*" de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas capazes de armazenar, analisar e manipular dados geográficos através de um software (CÂMARA *et al.*, 1996) e são bases que entendem e trabalham com as informações referenciadas no espaço em data pré-definidas, e também sofreram grande evolução da metade para o final do século XX.

Com isso, o que era inicialmente uma ferramenta militar nas décadas de 60 e 70, passou a ser de uso e domínio civil, auxiliando em atividades de planejamento e programação de obras e intervenções, na análise ambiental de áreas e sistemas, na avaliação e análise de bacias hidrográficas, nas pesquisas de subsolo e sub-superfície, tudo isso junto a nações, estados e municípios, universidades e institutos de pesquisas, organizações privadas e públicas (CÂMARA *et al.*, 1996).

Contemporaneamente, houve grande desenvolvimento de ferramentas de Banco de Dados (BD). Bancos de Dados são elementos "*softwares*", estruturas pré-programadas de comandos que operam estruturas de lógica artificial, que são os

"hardwares", ou ainda os populares computadores. Segundo Teixeira e Christofoletti, 1997, p. 79, Banco de Dados é "coleção integrada de dados inter-relacionados, organizados em meios de armazenamento de tal forma que podem ser tratados simultaneamente por diversos usuários, com diversas finalidades". Estes Bancos de Dados armazenam dados seqüencialmente de tal forma que se é capaz de formular operadores matemáticos ("*softwares*" aplicativos) para executar funções de busca e extração (ou seleção), ordenação, união ou subtração de conjuntos internamente. Os "*softwares*" aplicativos que possuem funcionalidades pré-definidas de armazenamento, organização, acesso, segurança e integridade (TEIXEIRA, CHRISTOFOLETTI; 1997) destes bancos de dados são chamados de Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD). Os BD e SGBD, após a popularização dos Computadores Pessoais ("*Personal Computers*" ou *PC*'s) no final da década de 70 e década de 80, se desenvolveram como forma de otimizar a utilização dos *"hardwares"*, pois dessa forma não havia necessidade de reintroduzir os dados a cada vez que fosse se executar uma operação.

Existem outras definições para Sistema de Informação Geográfica (SIG) tais como: 1) "sistema baseado em computador, que permite coletar manusear e analisar dados geo-referenciados" (TEIXEIRA, CHRISTOFOLETTI; 1997, p. 119), ou ainda, 2) "uma combinação de *"hardware"*, *"software"*, dados, metodologias e recursos humanos que operam de forma harmônica para produzir e analisar a informação geográfica" (TEIXEIRA, CHRISTOFOLETTI; 1997, p. 119). Como Informação Geográfica entende-se aquela relativa a um fenômeno que pode ser geo-referenciado. E, por fim, entende-se a Geo-referência como a ação em que uma "entidade geográfica é referenciada espacialmente ao terreno por meio de sua localização, utilizando-se para tal um sistema de coordenadas conhecidas" (TEIXEIRA, CHRISTOFOLETTI; 1997, p. 121).

Neste contexto, houve a criação de diversos SGBD com características SIG, dos quais pode-se destacar as famílias do Canada Geographic Information Systems (CGIS), MOSS (Forest Service), ELAS (NASA), DIME (Census Bureau), ArcINFO (ESRI), MGE e GEOMEDIA (Intergraph Corporation), de domínios públicos (os primeiros 4 citados) e privados (últimos dois citados) (CÂMARA *et al.*, 1996). No Brasil,

JANAÍNA (GEMPI), SAGRE (TELEBRÃS), SPRING e TERRAVIEW (ambos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE) são exemplos de "*softwares*" nacionais privado (primeiro) e públicos (3 últimos) disponíveis, sendo estes públicos gratuitos para aquisição (CÂMARA et *al*., 1996; INPE, 2007; ESRI, 2007).

4.5.2 O CONCEITO DO SIG DENTRO DO PLANEJAMENTO

Os "*softwares*" SIG, conforme Câmara *et al*, 1996, surgiram devido à necessidade de se visualizar espacial e temporalmente comportamentos de diversos elementos componentes da paisagem (fauna e flora) e do mundo antrópico para o planejamento e o gerenciamento desta mesma paisagem (planejamento do uso do solo, da agricultura, das atividades industriais), dos componentes e recursos que esta paisagem oferece (recursos naturais, produtos de cultura e extração, capital humano e social), e das atividades internas a esta paisagem (estados, organizações inseridas dentro desta paisagem).

Para uniformizar o entendimento do potencial das funcionalidades da ferramenta SIG, apresenta-se alguns conceitos relacionados a planejamento:

- planejamento: atividade de trazer para um plano (duas dimensões) seqüenciado (dividido em etapas) a melhor solução (solução ótima conhecida) para objetivo tridimensional, complexo (com diversos níveis conhecimento, diversas especialidades interagindo e múltiplas interdependências), dependente do espaço-tempo no qual está inserido, forjado pela sua história, geografia, pelo elemento biótico e pelo ser humano (OLIVEIRA, 2001).
- etapas do planejamento: anamnese, diagnóstico provável (hipóteses diagnóstico, teste de hipóteses, síntese do diagnóstico provável), formulação dos cenários futuros (prováveis), escolha do cenário principal, formulação dos prognósticos, determinação das ações corretivas para os pontos fracos e das ações de

afirmação e desenvolvimento para os pontos fortes (estabelecimento de metas e objetivos) (PALINI, 2004);

- gerenciamento: gestão/administração dos elementos componentes da organização (empresarial, estatal), conduzindo os esforços para atingir metas e objetivos previamente estabelecidos pela direção/administração, que é a responsável pelo seu planejamento (PETROBRAS, 2007f);
- estudos multicriteriais de viabilidade técnica, econômica e ambiental , (EVTE), práticas de incremento de valor (VIP's) (PETROBRAS, 2006b): muitas vezes para solucionar um problema (dentro do planejamento e/ou dentro do gerenciamento) existem diversas opções. O processo de escolha de uma, ou até de se escolher o grupo das melhores opções dentro de um número elevado de opções é uma atividade que implica em riscos, riscos estes que são minimizados quando se aumenta o conhecimento sobre estas opções.

Os Métodos de Auxílio à Tomada de Decisão (MATD), ou Multicriteria Decision Aid (MCDA) ou ainda Multicriteria Decision Making (MCDM), são métodos que analisam e concluem sobre tais opções segundo critérios e juízos pré-definidos, estabelecidos pelos decisores (ZUFFO, 1998). O Estudo Multicriterial de Viabilidade Técnica é o estudo das opções previamente levantadas pelos planejadores ou gestores do problema, dividindo-os em diversos critérios relevantes dentro do planejamento, critérios estes alinhados com as metas e objetivos estratégicos da empresa, com as normas legais vigentes e com o aumento da produtividade e rentabilidade das atividades.

Como se pode inferir através das definições apresentadas, os processos de planejamento e gerenciamento geram uma quantidade muito grande de dados. Tais volumes de dados, hoje, são facilmente gerenciados através de um SGBD. Oferece-se um exemplo: A simples atividade de abrir uma pizzaria, cuja decisão, há 50 anos atrás, se baseava na vontade do Tomador de Decisão (ou *"Decision Maker"*, DM), na disponibilidade de recursos (dinheiro para insumos, local para funcionamento e disponibilidade de mão de obra) e no conhecimento do processo produtivo (conhecer a

receita, o processo de fabricação e o método de comercialização) hoje em dia requer estudo melhor elaborado para não fracassar antes do término do 2º ano de funcionamento. A concorrência por preço e qualidade é extremamente acirrada e as margens de lucro, reduzidas. Se o mercado onde o estabelecimento está inserido estiver saturado do produto que ele comercializa, se a qualidade do produto não satisfaz o cliente, ou se o consumidor não tiver o perfil alinhado ao produto, o fracasso é certo.

Para gerar o conhecimento necessário à satisfação das necessidades do tomador de decisão do exemplo proposto pode-se utilizar um SIG. Assim as informações relativas à proximidade dos estabelecimentos comerciais concorrentes, à proximidade do mercado consumidor e ao perfil deste mercado consumidor, dentre outras, quando associadas a informações geográficas e a um tratamento gráfico adequado, constroem o conhecimento de forma ágil e precisa, como na figura 4.8:

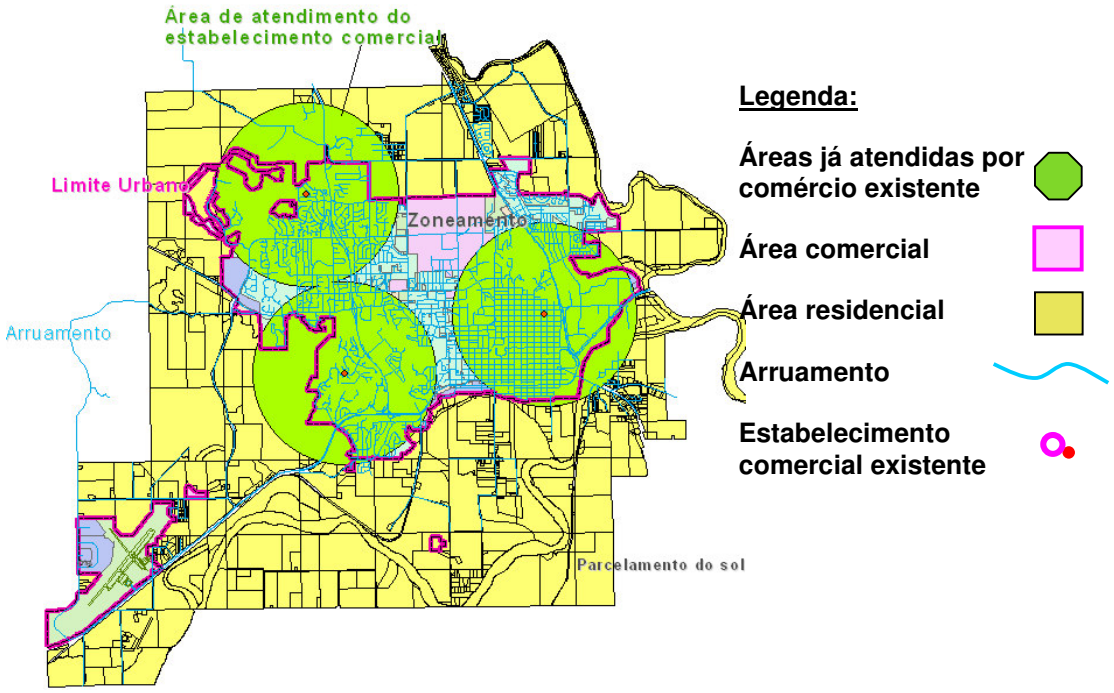


Figura 4.17 – Informações sobrepostas: área de atendimento dos pontos comerciais existentes, mercado consumidor potencial e acessos.

Na figura 4.8 estão lançados: o mapa de parcelamento do solo (urbano e rural), o zoneamento do solo urbano, o arruamento, o limite urbano, os pontos de localização dos estabelecimentos de interesse do estudo e foi criado, a partir destes últimos, o círculo de atendimento (2km a partir da origem) destes estabelecimentos. Analisando este mapa, pode-se inferir que qualquer estabelecimento que for aberto dentro dos círculos verdes certamente deverá repartir o mercado com o anterior existente. Então, o tomador de decisão deverá escolher, dentro das áreas rosas (que são as áreas comerciais, que permitem abertura de comércio) um local onde o seu próprio círculo de atendimento não interfira com círculos de atendimento de outros estabelecimentos comerciais.

Para o planejador, o tomador de decisão, a sobreposição das camadas de informações é muito mais tangível. Além disso, como o software é um SIG (BD + SGBD + gráficos) os dados censitários, os dados de demanda e oferta, a renda 'per-capita' média ou o 'ranking' desta renda, enfim toda a gama de dados informações são armazenados e associados aos pontos geo-referenciados. Sendo assim, as informações geradas nas etapas de planejamento não mais precisam se basear em enormes simplificações de modelo, perdendo-se o conhecimento sobre minorias e focando os esforços na maioria. Pode-se planejar levando-se em conta as peculiariedades de cada porção homogênea menor, localmente representativa, tendo suas características preservadas e sua utilização, maximizada. O gerenciamento também passa pelo mesmo processo: reduz-se as ações generalistas e atua-se cirurgicamente, aproveitando melhor as potencialidades de cada micro-área homogênea. Enfim, ações podem ser realizadas minimizando simplificações e maximizando o aproveitamento dos recursos, preservando a história e a temporalidade dos eventos e cenários dentro do Banco de Dados do Sistema de Informação Geográfica (ESRI, 2007).

Todo o processo de utilização de SIG para construção do conhecimento não é necessariamente mais simples, mas certamente é mais completo. Sendo mais completo, minimiza a possibilidade de lacunas e torna mais fácil a gestão do empreendimento após a sua implantação, durante a sua fase de gestão e manutenção.

Por integrar mais conhecimento ao processo de decisão, melhorando a gestão deste conhecimento, torna a empresa mais apta a competir e vencer no mercado (OLIVEIRA, 2001). Visualmente, o efeito da figura 4.8 pode ser obtido utilizando-se uma ferramenta CAD *("Computer Aided Design")*. As diferenças e semelhanças entre CAD e SIG é o que se discute a seguir.

4.5.3 CAD x SIG

Como já colocado anteriormente, as ferramentas SIG guardam algumas similaridades com as ferramentas CAD, mas no quadro 4.1 encontram-se resumidas as semelhanças e diferenças entre os dois sistemas. Note que as diferenças superam (e muito) as semelhanças, não sobrando dúvidas sobre a não possibilidade de substituição da primeira pela segunda.

Quadro 4.1 – Diferença entre os "softwares" SIG e CAD.

SIG	**CAD**
Semelhanças	
Possuem representação gráfica e geométrica dos elementos	
Possuem layers de informações que se sobrepõem conforme as ações do usuário	
Podem ser extraídos atributos de áreas, comprimentos e distâncias	
Diferenças	
Permite o georreferenciamento a um Datum conhecido	Não possibilita georreferenciamento, não guarda características deste Datum na sua base de dados
É possível associar dados aos pontos geo-referenciados, contendo todo o tipo de informação (econômica, financeira, química, social)	Não pode armazenar tabelas pois não tem características de Banco de Dados.
É possível tratar dados 'raster', dividindo as imagens em bandas (R-red, G-green, B-Blue, RGB), e inferir características sobre a cobertura do solo, os corpos d'água, o uso e ocupação do solo	Não permite o tratamento de imagens, pois não possui ferramentas de interpretação de imagens
As dimensões possuem aproximações adequadas às análises em escala topográfica e geológica	Dimensões tem precisão para o projeto de peças, estruturas são apropriadas para a execução física
Permite a correlação temporal de eventos	Não permite a correlação temporal de eventos
Ferramenta de modelagem, gerenciamento e planejamento.	É ferramenta de projeto e desenho
Geo-referenciada, serve de base para operação e monitoração remota de equipamentos via rádio.	Não é geo-referenciada, não permite a operação e nem monitoramento remoto de equipamentos

Fonte: Adaptado de ESRI, 2007

4.5.4 SIG E OS RECURSOS HÍDRICOS

Os recursos hídricos são elementos que possuem especial vocação para aplicação de "*softwares*" SIG (TUCCI, 1998; ELMAHDI, KHEIRELDIN e HAMDY, 2006). Sua abrangência, a bacia hidrográfica, soma de diversas microbacias, pode resultar em dimensões tais que dificultam a visualização ao nível do terreno. Assim sendo (TUCCI, 1998; ELMAHDI, KHEIRELDIN e HAMDY, 2006), desde que houve a tecnologia necessária, os planejamentos e projetos nesta área sempre utilizaram mapas, levantamentos aerofotogramétricos, dentre outros, para estudo e aplicação de suas técnicas.

No caso da drenagem, para o estudo da superfície (cobrimento) da bacia, o traçado das linhas de fundos de vale ou 'talvegues', o estudo do substrato geológico desta mesma bacia, sempre houve a necessidade de se referenciar estas diversas camadas nas mesmas coordenadas (geográficas, planas) (TUCCI, 1998; ELMAHDI, KHEIRELDIN e HAMDY, 2006) pré-definidas e conhecidas, de modo a manter a coerência espacial das informações e permitir as corretas aplicações dos algoritmos de cálculos.

A drenagem de efluentes para tratamento é, em diversos aspectos, sinônimo de coleta e transporte de esgoto, no caso, despejo industrial. Nesse aspecto, Alem Sº & Tsutiya, 2000, demonstram claramente a utilidade do SIG no tratamento deste tema, indicando inclusive a escala de aplicação (em torno de 1:2000).

Existem algumas aplicações desenvolvidas para drenagem de bacias em ambiente SIG, em que os conceitos de tempo de concentração, coeficiente de "*run-off*" C ou CN, hidrograma unitário ou de geração de vazão estão bem definidos e compõe a lógica do sistema. Alguns dos principais exemplos destas aplicações são o "*software*" IPH da UFRGS, no Brasil, e o HEC-GeoRAS, do US Army Corps of Engineers (USACE, 2007b; UFRGS, 2007). Ambos são softwares que modelam bacias dentro de um ambiente SIG. Entretanto estes modelos não são desenvolvidos para as

particularidades de um ambiente industrial, que possui diversas redes de drenagem diferentes que não se comunicam, que o terreno foi completamente modificado por uma seqüência de cortes e aterros, arruamentos, com as redes de drenagem enterradas. Portanto, embora estas aplicações sejam bastante ilustrativas, elas não se aplicam ao caso particular em questão.

5. METODOLOGIA

Para realização deste trabalho foram feitas diversas atividades, que, divididas em etapas, podem ser apresentadas conforme os itens de 5.1 a 5.6.

5.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS

Para melhor conhecimento da situação em que se encontram a geração de efluentes e as redes de drenagens, as seguintes foram desenvolvidas as etapas 5.1.1 a 5.1.6.

5.1.1 VISTORIA DA PLANTA INDUSTRIAL

Efetuaram-se algumas vistorias iniciais aos sistemas de coletas e condução de efluentes líquidos da refinaria, identificando suas peculiaridades. Vistoriou-se também a Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI), que recebe todo o efluente conduzido pelas redes, efetuando tratamento primário e secundário.

Nestas vistorias foram verificadas as principais características tais como: idade das instalações, peculiaridades das redes (material, tecnologia de instalação e funcionamento), configuração da rede e forma de operação e manutenção de todos os elementos da rede e da ETDI.

5.1.2 PESQUISA DOCUMENTAL DAS REDES DE DRENAGEM DE EFLUENTES E DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE DESPEJOS INDUSTRIAIS (ETDI)

Foi pesquisado dentro do sistema interno de gerenciamento dos projetos corporativos da refinaria RPBC todos os documentos pertinentes às redes, novos e antigos. Existe uma revisão do cadastro das redes de W-4, W-5 e W-14 que foi adotado como planta guia do modelo que será adaptado e implantado, a planta nº 0-D-90-02133 – PLANTA CADASTRAL DOS SISTEMAS DE DRENAGEM – SISTEMA W-4, SISTEMA W-5, SISTEMA W-14.

Existe o cadastro dos fundos dos poços de visita ou caixas de passagem, assim como as geratrizes inferiores (ou fundos) das entradas e saídas das tubulações (canais) em cada um destes poços ou caixas . As plantas da rede de W-14 são: 0-D-20-6901, 0-D-20-6902, 0-D-20-6903, 0-D-20-6904, 0-D-90-1141. Para as redes de W-4 são: 0-D-20-6906, 0-D-20-6907, 0-D-20-6908, 0-D-20-7109, 0-D-90-1143. Para as redes de W-5, tem-se as seguintes plantas cadastrais: 0-D-20-7161, 0-D-20-7162, 0-D-20-7163, 0-D-90-0123, 1-D-18-3126, 0-A-18-3733, 1-D-04-0751, 0-A-20-0685. Para a rede de W-5 (Água Pluvial) não foi feita nenhuma consolidação de projeto anterior e existem algumas lacunas de informação, que deverão ser supridas caso seja necessário.

5.1.3 PESQUISA EM CAMPO DOS PONTOS DE INTERESSE EM RELAÇÃO À PRECIPITAÇÕES CRÍTICAS DAS REDES DE DRENAGEM E DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE DESPEJOS INDUSTRIAIS, NA ÁREA DO TRATAMENTO PRIMÁRIO.

Existem alguns pontos de perdas de desempenho (ou comportamentos anormais) nestas redes, que geralmente se localizam nas porções mais à jusante dos sistemas. Assim, foram vistoriados tais pontos, tendo sido fotografados e suas peculiaridades anotadas, para análise posterior à modelagem. As principais características anotadas foram: profundidades da rede, declividades da rede,

funcionamento (redes afogadas ou a escoamento livre), idade aproximada, material do qual é composta, número de entradas em cada ponto e procedência de cada uma das entradas.

5.1.4 CAPTAÇÃO DE DADOS CADASTRAIS DA ÁREA DA PLANTA INDUSTRIAL DA REFINARIA PRESIDENTE BERNARDES – CUBATÃO EM ORGANIZAÇÕES EXTERNAS À PETROBRÁS

Existem alguns levantamentos da área que constam tanto no IBGE quanto na EMPLASA em São Paulo. Estes levantamentos auxiliaram a dirimir dúvidas sobre o relevo e a hidrografia da região.

No entanto foi na AGEM, Agência Metropolitana para Desenvolvimento da Baixada Santista, que se obteve levantamento planialtimétrico, em escala de 1:10.000, obtido a partir de restituição de ortofoto de 2004, que auxiliou muito na determinação do relevo do entorno.

5.1.5 CAPTAÇÃO E IMPORTAÇÃO DAS IMAGENS, PLANTAS E PROJETOS, PLANILHAS E OUTROS ELEMENTOS NECESSÁRIOS À EXECUÇÃO DO MODELO

Após a pesquisa dos elementos de interesse foram importados para o SIG as imagens, projetos e planilhas adaptadas, devidamente tratadas e com informações e atributos complementados, e que assim passam a representar as camadas de informações do SIG. Estes arquivos compõem o Banco de Dados elaborado e integram as relações entre as camadas de informação que constroem o conhecimento gerado.

Entretanto, houve a dificuldade de conseguir as imagens com a qualidade e o formato adequado aos trabalhos, uma vez que, embora o "*software*" seja

conhecido dentro do ambiente corporativo, poucas pessoas sabem utilizá-lo da forma adequada dentro do Refino, que é o setor da Diretoria do Abastecimento que congrega as refinarias da Petrobrás.

5.2 EQUAÇÕES E MODELOS MATEMÁTICOS DAS VARIÁVEIS REPRESENTATIVAS DOS FENÔMENOS DE PRECIPITAÇÃO E GERAÇÃO DOS ESCOAMENTOS

Após a pesquisa e revisão da bibliografia, foi feita discussão junto ao orientador e outros professores doutores da Unicamp para a escolha das equações matemáticas que foram utilizados, dentro especialidades que seriam abordadas pelo trabalho. Os modelos e equações matemáticas adotados estão apresentados nos itens de 5.2.1 a 5.2.4.

5.2.1 MODELO DE PRECIPITAÇÃO – A EQUAÇÃO DE CHUVA

A equação de chuva e a precipitação de projeto utilizada **(P)** foi deduzida pelo Método de Gumbel, desenvolvido no item 4.4.1, equação **(4.36)**. Para análise adotou-se os períodos de retorno de 10 anos, 20 anos, 50 anos e 100 anos. As equações **(4.36)**, **(5.1) e (5.2)** são as equações preconizadas pelo método de Gumbel-Chow.

$$P(1dia;T) = \alpha - \beta \ln(\ln((T-1)/T)) \quad (4.36)$$

$$\alpha = (\mu - 0{,}577*\beta) \quad (5.1)$$

$$\beta = (6^{1/2}) * S / \pi \quad (5.2)$$

Com **μ** sendo a média das intensidades das amostras e **S** sendo o desvio padrão da amostra. **T** é o período de retorno, já definido anteriormente.

A aplicação do Método Gumbel-Chow necessita de uma preparação de dados, dados estes que estão relacionados no Apêndice A ao final deste trabalho. Esta preparação consiste em ordenar os dados da forma adequada para receber o tratamento estatístico do método, conforme segue:

- para cada ano hidrológico, isto é, de 1º de outubro de cada ano até 30 de setembro do ano seguinte, foi determinada a máxima precipitação daquela, que representa todo o ciclo ocorrido no ano hidrológico;
- estas precipitações máximas reunidas representam a amostra das precipitações críticas e para esta amostra são calculados a média **μ** e o desvio padrão **S** equação **(5.2)**;
- Com estes parâmetros são calculados os parâmetros **α** e **β** conforme as equações **(5.1)** e **(5.2)** respectivamente;
- Esses valores são substituídos na equação **(4.36)**, nos dando a equação da chuva para as equações já mencionadas obteve-se a equação de chuvas intensas para Cubatão.
- Foram também aplicadas as equações da probabilidade acumulada de Kimbal **(4.48)** e do período de retorno **(4.21)**, permitindo os cálculos de todos os parâmetros necessários.

Para se obter os valores das intensidades precipitadas a partir da chuva de um dia utilizou-se as seguintes equações: a correlação estatística proposta por Magni (MAGNI, 1984) conforme equações **(4.45)**, **(4.46)** e **(4.47)**; a probabilidade de Kimbal, descrita pela equação **(4.48)**; a proporção entre as equação desenvolvida por Magni e Mero, 1986 apud Canholi, 2005, as equações **(4.39)** e **(4.40)**; a tabela **4.13**, indicada pela CETESB, mas corrigida pelo coeficiente f proposto por Weiss (equação **5.3**) conforme o trabalho Young e McEnroe, 2003, P. 294, utilizado também em Silveira, 2000 e Zuffo, 2002. Relaciona-se a seguir as equações citadas.

Para Δt_{des} e $\Delta t_{ref} \leq 60$ min⇒

$$\Rightarrow \quad \frac{h_{t1}}{h_{t2}} = \frac{\Delta t_1 * (\Delta t_2 + 20)^{0,76}}{\Delta t_2 * (\Delta t_1 + 20)^{0,76}} \qquad \textbf{(4.45)}$$

Para Δt_{des} e $\Delta t_{ref} > 60$ min⇒

$\Rightarrow h_{t1}/h_{t2} = (\Delta t_1/\Delta t_2)^{0,338}$ **(4.46)**

Para $\Delta t_1 \leq 60$min e $\Delta t_2 > 60$min $\Rightarrow$

$\Rightarrow h_{t1}/h_{t2} = 1,808 * \Delta t_1 * (\Delta t_2^{-0,338}) * (\Delta t_1 + 20)^{0,76}$ **(4.47)**

Prob(I ou P) = M / (N+1) **(4.48)**

$I = (t+20)^{-0,76}[15,53 - 6,08\ ln\ (ln\ (T/(T-1))]$ **para** $10 \leq t \leq 60$ **(4.39)**

$I = t^{-0,662}[8,60 - 3,36\ ln\ (ln\ (T/(T-1))]$ **para** $60 < t \leq 1440$ **(4.40)**

$$f = \frac{n_i}{\left(n_i - 0,50 + \int_{0,5}^{1,0} x dx\right)} \quad \textbf{(5.3)}$$

Sendo, nesta última equação, n_i **(** $n_1=1$, $n_2=2$, $n_3=3$**...)** a ordem do intervalo que está sendo analisado, obtido através da divisão do tempo em **n** intervalos iguais e organizados em ordem crescente.

A correção proposta pela equação **5.3** encontra pertinência no fato de as análises das comparações entre as intensidades pluviométricas encontradas em campo e as intensidades obtidas a partir dos coeficientes preconizados pela CETESB (e que na verdade são os indicados nos manuais do DNOS) para as durações de 5 e 10 minutos estão muito pequenas. Desta forma, utilizou-se o referido coeficiente f, melhorando a aderência dos valores teóricos para os valores obtidos em campo. Para a chuva de 24hs o fator de conversão f obtido é de 1,143 (YOUNG e MCENROE, 2003; SILVEIRA, 2000 e ZUFFO, 2002). Para intervalos menores do que 24hs, em que a duração é de n unidades idênticas de período de tempo, a relação entre as alturas precipitadas é calculada pela equação (5.3), que calcula os valores de f.

Realizou-se então o cálculo das alturas precipitadas através de quatro métodos de construção, utilizando o grupos de equações já citados, comparando-os entre si e com leituras em campo, sendo os quatro grupos:

- M1 - Utilizando-se a equação de chuva do Método de Gumbel-Chow, convertendo a chuva diária para 24 hs e fazendo sua distribuição para intervalos menores utilizando as equações de Magni, 1984;

Por este método, a partir da máxima precipitação diária obtida pela equação de chuva de Gumbel, fez-se a conversão da chuva diária para chuva de 24 hs

utilizando-se o coeficiente estatístico de Weiss, que é de 1,143. Com a precipitação máxima de 24 hs, para cada T_r desejado, foram aplicadas as equações de Magni, 1984, obtendo-se assim a distribuição das chuvas críticas para períodos menores que um dia e menores que uma hora.

- M2 - Utilizando-se as equações de Magni e Mero, 1986;distribuição de chuvas críticas até o intervalo de 5 min;

Foram desenvolvidas as equações (4.39) e (4.40) obtendo-se os valores de precipitação para os diversos Tr de interesse, até o intervalo de mínimo de 5 min.

- M3 - Utilizando-se a equação de chuva do Método de Gumbel-Chow, entretanto fazendo sua distribuição para intervalos menores com as proporções obtidas a partir do desenvolvimento das equações de Magni e Mero, 1986; e,

Foram utilizadas as mesmas equação de chuvas e redução da chuva de 1 dia para 24hs do método M1. Entretanto para a obtenção das intensidades para intervalos inferiores, até 5 min, obteve-se a partir da tabela dos valores de Intensidade de Precipitação x Duração para os diversos periódos de retorno. Note que é uma conseqüência do método: dado os formatos equânimes das curvas de Intensidade de Precipitação x Duração, que se distribuem praticamente paralelas para cada período de recorrência estudado, a redução de um período de recorrência menor para um período de recorrência se dá através de um coeficiente constante. Estes resultados serão devidamente apresentados no próximo capítulo.

- M4 - Utilizando-se a equação de chuva obtida à partir do Método de Gumbel-Chow e utilizando a tabela da CETESB corrigida por Weiss, 1964, inclusive convertendo a chuva diária para 24 hs utilizando o coeficiente 1,143.

Foram utilizados o mesmo processo de cálculo do método M1. Neste último caso a distribuição de chuvas de períodos maiores para períodos menores se dá relacionando as alturas precipitadas. Os coeficientes de correlação entre tais alturas foi obtido a partir da tabela preconizada pelos manuais da CETESB, que foi baseada nos manuais do antigo Departamento Nacional de Obras e Serviços (DNOS). Esta tabela foi corrigida utilizando a formulação proposta por Weiss.

Foi feita a análise crítica, comparando os valores obtidos em cada um dos quatro desenvolvimentos propostos e as intensidades verificadas em campo.

5.2.2 MODELO DE CHUVA X DEFLÚVIO

O método escolhido foi o Método Racional, sendo o cálculo do coeficiente de deflúvio para áreas permeáveis uma aproximação baseada no cálculo de **CN** conforme descrito no item 4.4.3.4 da revisão bibliográfica. Neste mesmo trabalho, para as áreas impermeáveis, é proposta uma tabela, onde o coeficiente **C** é estimado baseado em apenas o tipo de cobertura impermeável. A escolha se justifica pela heterogeneidade dos recobrimentos e dos comportamentos que são observados no local.

Entretanto separou-se esta micro-bacia em pequenas unidades aproximadamente homogêneas, distribuídas e conectadas às suas respectivas redes, com no máximo dois tipos de cobrimento e que alimentam estas redes com suas contribuições, através de seus pontos de descargas.

A equação para cálculo da vazão precipitada se dará através da equação **(4.52)**, já citada na revisão bibliográfica:

$$\mathbf{Q_d = C * i_p * A_d} \qquad \mathbf{(4.52)}$$

em que $\mathbf{Q_d}$ é a vazão gerada pela precipitação de projeto, **C** é o coeficiente de deflúvio, ip é a intensidade precipitada e Ad é a área drenante.

5.2.3 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

A equação escolhida para o tempo de concentração foi a equação da Onda Cinemática. O seu conceito fundamental é levar em consideração a altura precipitada, que acelera o fluxo na declividade dos canais. A equação **(5.4)** descreve

o método da onda cinemática para o cálculo do tempo de concentração (TOMAZ, 2002).

$$t_c = 6{,}99 * (n * L / S_p^{0,5})^{0,6} / i_p^{0,4} \quad (5.4)$$

em que S_p é a declividade do fundo do canal (m/m), i_p é a intensidade de precipitação (mm/h), **n** é a rugosidade de Manning, t_c é o tempo de concentração (min) e **L** = comprimento do talvegue (m).Entretanto, este método possui duas variáveis desconhecidas o que nos obriga a fazer interações, que convergem rapidamente para o valor final. Para iniciar o processo de interações, adota-se um tempo de concentração inicial t_c, e a partir deste de determina a intensidade de precipitação i_p. Prossegue-se com i_p, determinando novo t_c, até que o valor de ambos, t_c e i_p, esteja determinado. Mas qual o valor que deverá inicialmente ser adotado como t_c? Uma das formas para se iniciar o processo é adotando-se um outro método conhecido para cálculo do t_c, que neste trabalho adota-se como o método do "*Califórnia Culverts Practice*" (TOMAZ, 2002), que é dado pela equação **(5.5)**.

$$t_c = 57 * L^{1,155} H^{-0,385} \quad (5.5)$$

em que t_c e **L** já foram definido e **H** é o desnível total da bacia, em metros.

5.2.4 CORRELAÇÃO ENTRE O COEFICIENTE DE DEFLÚVIO DO SCS (CN) E O COEFICIENTE (C) DE DEFLÚVIO DO MÉTODO RACIONAL

A correlação dos dois coeficientes é apresentados pelas equações:

$$S = (25400/CN) - 254 \quad (4.60)$$

$$C = (C_p * A_p + C_i * A_i) / A_t \quad (4.61)$$

$$C_p = (P - 0{,}2*S)^2 / [P*(P+0{,}8*S)] \quad (4.64)$$

$$P = I * t_c \quad (4.65)$$

$$P(\Delta t_{referências}, T) = P(1dia, T) * (Coef * ... * Coef) \quad (4.66)$$

$$I\ (mm/min) = P(\Delta t_{referência}, T) / \Delta t_{referência} \quad (4.67)$$

$$Q_d = C * i_p * A_d \quad (4.52)$$

Em que os coeficientes tabelados, **CN** e $\mathbf{C_i}$, são obtidos através da utilização das tabelas 4.15 a 4.19 conforme descrito no capítulo 4, em seu item 4.4.3.4.Para os coeficientes da equação (4.66) foi feita uma comparação entre os existentes no manual da CETESB (tabela 4.13), os obtidos pelas equações de Magni (equações 4.45, 4.46 e 4.47) e as obtidas do desenvolvimento das equações propostas por Magni e Mero (equações 4.39 e 4.40).

5.3 OBTENÇÃO DE DADOS SOBRE A ÁREA DO ESTUDO

Foi feito o desenvolvimento da equação de chuva pelo Método de Gumbel-Chow, comparando-os com a probabilidade de Kimbal, utilizando-se os 21 anos de observações consolidados de 1972 a 1992, dividindo-se o ano hidrológico de 1º. de outubro do ano anterior até 30 de setembro do ano seguinte.

As atividades desenvolvidas foram: captação e seleção dos dados, aplicação dos algoritmos selecionados e desenvolvimento do ábaco numérico das chuvas. Ao final, comparou-se os resultados obtidos com outras equações existentes, além de comparar com alguns eventos observados em campo.

5.3.1 CAPTAÇÃO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA ÁREA DE INTERESSE

Existe atualmente uma rede com 3 pluviômetros instalados na refinaria. Começaram a operar em 2001, em setembro, entretanto as séries de chuvas apresentam diversas falhas, principalmente no período de 2001 a 2005. A leitura é feita remotamente através de radar de nível. A partir de 2005, foi feito contrato com empresa externa à refinaria para a gestão e consolidação das leituras, entretanto com a série colhida até agora não é possível fazer tratamento estatístico confiável. Existe também, atualmente, a possibilidade de adquirir dados de chuva da própria CETESB, o que poderá ser feito se for verificado a existência de séries com período de leitura consistida superior aos atuais 21 anos. A qualidade de dados, a extensão

destes dados, a proximidade física e as condições geográficas do posto (se este estiver em locais que se assemelham ou estão bem próximos a este posto) deverão ser critérios a serem levados em conta quando do estudo sobre a viabilidade de aquisição dos dados.

Para desenvolver uma equação de chuva, utilizando o Método de Gumbel, foi utilizado o Posto do DAEE E3-38, Posto Piaçagüera, na Bacia do Rio Moji, com altitude de 5 m. Existem mais postos na região, mas este é o mais próximo fisicamente ao local de estudo. Os dados utilizados estão relacionados no Apêndice A no final deste trabalho.

5.3.2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA DOS ESTUDOS, LIVROS E TRABALHOS REFERENTES À HIDROLOGIA, À GEOTECNICA E À HISTÓRIA E ECONOMIA DA REGIÃO

Devido à condição peculiar do sítio onde se instalou a refinaria, os fenômenos de corrida de lama no local, a poluição ambiental que já existiu no vale do rio Cubatão e que hoje é mantida sob controle tanto pela comunidade industrial como pelos órgãos ambientais existem alguns trabalhos acadêmicos desenvolvidos para este local, quais sejam:

Livros:

- GUTBERLET, J. **Cubatão: Desenvolvimento, Exclusão Social e Degradação Ambiental**. Tradução Kay-Uwe Gutberlet. Ed. rev. São Paulo: EDUSP/Fapesp, 1996. 248 p.
- PEREIRA, J. S.; LIMA, M. (org.). **Petróleo, Energia Elétrica, Siderurgia: a luta pela emanciapação – um depoimento de Jesus Soares Pereira sobre a política de Vargas.** 1ª. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1975. 197 p.

Artigos:

- KANJI, M. A. *et al*. **Caracteristicas básicas e comuns de corridas de massa** In: Congresso Brasileiro de Estabilidade de Encostas, 2º., 1997. **Anais**. Rio de Janeiro : ABMS/ABGE/ISSMGE, 1997 v. 1, p. 223-231.

- KANJI, M. A. *et al*. Comparações entre valores estimados e medidas de vazões e de volumes de sedimentos de *"debris-flows"*. In: Congresso Brasileiro de Estabilidade de Encostas, 2º. , 1997, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro : ABMS/ABGE/ISSMGE, 1997 v. 1, p. 213-222.

- KANJI, M. A. *et al*. Estabilização e remediação de taludes. In: Congresso Brasileiro de Estabilidade de Encostas, 2º., 1997, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro : ABMS/ABGE/ISSMGE, 1997 v. 1, p. 251-259.

- CRUZ, P. T. *et al*. Concepts on the design of dams for debris-flows mitigation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES (ISL), 9º, 2004, Rio de Janeiro. **Anais**. Londres: ISL.

- CRUZ, P.T. et al. "Debris Flows" em Cubatão, S. Paulo: Obras de Controle e Impactos Ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNCIA, 11º, 1998, Brasília. **Anais**. Brasília: XI COBRAMSEG, 1998, vol. II, p. 1265-1273.

- MASSAD, F et al. **Concepção e função das obras de controle de Debris Flows construídas em Cubatão**, S. Paulo, Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOTECNIA, 9º, vol. III, p. 155-164, 2004, Aveiro, Portugal. Actas: Casos de Obras.Aveiro, Portugal, 2004.

Teses

- COUTO, J. M. **Entre estatais e transnacionais: o pólo industrial de Cubatão**. Tese (Doutorado em Ciências Econômicas). Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000289880>. Acesso em: 22 dez. 2007.

5.4 PESQUISA,SELEÇÃO E CAPACITAÇÃO NO SIG PARA DESENVOLVIMETO DA APLICAÇÃO

Foram pesquisados alguns softwares SIG para utilização na modelagem, quais sejam:

- ArcGIS® da ESRI;
- Spring® do INPE;
- TerraView® do INPE;
- GeoMedia® da Intergraph; e,

- Mapguide® da AutoDesk;

Foi elaborada pequena matriz de decisão, pois desta forma facilitaria a análise das alternativas segundo os critérios de: presença autorizada dentro do ambiente corporativo, existência de outros trabalhos feitos neste SIG, uso amigável, ferramentas disponíveis para as funcionalidades desejadas, familiaridade da usuária com a ferramenta SIG, disponibilidade de recursos para aquisição, software privado ou público (sem custo).

A matriz que foi composta se apresenta na tabela 5.1, sendo que os resultado obtidos serão discutidos no capítulo 6. Resultados.

Para a seleção da melhor opção de software para o modelo foi aplicado três métodos de tratamento da matriz de decisão: o método da Programação por Compromisso, ou ainda, o "Compromise Programming" (CP), o método da Teoria dos Jogos Corporativos, ou ainda, "Corporative Games Theory" (CGT) e o método da Média Ponderada, de Pareto (ZUFFO, 1998; ZUFFO, 2004).

Tabela 5.1 Matriz de Decisão para Escolha do Software

	Peso	Função de Valor	Map-guide	Geo-media	Terra-View	Spring	Arc-GIS
Existe no ambiente corporativo e/ou na RPBC?	0,10	Sim = 5 Não = 2					
Existem outros trabalhos neste SIG dentro da RPBC?	0,15	Sim = 5 Não = 2					
Custo do software* (em R$)	0,10	**ver equação C1					
Facilidade de Uso	0,15	Muito amigável =5 Nada amigável =0					
Adaptado à Aplicação	0,20	Muito adaptado =5 Nada adaptado =0					
Tempo de existência no mercado	0,15	+20 anos = 5 +10 anos = 4 +6 anos = 3 +3 anos = 2 até 3 anos=1 versão Beta = 0					
Ferramentas disponíveis e compatibilidade com outros softwares	0,15	Muitas= 5 Nenhuma=0					
Somatória Total dos Pesos:	1,00						

*Estimativa baseada em pesquisa junto aos representantes e/ou usuários dos softwares.

Equação: C1=((Custo do mais barato+15.000)/(Custo da opção+15.000))*5 **(5.6)

A matriz de decisão foi então preenchida com base nas pesquisas dentro do ambiente corporativo, aplicando-se as funções de valor indicadas em cada critério de avaliação. Para avaliação final de cada um dos elementos de decisão (ou seja, Mapguide, Geomedia, Terraview, Spring, ArcGIS), foram utilizados os Métodos de Auxílio à Tomada de Decisão (MATD), CP, CGT e Média Ponderada, conforme as equações **(5.7)**, **(5.8)** e **(5.9)**:

- Programação por Compromisso (***CP***)

$$l_s = \left(\sum_{i=1}^{n} \alpha_i^S \left| \frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^* - f_{i,w}} \right|^S \right)^{1/S} \qquad \textbf{(5.7)}$$

em que l_s é a avaliação da opção ***x*** frente a todos os parâmetros propostos; α_i são os pesos atribuídos a cada parâmetro de avaliação; $f_{i,w}$ é a pior avaliação do parâmetro ***i***; f_i é o valor do parâmetro i para a opção ***x***; f_i^* é a melhor avaliação o parâmetro ***i*** e ***S*** é a potencial com a qual se deseja que as diferenças entre as opções seja elevada. A equação proposta para ***CP*** é uma somatória de todas as avaliações da opção x frente cada um dos parâmetros i;

- Teoria dos Jogos Corporativos (***CGT***)

$$l_s = \prod_{i=1}^{n} \left| f_i(x) - f_{i,w} \right|^{\alpha_i} \qquad \textbf{(5.8)}$$

em que l_s é a avaliação da opção ***x*** frente a todos os parâmetros propostos; α_i são os pesos atribuídos a cada parâmetro de avaliação; $f_{i,w}$ é a pior avaliação do parâmetro ***i*** reduzida em um intervalo de avaliação (que pode ser 0,01; 0,1; 0,5); e f_i é o valor do parâmetro ***i*** para a opção ***x***. A equação proposta para ***CGT*** é uma produtória de todas as avaliações da opção ***x*** frente cada um dos parâmetros ***i***; e,

- Método da Média Ponderada:

$\mathbf{l_s}=\mathbf{\Sigma}_i^n$ (avaliação opção **x** face ao parâmetro **i**)*(peso parâmetro **i**) **(5.9)**

em que l_s é a avaliação da opção x frente a todos os parâmetros propostos. A equação proposta para CGT é uma somatória de todas as avaliações da opção x frente cada um dos parâmetros i.

A aplicação da representação matemática dos três métodos será apresentada no item 6. Resultados, e foi escolhido o ambiente ARCGIS para a modelagem.

5.4.1 FAMÍLIA ARCGIS®, DA ESRI©

A família ArcGIS®, da Environmental Spatial Research Institute – ESRI, é composta por três aplicativos, os "*softwares*" ArcVIEW, ArcEDITOR e ArcINFO. O ArcINFO 9.2 é a versão adotada, e também mais completa do software, incluindo quase todas as ferramentas, aplicativos disponíveis e módulos de programação em VBA e C++, e permite a modelagem de qualquer banco de dados suportado pela base de programação. O formato de Banco de Dados interno é o GeoDatabase, é tem tamanho praticamente ilimitado (4 Terabites) (ESRI, 2007). Ao *"software"* foi agregada outra ferramenta, o Spatial Analist, que permite o reconhecimento de texturas e cores em uma imagem "*raster*", permitindo a identificação da cobertura do terreno. A versão ArcEDITOR permite a modelagem de todos os bancos de dados suportados pela base de dados, entretanto as ferramentas são limitadas e não possuem módulos complexos de tratamento de imagens e de modelagem em 3D. Também modela Banco de Dados complexos, além próprio do GeoDatabase. Por fim, o ArcVIEW é o modulo mais voltado para o usuário final, e permite a modelagem de bancos de dados pequenos, do tipo extensão .mdb (formato Acess ® da Microsoft), que é limitada a um tamanho aproximado de 2GB (Gigabytes), além do ferramental associado de modelagem também ser bastante limitado. Permite a montagem de mapas e análise dos dados já modelados e apresentações dos dados com efeitos gráficos bastante ricos (CÂMARA, 1996, TEIXEIRA 1997). Na figura 5.1 ilustra-se a relação entre os "*softwares*" ArcGIS ®. O ambiente utilizado para a modelagem proposta foi o ArcINFO, associado ao módulo *"Spatial Analist"*.

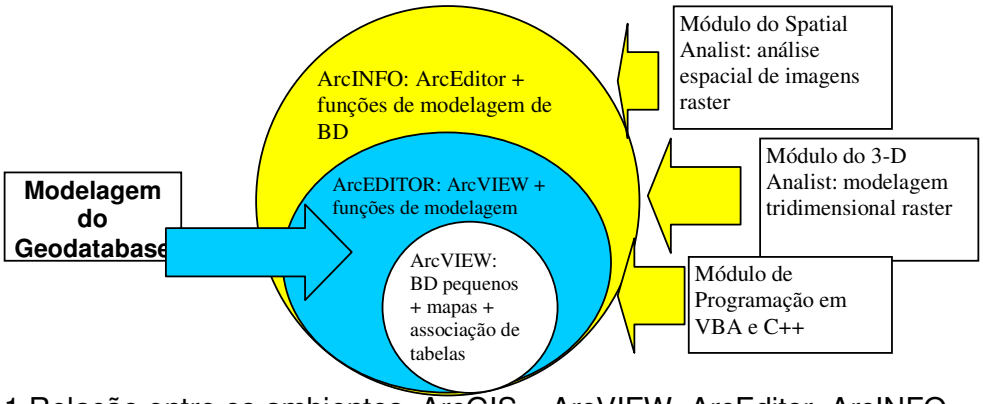


Figura 5.1 Relação entre os ambientes ArcGIS – ArcVIEW, ArcEditor, ArcINFO

Os módulos de modelagem e programação são extensões d*a* família ArcGIS e que podem ser baixados na rede ou comprados para complementar as necessidades do programador. No caso do tratamento particular das imagens para aplicação do método proposto foi necessário obter o Spatial Analist.

Qualquer um dos *"softwares"* acima citados, quando instalados, apresentam dois ambientes independentes para trabalho. O primeiro é o ArcCatalog, destinado à modelagem de dados, ou seja: à criação da estrutura do banco (ou criação do "schema" do banco, que é o termo utilizado pelo *"software"*); à alimentação e carga deste banco de dados, sendo que os dados podem ser importados de outros ambientes de trabalho, tais como Excel®, Visio®, CAD, Acess®; ao tratamento topológico das diversas camadas de dados que compõe o banco de dados, de modo a permitir a interação entre estes dados de forma mais íntegra possível.

5.4.2 CAPACITAÇÃO TÉCNICA NO "SOFTWARE" ESCOLHIDO

Foram feitos dois treinamentos para melhor conhecimento do *"software"*: um para aprofundamento das funcionalidades disponíveis e outro para construir o banco de dados dentro do SIG.

5.5 DESENVOLVIMENTO DA MODELAGEM

As redes de drenagens e esgotamento de despejos industriais são divididas em sub-bacias ou micro-bacias que estão conectadas a cada uma das redes separadamente, quais sejam, as redes de águas pluviais (W-5), redes de águas contaminadas (W-14) e rede de águas oleosas (W-4). Cada micro-bacia pode ser uma quadra ou parte dela, um trecho de rua ou um dique de tanque, dentre outros.

Esta divisão no modelo representa o conceito de um objetivo: a segregação física dos efluentes. As redes devem sempre conduzir efluentes de mesma natureza separadamente, evitando a diluição de poluentes e otimizando os custos de tratamento. Vale ressaltar que essa segregação física dos efluentes é exigência corporativa e objeto principal de uma norma Petrobras, a N-00038. Vem de encontro às normas e leis ambientais, cumprindo a exigência de não diluição de poluentes e contaminantes. Para ilustrar tal arranjo, apresenta-se a figura 5.2.

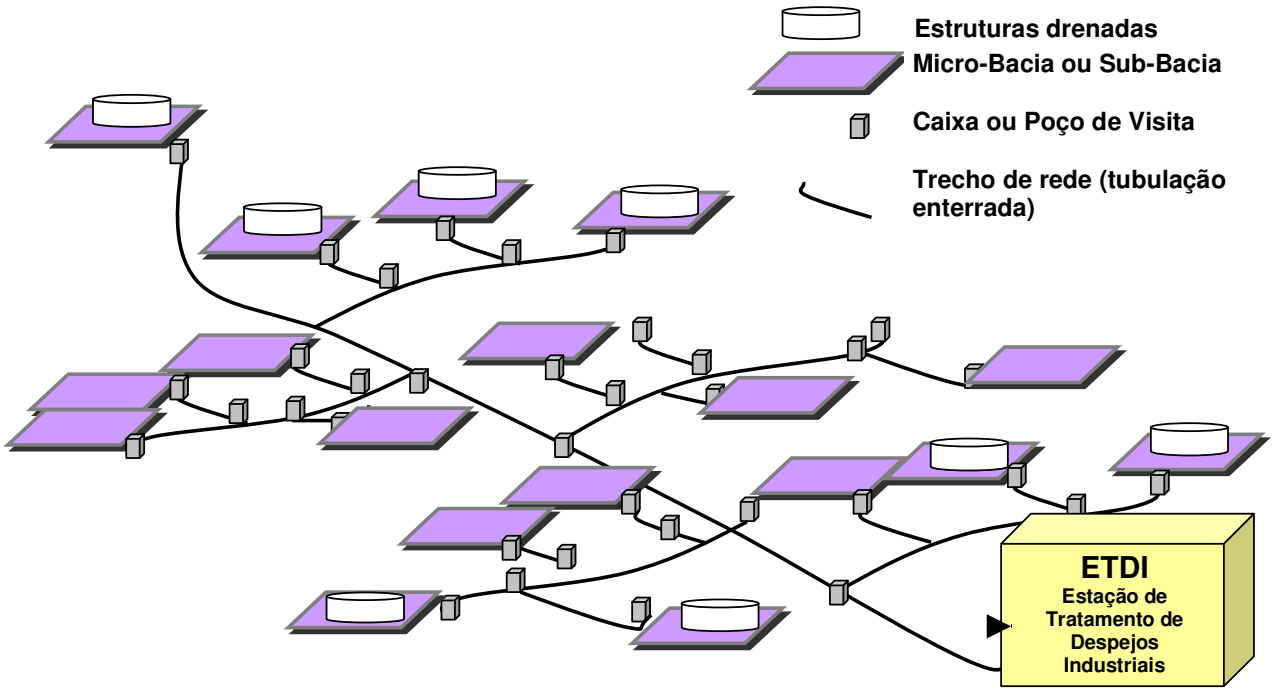


Figura 5.2 Esquema das micro-bacias e estruturas associadas às redes – redes de W-4 e redes de W-14

5.5.1 FLUXOGRAMA PROPOSTO

Conforme já discutido anteriormente, para a região de estudo, determinar-se-á as grandezas características representativas do escoamento superficial, quais sejam: Coeficiente de Deflúvio ou “Run-off” (C ou CN), Tempo de concentração e Vazão.

Outros elementos influentes e muito importantes são as vazões oriundas de processos e/ou tratamentos do processo produtivo que afluem aos sistemas de drenagem. Tais vazões estão sendo mapeadas em um processo que deverá ser conduzido internamente dentro do ambiente corporativo, e não farão parte do atual estudo.

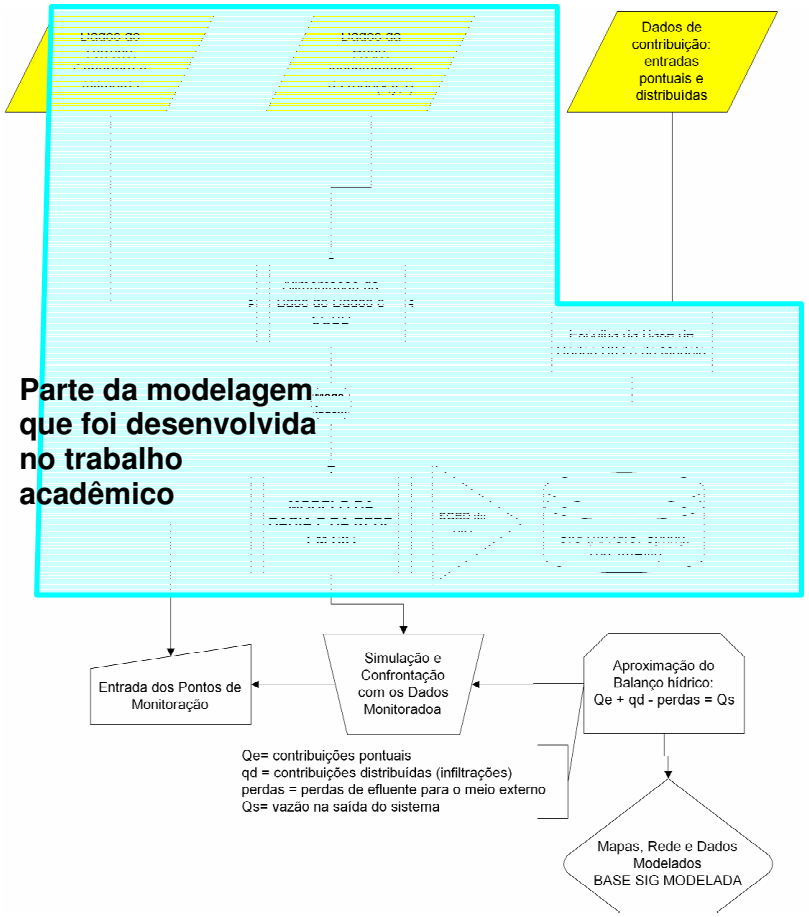


Figura 5.3 Fluxograma básico da modelagem - drenagem das micro-bacias.

O SIG servirá de base para cálculo dos deflúvios e seus respectivos lançamentos, além de também servir de base para lançamento das vazões localizadas (efluentes de processos e/ou tratamentos de produtos, que não será objeto deste trabalho). Em linhas gerais o Banco de Dados a ser modelado corresponderá ao fluxograma apresentado na figura 5.3

Para a modelagem do Banco de Dados para os Recursos Hídricos tem-se os níveis ou camadas ("*layers*") de conhecimento que foram alimentados com as informações disponíveis. Tais informações foram obtidas a partir das pesquisas de informações interna e externamente à empresa. O quadro 5.1 apresenta as camadas teóricas das informações.

Quadro 5.1Camadas de Informações do Modelo em SIG

Camadas	**Nome/Fonte de Dados**	**Tabela de Dados/Atributos**	**Formato**
1	Cobertura – Levantamento Aerofotogramétrico	Imagem raster, pesquisa de campo.	Polígonos
2	Curvas de Nível – Levantamento Planialtimétrico	Altitudes, curvas de nível. arquivo sig ou cad.	Linhas e polígonos
3	Rede de W-4 – Água Oleosa - Levantamento Cadastral	Canais e junções, pontos de entrada de vazão. Arquivo cad.	Linhas e nós
4	Rede de W-14 – Água Contaminada – Levantamento Cadastral	Canais e junções, pontos de entrada de vazão. Arquivo cad.	Linhas e nós
5	Intensidade de Precipitação – Distribuição da Chuva sobre a base aerofotogramétrica	Áreas de precipitação homogênea para chuvas de período de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos	Tabelas de dados
6	Tabelas de Cálculo do CN e do cálculo de C	Tabelas com o enquadramento das coberturas detectadas, os valores associados, correções, cálculo de C	Tabelas de dados
7	Tabelas de Cálculo das Vazões nos Condutores – Cálculo da Rede	Cálculo das vazões e velocidades dentro dos condutores enterrados	Tabelas de dados

O modelo completamente implantado e utilizado tem estas camadas de informações disponíveis para serem manipuladas, gerenciadas, atualizadas e modificadas dentro do banco de dados e de seu sistema de gerenciamento.

5.5.2 DIVISÃO DA PLANTA INDUSTRIAL EM ÁREAS HOMOGÊNEAS

Por fim foi representada a divisão da refinaria em áreas homogêneas e selecionada uma área piloto para implantação da modelação proposta. As áreas homogêneas obtidas estão representadas no capítulo 6. Resultados.

6. RESULTADOS

A refinaria RPBC, tem as seguintes características básicas (PETROBRAS, 2007b):

- localização: Cubatão – SP – Baixada Santista;
- área total da planta industrial: 7 $km^{2;}$
- principais Produtos: Gasolina de aviação, diesel ecológico,gasolina Podium, componentes da gasolina da Fórmula 1, coque para exportação;
- capacidade instalada de produção: 170 mil barris/dia;
- trabalhadores fixos: 3000 pessoas;
- Área Impermeabilizada: cerca de 400.000 m^2;
- trabalhadores empregados durante as campanhas de manutenção: até 6.000 pessoas;
- trabalhadores empregados nas obras de ampliação: até 5.000 pessoas;
- início da construção: 1949;
- ano da inauguração: 1955;
- capacidade de produção inicial: 50.000 barris/dia; e,
- atualmente as obras de ampliação não dizem respeito à ampliação do parque do refino, mas sim da produção de combustível mais limpo e da instalação de uma nova central termelétrica, a Usina Termelétrica Euzébio Rocha.

Em linhas gerais, o desenho da planta industrial está representado pela figura 6.1.

Figura 6.1Desenho da Planta Industrial da Refinaria Presidente Bernardes - RPBC

6.1 DIVISÃO DA PLANTA INDUSTRIAL EM ÁREAS HOMOGÊNEAS SEGUNDO OS EFLUENTES GERADOS

Para facilitar o entendimento da área de estudo, dividiu-se a mesma nos setores homogêneos através do qual ela é gerenciada corporativamente. Esta divisão respeita as especializações de processos e/ou de disciplinas envolvidas, sendo que muitas vezes estas especializações determinam o tipo de efluente gerado no local.

Assim, será discriminado para cada local o tipo mais comum de efluente gerado, que é determinado pela N-0038 (PETROBRAS, 2000).

6.1.1 ÁREAS DE ESTOQUE E TRANSFERÊNCIA DE MATERIAIS E PRODUTOS (TE)

Em azul, nas figuras 6.2 e 6.3, foram assinaladas as áreas de tancagem, ou seja, onde se localizam os tanques de estoque do óleo cru, dos produtos intermediários e dos produtos acabados, das águas que aguardam tratamento para retorno aos processos industriais (sejam de produção ou de tratamento dos produtos) e do *'slop'*. O *'slop'* é uma mistura de hidrocarbonetos e impurezas, e é a soma de todos os excedentes de processo, do óleo recuperado nos separadores água-óleo (SAO) do ETDI, e de todos os despejos anormais de produtos e/ou de máquinas. O *'slop'* depois de recuperado de dentro dos sistemas de drenagem e/ou da área industrial aguarda em tanques para ser reinjetado nos processos de fracionamento de óleo.

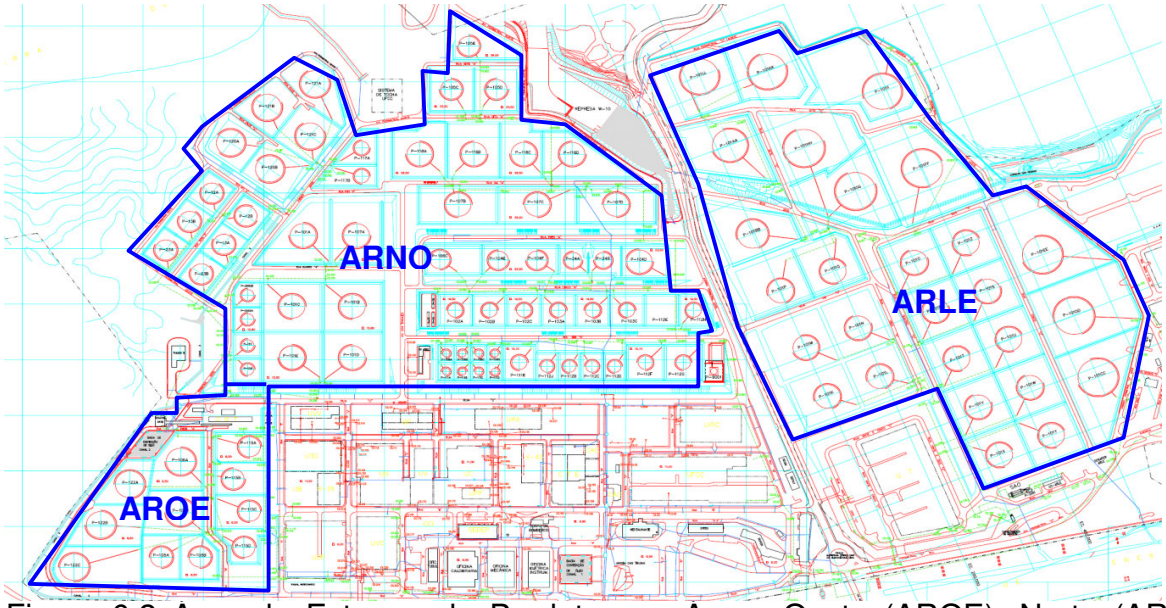


Figura 6.2 Area de Estoque de Produto nas Áreas Oeste (AROE), Norte (ARNO) e Leste (ARLE) da RPBC

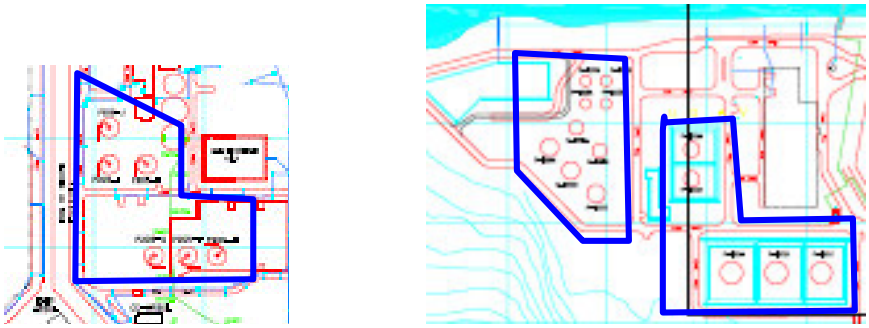


Figura 6.3 Área de Estoque de Produto na Área Sul – Pátio de esferas (à esquerda) e armazenamento de gasolina de aviação – GAV – (à direita) e produtos leves (propano, p. ex.)

Existem outras áreas que cuidam da transferência destes materiais, e que estão dispersas por toda a planta industrial, que são os pátios de bombas, os '*pipe-racks*' e *'pipe-ways'* (que são estruturas de suporte para as redes de dutos que atravessam toda a refinaria) e que estão espalhados por toda a planta industrial.

Os tipos de efluentes gerados a partir do escoamento superficial nestes locais são as águas contaminadas (W-14) (PETROBRAS, 2000).

6.1.2 ÁREAS DE PROCESSO (PR)

As áreas de processo se dividem basicamente em: unidades de destilação atmosférica (Unidade V – UV, Unidade C – UC – e Unidade N – UN); as unidades de destilação à vácuo (ou ainda a Unidade de Vácuo da C – UVC – e a Unidade de Vácuo da N – UVN); a Unidade de *'Fluid Catalitic Cracking'*, ou ainda a UFCC; as unidade de reforma de hidrocarbonetos, ou ainda, a Unidade de Reforma Atmosférica (URA) e a Unidade de Reforma Catalítica (URC); a unidade de Pré-Fabricação, ou UPF; a Unidade de Gasolina de Aviação (UGAV) e as Unidades de Produção de Carvão Coque de Petróleo, ou melhor, a Unidade de Coque Petróleo I (UCP-I) e a Unidade de Coque de Petróleo II (UCP-II). Nas figuras 6.4 e 6.5 estão sinalizadas em vermelho.

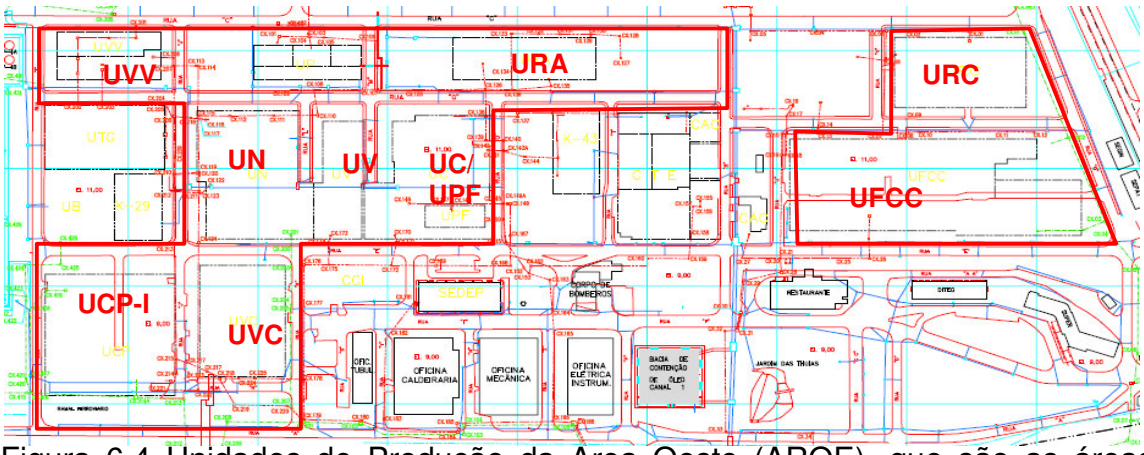


Figura 6.4 Unidades de Produção da Área Oeste (AROE), que são as áreas UVV, UCP-I, UN, UVC, UV, UC/UPF, URA e da Área Norte (ARNO), que são as áreas da URC e UFCC

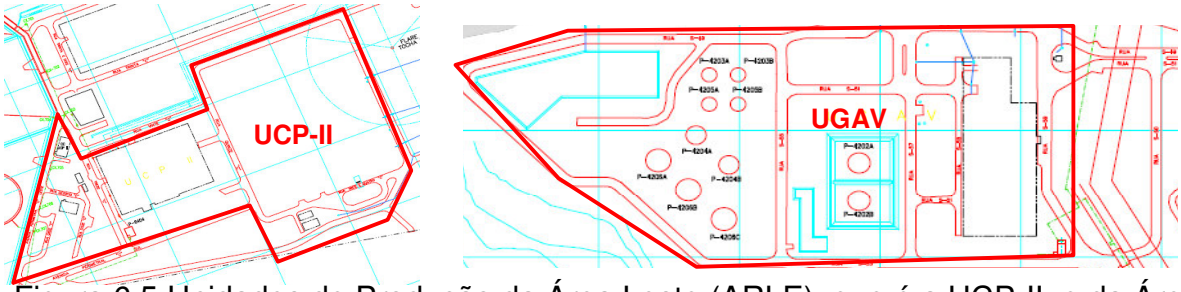


Figura 6.5 Unidades de Produção da Área Leste (ARLE), que é a UCP-II, e da Área SUL (ARSUL), que é a UGAV

O tipo de efluente de gerado pelo escoamento nestas unidades de processo são as águas oleosas (W-4), exceto na UGAV, onde são geradas águas contaminadas (W-14).

6.1.3 ÁREAS DE TRATAMENTO DE PRODUTOS

São as áreas onde os produtos são acabados, isto é, passam por processos que estraem impurezas (o enxofre é o mais freqüente) e se tornam adequados às exigências legais e de mercado (cliente). Na RPBC essas áreas são: Unidade de

Hidrotratamento, ou HDT; Unidade de Remoção de Enxofre (URE); Unidade de Tratamento de Gás, ou UTG; Unidade de adição de chumbo tetraetila, ou ainda, Unidade B (UB). Estas unidades estão sinalizadas em roxo na figura 6.6.

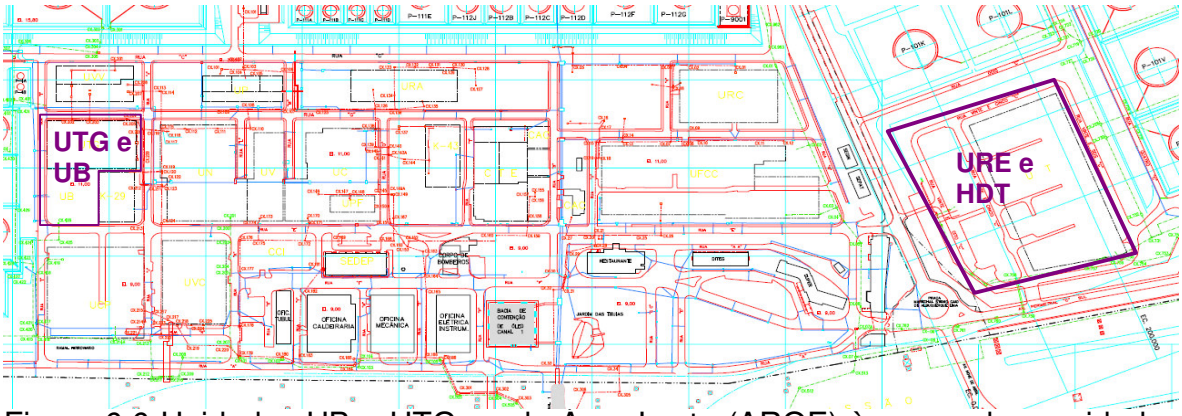


Figura 6.6 Unidades UB e UTG na da Área Leste (AROE) à esquerda e unidades URE e HDT na Área Leste (ARLE) à direita

Os efluentes gerados pelo escoamento superficial nestes locais são as águas oleosas (W-4), que só ocorrem na UB, e no restante são águas contaminadas (W-14).

6.1.4 ÁREA DE TRATAMENTO DE DESPEJOS INDUSTRIAIS

É a área da Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI), dividida entre ETDI velho, onde existe apenas o gradeamento e os separadores água-óleo (SAO), e o ETDI novo, onde é feito o tratamento secundário, através de flotadores, biodigestores e uma lagoa de decantação final. As unidades que compõe este sistema estão assinaladas na figura 6.7.

Nesta unidade não há a produção de efluentes propriamente dita. Mas como se trata de área que lida com escoamentos e fluidos altamente contaminados dentro dos tanques de processo, os efluentes que eventualmente podem ser gerados por

escoamento superficial: águas oleosas (W-4), principalmente nos separadores água-óleo (SAO), ou ainda, o ETDI velho. Nas lagoas de tratamento (ETDI novo) os efluentes gerados podem ser enquadrados como águas contaminadas (W-14) em sua maior parte (PETROBRAS, 2000).

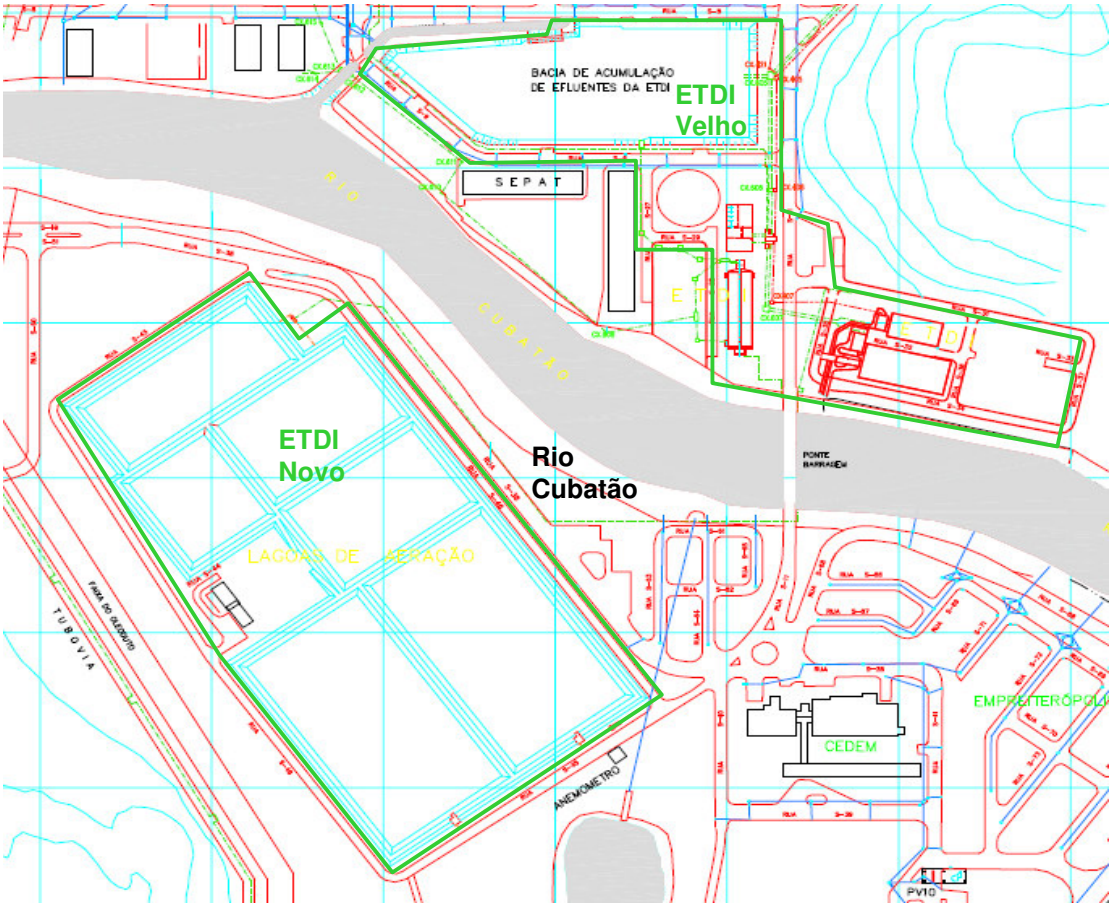


Figura 6.7 Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI), dividido em ETDI Velho (área de tratamento primário) e ETDI Novo (área de tratamento secundário)

6.1.5 ÁREAS DAS UTILIDADES

São chamadas de utilidades das refinarias, dentro do ambiente corporativo, a série de sistemas que dão suporte aos processos produtivos, quais sejam: a produção

de água clarificada e de água desmineralizada, através da Estação de Tratamento de Água (ETA); a produção de energia elétrica e vapor, através da Central Termelétrica (CTE); a transmissão das energias e vapores através da Casa de Força (CF); o abastecimento de água tratada para as unidades onde a força de trabalho ocupa, assim como o abastecimento de energia elétrica. Dentre estas atividades, as duas últimas não possuem área demarcada, estando dispersas por toda a planta industrial. Em marrom, na figura 6.8, estão assinaladas algumas das áreas das utilidades.

Tipos de efluentes gerados nestes locais: os efluentes de precipitação gerados podem ser enquadrados como águas contaminadas (W-14) em sua maior parte (PETROBRAS, 2000).

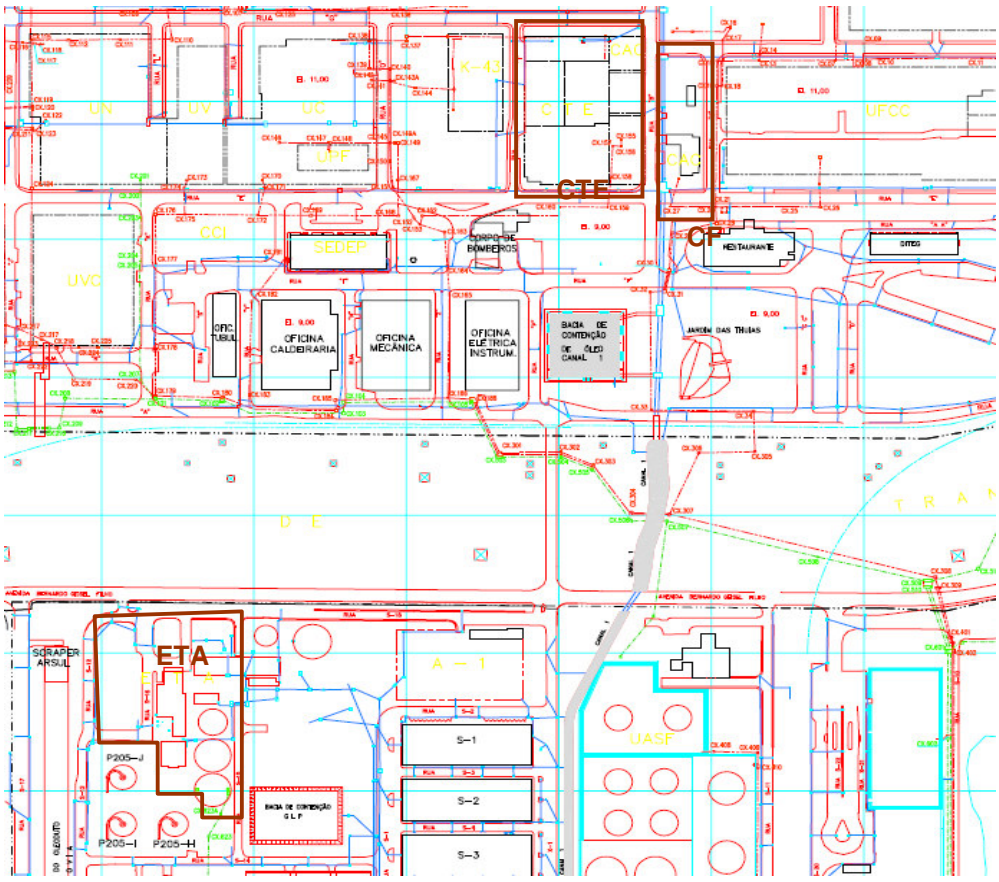


Figura 6.8 Central Termelétrica (CTE), a Casa de Força (CF), acima, e a Estação de Tratamento de Água (ETA), abaixo

6.1.6 ÁREAS DA MANUTENÇÃO.

São os pátios de manutenção e as oficinas de manutenção. A manutenção é um setor de extrema importância dentro do ambiente industrial: a redução dos riscos de produção e a segurança de toda a força de trabalho dependem desta atividade. Na figura 6.9 estão assinalados os principais pátios/oficinas da manutenção.

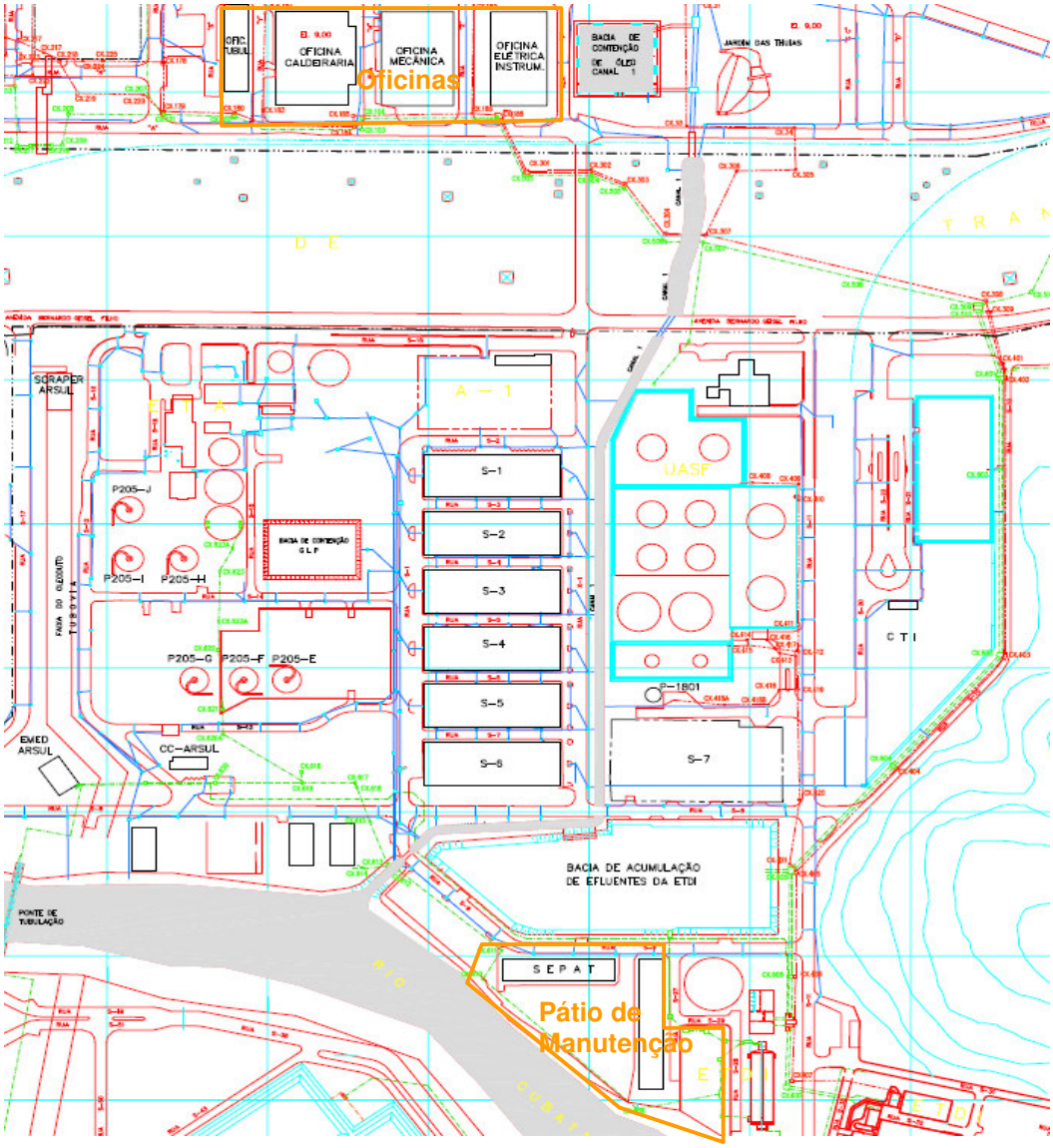


Figura 6.9 Oficinas de Manutenção, acima, e Pátio de Manutenção de Máquinas, embaixo

Tipos de efluentes gerados nestes locais: os efluentes de precipitação gerados nas oficinas são em sua maioria água pluvial limpa, entretanto existem águas de lavagem de máquinas dentro das áreas cobertas que devem ser conduzidas pelo sistema de águas oleosas. Os efluentes de precipitação gerados nos pátios de manutenção ainda são águas oleosas, entretanto estão sendo conduzidos projetos para poder reduzir a quantidade de água oleosa e água contaminada nestes pátios (PETROBRAS, 2000).

6.1.7 ÁREAS ADMINISTRATIVAS

Engloba todos os edifícios que fornecem as infra-estruturas necessárias ás atividades da força de trabalho, incluindo o suporte à saúde, ao lazer, alimentação, higiene, ao treinamento, dentre outros (PETROBRAS, 2000, N-0038). Alguns dos edifícios que compõe este sistema de suporte estão assinalados nas figuras 6.10 e 6.11.

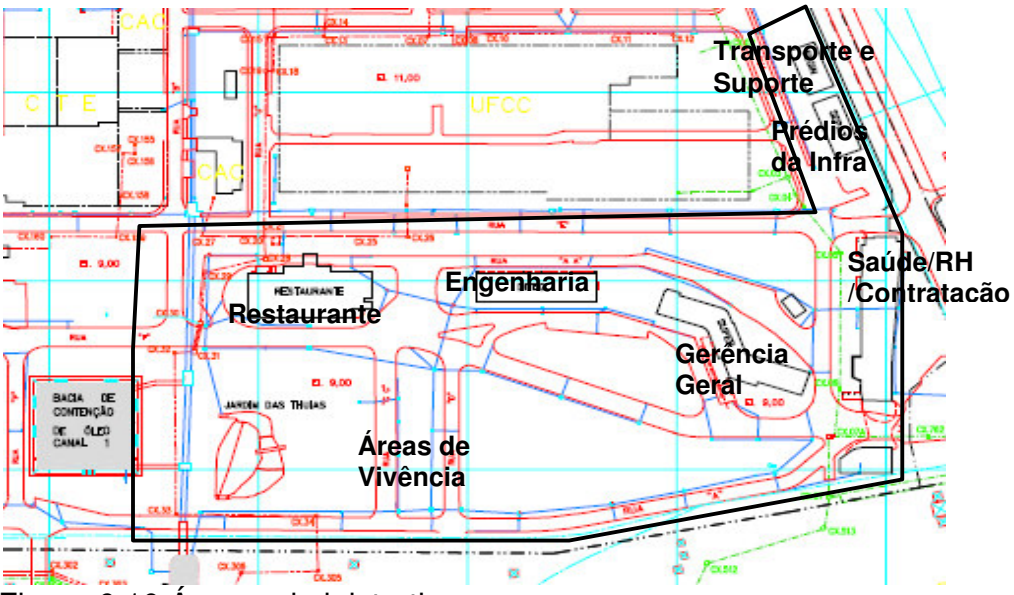


Figura 6.10 Áreas administrativas

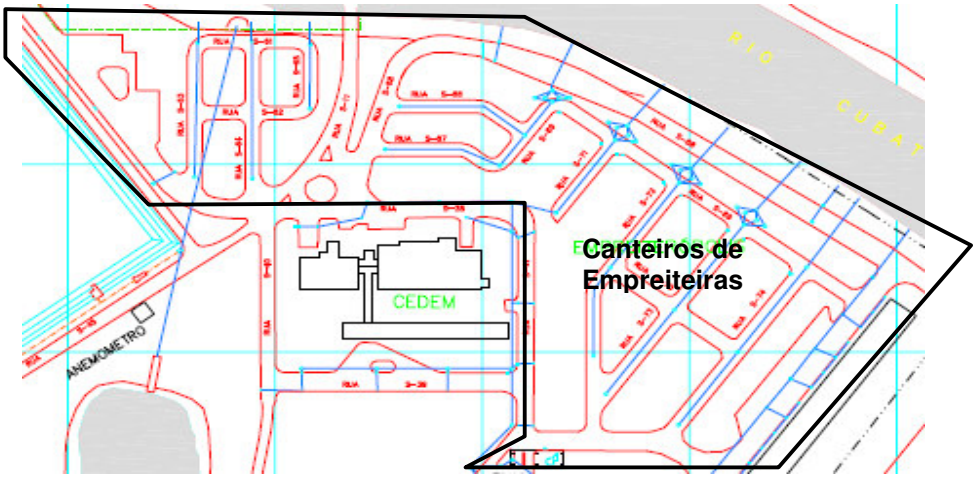


Figura 6.11 Áreas administrativas - Canteiros de empreiteiras junto ao rio Cubatão

Tipos de efluentes gerados nestes locais: os efluentes de precipitação gerados nas áreas administrativas são, em sua maioria, água pluvial limpa (W-5).

6.1.8 SISTEMA VIÁRIO

De modo geral, o sistema viário é área “homogênea” dispersa por toda refinaria que é o sistema viário. O efluente gerado pelas precipitações nestas áreas é considerado pluvial limpo (PETROBRAS, 2000). Entretanto, dada as particularidades de alguns pequenos trechos, estes mesmos trechos são localizadamente conduzidos para drenagem de águas contaminadas ou oleosas.

6.2 DETERMINAÇÃO DE UMA ÁREA PILOTO

Para facilitar o desenvolvimento do modelo, adotou-se uma área piloto de modelagem, que é a área de tancagem da área (ARLE) leste da refinaria.

Neste local, que está representado pela figura serão separados as redes de interesse de W-4 e W-14, a rede de W-5, as superfícies de interesse, um trecho da imagem *"raster"*, e estas camadas de informação serão tratadas dentro do ambiente SIG, em conjunto com as camadas de aplicação do modelo físico-matemático (ou seja, o algoritmo do CN, as equações de $\mathbf{t_c}$ e $\mathbf{i_p}$, a equação do Método Racional), conforme já descrito no quadro 5.1.

6.3 INTENSIDADES PRECIPITADAS E A EQUAÇÃO DE CHUVA DESENVOLVIDA.

A precipitação na área foi determinada conforme a aplicação do Método Gumbel-Chow, descrito nos itens 5.2.1, e representado pelas equações (4.36), (5.1) e (5.2). A seqüência para aplicação do método já descrita no item 5.21 e seus resultados se apresentam a seguir:

- a equação de chuvas intensas para Cubatão, ou seja, a equação (6.1);

$$\mathbf{P(1dia;T) = 105,1 - 43,2\ ln(ln(T/(T-1)))} \qquad \mathbf{(6.1)}$$

em que P(1dia;T) é a precipitação de um dia para o período de retorno T.

Os dados utilizados e o resumo do tratamento dado estão na tabela 6.1. Os principais resultados obtidos a partir da equação de chuva estão apresentados no quadro 6.1.

Quadro 6.1Precipitações de um dia para diversos $\mathbf{T_r}$ (em anos)

P(1dia;2 anos)	**121 mm**
P(1dia;5 anos)	**170 mm**
P(1dia;10 anos)	**202 mm**
P(1dia;20 anos)	**234 mm**
P(1dia;50 anos)	**274 mm**
P(1dia;100 anos)	**304 mm**

Tabela 6.1 Resumo do tratamento dos dados chuva

PREFIXO:	**E3-38**	**LATITUDE:**	**23º52'**
POSTO:	**Piaçaguera**	**LONGITUDE:**	**46º23'**
MUNICÍPIO:	**Cubatão**	**ALTITUDE:**	**5 m**
	Dados de chuva (mm)		
mês/ano	***nº ordem***	***Precipitação máxima (1 dia)***	***Prob. ac. Kimbal***	***Período de Retorno***
jan/76	1	251,1	0,05	21,00
fev/92	2	200,5	0,10	10,50
abr/90	3	191,3	0,14	7,00
fev/89	4	188,3	0,19	5,25
mai/81	5	174,1	0,24	4,20
mar/86	6	158,4	0,29	3,50
fev/75	7	157,0	0,33	3,00
jan/77	8	146,2	0,38	2,63
jan/74	9	144,3	0,43	2,33
dez/84	10	130,0	0,48	2,10
jan/78	11	129,9	0,52	1,91
jan/79	12	119,3	0,57	1,75
mar/80	13	109,1	0,62	1,62
jan/73	14	104,6	0,67	1,50
mar/83	15	81,0	0,71	1,40
dez/90	16	78,6	0,76	1,31
abr/85	17	76,5	0,81	1,24
nov/87	18	76,2	0,86	1,17
out/88	19	51,7	0,90	1,11
jun/82	20	32,3	0,95	1,05
Desvio padrão (σ)		**55,4**	β	**43,2**
Média (μ)		**130,0**	α	**105,1**

As proporções de transportes que foram utilizadas para transformar as chuvas de 1 dia para chuvas de intervalos menores que uma hora já foram mencionadas no capítulo metodologia e correspondem aos grupos métodos M1, M2, M3 e M4 então descritos. O resultados são apresentados a seguir:

- M1 - utilizando-se a equação de chuva do Método de Gumbel-Chow, e para chuvas menores que 24hs, utilizando as distribuições de Magni, 1984;

Tabela 6.2 Coeficientes de transporte de alturas precipitadas, conforme Magni, 1984

Δt_1 (min)	**Δt_2 (min)**	**Magni, 1984**	**Δt_1 (min)**	**Δt_2 (min)**	**Magni, 1984**
5	1440	0,23	60	1440	0,41
10	1440	0,27	360	1440	0,63
15	1440	0,30	480	1440	0,69
20	1440	0,32	600	1440	0,74
30	1440	0,35	720	1440	0,79

Tabela 6.3 – Intensidades Precipitadas a partir da equação desenvolvida, na proporção dos coeficientes preconizados por Magni, 1984

Tc	**Tr (anos)**	**10**	**Tr (anos)**	**20**	**Tr (anos)**	**25**	**Tr (anos)**	**50**	**Tr (anos)**	**100**
	P24hs(mm)	**209,19**	**P24hs(mm)**	**241,35**	**P24hs(mm)**	**251,55**	**P24hs(mm)**	**282,97**	**P24hs(mm)**	**314,16**
	P	**I**	**P**	**I**	**P**	**I**	**P**	**I**	**P**	**I**
(min)	**(mm)**	**(mm/min)**	**(mm)**	**(mm/min)**	**(mm)**	**(mm/min)**	**(mm)**	**(mm/min)**	**(mm)**	**(mm/min)**
5	47,64	9,53	54,96	10,99	57,29	11,46	64,44	12,89	71,54	14,31
10	56,26	5,63	64,91	6,49	67,65	6,77	76,10	7,61	84,49	8,45
15	62,01	4,13	71,54	4,77	74,57	4,97	83,88	5,59	93,13	6,21
20	66,45	3,32	76,66	3,83	79,90	3,99	89,88	4,49	99,78	4,99
30	73,24	2,44	84,49	2,82	88,06	2,94	99,06	3,30	109,98	3,67
60	86,49	1,44	99,79	1,66	104,00	1,73	116,99	1,95	129,89	2,16
360	130,93	0,36	151,06	0,42	157,44	0,44	177,11	0,49	196,63	0,55
600	155,61	0,26	179,53	0,30	187,12	0,31	210,49	0,35	233,69	0,39
720	165,50	0,23	190,94	0,27	199,01	0,28	223,87	0,31	248,54	0,35

- M2 - Utilizando-se as equações de Magni e Mero, 1986; e,

Tabela 6.4Intensidades Precipitadas x duração da precipitação, para cada período de recorrência, conforme equações **4.39** e **4.40**

	t (min)													**1 dia**
Tr(anos)	5	10	14	15	16	17	18	20	60	120	720	1440	1440	
	I (mm/min)												(mm/24h)	(mm/dia)
10	2,5	2,2	2,0	2,0	1,9	1,9	1,8	1,8	1,0	0,7	0,2	0,1	3,15	182,59
20	2,9	2,5	2,3	2,3	2,2	2,2	2,1	2,0	1,2	0,8	0,2	0,2	3,62	209,92
50	3,4	3,0	2,7	2,6	2,6	2,5	2,5	2,4	1,4	0,9	0,3	0,2	4,23	245,29
100	3,8	3,3	3,0	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	1,6	1,0	0,3	0,2	4,68	271,79

- M3 - Utilizando-se a equação de chuva do Método de Gumbel-Chow, e para chuvas menores que 24hs, adotando-se as proporções obtidas a partir das equações de Magni e Mero, 1986;

Tabela 6.5 Correlação entre as intensidades precipitadas para as diversas durações, na proporção das equações de Magni e Mero, 1986

Para todos os períodos de retorno	Duração da chuva		coeficiente de conversão entre as Intensidades de Precipitação	Duração da chuva		coeficiente de conversão entre as Intensidades de Precipitação
	Inicial	Desejada		Inicial	Desejada	
	1440 min	720 min	1,58	20 min	15 min	1,11
	720 min	120 min	3,27	20 min	10 min	1,24
	120 min	60 min	1,54	20 min	5 min	1,43
	60 min	20 min	1,69	15 min	10 min	1,12
	60 min	10 min	2,11	10 min	5 min	1,15
	60 min	5 min	2,42			

Tabela 6.6 Intensidades Precipitadas a partir da equação desenvolvida por Gumbel-Chow, na proporção de Magni e Mero, 1986

	t (min)											
Tr(anos)	5	10	15	20	30	60	120	240	720	1440	1440	**1 dia**
	I (mm/min)										(mm/24h)	(mm/dia)
10	2,8	2,4	2,2	2,0	1,7	1,2	0,8	0,5	0,2	0,1	209,19	202,32
20	3,2	2,8	2,5	2,3	1,9	1,3	0,9	0,5	0,3	0,2	241,35	233,41
50	3,8	3,3	2,9	2,7	2,2	1,6	1,0	0,6	0,3	0,2	282,97	273,66
100	4,2	3,7	3,3	2,9	2,5	1,7	1,1	0,7	0,3	0,2	314,16	303,83

- M4 - Utilizando-se a equação de chuva do Método de Gumbel-Chow e, para chuvas menores que 24hs, a tabela da CETESB corrigida por Weiss, 1964

Tabela 6.7 Coeficientes da CETESB corrigidos por Weiss

Nº de ordem	Δt1 (min)	Δt2 (min)	CETESB	Fator correção – f	CETESB Corrigido
1	5	1440	0,11	1,1429	0,125
2	10	1440	0,17	1,0667	0,185
3	15	1440	0,22	1,0435	0,234
4	20	1440	0,25	1,0323	0,268
5	25	1440	0,28	1,0256	0,299
6	30	1440	0,31	1,0213	0,321
12	60	1440	0,42	1,0105	0,424
72	360	1440	0,72	1,0017	0,721
96	480	1440	0,78	1,0013	0,781
120	600	1440	0,82	1,0010	0,821
144	720	1440	0,85	1,0009	0,851

Tabela 6.8 Intensidades Precipitadas a partir da equação desenvolvida, na proporção dos coeficientes preconizados por CETESB corrigidos por Weiss, 1964

Tc	Tr (anos)	10	Tr (anos)	20	Tr (anos)	25	Tr (anos)	50	Tr (anos)	100
	P24hs(mm)	231,25	P24hs(mm)	266,79	P24hs(mm)	278,07	P24hs(mm)	312,80	P24hs(mm)	347,27
	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I
(min)	(mm)	(mm/min)	(mm)	(mm/min)	(mm)	(mm/min)	(mm)	(mm/min)	(mm)	(mm/min)
5	28,82	5,76	33,25	6,65	34,66	6,93	38,99	7,80	43,28	8,66
10	42,72	4,27	49,29	4,93	51,37	5,14	57,79	5,78	64,16	6,42
15	54,18	3,61	62,51	4,17	65,15	4,34	73,29	4,89	81,36	5,42
20	62,02	3,10	71,55	3,58	74,57	3,73	83,89	4,19	93,14	4,66
25	69,23	2,77	79,87	3,19	83,24	3,33	93,64	3,75	103,96	4,16
30	74,17	2,47	85,57	2,85	89,19	2,97	100,33	3,34	111,39	3,71
60	98,15	1,64	113,23	1,89	118,02	1,97	132,76	2,21	147,39	2,46
360	166,79	0,46	192,42	0,53	200,56	0,56	225,61	0,63	250,47	0,70
480	180,61	0,38	208,37	0,43	217,17	0,45	244,30	0,51	271,23	0,57
600	189,82	0,32	219,00	0,36	228,25	0,38	256,76	0,43	285,06	0,48
720	196,73	0,27	226,97	0,32	236,56	0,33	266,11	0,37	295,44	0,41

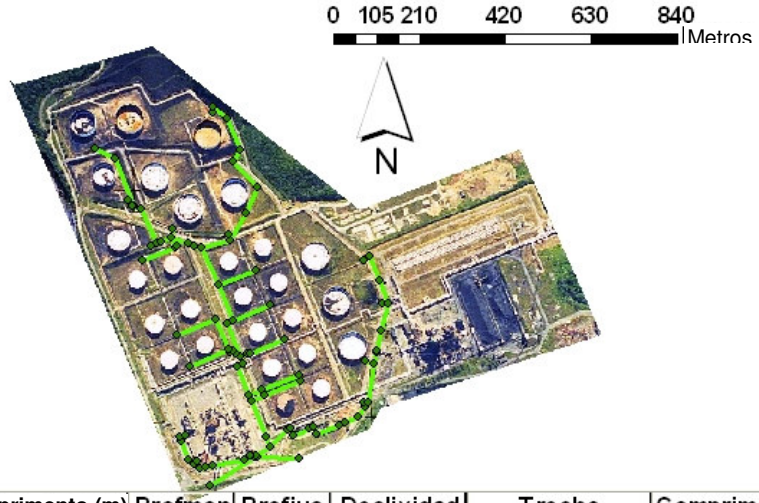
Então, é necessário uma primeira estimativa de $\mathbf{t_c}$ para se calcular a precipitação **P**, que norteará o cálculo de C, para aplicação do Método Racional. Esta estimativa de $\mathbf{t_c}$ é dada pelo Método "Califórnia Culverts Practice", por meio da equação **(5.5)**.

$$\mathbf{t_c = 57 * L^{1,155} H^{-0,385}} \qquad \mathbf{(5.5)}$$

Pela equação colocada, são necessários o desnível geométrico total em metros (**H**) e comprimento do maior talvegue, ou ainda, do maior condutor, desde sua parte mais alta até a seção de controle, (**L**) em quilômetros (km). Estas duas grandezas podem ser retiradas do software SIG, sendo que para isso, dever-se-á obter a modelagem da rede neste ambiente. Foi importado do CAD para o SIG os layers referentes à rede, e consolidados em um único layer. Foram introduzidas todas as alturas provenientes de um cadastro de 1986, existente no ambiente corporativo. Os resultados e a imagem da referida rede, com alguns de seus dados estão na figura 6.3.

Dados de Rede RPBC - Interpretação

Tancagem, Coque, Patio de Bombas, HDT e URE - ARLE



nº objeto	Diametro	Comprimento (m)	Profmon	Profjus	Declividad	Trecho	Comprimento	Tipo
282	0,6	13,464101	8	8	0	s-n-montante	13,464101	1
283	0,6	31,995592	8	7,537	0,014471	Montante-cx736	31,995592	1
284	0,4	17,942338	8,2	8	0,011147	montante	17,942338	1
285	0,2	9,026748	8,2	8,2	0	s-n-montante	9,026748	1
286	0,6	77,267175	7,537	6,801	0,009525	cx736-cx737	77,267175	1
287	0,4	18,241123	8,3	8,2	0,005482	montante	18,241123	1
288	0,6	129,269917	7,673	7	0,005206	cx734-fim	129,269917	1
289	0,3	103,897159	7,673	7,673	0	vem do carrega	103,897159	1
290	<Null>	4,98546	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	4,98546	1
291	<Null>	3,010211	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	3,010211	1
292	0,6	19,954	7,402	7,567	-0,008269	cx735-cx736	19,954	1
293	0,6	10,485476	7,67	7,432	0,022698	cx734-cx735	10,485476	1
294	0,6	40,603963	7,821	7,673	0,003645	cx733-cx734	40,603963	1
295	0,4	46,815978	8,5	8,3	0,004272	montante	46,815978	1
296	0,4	12,468127	8,6	8,5	0,00802	montante	12,468127	1
297	0,6	27,818674	7,886	7,652	0,008412	cx732-cx733	27,818674	2
298	0,4	13,28935	8,8	8,6	0,01505	montante	13,28935	1
299	0,4	58,330728	3	3	0	saida-p2001	58,330728	1
300	0,4	40,578215	3	3	0	P-2001	40,578215	1
301	0,4	10,693952	3	3	0	saida-p2001	10,693952	1
302	0,4	18,857248	3	3	0	Saida-P2001	18,857248	1
303	0,5	12,404765	3,457	3	0,036841	cx715-p2001	12,404765	1
304	0,5	18,884266	3,36	3,527	-0,008843	cx714-cx715	18,884266	1
305	0,5	61,132182	3,656	3,301	0,005807	cx713-cx714	61,132182	1
306	0,5	15,118288	3,586	3,621	-0,002315	cx712-cx713	15,118288	1
307	0,4	33,683242	3,851	3,605	0,007303	cx711-cx712	33,683242	1

Figura 6.12 A rede modelada e parte dos dados que estão dentro do BD do SIG

Após esta modelagem, pôde-se tratar os dados por meio de ferramentas estatísticas simples e obter informações como o ponto mais alto da rede (ou de seus trechos), o ponto mais baixo, a soma total ou parcial, médias, desvios padrão, etc.

Utilizaram-se estes tipos de ferramentas e obteve-se as informações necessárias para aplicar na expressão (**5.5**).

H = 24,00-7,652 = 16,348 m

L = 1029,74 m = 1,02974 km

$\mathbf{t_c =}$ 57 * (1,02974) ^{1,155} (16,348) $^{-0,385}$ = 20 min aproximadamente.

Este $\mathbf{t_c}$ foi utilizado para iniciar o algoritmo proposto. Após a obtenção da vazão e recálculo do novo $\mathbf{t_c}$, o processo é repetido até a convergência dos resultados. Adotou-se, então, a intensidade de precipitação para 20 min. No caso em tela, a relação dos valores de intensidade de precipitação e altura precipitada adotados são os da tabela 6.3 e estão destacados na tabela 6.9.

Tabela 6.9 Alturas precipitadas **P**, para $\mathbf{t_{c=}}$ 20min, em função do $\mathbf{T_r}$

	$\mathbf{t_c}$ **(min):**	20		$\mathbf{t_c}$ **(min):**	20		$\mathbf{t_c}$ **(min):**	20
$\mathbf{T_r}$**(anos)**	I (mm/min)	**P (mm)**	$\mathbf{T_r}$**(anos)**	I (mm/min)	**P (mm)**	$\mathbf{T_r}$**(anos)**	I (mm/min)	**P (mm)**
10	3,3	66,5	**25**	4,0	79,9	**100**	5,0	99,8
20	3,8	76,7	**50**	4,5	89,9			

Com os resultados, pode-se calcular $\mathbf{t_c}$ pela equação (**5.4**) da onda cinemática.

$$\mathbf{t_c = 6{,}99 * (n * L / S_p^{\,0,5})^{\,0,6} / i_p^{\,0,4}} \qquad \mathbf{(5.4)}$$

sendo que para $\mathbf{S_p}$ utiliza-se **H** e **L,** já calculados pela ferramenta SIG. Coeficiente de rugosidade de manning (**n**) adotado foi 0,013, que é o preconizado para o material concreto, principal componente da rede em questão (PORTO, 2004).

$\mathbf{S_p}$ = **H**/**L** = 16,382/1029,74 = 0,015909 m/m ou 1,5909%

As tabelas aplicadas, com as quatro iterações efetuadas até a convergência dos valores, são as 6.10, 6.11, 6.12 e 6.13.

Tabela 6.10 Primeira iteração para cálculo de t_c, aplicando a equação **5.4**

		T_r(anos)	10	20	25	50	100
n=	*0,013*	**I (mm/h)**	198,0	228,0	240,0	270,0	300,0
L=	*1.029,7*		**t_c (min)**				
S_p=	*0,015909*		*14*	*13*	*13*	*12*	*12*

Tabela 6.11 Segunda iteração para cálculo de t_c, aplicando a equação **5.4**.

		T_r(anos)	10	20	25	50	100
n=	*0,013*	**I (mm/h)**	264,0	318,0	330,0	396,0	441,6
L=	*1.029,7*		**t_c (min)**				
S_p=	*0,015909*		*12*	*11*	*11*	*10*	*10*

Tabela 6.12 Terceira iteração para cálculo de t_c, aplicando a equação **5.4**

		T_r(anos)	10	20	25	50	100
n=	*0,013*	**I (mm/h)**	294,0	360,0	378,0	456,0	510,0
L=	*1.029,7*		**t_c (min)**				
S_p=	*0,015909*		*12*	*11*	*11*	*10*	*9*

Tabela 6.13 Quarta iteração para cálculo de t_c, aplicando a equação **5.4**

		T_r(anos)	10	20	25	50	100
n=	*0,013*	**I (mm/h)**	294,0	360,0	378,0	456,0	552,0
L=	*1.029,7*		**t_c (min)**				
S_p=	*0,015909*		*12*	*11*	*11*	*10*	*9*

Na tabela 6.14 é possível verificar que, em intervalos de duração de precipitação vizinhos, as intensidades de precipitação por vezes são muito próximas, e essa é uma das razões pelas quais a equação converge rapidamente.

Os valores grafados em vermelho são as intensidades precipitadas em função do período de retorno e da duração da precipitação (t_c). Na tabela 6.15 estão resumidos os valore finais de t_c, I_p ou **I** e **P**.

Vale ressaltar que os valores obtidos são válidos para a micro-bacia em questão, selecionada para testar o modelo proposto. Para outras regiões da mesma

macro-bacia deverão ser aplicados os mesmos algoritmos para se concluir os tempos de concentração e as intensidades precipitadas para cada uma destas micro-bacias. Entretanto, pode-se afirmar desde já que como as características geométricas destas bacias não são muito diferentes, os tempos de concentração terão a mesma ordem de grandeza.

Tabela 6.14 Intensidades de Precipitação (**I** ou $\mathbf{I_p}$) e Altura Precipitada (**P**) em função do $\mathbf{T_r}$ e do $\mathbf{t_c}$

t_c	Tr (anos)	10	Tr (anos)	20	Tr (anos)	25	Tr (anos)	50	Tr (anos)	100
	P24hs(mm)	209,19	P24hs(mm)	241,35	P24hs(mm)	251,55	P24hs(mm)	282,97	P24hs(mm)	314,16
	P	**I**	**P**	**I**	**P**	**I**	**P**	**I**	**P**	**I**
(min)	(mm)	(mm/min)	(mm)	(mm/min)	(mm)	(mm/min)	(mm)	(mm/min)	(mm)	(mm/min)
5	47,64	9,53	54,96	10,99	57,29	11,46	64,44	12,89	71,54	14,31
9	54,86	6,10	63,29	7,03	65,96	7,33	74,20	8,24	**82,38**	**9,15**
10	56,26	5,63	64,91	6,49	67,65	6,77	**76,10**	**7,61**	84,49	8,45
11	57,56	5,23	**66,41**	**6,04**	**69,22**	**6,29**	77,87	7,08	86,45	7,86
12	**58,78**	**4,90**	67,81	5,65	70,68	5,89	79,51	6,63	88,27	7,36
13	59,92	4,61	69,13	5,32	72,05	5,54	81,05	6,23	89,98	6,92
14	60,99	4,36	70,37	5,03	73,34	5,24	82,51	5,89	91,60	6,54
15	62,01	4,13	71,54	4,77	74,57	4,97	83,88	5,59	93,13	6,21
20	66,45	3,32	76,66	3,83	79,90	3,99	89,88	4,49	99,78	4,99
25	70,10	2,80	80,88	3,24	84,29	3,37	94,82	3,79	105,27	4,21
30	73,24	2,44	84,49	2,82	88,06	2,94	99,06	3,30	109,98	3,67
60	86,49	1,44	99,79	1,66	104,00	1,73	116,99	1,95	129,89	2,16
360	130,93	0,36	151,06	0,42	157,44	0,44	177,11	0,49	196,63	0,55
480	144,31	0,30	166,49	0,35	173,52	0,36	195,20	0,41	216,71	0,45
600	155,61	0,26	179,53	0,30	187,12	0,31	210,49	0,35	233,69	0,39
720	165,50	0,23	190,94	0,27	199,01	0,28	223,87	0,31	248,54	0,35

Tabela 6.15 Valores de $\mathbf{t_c}$, $\mathbf{I_p}$ e **P** calculados pelo Método da Onda Cinemática

T_r(anos)	t_c(min)	I_p (mm/min)	P(mm)
10	***12***	4,9	58,8
20	***11***	6,0	66,0
25	***11***	6,3	69,3
50	***10***	7,6	76,0
100	***9***	9,2	82,8

6.4 SELEÇÃO DO "SOFTWARE" SIG ADEQUADO AO TRABALHO

A matriz que representa, simplificadamente, o processo de seleção da melhor opção, com as informações necessárias à avaliação de cada alternativa está apresentada na tabela 6.16. As avaliações das opções segundo os critérios propostos, está apresentada na tabela 6.17. Esta matriz, dentro dos Métodos de Auxílio à Tomada de Decisão é chamada Matriz "Pay-off", ou Matriz de Decisão.

Tabela 6.16 Dados de cada um dos "*softwares*" frente os critérios de avaliação

	Peso	**Função de Valor**	**Map-guide**	**Geo-media**	**Terra-View**	**Spring**	**Arc-GIS**
Existe no ambiente corporativo e/ou na RPBC?	0,10	Sim = 5 Não = 2	N	N	S	S	S
Existem outros trabalhos neste SIG dentro da RPBC?	0,15	Sim = 5 Não = 2	N	N	N	N	S
Custo do software* (em R$)	0,10	**equação **(5.6)**	30.000	10.000	0	0	60.000
Facilidade de Uso	0,15	Muito amigável =5 Nada amigável =0	5	2	3	1	4
Adaptado à Aplicação	0,20	Muito adaptado =5 Nada adaptado =0	3	1	2	0,5	3
Tempo de existência no mercado	0,15	+20 anos = 5 +10 anos = 4 +6 anos = 3 +3 anos = 2 até 3 anos=1 versão Beta = 0	+10	+20	+3	+10	+20
Ferramentas disponíveis e compatibilidade com outros softwares	0,15	Muitas= 5 Nenhuma=0	4	2	3	2	4
Somatória Total dos Pesos:	1,00						

Uma vez determinada a matriz "pay-off", aplica-se as equações (**5.7**), (**5.8**) e (**5.9**) para se determinar a hierarquização das opções, indicando a que possui o melhor desempenho no conjunto completo dos parâmetros de relevância:

Tabela 6.17 – Matriz "pay-off" para a seleção da melhor opção de software.

	Peso	Mapguide	Geomedia	TerraView	Spring	ArcGIS
Existe no ambiente corporativo e/ou na RPBC?	0,10	2	2	2	5	5
Existem outros trabalhos neste SIG dentro da RPBC?	0,15	2	2	2	2	5
Custo do software* (em R$)	0,10	1,67	3	5	5	1
Facilidade de Uso	0,15	5	2	3	1	4
Adaptado à Aplicação	0,20	3	1	2	0,5	3
Tempo de existência no mercado	0,15	4	5	2	4	5
Ferramentas disponíveis e compatibilidade com outros softwares	0,15	4	2	3	2	4
Somatória Total dos Pesos:	1,00					

- Programação por Compromisso (***CP***):

$$l_s = \left(\sum_{i=1}^{n} \alpha_i^S \left| \frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^* - f_{i,w}} \right|^S \right)^{1/S} \qquad \textbf{(5.7)}$$

em que l_s é a avaliação da opção ***x*** frente a todos os parâmetros propostos, conforme observado na tabela 6.17. O numerador da equação é, basicamente, uma medida de distânica, isto é, a medida da distância entre o melhor desempenho possível e a posição da avaliação da opção em questão. Assim sendo, o método ***CP*** avalia as opções segundo a distância para a opção ideal (e irreal), que é aquela que tem o desempenho máximo frente a todos os parâmetros (ZUFFO, 1998). Portanto, quanto menor a distância (e menor o resultado da somatória) melhor a alternativa. Na tabela 6.18 fornece-se o resultado da avaliação e da hierarquização de cada opção (l_s), utilizando-se o método ***CP***.

- Teoria dos Jogos Corporativos (***CGT***):

$$l_s = \prod_{i=1}^{n} \left| f_i(x) - f_{i,w} \right|^{\alpha_i} \qquad \textbf{(5.8)}$$

em que l_s é a avaliação da opção ***x*** frente a todos os parâmetros propostos, conforme tabela 6.19. A subtração indica a distância entre a opção em questão e o pior desempenho, ou ainda, a situação atual (sem a decisão que irá mudá-la), em um termo, o "*status quo*". Assim sendo, a melhor opção é a que estiver mais longe do mau

desempenho e/ou do "*status quo*". Na tabela 6.19 fornece-se a avaliação e a hierarquização das opções, utilizando-se o ***CGT***.

Tabela 6.18 – Avaliação das opções utilizando-se o método ***CP***.

	Peso	f_i^*	$f_{i,w}$	**Mapguide**	**Geomedia**	**TerraView**	**Spring**	**ArcGIS**
Existe no ambiente corporativo e/ou da RPBC?	0,100	5,00	2,00	0,1000	0,1000	0,1000	0,0000	0,0000
Existem outros trabalhos neste SIG dentro da RPBC?	0,150	5,00	2,00	0,1500	0,1500	0,1500	0,1500	0,0000
Custo do software	0,100	5,00	1,00	0,0833	0,0500	0,0000	0,0000	0,1000
Facilidade de uso	0,150	5,00	1,00	0,0000	0,1125	0,0750	0,1500	0,0375
Adaptado à aplicação	0,200	3,00	0,50	0,0000	0,1600	0,0800	0,2000	0,0000
Tempo de existência no mercado	0,150	5,00	2,00	0,0500	0,0000	0,1500	0,0500	0,0000
Ferramentas disponíveis e compatibilidade com outros software	0,150	4,00	2,00	0,0000	0,1500	0,0750	0,1500	0,0000
Resultado da Avaliação (I_s)				**0,3833**	**0,7225**	**0,6300**	**0,7000**	**0,1375**
Posição				**2º.**	**5º.**	**3º.**	**4º.**	**1º.**

Tabela 6.19 – Avaliação das opções utilizando-se o método ***CGT***.

	Peso	$f_{i,w}$	**Mapguide**	**Geomedia**	**TerraView**	**Spring**	**ArcGIS**
Existe no ambiente corporativo e/ou da RPBC?	0,100	1,50	0,9330	0,9330	0,9330	1,1335	1,1335
Existem outros trabalhos neste SIG dentro da RPBC?	0,150	1,50	0,9013	0,9013	0,9013	0,9013	1,2067
Custo do software	0,100	0,50	1,0158	1,0960	1,1623	1,1623	0,9330
Facilidade de uso	0,150	0,50	1,2531	1,0627	1,1473	0,9013	1,2067
Adaptado à aplicação	0,200	0,00	1,2457	1,0000	1,1487	0,8706	1,2457
Tempo de existência no mercado	0,150	1,50	1,1473	1,2067	0,9013	1,1473	1,2067
Ferramentas disponíveis e compatibilidade com outros software	0,150	1,50	1,1473	0,9013	1,0627	0,9013	1,1473
Resultado da Avaliação (I_s)			**1,2281**	**0,8827**	**1,1917**	**0,9644**	**1,7669**
Posição			**2º.**	**5º.**	**3º.**	**4º.**	**1º.**

- Método da Média Ponderada:

$\mathbf{I_s}=\mathbf{\Sigma}_i^n$ (avaliação opção **x** face ao parâmetro **i**)*(peso parâmetro **i**) **(5.9)**

em que I_s é a avaliação da opção x frente a todos os parâmetros propostos. Para este método a avaliação final da opção é o melhor desempenho individual desta frente a uma escala definida pelo decisor. Quanto mais próximo da nota máxima, melhor a

opção. A avaliação das opções utilizando-se este método está apresentada na tabela 6.20.

Tabela 6.20 – Avaliação das opções utilizando-se o método **Média Ponderada**.

		Peso	Mapguide		Geomedia		TerraView		Spring		ArcGIS	
			Nota	Pond	Nota	Pond	Nota	Pond	Nota	Pond	Nota	Pond
Existe no ambiente corporativo e/ou da RPBC?		0,10	2,00	0,200	2,00	0,200	2,00	0,200	5,00	0,500	5,00	0,500
Existem outros trabalhos neste SIG dentro da RPBC?		0,15	2,00	0,300	2,00	0,300	2,00	0,300	2,00	0,300	5,00	0,750
Custo do software		0,10	1,67	0,167	3,00	0,300	5,00	0,500	5,00	0,500	1,00	0,100
Facilidade de uso		0,15	5,00	0,750	2,00	0,300	3,00	0,450	1,00	0,150	4,00	0,600
Adaptado à aplicação		0,20	3,00	0,600	1,00	0,200	2,00	0,400	0,50	0,100	3,00	0,600
Tempo de existência no mercado		0,15	4,00	0,600	5,00	0,750	2,00	0,300	4,00	0,600	5,00	0,750
Ferramentas disponíveis e compatibilidade com outros software		0,15	4,00	0,600	2,00	0,300	3,00	0,450	3,00	0,300	4,00	0,600
Colocação	Avaliação do software		2º.	**3,217**	5º.	**2,350**	3º.	**2,600**	4º.	**2,450**	1º.	**3,900**

Por todos os métodos apresentados a hierarquização foi sempre a mesma, restando as opções na seguinte ordem:

1º. – ArcGIS ®;

2º. – Mapguide ®;

3º. – TerraView ®;

4º. – Spring ®; e,

5º. – Geomedia ®.

A decisão tomada foi pela adoção do ArcGis, seguindo a orientação dos Métodos de Auxílio à Tomada de Decisão adotados.

6.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL ATRAVÉS DO SIG

Para o cálculo da vazão de escoamento superficial gerado pelas precipitações utilizou-se a formulação físico-matemática proposta no item 5.2.4. Para isso, foi optou-se por conseguir dados do terreno a partir de dados aerofotogramétricos.

Os dados raster que foram utilizados, com integridade mínima preservada, não possuem boa qualidade de imagem. Existem sombras, diversidade de colorações para o mesmo tipo de cobertura de terreno e baixa resolução. Além disso estão desatualizados, não refletindo a atual configuração da planta industrial. A imagem em questão é apresentada na figura 6.13.

Figura 6.13 Imagem *raster* da planta industrial.

Existe mais um levantamento, com melhor resolução e mais recente (2002) (PETROBRAS, 2007a), que atualmente está nos formatos (.jpeg) e (.gif). Entretanto, este levantamento foi adulterado na ferramenta Microsoft Paint, incluindo logotipos corporativos, figuras geométricas, nomes e outras alterações, que impossibilitam a sua utilização para interpretação de imagens.

Embora a imagem não tenha a qualidade pretendida, selecionou-se um trecho mais homogêneo para se efetuar a interpretação dos dados "*raster*" pelo software *"ArcINFO*", por meio das ferramentas "*Spatial Analist*", dentro "*Arctoolbox*".

A interpretação foi efetuada da seguinte forma:

• importação da imagem para dentro do *ArcInfo*, georreferenciando e recortando a área de interesse (figura 6.14);

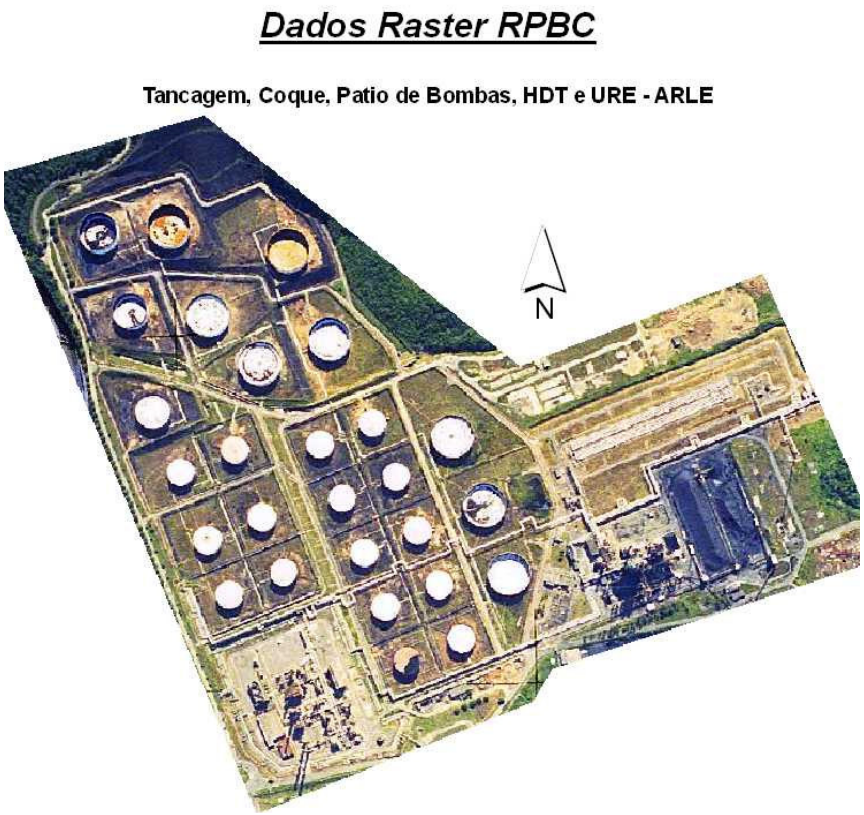


Figura 6.14 Trecho da imagem da refinaria, reconstituída de sobrevôo, que foi utilizada para interpretação.

• a criação de um padrão de interpretação, para possibilitar a divisão da imagem em classes discretas de interpretação de cores;

Com essa ferramenta, cria-se um padrão de interpretação, que depois é associado à imagem, interpretando a imagem (figura 6.15);

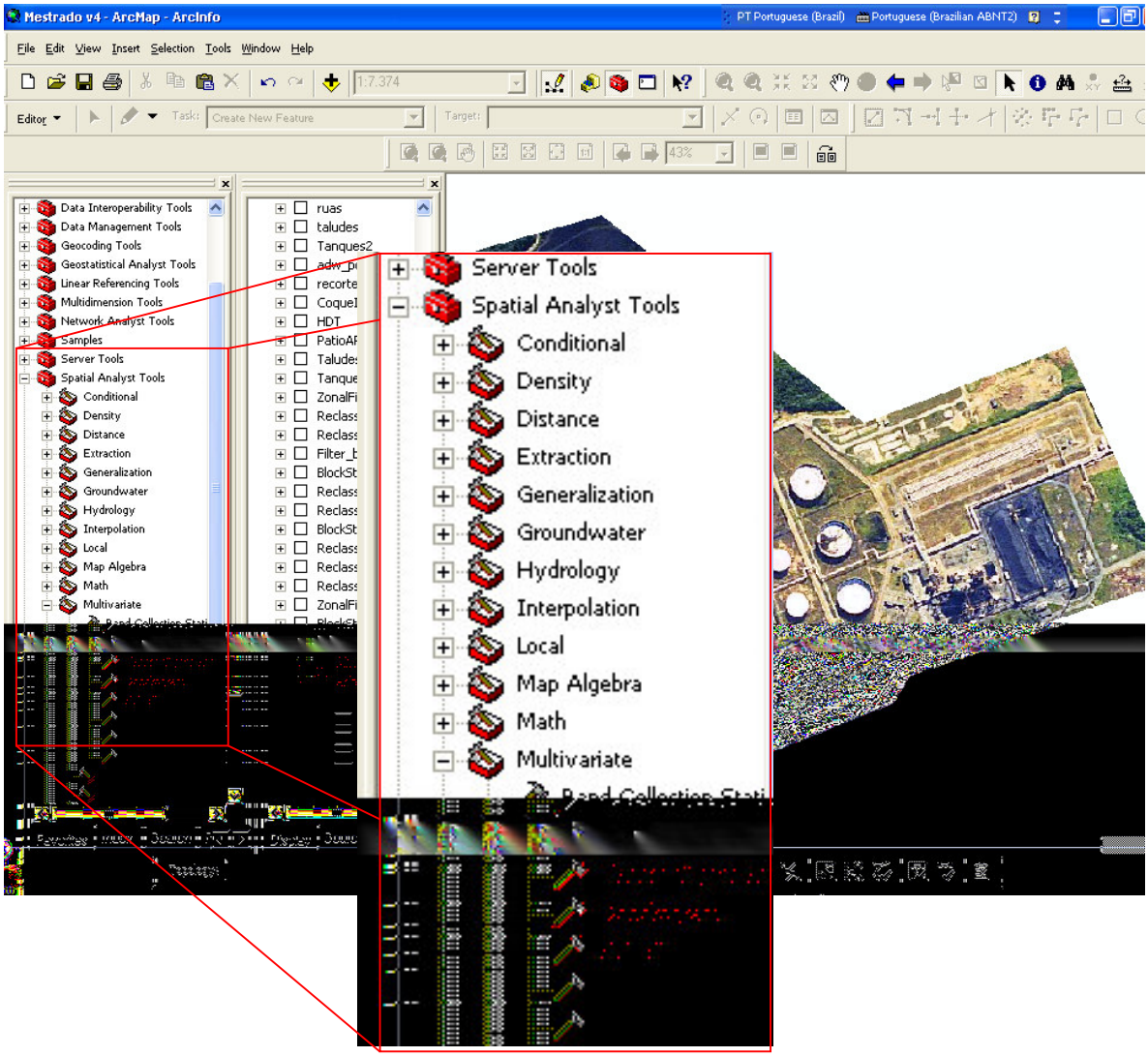


Figura 6.15 Ambiente do *ArcMap*, onde existem as ferramentas de interpretação de imagem. À esquerda, o *ArcToolbox* aberto, dentro do *Spatial Analyst Tools*, a divisão *Multivariate*, e dentro desta, as ferramenta *Iso Cluster* e *Maximum Lilkelihood*.

• após a criação do padrão pela ferramenta "*Iso Cluster"*, a ferramenta "*Maximum Likelihood"* cria uma interpretação da imagem segundo o padrão "*isocluster"* criado.

O resultado desta interpretação é a figura 6.16.

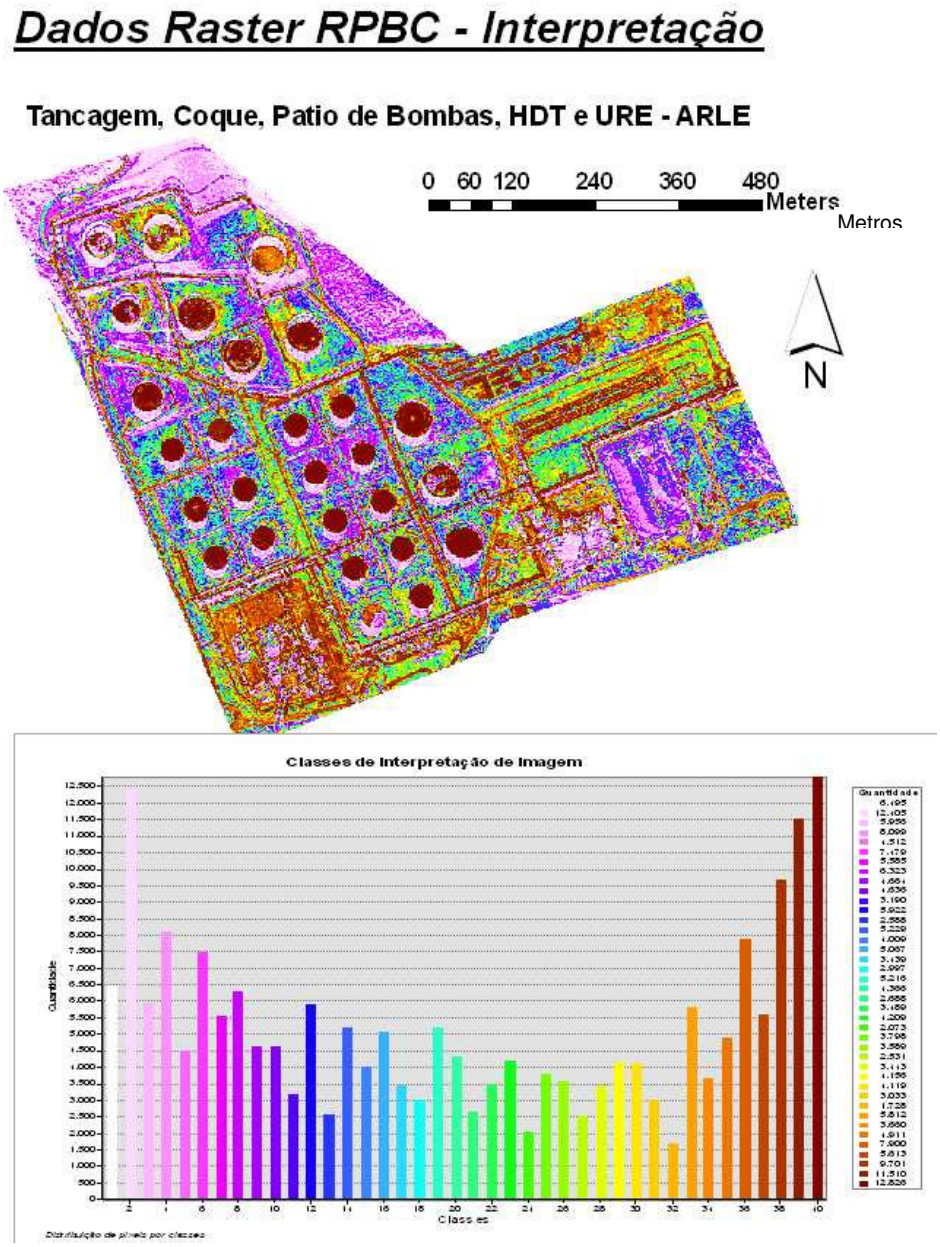


Figura 6.16 – Interpretação dos dados *raster* segundo 40 classes discretas. Abaixo, a distribuição da quantidade de *pixels* por classe de cobrimento.

É importante observar que as sombras foram interpretadas como cobertura de diferente textura do que a do restante do terreno, ficando igual a floresta densa e úmida, que absorve muita luz, a pilha de coque (que é negro e também absorve muita luz), assim como as estruturas em concreto sombreadas. A interpretação de mesma identidade para texturas diferentes, assim como a interpretação da mesma cobertura como diversas coberturas por causa da heterogeneidade de cores são problemas que ainda não puderam ser resolvidos. Entretanto, algumas possibilidades podem ser adotadas, como a utilização de interpolação entre geometrias pré-definidas (interpretadas das bases de cadastro de CAD, importadas para a aplicação) e/ou criação de polígonos a partir da imagem *raster*.

Foram determinadas quatro classes predominantes de recobrimento, tentou-se reunir a maior quantidade possível de elementos similares a essas quatro categorias, de modo a facilitar a interpretação. Esta camada de dados está ilustrada na figura 6.17.

- Aplicação do método de obtenção de C a partir de CN

Por este método, e aplicando as equações **(4.60)**, **(4.61)** e **(4.64)** tem-se:

$$S = (25400/CN) - 254 \qquad (4.61)$$

$$C = (C_p * A_p + C_i * A_i)/ A_t \qquad (4.62)$$

$$C_p = (P - 0{,}2*S)^2 / [P*(P+0{,}8*S)] \qquad (4.64)$$

Os dados para efetuar estes cálculos estão nas figura 6.17 e 6.15. Na tabela 6.20 estão resumidos os cálculos para obtenção de **C** para os diversos períodos de retorno (T_r) em questão. Observa-se que foi também utilizado o método do CN para se calcular inclusive o **C** para áreas impermeáveis (ou seja C_i), constatando que o valor de C_i está dentro do preconizado por Tucci, 1998.

Tabela 6.21 – Cálculo do Coeficiente **C** do Método Racional utilizando-se os dados de interpretação de imagens e de redes por meio do software SIG.

CN	**Qtdd de pixel**	T_r	*10*	*20*	*25*	*50*	*100*
		P	*58,8*	*66,0*	*69,3*	*76,0*	*82,8*
		S	**Cálculo Cp e Ci**				
61	14687	162,393	6,2%	8,7%	9,8%	12,1%	14,4%
69	46681	114,116	14,7%	18,0%	19,4%	22,2%	25,0%
82	88001	55,756	37,3%	41,2%	42,8%	45,9%	48,7%
98	63713	5,184	90,1%	91,2%	91,6%	92,3%	92,9%
Total de pixels	213082	**C calculado**	46%	49%	50%	52%	54%

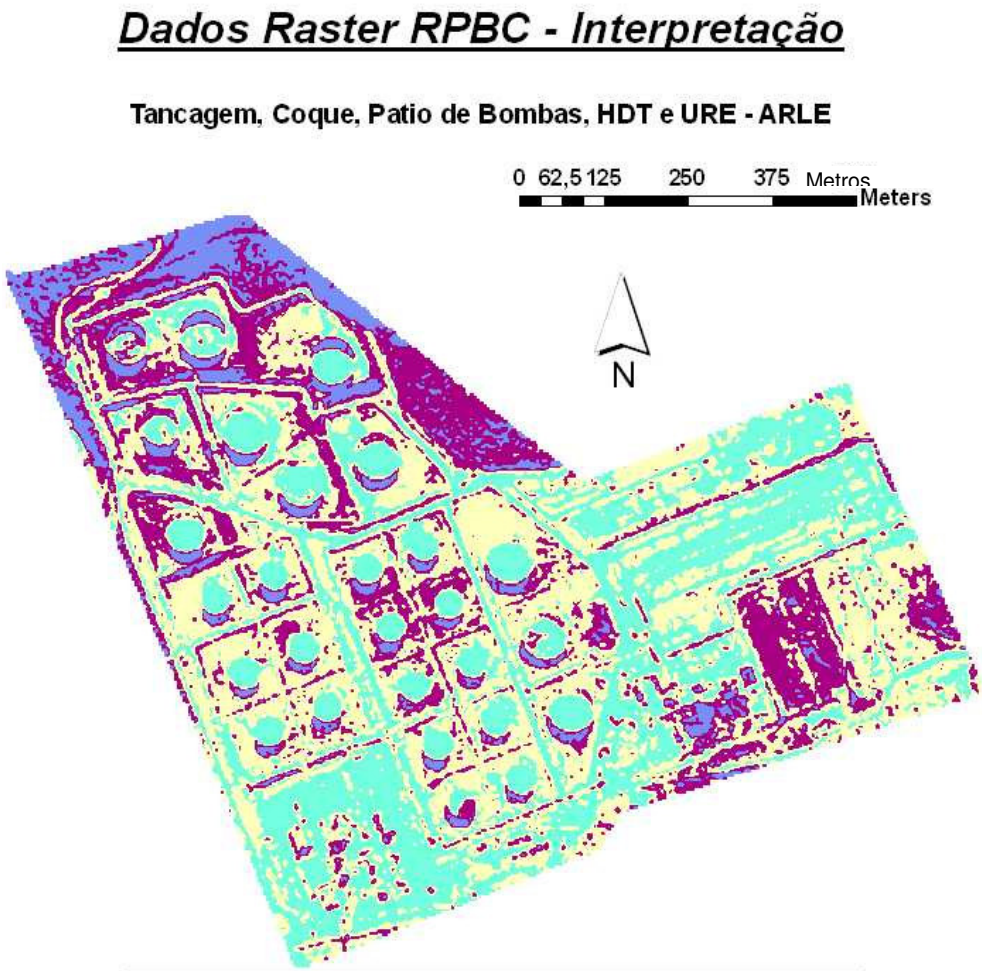


Figura 6.17 Determinação do **CN** a partir da imagem raster.

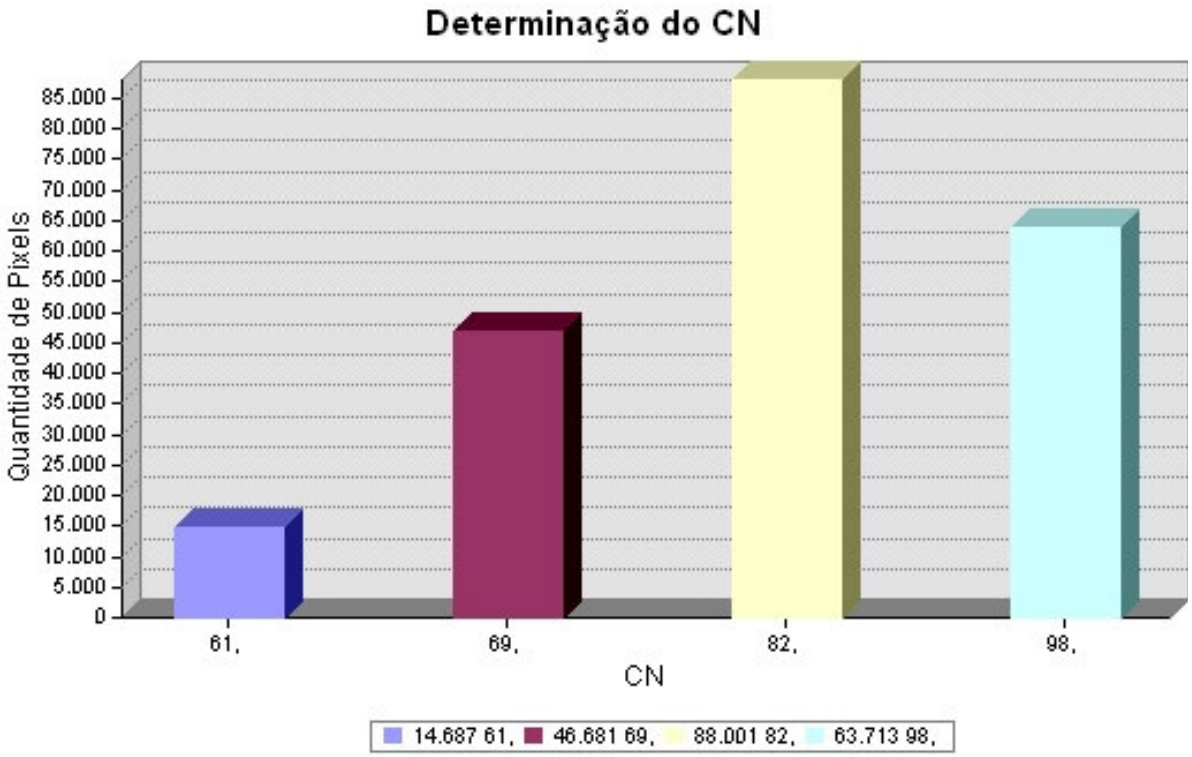


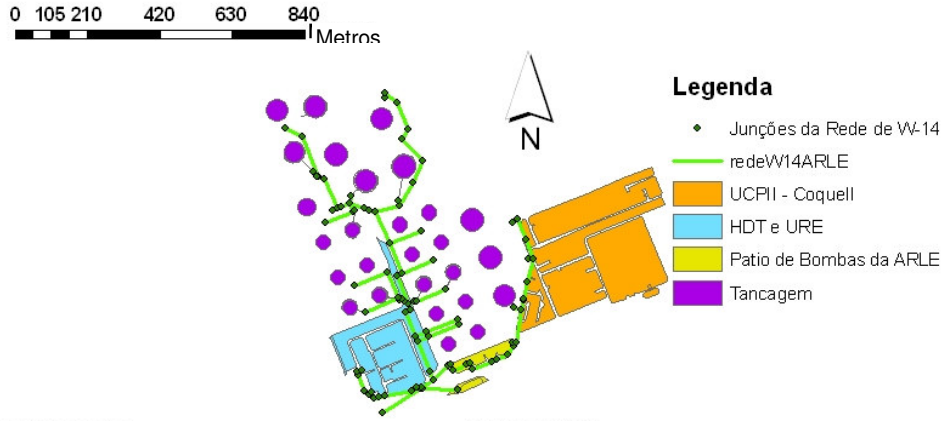
Figura 6.18 Distribuição de *pixels* por **CN** identificado.

- Determinação da área de drenagem.

Para determinação da vazão gerada, por meio da equação do Método Racional **(4.52)**, falta a determinação da área de drenagem ($\mathbf{A_d}$). Para efetuar o cálculo desta área foi utilizado o cadastro em CAD da refinaria, importado para o SIG em questão, e quando da importação foram separados as estruturas, conforme a rede de drenagem para as quais ela deveria ser encaminhada e a unidade gerencial a qual pertenciam. A figura 6.8 dá idéia destas camadas de informação.

Dados de Rede RPBC - Interpretação

Tancagem, Coque, Patio de Bombas, HDT e URE - ARLE



Tancagem

Nº do item	Perímetro	Área
9	133,517843	1418,628728
10	133,517843	1418,628727
11	133,517873	1418,629363
12	135,088041	1452,191673
13	135,088592	1452,203533
14	133,517742	1418,626584
15	133,517725	1418,626231
16	133,517879	1418,629486
17	133,517805	1418,627916
18	133,517867	1418,629248
19	133,51784	1418,628667
20	207,344964	3421,189422
21	133,517706	1418,625826
22	133,517464	1418,620676
23	133,51769	1418,625474
24	207,345067	3421,192816
25	133,517832	1418,62849
26	207,345127	3421,194807
27	160,220936	2042,81324

Pátio de Bombas da ARLE

Nº do item	Perímetro	Área
1	196,759277	1334,885013
2	287,646561	1082,72659
3	541,293285	6596,30487

URE e HDT

Nº do item	Perímetro	Área
1	2,624938	0,159002
2	510,315217	6953,980367
3	1053,116418	21967,01128
4	30,706855	46,14156
5	232,537429	665,784606
6	1474,766913	21474,17172

UCP-II ou COQUE II

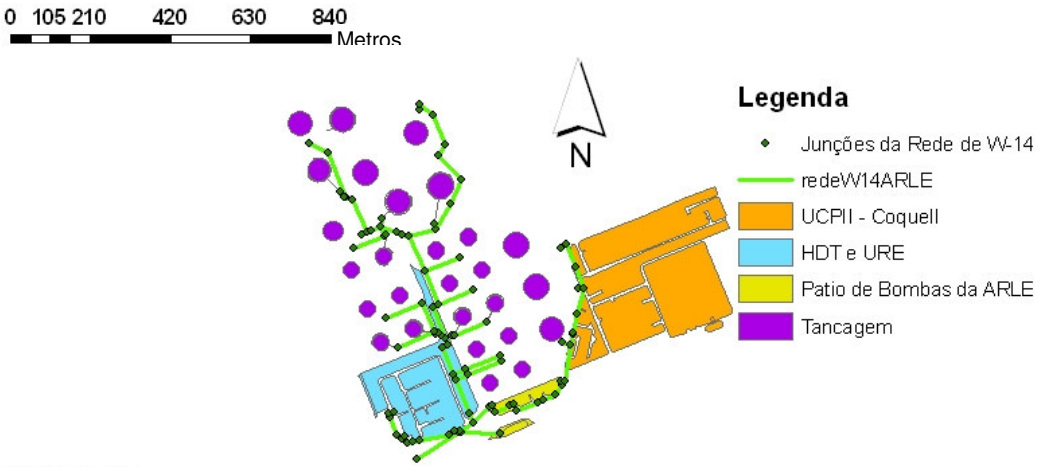
Nº do item	Perímetro	Área
1	111,479181	669,536691
2	15,38639	7,967299
3	21,411605	27,444898
4	118,841784	802,21073
5	846,846462	9571,540096
6	680,457367	19301,679355
7	99,302906	0,199387
8	12,556456	5,968026
9	194,787955	1775,538993
11	1231,042905	32046,69147
12	32,161322	61,630729
13	777,93729	35728,337975
14	1026,187015	17269,190142

Figura 6.19 Áreas e perímetros dos locais drenados para a rede W-14 na ARLE.

Observe que as áreas da tancagem não estão totalmente impressas na figura 6.10 (pois esta começa no item 9), isto porque são muitos e não seriam legíveis. Os resumos das áreas estão apresentados na figura 6.9.

Dados de Rede RPBC - Interpretação

Tancagem, Coque, Patio de Bombas, HDT e URE - ARLE



Tancagem

Nº do item	Área mínima	Área máxima	Soma das áreas
27	1418,620676	3504,629005	57516,4675

URE e HDT

Nº do item	Área mínima	Área máxima	Soma das áreas
6	0,159002	21967,011283	51107,2485

UCP-II ou COQUE II

Nº do item	Área mínima	Área máxima	Soma das áreas
13	0,199387	35728,337975	117267,9358

Pátio de Bombas da ARLE

Nº do item	Área mínima	Área máxima	Soma das áreas
3	1082,72659	6596,30487	9013,9165

Figura 6.20 Áreas resumidas por unidade gerencial – contribuição para W-14.

Aplicando a equação **(4.52)** para os dados obtidos, resultados estão na tabela 6.21.

Tabela 6.22 Cálculo das vazões pela equação do Método Racional.

Descrição	**A_d (m²)**	T_r	*10*	*20*	*25*	*50*	*100*
		I	*4,9*	*6,0*	*6,3*	*7,6*	*9,2*
		C	*46%*	*49%*	*50%*	*52%*	*54%*
Tancagem	57.516,5	**Q (m³/h)**	*7.782*	*10.106*	*10.869*	*13.701*	*17.247*
Pátio de Bombas da ARLE	9.013,9		*1.220*	*1.584*	*1.703*	*2.147*	*2.703*
URE e HDT	51.107,3		*6.915*	*8.980*	*9.658*	*12.174*	*15.325*
UCP-II ou COQUE II	117.267,9		*15.866*	*20.605*	*22.161*	*27.935*	*35.163*
Vazão total (m³/h)			***31.782***	***41.276***	***44.392***	***55.958***	***70.437***
Volume superficial em 10 min (tc) - m³			***5.297***	***6.879***	***7.399***	***9.326***	***11.740***

7. DISCUSSÃO

Diante dos objetivos propostos e dos resultados apresentados, pode-se ressaltar os principais pontos:

• com relação á equação desenvolvida, comparada a Magni e Mero, 1986, os valores de precipitação obtidos pela equação atualmente desenvolvida são sensivelmente superiores conforme demonstrado na tabela 7.1;

Tabela 7.1 – Comparação entre os valores obtidos com a equação de chuva desenvolvida neste trabalho e a de Magni e Mero, 1986.

Tr(anos)	Neste trabalho	Magni e Mero, 1986	Diferença em %
10	202,3	182,6	*10,80*
20	233,4	209,9	*11,19*
25	243,3	218,6	*11,30*
50	273,7	245,3	*11,57*
100	303,8	271,8	*11,79*
Acréscimo médio - equação presente			***11,33***

• é importante notar também que, conforme avança-se no período de retorno Tr, a distância entre os valores de precipitação de um dia para ambas as equações tendem a divergir ligeiramente (ver tabela 7.1);

• foram comparadas as alturas precipitadas obtidas a partir da equação de alturas preconizada Magni,1984 e com utilização dos coeficientes preconizados pela CETESB (que são os preconizados pelonextinto DNOS), corrigidos. Verificou-se que os coeficientes obtidos com a equação de Magni, 1984 eram superiores aos de CETESB/DNOS, mesmo após a correção proposta por Weiss, (ver tabela 7.2);

Tabela 7.2 – Comparação entre os coeficientes para cálculo das alturas precipitadas a partir da equação de chuva.

Nº de Ordem	Δt1 (min)	Δt2 (min)	CETESB Corrigido	Magni, 1984	Diferença, %
1	5	1440	0,125	0,228	83%
2	10	1440	0,185	0,269	46%
3	15	1440	0,234	0,296	27%
4	20	1440	0,268	0,318	18%
5	25	1440	0,299	0,335	12%
6	30	1440	0,321	0,350	9%
12	60	1440	0,424	0,413	-3%
72	360	1440	0,721	0,626	-13%
96	480	1440	0,781	0,690	-12%
120	600	1440	0,821	0,744	-9%
144	720	1440	0,851	0,791	-7%

- nota-se que para durações menores, a diferença entre os coeficientes é muito substancial e relevante. E mais, importante, as atuais medidas de precipitação que vêm sendo efetuadas na refinaria indicam a ocorrência de pancadas de chuvas intensas, cujas alturas precipitadas têm mais aderência com a correlação preconizada por Magni, 1984, associadas com as precipitações de um dias obtidas pela equação de chuva deste trabalho. Isto mostra que, apesar da correção de Weiss, 1964, ser válida e melhorar a aderência da curva de coeficientes da CETESB em relação ao clima particular onde a área de estudo está inserida, esta correção é insuficiente para o caso considerado;

- a comparação entre os valores obtidos a partir da equação de Otto Pfafstetter e a desenvolvida neste trabalho estão nas tabelas 7.3, 7.4, 7.5 e 7.6:

Tabela 7.3 Comparação entre os valores obtidos neste trabalho e os de Pfafstetter – 24hs

	24 hs							
	N		S			I		
	Neste trabalho		Pfafstetter, Santos		Diferença	Pfafstetter, Itapema		Diferença
T (anos)	ht,T (mm)	I (mm/min)	ht,T (mm)	I (mm/min)	((S-N)/N)	ht,T (mm)	I (mm/min)	((I-N)/N)
10	209,19	0,15	233,04	0,16	11,40%	240,00	0,17	14,73%
20	241,35	0,17	268,65	0,19	11,31%	273,98	0,19	13,52%
25	251,55	0,17	280,32	0,19	11,44%	285,36	0,20	13,44%
50	282,97	0,20	317,38	0,22	12,16%	322,27	0,22	13,89%
100	314,16	0,22	356,00	0,25	13,32%	361,93	0,25	15,20%
			Dif. média ((S-N)/N)		11,44%	Dif. média ((I-N)/N)		13,89%

Tabela 7.4 Comparação entre os valores obtidos neste trabalho e os de Pfafstetter – 30 min

	30 min							
	N		S			I		
	Neste trabalho		Pfafstetter, Santos		Diferença	Pfafstetter, Itapema		Diferença
T (anos)	ht,T (mm)	I (mm/min)	ht,T (mm)	I (mm/min)	((S-N)/N)	ht,T (mm)	I (mm/min)	((I-N)/N)
10	73,24	2,44	56,35	1,88	-23,06%	89,51	2,98	22,22%
20	84,49	2,82	62,53	2,08	-25,99%	99,81	3,33	18,14%
25	88,06	2,94	64,49	2,15	-26,76%	103,04	3,43	17,01%
50	99,06	3,30	70,54	2,35	-28,79%	112,84	3,76	13,91%
100	109,98	3,67	76,58	2,55	-30,37%	122,44	4,08	11,33%
			Dif. média ((S-N)/N)		-26,76%	Dif. média ((I-N)/N)		17,01%

Tabela 7.5 Comparação entre os valores obtidos neste trabalho e os de Pfafstetter – 15 min

	15 min							
	N		S			I		
	Neste trabalho		Pfafstetter, Santos		Diferença	Pfafstetter, Itapema		Diferença
T (anos)	ht,T (mm)	I (mm/min)	ht,T (mm)	I (mm/min)	((S-N)/N)	ht,T (mm)	I (mm/min)	((I-N)/N)
10	62,01	4,13	37,30	2,49	-39,84%	66,84	4,46	7,79%
20	71,54	4,77	41,19	2,75	-42,42%	74,54	4,97	4,19%
25	74,07	4,94	42,45	2,83	-42,69%	76,94	5,13	3,88%
50	100,33	6,69	46,37	3,09	-53,79%	84,27	5,62	-16,01%
100	111,39	7,43	50,37	3,36	-54,78%	91,43	6,10	-17,92%
			Dif. média ((S-N)/N)		-42,69%	Dif. média ((I-N)/N)		3,88%

Tabela 7.6 Comparação entre os valores obtidos neste trabalho e os de Pfafstetter – 5 min

	5 min							
	N		S			I		
	Neste trabalho		Pfafstetter, Santos		Diferença	Pfafstetter, Itapema		Diferença
T (anos)	ht,T (mm)	I (mm/min)	ht,T (mm)	I (mm/min)	((S-N)/N)	ht,T (mm)	I (mm/min)	((I-N)/N)
10	47,64	9,53	17,44	3,49	-117,13%	31,93	6,39	-32,98%
20	54,96	10,99	19,07	3,81	-119,03%	34,92	6,98	-36,47%
25	57,29	11,46	19,59	3,92	-119,52%	35,87	7,17	-37,40%
50	64,44	12,89	21,19	4,24	-120,84%	38,80	7,76	-39,79%
100	71,54	14,31	22,80	4,56	-121,87%	41,74	8,35	-41,65%
			Dif. média ((S-N)/N)		-119,52%	Dif. média ((I-N)/N)		-37,40%

Das tabelas acima infere-se que para os valores de 24hs, os valores obtidos pelo desenvolvimento das equações de Otto Pfafstetter são superiores. Entretanto, para as dimensões das microbacias que se encontram neste local, não existe tempo de concentração sequer próximo a este valor.

Para os valores de 30 min, apenas 3 valores obtidos a partir do posto meteorológico de Itapema se encontram ligeiramente superiores aos obtidos neste trabalho. Para os valores obtidos para 5 e 15 min, todos os obtidos neste trabalho são razoavelmente superiores. Em especial, os valores obtidos para os tempo de concentração de 5 min do posto de Santos são menos da metade dos obtidos neste trabalho. Como a ordem de grandeza dos tempos de concentração da refinaria giram em torno de 10 a 20 minutos, os erros em adotar a formulação de Otto Pfafstetter levam ao subdimensionamento das instalações, assim como à perda de confiabilidade do sistema;

• o valor do tempo de concentração obtido pelo método *"Califórnia Culverts Pratice"* foi sensivelmente mais alto, quase 50%, em relação ao obtido pelo método da Onda Cinemática (ver p.112). Isto ressalta a importância de se utilizar este último método, pois a aceleração que a lâmina d'água precipitada provoca no escoamento não pode ser desprezada, principalmente quando são tratados locais onde as precipitações são particularmente intensas, como as da região da Baixada Santista;

• a interpretação das imagens dentro do ambiente SIG precisa de dados muito bons de entrada, isto é, imagens obtidas e corrigidas adequadamente, para poder apresentar os excelentes resultados preconiczados. Deve-se associar a aplicação existente, dentro do *"software"* escolhido, rotina programável de forma a permitir a homogeneização da superfície dentro de máscaras-polígonos onde a textura é conhecida. Entretanto, mesmo com muitas imprecisões associadas foi possível obter um tratamento de imagens que permitiu exemplificar a aplicação do conceito e da ferramenta;

• a obtenção do coeficiente de escoamento superficial C para o método racional a partir de CN mostrou ser particularmente interessante dentro do ambiente SIG. É fácil associar as tabelas de dados às imagens e aos dados geométricos, e não é necessário saber as áreas envolvidas: a proporção entre os *pixels* reconhecidos permite a plena aplicação do método preconizado por Tucci, 2000;

• a importação dos dados da rede ocorreu sem problemas significativos. Os problemas reais que impediram a plena utilização das ferrmentas de rede do *"software"* foram: a falta de cadastro das redes enterradas da RPBC, as redes cadastradas

possuem muita incidência de declividades negativas e trechos afogados, o que impede a utilização de equações como a de Manning, ou ainda, a equação universal para escoamento livre, pois o trecho afogado se torna trecho com escoamento forçado, com bolsões de ar interno. O *"software"* reconheceu a rede interligada e contínua, entretanto não conseguiu dar direções de fluxo, pois as confusas declividades assim não permitem (ver figura 6.1);

- fisicamente este resultado é importante, pois provém de outro fenômeno indesejado: as declividades negativas são muitas vezes resultado dos recalque sofridos por estas redes de drenagem. Estas redes já estão sendo analisadas e existem estudos para se recuperar/reparar estas redes. O resultado obtido pode ajudar a reforçar a necessidade de recuperação/reparação;
- as rotinas iterativas que foram utilizadas para aplicar as equações dos métodos propostos deverão ser programadas em VBA dentro ambiente SIG, pois o *"software"* não possui suporte amigável para introdução de rotinas iterativas com equações complexas. Assim os resultados foram obtidos com o suporte de planilhas excel;
- os volumes obtidos de precipitação e de vazão gerados assustam e vêm reforçar o sentimento dos gestores e operadores do sistema, quais sejam:
    - que o sistema existente é dependente dos inúmeros diques existentes na refinaria, que são os diques e sub-diques de tanques e outras tantas piscinas de retenção dentro das unidades de processo, tratamento e/ou administrativas;
    - que mesmo chuvas de tempo médio de recorrência, 10 anos, provocam vazões altíssimas, e que por vezes terminam por saturar estes sistemas de drenagens (redes de W-4 e W-14), que possuem bacias de retenção/detenção para emergência (vulgarmente conhecidos como piscinões), uma vez que ETDI da RPBC trata no máximo, um total de 1400 m^3/h, valor muito inferior aos 31.782 m^3/h gerados pela referida chuva de $\mathbf{T_r}$ = 10 anos;
- as ampliações que estão sendo propostas na refinaria, que totalizam só na área leste da RPBC, e para a nova carteira de diesel, aproximadamente mais 40.000 m^2

de área impermeabilizada junto à área de tancagem deverão ser mais cuidadosamente pensadas, para não resultar na inviabilização da operação da refinaria por causa da falta de capacidade da infra-estrutura de drenagem que deve ser a ela associada. Estes 40.000 m², conforme o método racional resultará em:

$\mathbf{Q_d}$ = C * I * A = 0,46* 4,9 * 40.000 * 0,06 = 5.412m³/h;

Q = 5412/6 = 902 m³

Para $\mathbf{T_r}$= 10 anos e $\mathbf{t_c}$ = 10 min;

• o volume das redes, somados, perfaz um total de 508 m³ (valor retirado dos dados do modelo da rede, com um exemplo das planilhas obtidas na p. 111), e as 90 junções ou poços de visita/inspeção, têm um volume médio estimado de 0,8 m³, perfaz mais aproximadamente 72 m³. Assim as redes conseguem reservar, em um pico de cheia quase 600 m³. Algo entorno de 10% dos volumes gerados por uma chuva de 10 e de 20 anos de retorno (para os volumes gerados por chuva, ver tabela 6.21). Assim, estas redes conseguem reservar apenas o 1º minuto de uma chuva crítica (de período de retorno de aproximadamente 10 a 20 anos) de 10 minutos. Existe outro tanque que armazena e abate o pico de cheia, o P-8404, com cerca de 4.000m³ (volume máximo). Se for acrescentado mais aproximadamente 15% a 10% (isto é, o resultado obtido logo acima, de 5.412 m³/h, em relação às vazões de período de retorno de 10 a 20 anos, respectivamente, 31.782 m³/h e 41.276 m³/h) a esta vazão e volume gerado, certamente estará sendo reduzido o tempo de manobra para a prevenção de transbordamentos e de perda de controle do sistema. As conseqüências desta perda de controle podem ser desastrosas; e,

• a análise da infra-estrutura de transporte, de saneamento básico, de prevenção de riscos deve ser exaustivamente analisada antes de ser decidido o investimento do capital em ampliações e aumento de impermeabilizações, porque a falta de infra-estrutura para comportar as atividades antrópicas e industriais pode inviabilizar a operação e concretização do investimento. E mais, com as atualizações da legislação ambiental vigente, as visíveis mudanças climáticas e as alterações do "*status quo*" do conhecimento e da ciência, as premissas de análise de projetos e

investimentos devem ser constantemente analisadas, revisadas e atualizadas, alinhando-se com as fronteiras tecnológicas do conhecimento.

8. CONCLUSÕES

Em relação aos objetivos inicialmente propostos, tem-se que:

- os mesmos não foram atingidos integralmente uma vez que a modelagem do banco de dados dentro do software SiG não pode ser concluída ainda;
- o arcabouço lógico proposto faz sentido, isto é, o fluxograma do modelo proposto pela figura 5.3 e as camadas de informação que foram indicadas na tabela 5.9 possuem aderência co a representação da realidade;
- o arcabouço físico-matemático proposto é consistente e pode ser aplicado a situação das drenagens de efluentes e águas pluviais da refinaria RPBC;
- a ferramenta SIG escolhida é adequada à aplicação proposta;
- os altíssimos volumes obtidos de efluentes para a área piloto, ou seja, para uma pequena parte da refinaria, indicam que é extremamente necessária a revisão da política de gestão destes efluentes, aumentando a segregação destes efluente, minimizando a geração, aumentando o reuso dos mesmos dentro do processo produtivo; e,
- que o ritmo de investimento em ampliações do parque industrial, aumentando as impermeabilizações dentro do ambiente industrial, num local onde as precipitações bastante intensas, deve ser pautado pela mudança na gestão das questões dos recursos hídirocos, sob pena de, em breve, ao sobrecerregar excessivamente os sistemas de drenagem e de contingência/emergência estes venham a inviabilizar a operação de toda a planta industrial.

RECOMENDAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTO FUTURO DO TRABALHO DE DOUTORADO:

- término da modelagem do banco de dados dentro do software *ArcINFO*;
- introdução da simulação das válvulas dos diques de tanques, das estações elevatórias de efluentes nas redes;
- introdução das vazões geradas localmente pelos processos industriais, e que são lançadas nos sistemas de W-4 e W-14, para resultar em modelo representativo de todo o processo;
- simulação da impermeabilização das superfícies pelas novas instalações que estão sendo executadas pela Petrobrás na RPBC;
- atualmente, a RPBC está implantando alguns medidores/totalizadores de vazões, e poder-se-á além de simular as vazões, efetuar a calibração do modelo;
- proposição de medidas de segregação de efluentes, de amortização de picos de cheias, de reuso de efluentes, minizando os volumes de tratamento; e,
- proposição das tecnologias para recuperação/reparação dos sistemas de drenagens de efluentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOVAY, M. et al. **Juventude, Violência e Vulnerabilidade Social na América Latina: Desafio para Políticas Públicas.** Brasília: UNESCO/BID, 2002. Disponível em:< http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001271/127138por.pdf >. Acesso em: 15 dez. 2007. 184 p.

ALEM Sº, P.; TSUTIYA, M.T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 2. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP, 2000. 548 p.

[ANA] BRASIL. Agência Nacional das Águas. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2007. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/Catalogo_Publicacoes/2_volume_2_ANA.pdf >. Acesso em: 22 agosto de 2007.

BANA E COSTA, C.A.; STEWART, T.J.; VANSNICK, J. C. Multicriteria decision analysis: Some thoughts based on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings. **European Journal of Operational Research**, Amsterdan, 99, p. 28-37, 1997.

BLAINEY, Geoffrey. **Uma breve história do mundo**. Versão brasileira. São Paulo: Fundamento, 2007. 342 p.

BOTELHO, M. H. C. **Águas de Chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 240 p.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Anuário 2000**. Acesso em: 5 dez. de 2007. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/>

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de Sistema de Informação Geográfica**. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996. 197 p.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302 p.

CAVALCANTI, C. Uma tentativa de caracterização da economia ecológica. **Ambiente e Sociedade**: UNICAMP/NEPAN, Campinas, vol. VII, nº 1, p. 149-156, jan./jun. 2004.

[CETESB] SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo – Série de Relatórios: Anexo V – Índice de Qualidade das Águas**. São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iap.asp>. Acesso em: 5 jul. 2007.

[CODESP] COMPANHIA DOCAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Santos e suas características - Série histórica de movimentação.** Santos, SP: Porto de Santos, 2007. Acesso em: 5 dez. 2007. Disponível em: <http://www.portodesantos.com/doc/nav.php?a=historico_carga&d=negocios>

COUTO, J. M. **Entre estatais e transnacionais: o pólo industrial de Cubatão**. Tese (Doutorado em Ciências Econômicas). Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000289880>. Acesso em: 22 dez. 2007.

CRUZ, P. T. *et al*. Concepts on the design of dams for debris-flows mitigation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES (ISL), 9º, 2004, Rio de Janeiro. **Anais**. Londres: ISL.

CRUZ, P.T. et al. “Debris Flows” em Cubatão, S. Paulo: Obras de Controle e Impactos Ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNCIA, 11º, 1998, Brasília. **Anais**. Brasília: XI COBRAMSEG, 1998, vol. II, p. 1265-1273.

[DECC] NEW SOUTH WALES GOVERNMENT(Australia). Department of Environment and Climate Change. **Stormwater first flush pollution.** Disponível em: <http://www.environmhtent.nsw.gov.au/mao/stormwater.htm>. Acesso: 26 mar. 2007.

[DAEE] SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia do Governo do Estado de São Paulo. **Dados Pluviométricos e Dados Pluviográficos**. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu>. Acesso em: 12 jan. 2007.

[DAEE] SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia do Governo do Estado de São Paulo. **Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/ecisp/PlugDAEE.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2008.

[DAEE] SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia do Governo do Estado de São Paulo. **Dados Pluviométricos e Dados Pluviográficos**. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu>. Acesso em: 12 jan. 2007.

DYER, J.S. *et al.* Multicriteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: The next ten years. **Management Science.** Evanston, IL, USA, vol. 38, p 645-654, 1992.

ELMAHDI, A.; KHEIRELDIN, K.; HAMDY, A. **GIS and Multi-Criteria Evaluation: Robust Tools for Integrated Water Resources Management**. Johannesburg, South Africa: Water International, © Intenational Water Resources Association. 2006, Vol. 31, nº 4, pg. 440-447.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. Redlands, USA Disponível em: <http://www.esri.com>. Acesso em: jul., ago. e dez. 2007.

ESTEVES, R. L. **Estratégias Metodológicos da Bacia Escola para o Gerenciamento Ambiental da Drenagem Urbana**. São Carlos: Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), 2003. Relatório Final. Disponível em: <http://www.shs.eesc.usp.br/pessoal/docentes/technotes/31/Esteves-Relatorio-PIBIC-CNPq-EESC-USP-Sao%20Carlos-2003.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2007. 61 p.

[FUNDESPA] FUNDAÇÃO DE ESTUDOS E PESQUISAS AQUÁTICAS. **Estudos e Diretrizes para Otimização da Captação de Água pela Refinaria Presidente Bernardes no Rio Cubatão**. São Paulo: 2007. Relatório Técnico.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. 292 p.

GOOGLE. **Imagens da área de Cubatão**. Acesso em: 10 maio 2007. Disponível em: < kh.google.com>

GUTBERLET, J. **Cubatão: Desenvolvimento, Exclusão Social e Degradação Ambiental**. Tradução Kay-Uwe Gutberlet. Ed. rev. São Paulo: EDUSP/Fapesp, 1996. 248 p.

HEZOLINEM. **Catálogo do Promark**. Acesso em: 22 mai. 2007.Disponível em: <http://www.hezolinem.com/anexos/produto430/Informativo%20Promark%203.pdf>

[IBGE] BRASIL. Instituto Brasileiro de geografia e Estatística. Brasília (IBGE). **Pesquisa de Informações Básicas Municipais**. Acesso em: 11 jul. 2007. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/paisesat/main.php>.

[INPE] BRASIL. Ministério da Ciência e da Tecnologia. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.** Acesso em: 12 jul. 2007.Disponível em:< htttp://www.inpe.br>.

LANÇA, R. M. M. **Contribuição para o Estudo de Cheias Recorrendo a um Modelo Distribuído.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Solo e Água). Universidade de Évora, Universidade Nova de Lisboa, Faro, Portugal, 2000. Acesso em: 18 maio 2007. Disponível em: <http:// www.ualg.pt/~ruilanca>.

MACHADO, C. J. S. Recursos Hídricos e Cidadania no Brasil: Limites, Alternativas e Desafios. **Ambiente e Sociedade**: UNICAMP/NEPAN, Campinas, vol. VI, nº 2, p. 121-136, jui/dez 2003.

MAGNI, N. L. G. **Estudo Pontual de Chuvas Intensas: Proposição e análise de uma metodologia de estudo das relações intensidade-duração-freqüência definidas para um ponto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 1984.

MAGNI, N. L. G.; MERO, F. **Precipitações Intensas no estado de São Paulo**. São Paulo: EPUSP e CTH, 1986, p. 95 apud THOMAZ, P. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais**. São Paulo: Navegar, 2002. 475 p.

MASSAD, F et al. **Concepção e função das obras de controle de Debris Flows construídas em Cubatão**, S. Paulo, Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOTECNIA, 9º, vol. III, p. 155-164, 2004, Aveiro, Portugal. Actas: Casos de Obras.Aveiro, Portugal, 2004.

MARTINSON, B., THOMAS, T. **Quantifying the First Flush Phenomenon**. In: INTERNATIONAL RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS CONFERENCES, 12th., Nova Delhi, Ìndia, 2005. Anais eletrônicos. Acesso em: 26 mar. 2007. Disponível em: http://www.eng.warwick.ac.uk/dtu/rwh/index.html.

METCLAF & EDDY, INC. **Wastewater Engineering: Collection, Treatment, Disposal**. New York: MacGraw-Hill, 1991. 1334 p.

NEGRI, B. **Concentração e desconcentração industrial em São Paulo (1880-1990)**. Campinas: UNICAMP, 1996. 242 p.

OLIVEIRA, V. S. **Integração SIG e Modelos de Simulação de Áreas Inundáveis: Bacia do Rio Paranaguá**. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Infra-Estrutura de Transportes, Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica). Instituto Tecnológico da Aeronáutica, Campo Montenegro, São José dos Campos, SP, 2003. 124 p.

OLIVEIRA, D. P. R. **Planejamento Estratégico: Conceitos, Metodologias, Práticas**. 15. ed. São Paulo: Atlas, 2001. 303 p.

[ONU] Organização das Nações Unidas. **Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) - Índice de Desenvolvimento Humano**. Brasília, DF: PNUD, 2004. Acesso em: 6 dez. 2007. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/idh/> e <http://www.pnud.org.br/atlas/instalacao/index.php>

PALINI, R. C. C., ZUFFO, A. C. **Proposição de alternativas estruturais e não estruturais para o combate à enchentes na Zona Norte do Município de Osasco**. In: ASSEMBLÉIA NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS SERVIÇOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO (ASSEMAE), 36º, 2006, Joinville. Anais eletrônicos. Joinville: ASSEMAE, 2006. CD-ROM.

PALINI, Rita C. C. **Ferramenta de Identificação das Perdas de Desempenho em Sistemas de Gestão**. Monografia (MBA em Tecnologia e Gestão da Produção de Edifícios). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. 63p.

PEREIRA, J. S.; LIMA, M. (org.). **Petróleo, Energia Elétrica, Siderurgia: a luta pela emanciapação – um depoimento de Jesus Soares Pereira sobre a política de Vargas.** 1ª. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1975. 197 p.

[PETROBRAS] PETROLEO BRASILEIRO S.A. **Banco Digital de Vídeos**. Cubatão, SP: 2007. Disponível em:< http://www.rpbc.petrobras.com.br/portalnew/>. Acesso em: 12 nov. 2007a.

_____. **História da Petrobras**. Rio de Janeiro, 2000. Disponíveis em: <http://www2.petrobras.com.br/minisite/refinarias/portugues/ refinarias/rpbc.asp> e <http://www2.petrobras.com.br/Petrobras/portugues/historia/index.htm>. Acesso em: 15 jul. 2007b.

_____. **ABAST – PE – 3AT – 00178-B – Avaliação de Empreendimentos.** Rio de Janeiro: 2007c.

_____. **ABAST – PE –4AT – 00173-0 – VIP – Revisões de Construtibilidade.** Rio de Janeiro: 2007d.

_____. **ABAST – PG – 2AT – 00044 – 0 – Gestão Ambiental de Recursos Hídricos e Efluentes do Abastecimento.** Rio de Janeiro: 2007e.

_____. **MG-1AT-00001-E - Manual do Modelo de Gestão do Abastecimento.**. Rio de Janeiro: 2007f.

_____. **N-2632 – A – Elaboração de Informações Básicas de Empreendimentos de Transporte**. Rio de Janeiro: 2007g.

_____. **N-2782 – A – Critérios para Aplicação de Técnicas de Avaliação de Riscos.** Rio de Janeiro: 2007h.

_____. **ABAST – PG – 3ATN – 00036 – Sistemática de Seleção e Implantação das Práticas de Incremento de Valor – VIP's**. Rio de Janeiro, RJ: 2006a.

_____. **N-2065 – B – Elaboração de Informações Básicas de Empreendimentos de Abastecimento**. Rio de Janeiro: 2006b.

_____. **N-2622 – B – Resíduos Industriais.** Rio de Janeiro: 2006c.

_____. **N-2810 – A – Gerenciamento de Recursos Hídricos e Efluentes.** Rio de Janeiro: 2005.

_____. **N-1601 – B – Construção de Drenagem e de Despejos Líquidos em Unidades Industriais**. Rio de Janeiro: 2003.

_____.**N-0038 – E – Critérios para Projeto de Drenagem, Segregação, Escoamento e Tratamento Preliminar de Efluentes Líquidos de Instalações Terrestres**. Rio de Janeiro: 2000.

_____. **N-1674 – C – Projeto de Arranjo de Refinarias de Petróleo**. Rio de Janeiro: 1998.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas Intensas no Brasil.** Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras e Saneamento e Ministério da Viação e Obras Públicas, 1957 apud GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. 292 p.

[PLSMS] CONGRESSO DE MEIO AMBIENTE DO ABASTECIMENTO NA PETROBRÁS, 1º, Programa de Liderança em Segurança, Meio Ambiente e Saúde. **Apresentações**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2007. CD-ROM.

POMPÊO, M. L. M. **O disco de Secchi**. São Paulo: USP, Instituto de Biociências,Departamento de Ecologia, 1999. Acesso em: 24 nov. 2007. Disponível em: <http://mpompeo1.sites.uol.com.br/>

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica.** 3. ed. São Carlos, SP: EESC-USP/Projeto REENGE, 2004. 519 p

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: Teoria e Prática.** São Paulo, Capital: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

[SEADE] SÃO PAULO (Estado). Fundação SEADE. **Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS)**. Disponível em: <http://www.seade.gov.br/produtos/ipvs/apresentacao.php> . Acesso em: 5 jan. 2008

SILVA, F. A. S.; RAO, T. V. R. Regimes pluviais, estação chuvosa e probabilidade de ocorrência de veranicos no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, vol. 6, 2002, n. 3, p. 440-446.

SILVEIRA, A. L. L. Equação para os coeficientes de desagregação de chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, vol. 5, dez./2000, n.4, p. 143-147.

TEIXEIRA, A. L. A.; CHRISTOFOLLETI, A. **Sistemas de Informação Geográfica: Dicionário Ilustrado**. São Paulo, Capital: Hucitec, 1997. 244 p.

THOMAS, J. E. (org.). **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência / PETROBRAS, 2004. 271 p.

TOMAZ, P. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais**. São Paulo, Capital: Navegar, 2002. 475 p.

TUCCI, Carlos E. M. **Modelos Hidrológicos.** 1. ed.. Porto Alegre: Ed. Universidade / UFRGS / Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 1998. 680 p.

[UFRGS] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Instituto de Pesquisa Hidráulica (IPH)**. Acesso em: 13 jul. 2007. Disponível em: http:// www.iph.ufrgs.br.

[UFRJ] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. **Medição da Transparência da Água com disco de Secchi**. Rio de Janeiro. Acesso em: 24 nov. 2007. Disponível em: <http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/secc.htm>.

[UP-FF] UNIVERSIDADE DO PORTO, FACULDADE DE FARMÁCIA. **Benzeno e Derivados (Dicionário)**. Cidade do Porto, Portugal: 2004. Acesso em: 9 dez. 2007. Disponível em: <http://www.ff.up.pt/toxicologia/monografias/ano0304/Benzeno/DICIONARIO.htm>.

[USACE]. United States Army Corps Of Engineerirng. **Hidrologic Engineering Center.** Acesso em: 22 maio 2007. Disponível em: <http://www.hec.usace.army.mil/>2007a

_____. HEC-GeoRAS: Gis tools for support HEC-RAS using ArcGIS. User's Manual. Acesso em: maio 2007. Disponível em: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-GeoRAS4_UsersManual.pdf>2007b

[USEPA] United States Environmental Protection Agency. **Federal Water Pollution Control Act - As Amended Through P.L. 107–303**.United States of America: 2002. Acesso em: 05 set. 2007. Disponível em: <http://www.epa.gov>.

VITORINO, V. I. Monopólio, conflito e participação na gestão dos recursos hídricos. **Ambiente e Sociedade**, Campinas, SP, vol. VI, jul/dez 2003, n. 2, p. 47-63.

YOUNG, C. B. e MCENROE, B. M. *"Sampling Adjustment Factors for Rainfall Recorded at Fixed Time Intervals"* **Journal of Hydrologic Engineering© - American Society of Civil Engineering (ASCE),** Reston, Virginia,USA, sep/oct 2003, p. 294-296.

WILKEN, P. S. **Engenharia de Drenagem Superficial**. São Paulo, Capital: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB): 1978. 478 p.

ZUFFO, A. C.; GENOVEZ, A. M. **Método Multicriterial utilizado como indicador da qualidade de água.** In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDRÁULICA, XXII, Ciudad de Guavana, 2006. Anais de Congresso. Ciudad de Guavana, Venezuela: 2006.

ZUFFO, A.C. **As Equações de Chuva são eternas?**. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDRÁULICA, XXI, 2004, São Pedro, SP. **Anais de Congresso**. Campinas, SP: Unicamp, 2004.

_____. **Relatório de Causalidades das enchentes nos Distritos de Sousas e Joaquim Egídio.** Campinas, SP: UNICAMP, 2002. Relatório Técnico.

_____.**Seleção e Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento Ambiental de Recursos Hídricos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia São Carlos, São Carlos, 1998.

GLOSSÁRIO

Anticiclone: região característica de alta pressão atmosférica, origem de massas de ar e grande movimentos da atmosfera (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Área de tancagem: área que compreende os tanques e esferas utilizados para estoque de matéria-prima, produtos intermediários e acabados, slop, “água ácida”, e outros elementos produzidos numa refinaria de petróleo (PETROBRAS, 2003).

Áreas de processo: são as áreas nas quais são implantadas asunidades de processo do petróleo, de seus derivados (para tratamento), e dos produtor intermediários. Alguns exemplos: unidade de destilação atmosférica, unidade de destilação a vácuo, unidade de fracionamento catalítico, unidades de reforma de atmosférica, unidade de reforma catalítica, dentre outros(PETROBRAS, 2003).

Áreas de tratamento de produto: são unidades que tratam o produto acabado de modo a enquadrá-los seja nas exigências legais vigente, seja nas necessidades de mercado consumidor, tais como unidade de remoção de enxofre, de hidrotratamento, etc.. (PETROBRAS, 2003).

Áreas de Preservação Permanente (APP) e Ambiental(APA): Áreas que se encontram protegidas pelo Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), o qual, através de diversas leis, decretos e resoluções determina porções do território que são prioritárias, por suas características peculiares, para preservação da flora e fauna ori1ginais, do relevo original, dos corpos d’água originais, dentre outros.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. 292 p.

PETROBRAS. **N-1601 – B – Construção de Drenagem e de Despejos Líquidos em Unidades Industriais.** Rio de Janeiro, RJ, 2003.

Áreas Verdes: áreas cujas coberturas predominantes são as vegetais;

Ciclone: regiões de baixa pressão atmosférica, recebedoras das massas de ar e ventos originados nas regiões de anticiclone (GARCEZ; ALVAREZ, 1988)..

Chuva Crítica: precipitação cuja altura medida é a que será utilizada em projeto;

Coeficiente de "run-off" (C): Coeficiente que matematicamente representa a parcela da precipitação que escoa superficialmente (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Cobrimento: tipo de revestimento superficial do solo. Pode ser: gramíneas, asfalto, terra batida, pedrisco, etc.. (BOTELHO, 1998)..

Dessalgadoras: equipamentos responsável pela retirada da salmoura (água, com saís e compostos orgânicos) (THOMAS, 2004).

Equação de Chuvas: formulação matemática que relaciona a altura precipitada em função de variáveis tempo, tais como período de retorno, tempo de concentração e tempo de precipitação). (TOMAZ, 2002).

Estação de resíduos sólidos: em uma refinaria existem resíduos sólidos oriundos das limpezas de equipamentos, tais como borras e incrustações, e existem resíduos oriundos dos processos de obsolescência de equipamentos e materiais. Quando são trocados não podem ser simplesmente descartados, pois possuem contaminações impregnadas em suas paredes e revestimentos que não podem entrar em contato com o meio ambiente (enxofre, benzeno, nafta,...), sob pena de grande contaminação do mesmo. Estes resíduos sólidos devem ser encaminhados para uma estação onde terão o tratamento adequado para cada tipo de contaminação (PETROBRAS, 2000).

Estação de tratamento de despejos industriais: é a estação responsável pelo tratamento dos efluentes líquidos contaminados e oleosos (PETROBRAS, 2000)

_____

BOTELHO, M. H. C. **Águas de Chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 240 p.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. 292 p.

PETROBRAS. **N-0038–E– Critérios para projeto de drenagem, segregação, escoamento e tratamento preliminar de efluentes líquidos de instalações terrestres**. Rio de Janeiro: 2000..

THOMAS, J. E. (org.). **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência / PETROBRAS, 2004. 271 p.
TOMAZ, P. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais**. São Paulo, Capital: Navegar, 2002. 475 p.

Global Positioning System (GPS): É um sistema de localização geográfica que provê a medição de latitude, longitude e altura em qualquer ponto da terra, através da intercomunicação de satélites e equipamentos em terra (CÂMARA, 1996).

Hidrograma: Representação gráfica e matemática das vazões geradas por uma chuva em função das alturas precipitadas e do tempo de precipitação (WILKEN, 1978).

Hidrograma Unitário: è o hidrograma desenvolvida para uma área unitária hipotética da bacia (WILKEN, 1978)

Hidrologia: Estudo do comportamento da água na forma como se encontra na natureza: ora em precipitações, ora em canais naturais, ora em lagos, excluindo-se aquelas que se encontram nos oceanos (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Impermeabilização: é a propriedade de uma superfície que consegue impedir a percolação de água, outro líquido ou gás, através dela mesma. Embora muito difícil de se encontrar na natureza uma superfície que seja absolutamente impermeável, isto é, cuja permeabilidade a determinado líquido ou gás é 0, ou ainda que 0% do gás ou líquido em questão não consegue atravessar a fase ou membrana ou superfície (TOMAZ, 2002).

Levantamento Planialtimétrico: conjunto de medidas de distâncias horizontais e alturas que representam, aproximadamente, o relevo do terreno;

Ambiente: Conjunto de elementos bióticos e abióticos que cercam e permeiam uma unidade espacial. Encerra em si caracterísiticas únicas e que podem ser descritas em diversas matérias e níveis (SANTOS, 2004).

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de Sistema de Informação Geográfica**. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996. 197 p.
GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. 292 p.
PETROBRAS**. N-1601 – B – Construção de Drenagem e de Despejos Líquidos em Unidades Industriais**. Rio de Janeiro, 2003.
SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental**: Teoria e Prática. São Paulo, Capital: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

TOMAZ, P. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais**. São Paulo, Capital: Navegar, 2002. 475 p.
WILKEN, P. S. **Engenharia de Drenagem Superficial**. São Paulo, Capital: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB): 1978. 478 p.

Pátios de manutenção: são os pátios onde se efetuam as manutenções nos equipamentos móveis necessários para o funcionamento e a operação das refinarias, tais como: carros, caminhões, caminhões vácuo, tratores, guindastes, “muncks” e gruas móveis..(PETROBRAS, 2003).

Pátios de bomba: são os locais onde estão instalados conjuntos de motos bombas necessários para a continuidade dos processos de produção, reservação, transporte e tratamento dos líquidos gerados na refinaria, sejam eles os produtos intermediários, os produtos finais, os despejos gerados, as águas de processos, águas para consumo humano, .. (PETROBRAS, 2003).

Período de Retorno: Período de tempo aproximado entre dois eventos de características semelhantes, e cujo montante é obtido utilizando-se análises probabilísticas, ou ainda, análise estocástica (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

“Pipe racks”: são estruturas elevadas responsáveis pelo suporte das tubulações que conduzem os produtos, ou despejos, ou as águas que circulam dentro de uma refinaria.. (PETROBRAS, 2003).

“Pipe ways”: são estruturas ao nível do solo, ou abertas para a atmosfera que acomodam as tubulações que conduzem os produtos, ou despejos, ou as águas que circulam dentro de uma refinaria.. (PETROBRAS, 2003).

Precipitação: são fenômenos que envolvem a queda da água em seus diversos estados através da atmosfera(GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Preservação: é a manutenção de todas as características (atributos) de um sistema, incluindo suas relações internas e externas, além da manutenção de sua sustentabilidade ao longo do tempo.

Relevo: é o conjunto de elementos planos e altimétricos que definem a feição física de uma área ou porção territorial (TEIXEIRA; CHRISTOFOLETTI, 1997).

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. 292 p.
PETROBRAS. **N-1601 – B – Construção de Drenagem e de Despejos Líquidos em Unidades Industriais**. Rio de Janeiro, RJ, 2003.
Teixeira, A. L. A.; CHRISTOFOLLETI, A. **Sistemas de Informação Geográfica: Dicionário Ilustrado**. São Paulo, Capital: Hucitec, 1997. 244 p.

Sistema: área física onde se combinam elementos bióticos e abióticos, e que também ali estabelecem relações entre si e com o meio externo (SANTOS, 2004).

Sistemas de Informações Geográficas: '... sistemas (..) usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la (CÂMARA, 1996).

Slop: resíduo de hidrocarbonetos (PETROBRAS, 2006)

Tempo de Precipitação: tempo de duração total de uma chuva ou intervalos de tempo dentro de um evento de chuva (GARCEZ; ALVAREZ, 1988)

Topografia: conjunto de características físicas e grandezas matemáticas que definem o relevo.

Umidade: é teor de água (seja ela líquida ou gasosa) que permeia outro(s) elementos, quais sejam: ar, maciço terroso, óleo, dentre outros (BOTELHO, 1998).

Vulnerabilidade Social: Representa o resultado negativo da relação entre a disponibilidade dos recursos materiais e indivíduos ou grupos, assim como a falta de acesso à estrutura de oportunidades sociais, econômicas, culturais que provêem do Estado, do mercado e da sociedade (ABRAMOVAY, 2002).

ABRAMOVAY, M. et al. **Juventude, Violência e Vulnerabilidade Social na América Latina: Desafio para Políticas Públicas**. Brasília: UNESCO/BID, 2002. Disponível em:< http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001271/127138por.pdf >. Acesso em: 15 dez. 2007. 184 p.
BOTELHO, M. H. C. **Águas de Chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 240 p.
CÂMARA, G. et al. **Anatomia de Sistema de Informação Geográfica**. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996. 197 p.
GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. 292 p.
PETROBRAS. **N-2622 – B – Resíduos Industriais**. Rio de Janeiro, RJ: 2006. b.
SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental**: Teoria e Prática. São Paulo, Capital: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

Apêndice A - Dados de chuva do DAEE

Dados Pluviométricos – Período: Out 1970 a Set 1993 – Prefixo do posto: E3-038 (Piaçagüera) – Alt. 5m, Lat. 23º52', Long. 46º23' – Bacia do Rio Moji

	Dados de Chuva em (mm)			
Mês/Ano	Chuva max. diária do ano	Chuva max. diária do mês	Chuva total	Consistidos
out/70		45,70	226,00	Não
nov/70		30,50	129,50	Não
dez/70		38,10	119,50	Não
jan/71		52,50	271,30	Não
fev/71		51,30	230,60	Não
mar/71		111,00	425,50	Não
abr/71		76,50	186,00	Não
mai/71		67,40	186,50	Não
jun/71		100,50	218,90	Não
jul/71		28,70	57,00	Não
ago/71		68,00	137,90	Não
set/71	111,00	18,00	74,70	Não
out/71		139,70	325,10	Não
nov/71		188,00	261,60	Não
dez/71		47,00	279,20	Não
jan/72		127,70	325,80	Sim
fev/72		73,40	243,80	Sim
mar/72		74,20	226,50	Sim
abr/72		53,00	232,90	Sim
mai/72		78,50	109,60	Sim
jun/72		7,00	13,10	Sim
jul/72		27,20	73,10	Sim
ago/72		68,50	191,60	Sim
set/72	188,00	45,60	168,60	Sim
out/72		60,00	337,10	Sim
nov/72		58,20	174,00	Sim
dez/72		24,10	129,80	Sim
jan/73		104,60	279,00	Sim
fev/73		92,10	348,80	Sim
mar/73		99,00	372,20	Sim
abr/73		92,50	202,40	Sim
mai/73		93,00	252,40	Sim
jun/73		67,00	97,90	Sim
jul/73		44,30	169,40	Sim
ago/73		24,70	66,40	Sim
set/73	104,60	43,70	204,20	Sim
out/73		58,20	184,40	Sim
nov/73		73,00	259,20	Sim
dez/73		127,60	320,80	Sim
jan/74		144,30	409,00	Sim
fev/74		27,20	90,30	Sim
mar/74		74,40	324,30	Sim
abr/74		28,20	155,60	Sim
mai/74		17,30	43,70	Sim
jun/74		36,80	146,20	Sim
jul/74		58,50	69,90	Sim

Continua	Dados de Chuva em (mm)			
Mês/Ano	Chuva max. diária do ano	Chuva max. diária do mês	Chuva total	Consistidos
ago/74		17,00	34,10	Sim
set/74	144,30	31,10	155,00	Sim
out/74		28,70	165,30	Sim
nov/74		60,00	183,90	Sim
dez/74		68,70	311,60	Sim
jan/75		89,50	464,00	Sim
fev/75		157,00	600,20	Sim
mar/75		95,90	209,60	Sim
abr/75		86,00	117,60	Sim
mai/75		44,50	143,70	Sim
jun/75		37,40	71,00	Sim
jul/75		39,50	121,30	Sim
ago/75		30,80	74,10	Sim
set/75	157,00	19,00	98,00	Sim
out/75		33,40	171,20	Sim
nov/75		60,00	375,30	Sim
dez/75		121,50	643,20	Sim
jan/76		251,10	704,60	Sim
fev/76		49,30	297,40	Sim
mar/76		56,80	282,10	Sim
abr/76		117,00	412,60	Sim
mai/76		56,70	249,60	Sim
jun/76		25,10	73,60	Sim
jul/76		58,10	178,40	Sim
ago/76		68,00	234,30	Sim
set/76	251,10	61,70	205,60	Sim
out/76		32,50	142,80	Sim
nov/76		89,20	230,80	Sim
dez/76		105,20	269,10	Sim
jan/77		146,20	419,50	Sim
fev/77		---	---	Sim
mar/77		19,00	103,50	Sim
abr/77		93,40	417,90	Sim
mai/77		---	---	Sim
jun/77		58,20	127,80	Sim
jul/77		8,20	16,00	Sim
ago/77		35,30	124,20	Sim
set/77	146,20	96,60	230,60	Sim
out/77		63,60	227,80	Sim
nov/77		39,80	184,60	Sim
dez/77		86,90	246,60	Sim
jan/78		129,90	344,10	Sim
fev/78		74,00	295,90	Sim
mar/78		128,90	462,30	Sim
abr/78		74,80	170,60	Sim
mai/78		37,50	144,00	Sim
jun/78		43,90	54,50	Sim
ago/78		8,50	23,80	Sim
set/78	129,90	23,10	82,80	Sim
out/78		14,90	50,50	Sim
nov/78		67,30	342,40	Sim

Continua	Dados de Chuva em (mm)			
Mês/Ano	Chuva max. diária do ano	Chuva max. diária do mês	Chuva total	Consistidos
jul/78		25,80	56,20	Sim
dez/78		95,30	252,50	Sim
jan/79		119,30	272,40	Sim
fev/79		22,40	104,90	Sim
mar/79		73,00	431,50	Sim
abr/79		44,70	183,50	Sim
mai/79		30,60	118,10	Sim
jun/79		34,20	80,80	Sim
jul/79		42,60	121,20	Sim
ago/79		21,10	79,70	Sim
set/79	119,30	45,40	261,90	Sim
out/79		68,80	182,10	Sim
nov/79		106,50	446,00	Sim
dez/79		62,00	293,60	Sim
jan/80		106,70	311,50	Sim
fev/80		107,90	434,40	Sim
mar/80		109,10	214,30	Sim
abr/80		31,10	162,30	Sim
mai/80		9,70	22,00	Sim
jun/80		44,60	140,70	Sim
jul/80		27,00	99,30	Sim
ago/80		17,70	112,50	Sim
set/80	109,10	19,50	97,00	Sim
out/80		100,30	322,80	Sim
nov/80		71,80	234,60	Sim
dez/80		66,80	371,40	Sim
jan/81		80,30	342,30	Sim
fev/81		27,40	129,20	Sim
mar/81		---	---	Sim
abr/81		---	---	Sim
mai/81		174,10	197,80	Sim
jun/81		22,00	53,10	Sim
jul/81		44,90	144,10	Sim
ago/81		43,50	114,70	Sim
set/81	174,10	---	---	Sim
out/81		---	---	Sim
nov/81		---	---	Sim
dez/81		---	---	Sim
jan/82		---	---	Sim
fev/82		---	---	Sim
mar/82		---	---	Sim
abr/82		---	---	Sim
mai/82		---	---	Sim
jun/82		32,30	164,20	Sim
jul/82		---	---	Sim
ago/82		---	---	Sim
set/82	32,30	---	---	Sim
out/82		30,10	190,80	Sim
nov/82		---	---	Sim
dez/82		---	---	Sim
jan/83		---	---	Sim

Continua	Dados de Chuva em (mm)			
Mês/Ano	Chuva max. diária do ano	Chuva max. diária do mês	Chuva total	Consistidos
fev/83		---	---	Sim
mar/83		81,00	426,80	Sim
abr/83		---	---	Sim
mai/83		---	---	Sim
jun/83		---	---	Sim
jul/83		---	---	Sim
ago/83		---	---	Sim
set/83	81,00	---	---	Sim
out/83		---	---	Sim
nov/83		31,20	120,00	Sim
dez/83		130,00	268,20	Sim
jan/84		83,50	303,30	Sim
fev/84		8,30	15,70	Sim
mar/84		44,80	117,00	Sim
abr/84		60,80	125,40	Sim
mai/84		10,00	45,80	Sim
jun/84		5,70	5,70	Sim
jul/84		23,70	103,10	Sim
ago/84		31,50	153,70	Sim
set/84	130,00	42,90	124,90	Sim
out/84		60,00	85,00	Sim
nov/84		---	---	Sim
dez/84		---	---	Sim
jan/85		---	---	Sim
fev/85		71,40	323,30	Sim
mar/85		44,60	134,70	Sim
abr/85		76,50	251,20	Sim
mai/85		17,50	65,80	Sim
jun/85		33,80	84,70	Sim
jul/85		8,00	13,50	Sim
ago/85		22,30	54,60	Sim
set/85	76,50	---	---	Sim
out/85		39,80	55,50	Sim
nov/85		47,10	147,00	Sim
dez/85		112,90	225,20	Sim
jan/86		101,70	282,50	Sim
fev/86		138,70	750,60	Sim
mar/86		158,40	729,20	Sim
abr/86		121,20	282,20	Sim
mai/86		52,30	132,70	Sim
jun/86		49,50	77,00	Sim
jul/86		79,40	330,10	Sim
ago/86		28,00	94,00	Sim
set/86	158,40	51,30	192,50	Sim
out/86		56,90	126,90	Sim
nov/86		76,20	281,60	Sim
dez/86		---	---	Sim
jan/87		56,90	360,60	Sim
fev/87		31,40	147,50	Sim
mar/87		35,80	135,20	Sim
abr/87		55,80	232,30	Sim

Continua	Dados de Chuva em (mm)			
Mês/Ano	Chuva max. diária do ano	Chuva max. diária do mês	Chuva total	Consistidos
mai/87		62,30	308,50	Sim
jun/87		47,20	171,20	Sim
jul/87		19,80	44,50	Sim
ago/87		13,30	40,80	Sim
set/87	76,20	23,00	134,10	Sim
out/87		51,70	229,80	Sim
nov/87		37,60	85,20	Sim
dez/87		---	---	Sim
jan/88		---	---	Sim
fev/88		---	---	Sim
mar/88		42,60	246,30	Sim
abr/88		---	---	Sim
mai/88		---	---	Sim
jun/88		---	---	Sim
jul/88		---	---	Sim
ago/88		---	---	Sim
set/88	51,70	---	---	Sim
out/88		---	---	Sim
nov/88		28,00	125,20	Sim
dez/88		152,30	395,10	Sim
jan/89		31,40	225,40	Sim
fev/89		188,30	527,70	Sim
mar/89		142,30	436,30	Sim
abr/89		129,50	309,60	Sim
mai/89		75,50	199,00	Sim
jun/89		---	---	Sim
jul/89		46,20	233,90	Sim
ago/89		16,80	61,10	Sim
set/89	188,30	32,50	223,30	Sim
out/89		45,00	141,50	Sim
nov/89		25,20	78,10	Sim
dez/89		59,00	156,10	Sim
jan/90		81,60	313,00	Sim
fev/90		54,30	125,90	Sim
mar/90		45,00	179,30	Sim
abr/90		191,30	288,60	Sim
mai/90		107,50	176,40	Sim
jun/90		48,60	96,30	Sim
jul/90		27,30	165,80	Sim
ago/90		19,70	84,60	Sim
set/90	191,30	57,70	139,90	Sim
out/90		59,50	152,50	Sim
nov/90		34,80	147,80	Sim
dez/90		78,60	227,20	Sim
jan/91		76,10	304,60	Sim
fev/91		48,40	231,90	Sim
mar/91		62,50	507,80	Sim
abr/91		52,50	182,90	Sim
mai/91		50,00	140,60	Sim
jun/91		41,50	177,90	Sim
jul/91		21,80	63,80	Sim

Conclusão	Dados de Chuva em (mm)			
Mês/Ano	Chuva max. diária do ano	Chuva max. diária do mês	Chuva total	Consistidos
ago/91		28,90	70,90	Sim
set/91	78,60	46,20	131,30	Sim
out/91		54,60	195,80	Sim
nov/91		---	---	Sim
dez/91		31,30	128,40	Sim
jan/92		200,50	508,90	Sim
fev/92		77,00	144,20	Sim
mar/92		37,00	210,00	Sim
abr/92		38,00	93,30	Sim
mai/92		41,40	186,50	Sim
jun/92		12,00	41,40	Sim
jul/92		26,70	123,70	Sim
ago/92		11,70	86,50	Sim
set/92	200,50	42,70	268,30	Sim
out/92		54,50	346,60	Sim
nov/92		95,10	420,10	Sim
dez/92		64,60	276,00	Sim
jan/93		53,00	204,50	Não
fev/93		78,20	241,00	Não
mar/93		258,90	417,60	Não
abr/93		96,30	178,80	Não
mai/93		23,70	107,10	Não
jun/93		52,00	87,70	Não
jul/93		6,10	34,60	Não
ago/93		34,30	63,20	Não
set/93	258,90	54,50	309,70	Não

Fonte: DAEE, 2007.

Apêndice B – Desenvolvimento da equação genérica proposta por Otto Pfafstetter para as estações meteorológicas de Santos e Itapema (Santos)

Desenvolvimento da equação (4.44) para a cidade de Santos (Santos 83782/INMET)

ht,T = (T^(α+(β/(T^γ))))*(a*t + b*log(1+c*t)					(eq. (4.44))	em que as constantes são definidas:			
Brasil:	γ = 0,25					Santos:	a = 0,7	b = 44	c = 10
	1 dia		30 min			15 min		5 min	
	α = 0,17	β = 0,2	α = 0,122	β = 0,16		α = 0,122	β = 0,12	α = 0,108	β = 0,12
T	ht,T (mm)	I (mm/min)	ht,T (mm)	I (mm/min)		ht,T (mm)	I (mm/min)	ht,T (mm)	I (mm/min)
10	233,04	0,16	56,35	3,76		37,30	2,49	17,44	3,49
20	268,65	0,19	62,53	4,17		41,19	2,75	19,07	3,81
25	280,32	0,19	64,49	4,30		42,45	2,83	19,59	3,92
50	317,38	0,22	70,54	4,70		46,37	3,09	21,19	4,24
100	356,00	0,25	76,58	5,11		50,37	3,36	22,80	4,56

Fonte: DAEE, 2008

Desenvolvimento da equação (4.44) para a cidade de Santos (Itapema 83823/INMET)

ht,T = (T^(α+(β/(T^γ))))*(a*t + b*log(1+c*t)					(eq. (4.44))	em que as constantes são definidas:			
Brasil:	γ = 0,25				Itapema:	a = 0,2	b = 50	c = 20	
	1 dia		30 min			15 min		5 min	
	α = 0,17	β = 0,12	α = 0,122	β = 0,20		α = 0,122	β = 0,20	α = 0,108	β = 0,12
T	ht,T (mm)	I (mm/min)	ht,T (mm)	I (mm/min)		ht,T (mm)	I (mm/min)	ht,T (mm)	I (mm/min)
10	240,00	0,17	89,51	5,97		66,84	4,46	31,93	6,39
20	273,98	0,19	99,81	6,65		74,54	4,97	34,92	6,98
25	285,36	0,20	103,04	6,87		76,94	5,13	35,87	7,17
50	322,27	0,22	112,84	7,52		84,27	5,62	38,80	7,76
100	361,93	0,25	122,44	8,16		91,43	6,10	41,74	8,35

Fonte: DAEE, 2008