



**COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR – CNEN
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR – CDTN**

RELATÓRIO TÉCNICO

NÚMERO: RC-TR1-008/07

OBJETO: ESTUDO TÉCNICO PARA A IMPLANTAÇÃO DE EMISSÁRIO SUBMARINO PARA A DISPOSIÇÃO FINAL DE EFLUENTES DA USINA TERMOELÉTRICA DE TRÊS LAGOAS, DA PETROBRÁS, NO MUNICÍPIO TRÊS LAGOAS, MS.

CLIENTE: PETROBRÁS S.A.

DATA: Julho/2007

REF.: Carta Contrato Simplificada N^o 0802.00326

Belo Horizonte, MG
Setembro de 2007

**ESTUDO TÉCNICO PARA A IMPLANTAÇÃO DE EMISSÁRIO SUBMARINO PARA A
DISPOSIÇÃO FINAL DE EFLUENTES DA USINA TERMOELÉTRICA DE TRÊS
LAGOAS, DA PETROBRÁS, NO MUNICÍPIO DE TRÊS LAGOAS, MS.**

AUTORES

Rubens Martins Moreira

Alberto Avellar Barreto

Amenônia Maria Ferreira Pinto

Belo Horizonte, MG
Setembro de 2007

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	5
2. CARACTERÍSTICAS E CONDICIONANTES DO CORPO RECEPTOR	6
2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS.....	6
2.2 CONDICIONANTES	10
3. METODOLOGIA	11
4. BASES DO PROJETO	13
4.1 PARÂMETROS AMBIENTAIS.....	13
4.1.1 <i>Morfologia e Batimetria</i>	14
4.1.2 <i>Ventos e Meteorologia</i>	18
4.1.3 <i>Correntes</i>	20
4.1.4 <i>Temperaturas da água</i>	24
4.1.5 <i>Temperatura da descarga</i>	26
4.1.6 <i>Coefficientes de dispersão</i>	28
4.2 PARÂMETROS DO EFLUENTE.....	31
4.2.1 <i>Vazões de projeto</i>	31
4.2.2 <i>Composição de projeto do efluente</i>	31
4.2.3 <i>Densidade de projeto do efluente</i>	32
4.3 CONFORMIDADE DO EFLUENTE.....	32
5. ESTIMATIVA DA DILUIÇÃO NECESSÁRIA	34
5.1 CONCEITOS BÁSICOS	34
5.2 DEFINIÇÃO DE CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS PERMISSÍVEIS.....	35
5.2.1 <i>Óleos e graxas</i>	36
5.2.2 <i>Sólidos totais dissolvidos (STD)</i>	36
5.3 DEFINIÇÃO DOS COEFICIENTES DE DILUIÇÃO.....	36
5.4 COMPONENTE CRÍTICO.....	37
6. ESTIMATIVA DA DILUIÇÃO.....	38
6.1 DEFINIÇÃO DO TIPO DE DIFUSOR.....	38
6.2 DILUIÇÃO PRIMÁRIA – CAMPOS PRÓXIMO DESCARGA	38
6.2 DILUIÇÃO NA PLUMA NO CAMPO PRÓXIMO.....	41
6.3 DILUIÇÃO SECUNDÁRIA – CAMPO AFASTADO DA DESCARGA	42
6.4 DILUIÇÃO GLOBAL.....	45
7. CÁLCULO DAS DILUIÇÕES	46
7.1 DILUIÇÃO PRIMÁRIA	46
7.1.1 <i>Definição da velocidade de descarga u_0</i>	46
7.1.2 <i>Cálculo dos parâmetros hidráulicos</i>	48

7.1.3	<i>Cálculo da diluição primária - definição da profundidade do ponto de descarga</i>	49
7.2	CÁLCULO DA DILUIÇÃO NO CAMPO AFASTADO.....	55
8.	ZONA DE MISTURA	59
9.	CARACTERÍSTICAS DO EMISSÁRIO	61
9.1	LOCALIZAÇÃO.....	61
9.2	TUBULAÇÃO DO EMISSÁRIO.....	63
9.3	CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE DESCARGA	63
9.4	ANCORAGEM DO EMISSÁRIO.....	64
9.4.1	<i>Espaçamento entre os lastros.....</i>	<i>64</i>
9.4.2	<i>Peso dos lastros.....</i>	<i>64</i>
9.5	PERDA DE CARGA.....	67
9.5.2	<i>Perda de carga por atrito.....</i>	<i>67</i>
9.5.3	<i>Carga necessária para o bombeio</i>	<i>69</i>
10.	RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DO EMISSÁRIO.....	70
11.	REFERÊNCIAS	71

1. INTRODUÇÃO

A PETROBRÁS S.A. planeja a implantação de um emissário submerso para o descarte, no lago da Represa de Jupuíá, em um ponto adequadamente situado em relação à linha da margem e às profundidades locais, dos efluentes líquidos provenientes da Usina Termoelétrica de Três Lagoas, situado no município do mesmo nome, no Estado do Mato Grosso do Sul.

Em março de 2006 o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN/CNEN foi contatado pela PETROBRÁS – Petróleo Brasileiro S.A. (ENGENHARIA / IETEG / ETEG / EN) através do Engenheiro Armando Lúcio Bordignon para a apresentação de uma proposta contemplando a elaboração do estudo técnico para a implantação do referido emissário.

O trabalho, objeto da proposta, contempla os estudos técnicos para a localização e elaboração de projeto básico de emissário submerso para a disposição final dos efluentes líquidos da UTE de Três Lagoas na lagoa formada pela Represa Jupuíá - MS, de forma tal que seja atendido o disposto na Resolução Nº 031 de 21 de fevereiro de 1002 da Agência Nacional de Águas - ANA.

O presente Relatório tem por objetivo apresentar os estudos e resultados relativos aos pontos pactuados na proposta acima referida.

O trabalho constou das seguintes etapas básicas:

- Consolidação e análise dos dados disponíveis
- Modelagem e projeto básico do emissário e elaboração do relatório final.

Os dados fornecidos pela PETROBRÁS, via correspondência e por ocasião de uma visita ao local da UTE, foram analisados e consolidados. Com base nesta consolidação foram realizadas a modelagem e simulações do jato de descarga e da pluma no campo afastado. Esta etapa, por sua vez, fundamentou a elaboração do projeto conceitual do emissário.



2. CARACTERÍSTICAS E CONDICIONANTES DO CORPO RECEPTOR

2.1 Características Gerais

O município de Três Lagoas apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 20' 45' 04" de Latitude Sul e 51' 40' 42" Longitude Oeste. Sua menor altitude é de 260 metros na barranca do Rio Paraná, e a maior é de 518 metros, na Serrinha do distrito de Garcias. No núcleo urbano, a altitude média é de 320 metros. No município, a altitude média varia entre 350 e 400 metros.



Fig. 2.1 Localização do município de Três Lagoas

À altura de Três Lagoas o Rio Paraná foi barrado pela Usina Hidrelétrica Engenheiro Souza Dias, concluída em 1974. A Lagoa Jupiaá por ela formada está localizada, entre as cidades de Andradina e Castilho (SP) e Três Lagoas (MS). O reservatório abrange 330 km² (área do espelho d'água, N.A. 280,00 m). O volume útil alcança 903 x 10⁶ m³, o volume morto 2.450 x 10⁶ m³ e o volume reservado para cheia de projeto é 168 x 10⁶ m³. Os níveis de água característicos a montante e as vazões são mostrados na Tabela 2.1.

A potência nominal da UHE é de 110.800 kW e a potência nominal total instalada é de 1.252.200 kW.

Tabela 2.1 Dados hidrológicos característicos a montante da barragem

N.A. maximorum	280,5 m
N.A. máximo útil	280,0 m
N.A. mínimo útil	280,0m
Vazão média de longo termo (MLT período 1931 - 1998)	6.286 m ³ /s
Vazão máxima média diária observada (10/02/1983)	28.943 m ³ /s

A rede hidrográfica treslagoense compõe-se dos rios Paraná, Pombo, Sucuriú e Verde; além de vários ribeirões e córregos. O município também se situa sobre um dos maiores aquíferos do planeta, o Sistema Aquífero Guarani. Assim como com os cursos subterrâneos, as águas do sistema Aquífero Guarani facilmente vêm à tona em escavação. A qualidade da água de retirada de poços em Três Lagoas é considerada uma das melhores do país.

A usina dispõe de eclusa que possibilita a navegação no Rio Paraná e a integração hidroviária com o Rio Tietê. Uma foto de satélite da lagoa e suas vizinhanças é mostrada na Fig. 2.2.



Fig. 2.2 Imagem da Lagoa de Jupia e rios formadores

A Fig.2.3 retrata uma perspectiva da lagoa obtida na intersecção dos rios Sucuriú e Paraná, na cidade de Três Lagoas, a Cascalheira que foi uma área utilizada para a remoção de **cascalho** durante a construção da UHE na década de 1960. Também foi ali que foi escavado um canal para o desvio das águas do Rio Sucuriú durante a construção da mesma usina. Finalmente, a Fig. 2.4 situa e retrata a área próxima a UTE de Três Lagoas, onde será situado o emissário submerso e na qual os estudos foram focados.



Fig.2.3 Vista da lagoa deste a confluência dos rios Sucuriú e Paraná.

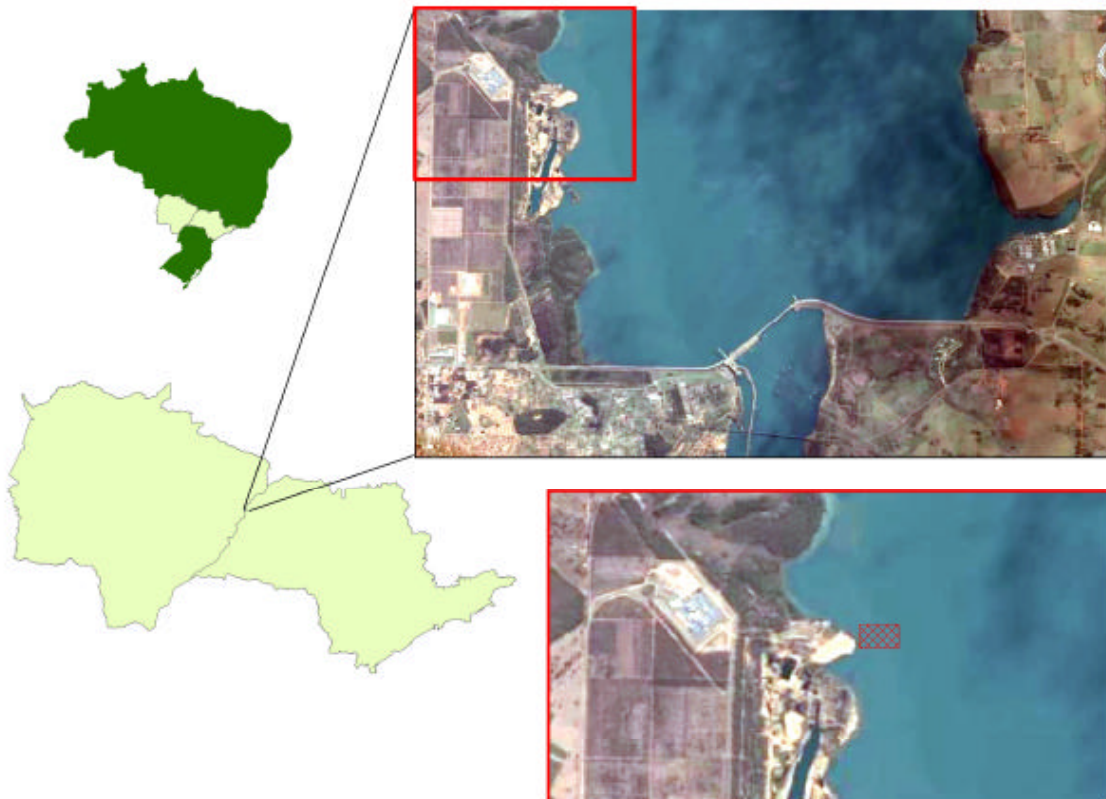


Fig. 2.4 Situação da área de estudo (De Carvalho et al., 2006)

O município de Três Lagoas pertence à zona climática designada pela letra A, sendo seu tipo climático o Aw, de acordo com a classificação de Köppen. O tipo Aw caracteriza-se como clima tropical quente e úmido. A temperatura média local é de 26°C. Possui estação chuvosa no verão e seca no inverno.

O total anual das precipitações em áreas de influência direta do tipo Aw está compreendido entre 900 mm e 1.400 mm. Devido a sua posição, no entanto, Três Lagoas, com as massas de ar vindas do sul, do leste e do oeste que se encontram sobre seu território, possui peculiaridades quanto ao seu clima, que é diferente do centro de Mato Grosso do Sul e do oeste paulista.

No inverno, geralmente não há chuvas durante três meses, do início de junho ao fim de agosto e, às vezes, até meados de setembro. Entre julho e setembro, há um déficit hídrico anual pouco superior a 30 mm, mas a água permanece no solo durante a maior parte da estiagem. Essa estação também encontra-se cada vez mais quente, e raramente encontram-se as geadas que costumavam ser comuns até a década de 1980. Anteriormente, durante o inverno, a temperatura treslagoense aproximava-se de zero, algumas vezes chegando a negativa.

O trimestre de maior precipitação reflete o verão austral (novembro, dezembro e janeiro), dezembro sendo o mês de maior precipitação, com tempestades de verão sempre vindas do sul. A chuva é abundante e, na maioria das vezes, acontece nos fins das tardes, limpando-se o céu ainda antes do anoitecer. Assim como os invernos, os verões apresentam-se cada vez mais quentes. O regime chuvoso, no entanto, ainda não se modificou visivelmente. A média pluviométrica é de 100 mm mensais entre outubro a março. Já em março, a precipitação pluviométrica começa a diminuir.

Quanto à vegetação, a região possui um conjunto fitogeográfico uniforme, uma vez que apresentam-se em sua paisagem campos limpos, e florestas perenifólias, subperenifólias e mesofólias. A vegetação predominante é o Cerrado (gramíneo-lenhosa, arbórea densa e arbórea aberta). Há também faixas de Mata atlântica, que se alternam perpendicularmente às margens do Rio Paraná com a vegetação do Cerrado, até que estas listras de floresta se afinam e desaparecem conforme se distanciam do rio (Fig. 2.5).



Fig. 2.5 Resquícios de Mata Atlântica na Cascalheira

Ocorre uma grande abundância de macrófitas aquáticas submersas, flutuantes ou emersas no reservatório. Em especial, na área em que será situado o emissário, observações de mergulhadores efetuadas durante as medições hidrográficas revelaram um grande número de restos de árvores submersas preexistentes ao enchimento do reservatório.

A região não é sujeita a abalos sísmicos.

No que diz respeito à demografia, o município de Três Lagoas possui uma população de ca. 88.000 habitantes e uma densidade populacional de 8,54 hab/m².

A pecuária é uma atividade econômica importante cuja renda movimenta o setor de comércio e serviços; e a região possui considerável potencial turístico. Em meados da década de 1990 um artigo da Revista Exame apontou Três Lagoas como um dos maiores polos de desenvolvimento do Brasil. O IDH é medido em 0,784 (PNUD/2000), o PIB é de R\$ 991.504.452,00 (IBGE/2004, 4º do Estado de Mato Grosso do Sul) e o PIB per capita R\$ 11.712,98. A cidade apresenta uma razoável distribuição de renda e não possui bolsões de pobreza, além de fornecer a seus cidadãos uma boa qualidade de vida.

O município possui posicionamento estratégico com fácil acesso aos mercados do Sudeste, Sul, Centro-Oeste e América do Sul, além de ter a sua disposição os transportes rodoviário, fluvial e ferroviário, todos os tipos de matéria-prima e mão-de-obra. Devido a isto, à disposição de energia, água, matéria-prima e mão-de-obra, a cidade no momento passa por uma fase de transição econômica e rápida industrialização.

2.2 Condicionantes

Face a:

- usos do lago e às atividades praticadas no município e região
- características econômicas e sociais locais
- uso potencial das águas para abastecimento para consumo humano pendente de desinfecção
- imperativo da preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas

considera-se para efeito da condicionante principal do projeto básico de descarte dos efluentes da UTE Três Lagoas via emissário submerso, que as águas da devem ser consideradas classificadas como:

Águas doces de classe 1

conforme estabelecido na Resolução CONAMA N° 357, Art. 4º II, e portanto observar o disposto nesta resolução quanto às suas condições e padrões de qualidade, em especial os Arts. 14 e 34.

3. METODOLOGIA

O estudo ora apresentado define o descarte dos efluentes líquidos da Usina Termoelétrica de Três Lagoas na Lagoa de Jupuíá através de um emissário submerso para o qual são determinados:

- O comprimento do emissário;
- A posição do ponto de descarte;
- A espessura da lâmina d'água no local de descarte;
- O diâmetro da tubulação para as vazões de projeto;
- As perdas de carga;
- A dimensão da região de misturamento.

A região de misturamento é aquela fração do corpo receptor necessária para que a diluição nela verificada tenha com o resultado a redução das concentrações dos componentes críticos aos limites previstos pela norma ambiental para águas salinas de classe 1, nas condições mais desfavoráveis de vazão e de intensidade e direção das correntes. Estes limites são fixados pelo Artigo 18º - Seção 3 da Resolução CONAMA 357.

Em princípio, a opção mais favorável é aquela que situa o ponto de descarte a uma distância ótima da costa e o localiza em um ponto de adequada profundidade, desta maneira favorecendo as condições físicas para a diluição inicial e para a renovação das águas.

As condições hidrodinâmicas responsáveis pelos processos de advecção/dispersão/diluição são determinadas pelos agentes hidráulicos: correntes, marés, ventos e ondas. Estes agentes definem não só o nível de turbulência que promove o misturamento e diluição do efluente com a água do mar, bem como efeitos cisalhantes e advectivos que, respectivamente, reforçam esta dispersão e transportam a pluma diluída para regiões afastadas da descarga. São estas características que maximizam a diluição e minimizam o refluxo para a costa, indicando assim a locação ótima do ponto de descarga.

Embora a metodologia proposta para o presente estudo seja basicamente a mesma seguida em outros trabalhos visando o projeto de emissários submarinos, os levantamentos adicionais de campo não foram necessários em razão da disponibilidade de uma extensa massa de dados relativos ao comportamento hidrodinâmico do ambiente marinho local e regional.

No caso em apreço, as informações que condicionam a execução do projeto podem ser separadas em duas categorias. As primeiras, que poderiam ser extraídas de estudos já existentes, ou inferidas dos resultados de tais estudos, são:

- Levantamento e processamento dos dados relativos a correntes, ventos, perfis de temperaturas, de densidade e parâmetros de descarga fluvial, na lagoa. Já se dispondo de dados a respeito destas variáveis físicas, obtidos *ad hoc* ou previamente disponíveis, foi contudo necessário sistematizá-los e avaliá-los.

- Dispersão e arraste da pluma de efluentes do emissário pelas águas do corpo receptor.
- Análise da carta e das medições batimétricas na região a receber o emissário, levando em conta as profundidades no entorno do ponto de mergulho;
- Composição média representativa dos atuais efluentes;
- Definição da natureza e concentrações dos componentes críticos do efluente e definição dos correspondentes fatores de diluição necessários para a observação da Resolução CONAMA N° 357.

De posse destes dados e levando em conta as vazões de projeto, o estudo do emissário foi completado com os itens a seguir:

- Cálculos da diluição inicial e secundária (nos campos próximo e afastado, respectivamente), utilizando-se de modelos matemáticos e com base nas condições hidrodinâmicas que foram levantadas;
- Definição da dimensão da correspondente zona de misturamento.



Fig. 3.1 Região de Três Lagoas (território do Estado de São Paulo em negro)

4. BASES DO PROJETO

4.1 Parâmetros Ambientais

No presente estudo trabalhou-se com a premissa de que usos críticos da água na região do reservatório onde se implantará o emissário são relacionados com a navegação, pesca e recreação com contato primário, de modo que o corpo receptor se enquadra conservativamente como Águas Salinas de Classe 1 na Resolução CONAMA N° 357, Artigo 4° III como águas de classe 2, isto é: que em princípio podem ser destinadas “ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas e à recreação de contato primário, à proteção das comunidades aquáticas, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA N° 274, de 2000”.

Os dados de medições hidro-meteorológicas existentes ou especificamente levantados para este estudo disponibilizam uma descrição das características físicas (ventos, correntes, batimetria, salinidades e temperaturas) prevalentes no corpo receptor no local. Estes dados de medições no local, depois de processados, indicaram as condições hidrodinâmicas responsáveis pelos processos de advecção/dispersão/diluição prevalentes no corpo receptor.

Para melhor avaliar o significado dos resultados dos levantamentos deve-se ter em mente o papel dos agentes físicos e de sua interação.

As correntes são via de regra o agente mais importante para a dispersão/diluição dos efluentes lançados por emissários, tanto por transportá-los para pontos mais afastados do local de descarga (advecção) como por diluí-los neste processo via a turbulência e o cisalhamento que provocam nas águas receptoras (dispersão). Além disto influem no desempenho dos jatos emergentes dos emissários.

Por sua vez as correntes são condicionadas pelos ventos e pela morfologia do corpo hídrico. No caso de corpos confinados, como o presentemente enfocado, os ventos locais, correntes no lago, topografia, batimetria e linha das margens condicionam o padrão de correntes e a decorrente estrutura de circulação.

A estrutura de densidade da coluna d'água, condicionada pelas distribuições verticais da salinidade e da temperatura é outro fator fundamental. A existência de estratificações (permanentes ou temporárias) por um lado reduz o espaço para o jato emergente operar a diluição importante primária, mas por outro evita o afloramento dos efluentes na superfície e, em decorrência, a possibilidade da camada marcada atingir as margens.

A morfologia condiciona as correntes e sua ação, bem como a estabilidade das estratificações, além de definir a quantidade e a renovação da água disponível para efetuar a diluição dos efluentes.

Os ventos definem as intensidades e direções das correntes e, por tabela, a turbulência que por sua vez desestabiliza as estratificações. No entanto a morfologia também direciona as correntes e, conforme o seu perfil, propicia ou limita a turbulência e a estratificação. Trata-se, portanto, de um

jogo de múltiplas interações. Algumas destas características condicionantes do projeto são a seguir sintetizadas.

4.1.1 Morfologia e Batimetria

Os levantamentos batimétricos no local próximo ao descarte (De Carvalho et al, 2006) foram efetuados utilizando o equipamento mostrado na Fig. 4.1. A Fig 4.2 mostra o equipamento percorrido nestas medições. As Figs. 4.3 e 4.4 mostram o resultado do levantamento batimétrico e as declividades, respectivamente.

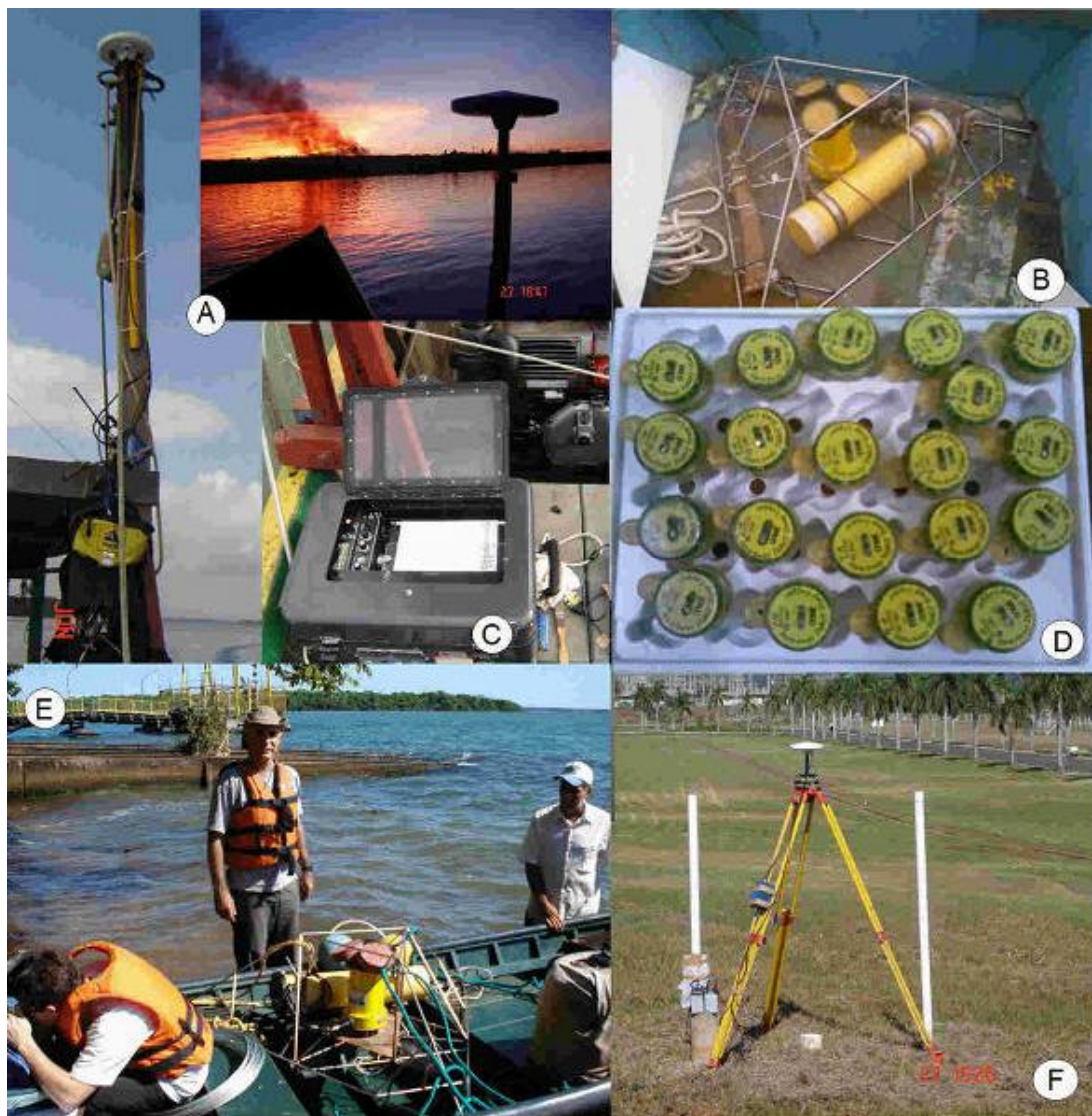


Fig. 4.1 Equipamentos usados no levantamento batimétrico (De Carvalho et al, 2006)

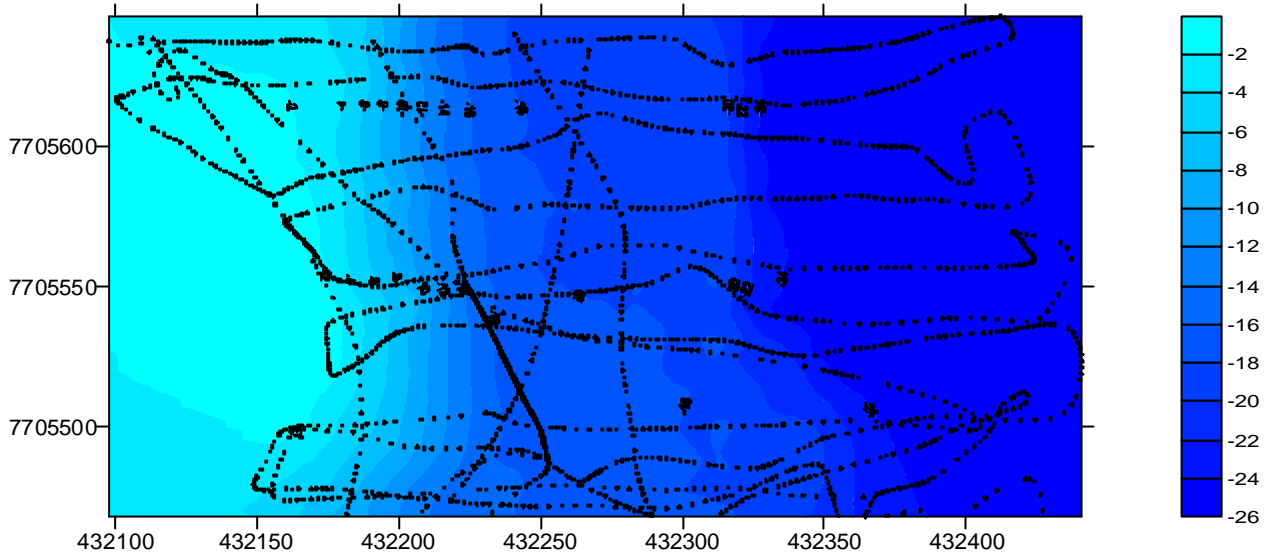


Fig. 4.2 Trajetórias realizadas no levantamento eco-batimétrico

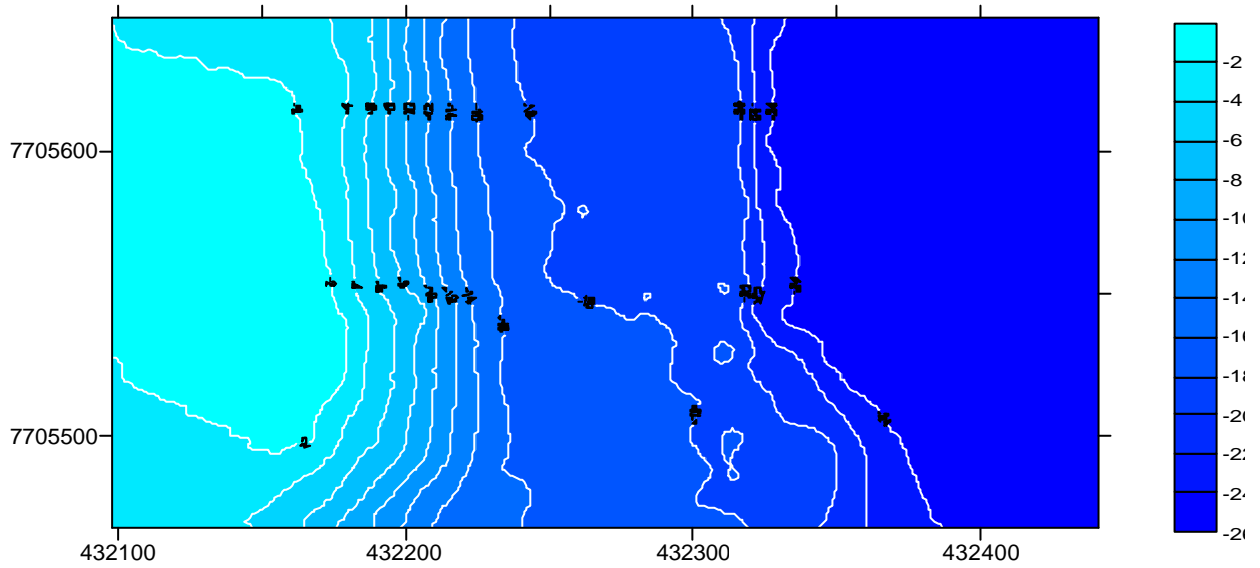


Fig. 4.3 Isóbatas na região do emissário)

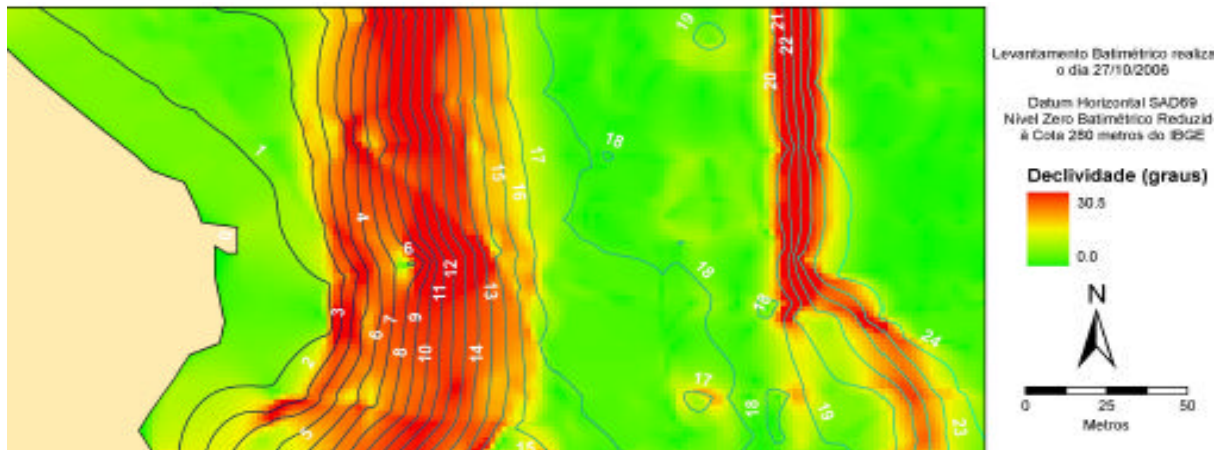


Fig. 4.4 Declividades na região do emissário (De Carvalho et al., 2006)

Os dados brutos processados pelo software SURFER geraram a Fig. 4.5, que permite uma boa avaliação tridimensional do relevo do fundo na área pesquisada.

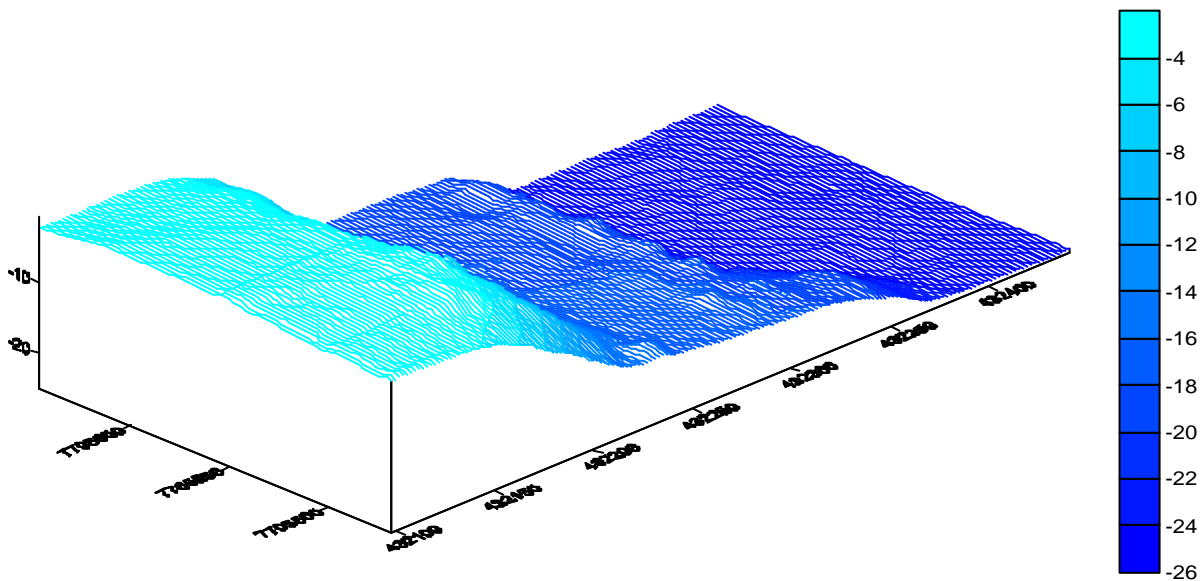


Fig. 4.5 Relevo do fundo do lago na região do emissário

Os valores das declividades são os seguintes ao longo da trajetória de maior declividade (eixo W-E) são :

Entre a margem e profundidades de -10 m: ~1:7,5 (~8°)

Entre profundidades de -10 m e -15 m: ~1:4,5 (~13°)

Entre profundidades de -15 m e -20 m: ~1:20 (~3°)

Entre profundidades de -20 m e -24 m: ~1:6 (~18°)

Este perfil aproximado está graficado na Fig. 4.6.

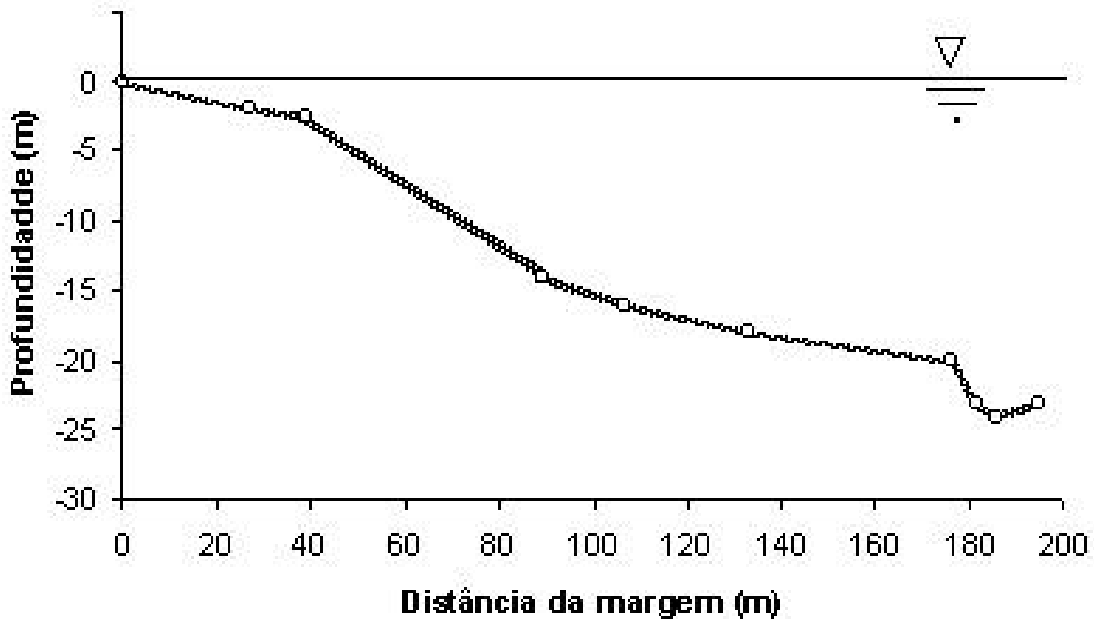


Fig. 4.6 Perfil básico de profundidades da lago ao longo da trajetória do emissário

Estas declividades possibilitam atingir uma razoável espessura da coluna de água disponível para a diluição dos efluentes para descargas pouco afastadas da margem.

4.1.2 Ventos e Meteorologia

A distribuição geral dos ventos sobre o Brasil, e que afeta os Estados do Mato Grosso do Sul e São Paulo, é controlada pelas grandes escalas atmosféricas: a escala sinótica e a circulação geral planetária. Este perfil geral apresenta variações significativas na mesoescala e na microescala, devido à diversidade das características do terreno, tais como geometria e altitude, presença de obstáculos, cobertura vegetal, albedo, e existência de grandes extensões de massas de água. Estes fatores atuantes nas escalas menores podem resultar em regimes de vento locais bastante distintos.

Os ventos registrados no local acusam os seguintes valores:

Velocidade básica: 45 m/s

Direção predominante NE

A Fig. 4.7 ilustra a distribuição de ordens de grandeza das velocidades do vento em território nacional e indica que na região não predominam ventos fortes.

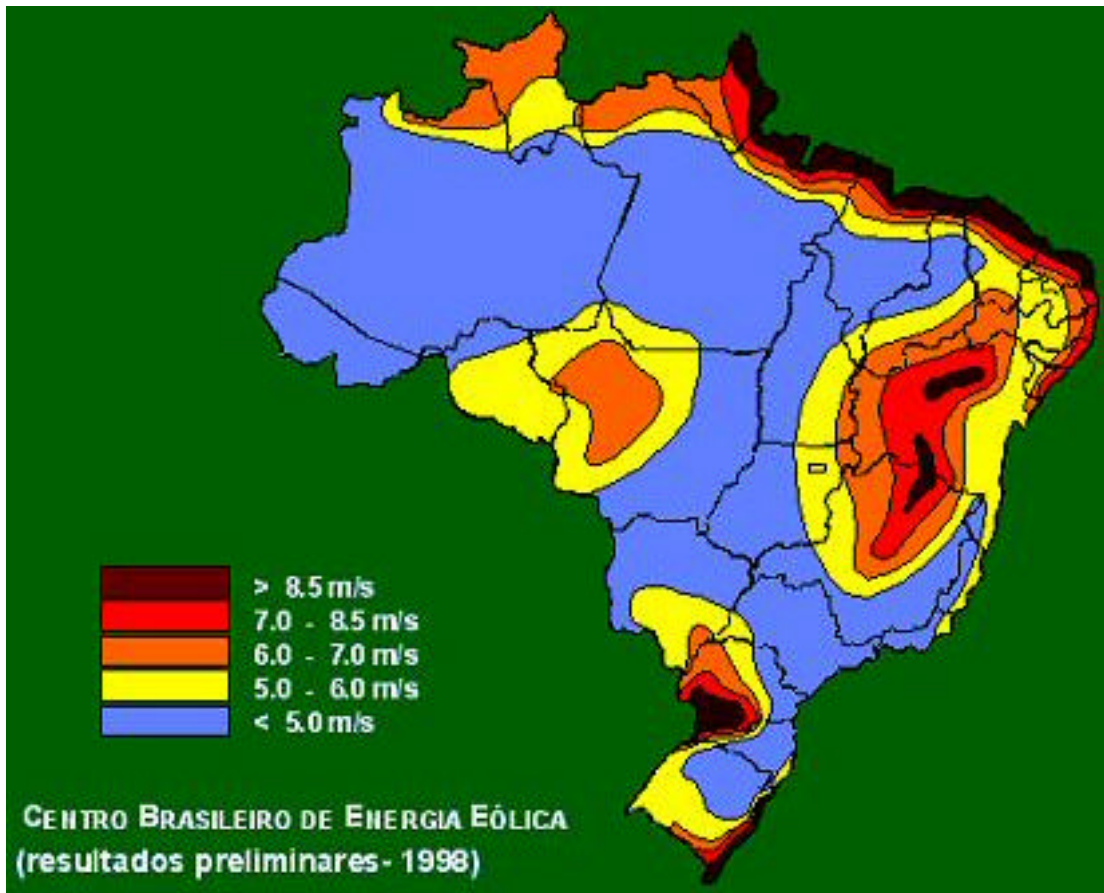


Fig. 4.7 Predominância de intensidades de vento no território nacional

As pressões barométricas no local variam entre 972,2 mbar e 9809 mbar (Petrobrás, 2006) tendo sido considerado o valor de projeto para a UTH 975 mbar.

As temperaturas do ar estão indicadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Temperaturas ambiente de bulbo seco

Máxima histórica	41,8 °C
Mínima histórica	-2 °C
Média anual	23,7 °C
Projeto	26 °C
Média das máximas anuais/mensais	30,5 / 30,3 °C
Média das mínimas anuais/mensais	18,7 / 13,9 °C

A umidade relativa média superior registrada é de 83% e a inferior 60,8%.

As chuvas máximas mensais alcançaram 201,7 mm, a máxima diária 133,2 mm (em 10/12/1989) e a mínima mensal foi de 35,2 mm.

4.1.3 Correntes

Campanhas de medição das velocidades e direções das correntes *ad hoc* para este estudo foram realizadas em outubro de 2006, tendo sido utilizado um perfilador acústico instalado a ca. 100 m da margem a uma lâmina d'água com 18 m de espessura (De Carvalho *et al.*, 2006). Perfilagens foram realizadas de metro em metro a cada 2 minutos. Os registros obtidos dos perfis verticais das velocidades e direções das correntes obtidos nestas medições estão indicados na Tabela 4.2.

Nesta tabela são mostrados os valores médios das intensidades (coluna 2) e as direções das correntes (em porcentagens de ocorrência) para os diversos níveis (distância em relação à superfície, coluna 1) em que foram medidas (de 1 m em 1 m). A tabela indica as direções para as quais as correntes fluem.

Tabela 4.2 Valores médios das correntes na região do emissário

Dist (m)	V (cm/s)	Distribuição de Frequência relativa da Direção (%)															
		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
2.7	6.8	4.4	7.9	7.4	5.4	2.4	3.2	5.4	6.5	10.3	17.6	12.5	5.4	3.0	2.6	3.1	2.9
3.7	5.0	4.5	7.0	8.2	4.4	4.6	4.0	6.7	7.5	10.8	14.2	8.4	4.9	5.0	2.4	4.1	3.3
4.7	3.8	5.3	7.0	8.3	5.8	5.1	5.4	8.6	8.2	10.4	8.0	6.0	4.0	3.9	4.2	4.7	4.8
5.7	3.1	6.5	9.7	7.2	6.0	5.2	7.6	10.3	9.0	8.1	5.4	3.6	3.4	3.8	5.7	4.3	4.2
6.7	2.9	9.3	10.4	8.9	5.8	6.8	7.4	8.3	8.0	7.1	3.9	3.5	3.0	2.3	5.6	4.0	5.7
7.7	3.0	10.3	12.2	8.6	5.7	5.6	5.3	6.8	8.0	5.7	6.8	3.3	2.8	2.8	3.1	6.0	7.0
8.7	3.3	12.1	12.6	6.1	6.2	4.6	4.4	5.5	8.0	6.7	7.0	5.2	3.0	2.1	2.5	5.8	8.2
9.7	3.5	14.9	10.5	4.6	5.8	4.9	4.1	4.4	7.3	7.2	6.5	5.8	3.9	1.9	2.5	5.6	10.0
10.7	3.7	17.9	10.4	5.1	4.4	3.5	3.2	3.8	6.5	7.7	8.4	4.7	4.7	3.2	3.0	4.0	9.5
11.7	3.9	20.0	9.8	4.9	2.7	1.9	2.6	3.0	7.2	8.9	8.9	5.6	4.8	2.6	3.2	4.0	9.7
12.7	4.1	20.2	10.2	3.3	2.6	2.0	1.8	2.9	7.1	11.6	9.6	5.0	3.9	3.7	2.5	3.9	9.9
13.7	4.3	19.8	10.4	3.9	1.1	1.6	1.9	2.8	7.8	11.9	10.7	4.6	3.2	3.9	3.3	4.3	8.6
14.7	4.4	16.3	10.0	5.0	1.6	1.6	2.8	3.7	7.4	11.7	10.2	5.2	3.7	3.6	3.4	4.8	9.2
15.7	4.6	14.6	10.7	5.3	2.7	2.1	2.1	5.0	6.7	12.2	9.3	5.8	3.3	3.9	3.0	4.8	8.5
16.7	4.8	12.8	10.0	4.9	3.3	2.6	2.9	5.6	6.8	12.5	7.9	5.2	3.3	3.5	3.8	5.0	9.7
	4.1	12.6	9.9	6.1	4.2	3.6	3.9	5.5	7.5	9.5	9.0	5.6	3.8	3.3	3.4	4.6	7.4

Esta distribuição de frequências está graficada na Fig. 4.8, enquanto que a Fig. 4.9 retrata a suas médias vetoriais (ao longo de toda a coluna d'água) de ocorrência de correntes nas várias profundidades.

Já a Fig. 4.10 apresenta estes valores de intensidade das correntes em forma vetorial.

Finalmente, o perfil das médias das intensidades ao longo da coluna d'água está retratado no gráfico da Fig. 4.11.

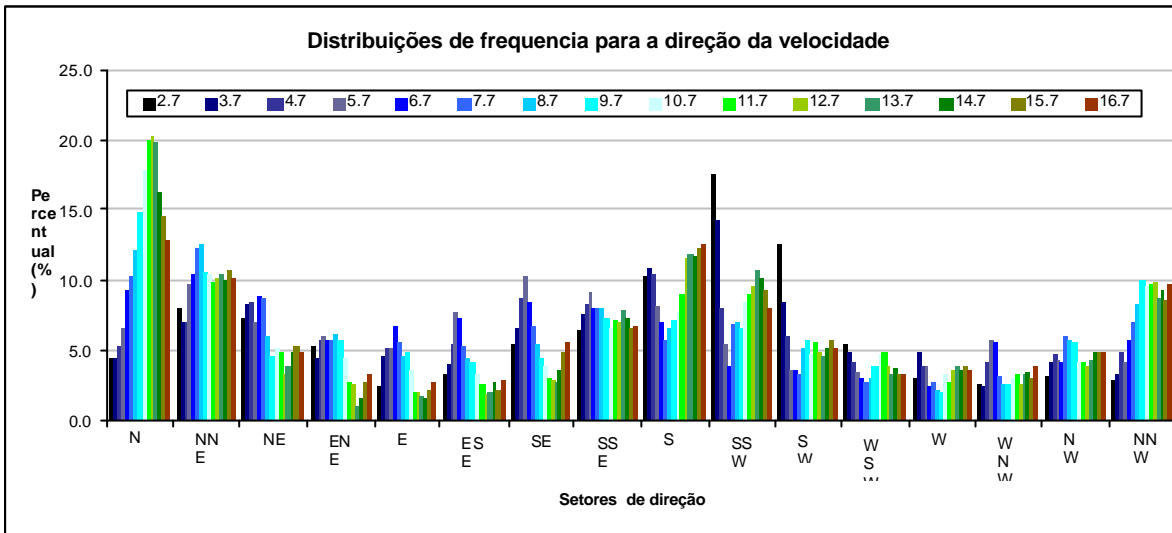


Fig. 4.8 Distribuição de frequência para o todas as profundidades da direção das correntes.

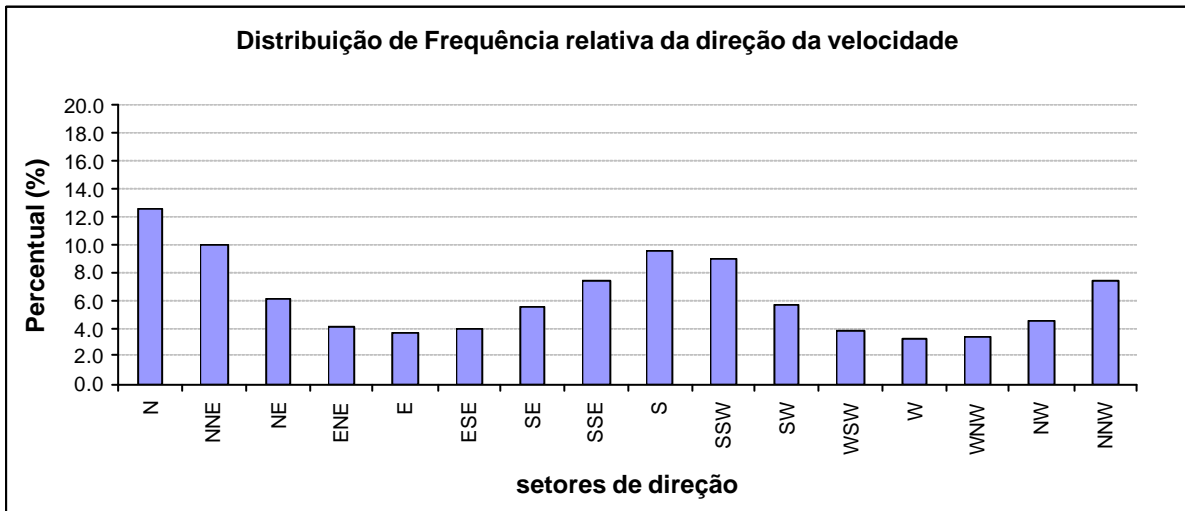


Fig. 4.9 Distribuição de frequência relativa da direção das corrente

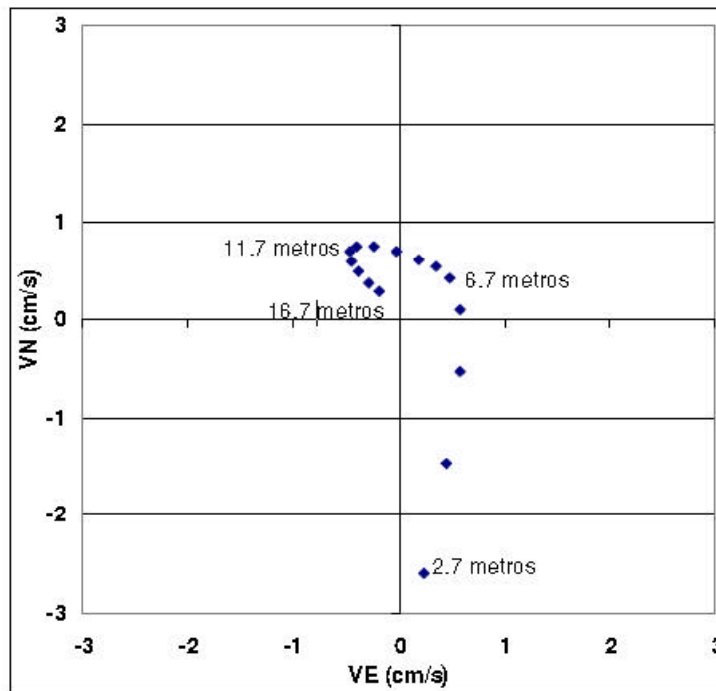


Fig. 4.10 Médias dos componentes das intensidades das correntes ao longo da coluna d'água, distâncias medidas em relação ao fundo (De Carvalho et al., 2006)

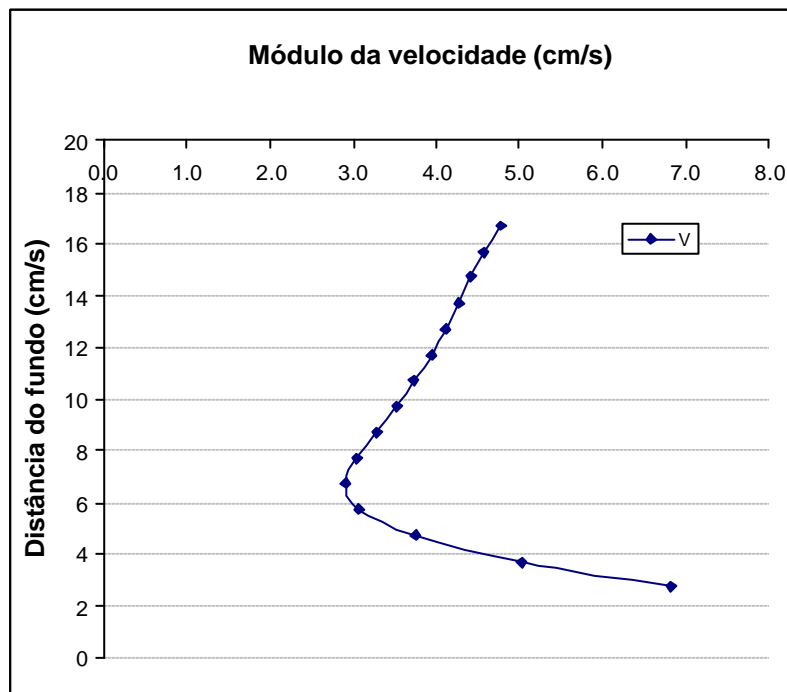


Fig. 4.11 Perfil vertical das intensidades médias de corrente

Conclui-se que a direção de transporte predominante próximo ao fundo, i.é: nas camadas em que o jato dos efluentes emergindo do emissário será mais afetado, é aproximadamente de Norte para Sul, ou seja: paralela à orientação da margem no local. A estas profundidades as intensidades das correntes (parâmetro fundamental para o transporte dos efluentes descartados) são mostradas na Fig. 4.12, na forma das séries temporais registradas.

As séries acusam fracas velocidades de corrente no local, no período de medição. Mas, como mostra a Fig. 4.11, nas demais séries temporais de correntes levantadas às profundidades de 6.7 m, 11,7 m e 16,7 m do fundo (De Carvalho et al., 2006), as correntes são ainda mais fracas até 4m abaixo da superfície.

Destes registros foi computada a velocidade média de projeto com as seguintes características:

- Intensidade média das correntes no fundo (≤ -16 m): $u_a = 4,8$ m/s
- Intensidade média das correntes na coluna de água: $u_{a,max} = 4,1$ m/s
- Direção: NNW-SSE (ou seja: aproximadamente paralelo à linha da margem).

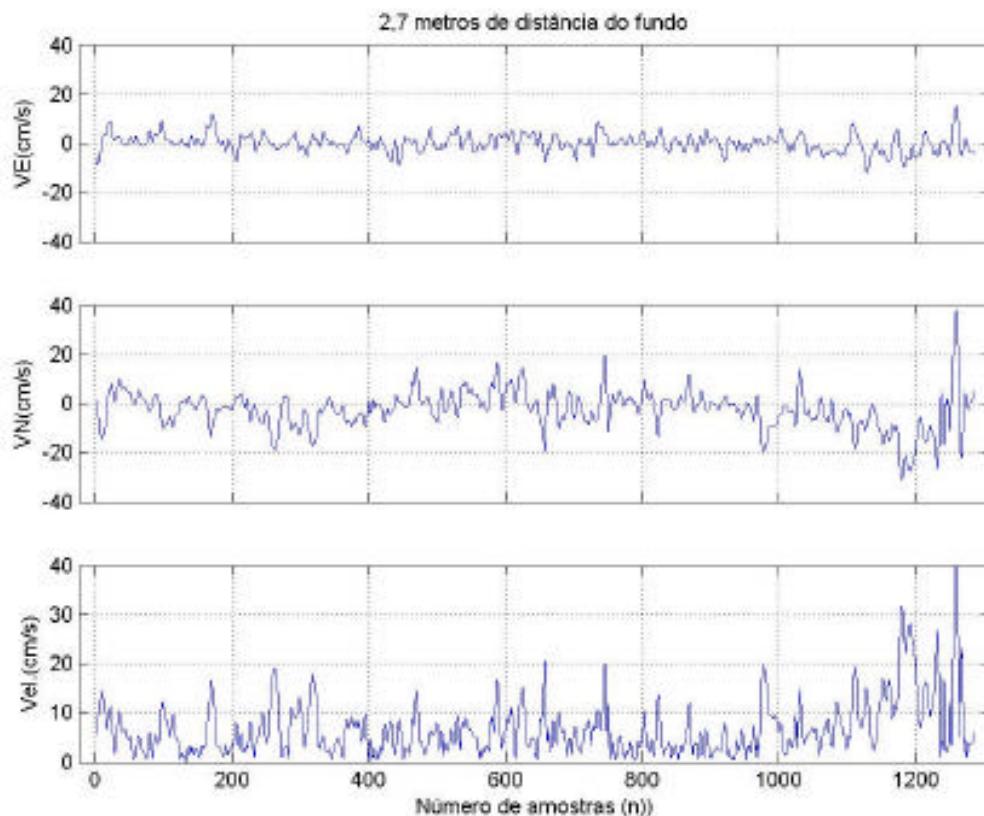


Fig. 4.12 Séries temporais das correntes próximas ao fundo (De Carvalho et al., 2006)

No caso de ocorrerem correntes convergentes à linha da costa existe a possibilidade dos efluentes serem transportados para uma zona que se quer proteger. O grau de impacto que então causarão dependerá do tempo de trânsito e da dispersão/diluição intervenientes no trajeto. Porém uma corrente rigorosamente convergente com a costa haverá dela se desviar ao diminuir sua aproximação uma vez que a costa constitui uma barreira física à continuidade daquela direção de transporte.

Como o efluente é menos denso que o meio receptor e há probabilidade de estratificação. Adicionalmente, a estratificação conservará os efluentes na camada inferior da coluna de água. Isto, aliado às íngremes declividades transversais ao canal colocará uma intransponível barreira ao transporte da pluma de efluentes em direção a ambas as margens do estreito.

4.1.4 Temperaturas da água

A temperatura média da coluna d'água no local durante o período de medições (outubro, 2006) variou entre a mínima de 23,8°C e a máxima de 30,8°C. Na Tabela 4.3 são listados os valores ao longo da coluna d'água. Estes valores são graficados na Fig. 4.13

Tabela 4.3 Valores da temperatura ao longo da coluna d'água (De Carvalho et al., 2006)

<i>Distância do fundo (m)</i>	<i>Temperatura</i>		
	<i>Mínima (°C)</i>	<i>Média (°C)</i>	<i>Máxima (°C)</i>
0.57	23.91	24.97	25.81
1.94	24.09	25.17	26.00
3.87	24.08	25.19	26.16
5.81	24.27	25.28	26.36
7.74	24.61	25.65	27.04
9.68	24.74	25.81	27.00
11.61	24.68	25.96	27.28
13.55	25.06	26.22	27.85
15.50	24.75	26.16	28.10
16.70	24.88	26.68	30.81

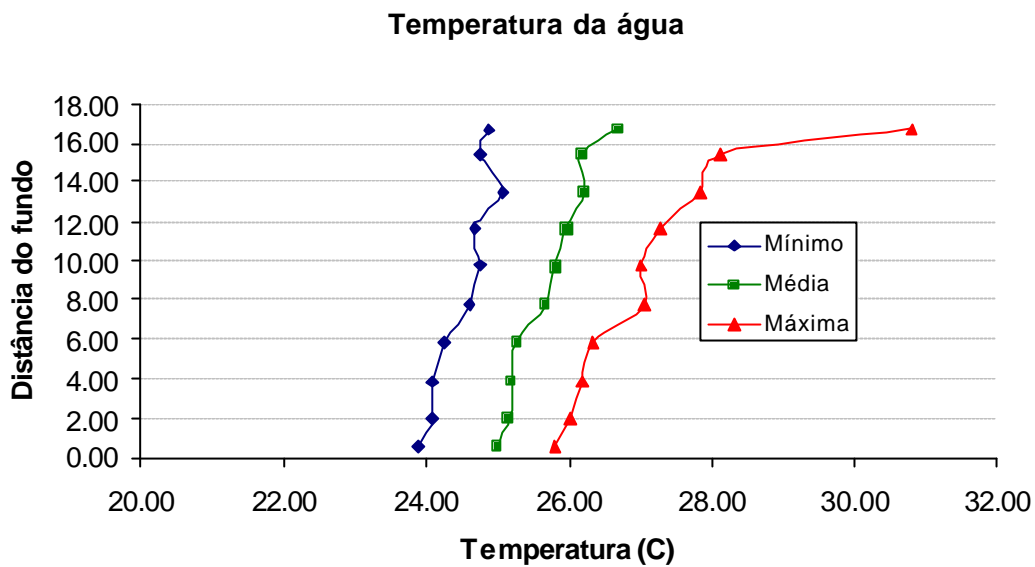


Fig. 4.13 Perfis de temperatura ao longo da coluna d'água (De Carvalho et al., 2006)

Observa-se uma fraca variação ($1,7^{\circ}\text{C}$ em 16 m), as temperaturas decrescendo em direção ao fundo. Não há formação de termóclina. O valor médio foi:

P Temperatura média da coluna d'água: $25,7^{\circ}\text{C}$

Quanto às variações diurnas destas temperaturas, a Figura 4.14 mostra que praticamente não ultrapassam 2°C em um mesmo nível e 4°C ao longo da coluna d'água. A Fig. 4.15 conjuga as variações espaciais e temporais da temperatura na coluna.

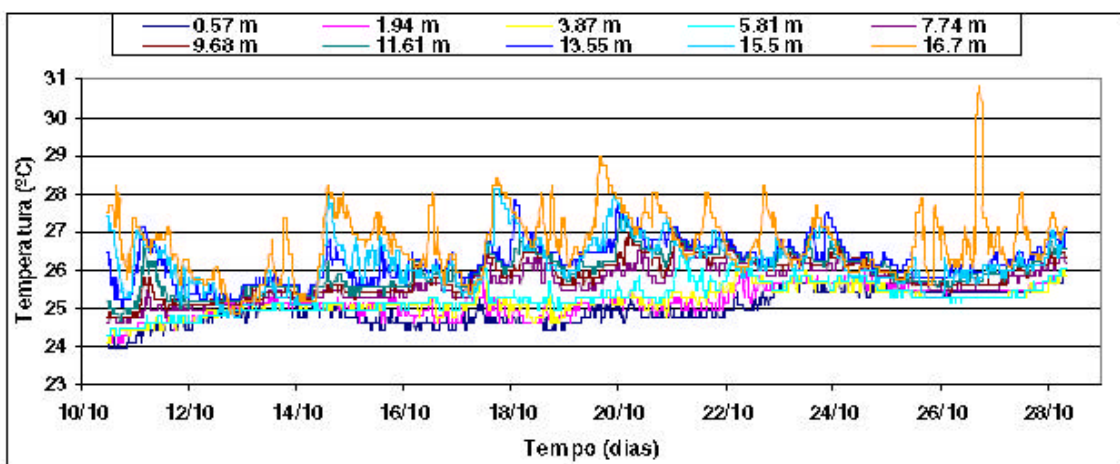


Fig. 4.14 Variações temporais da temperatura a diversos níveis da coluna d'água (De Carvalho et al., 2006)

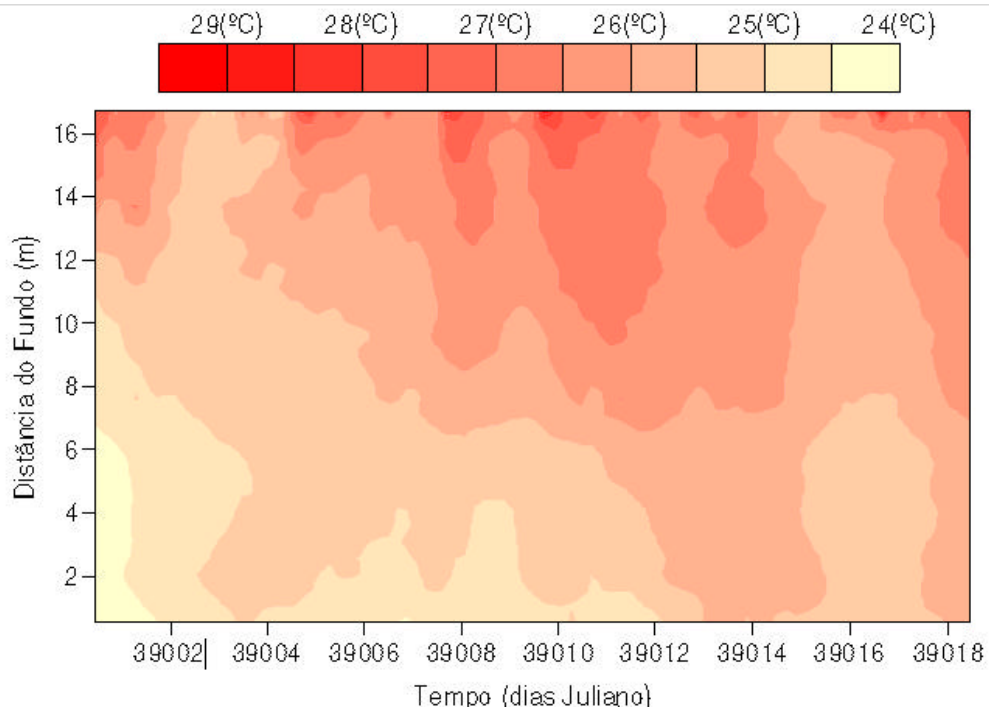


Fig. 4.15 Variação da temperatura ao longo da coluna, com o tempo (De Carvalho et al., 2006)

4.1.5 Temperatura da descarga

Conforme relatado na Referência Petrobrás, 2006, a temperatura máxima de descarga dos efluentes é sempre $< 40^{\circ}\text{C}$. Evidentemente esta temperatura sofrerá um decréscimo ao transitar pelo emissário; por conseguinte torna-se estimar o valor que atingirá no ponto de descarga ao final do emissário. Este valor é fundamental para a avaliação do comportamento do jato e, por conseguinte, para a diluição dos efluentes descartados na lago.

Foi então feito um cálculo baseado na teoria clássica da condução de calor, a seguir resumido. Um balanço térmico em um fluido transitando por uma tubulação imersa em um ambiente a uma diferente temperatura conduz ao seguinte resultado (Incropera & De Witt, 1990):

$$T_{m,o} = T_{m,i} + \frac{\pi \bar{h} D L}{\dot{m} c_p} \mathbf{DT}_{lm} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

- onde: $T_{m,o}$ = temperatura média do fluido na secção transversal do tubo à saída do mesmo
 $T_{m,i}$ = temperatura média do fluido na secção transversal do tubo à entrada do mesmo
 \bar{h} = coeficiente de convecção médio na tubulação
 D = diâmetro da tubulação
 L = comprimento da tubulação
 \dot{m} = vazão mássica do fluido na tubulação
 c_p = calor específico do fluido

DT_{ml} = diferença de temperatura média logarítmica, dada pela relação:

$$DT_{ml} = \frac{(T_s - T_{m,o}) - (T_s - T_{m,i})}{\ln \left[\frac{(T_s - T_{m,o})}{(T_s - T_{m,i})} \right]} \quad (Eq. 4.2)$$

em que T_s é a temperatura à superfícies da tubulação (suposta constante e igual à temperatura do meio no qual está imersa).

Na situação sob análise foram adotados os seguintes valores:

$$\begin{aligned} T_s &= 25,7^\circ C = 298,85 K \\ T_{m,i} &= 40^\circ C = 313,15 K \\ \bar{h} &= 800 W.m^{-2}.K^{-1} \\ D &= 0,25 m \\ L &= 180 m \\ \dot{m} &= 31,9 kg.s^{-1} \\ c_p &= 4175 J.kg^{-1}.K^{-1} \end{aligned}$$

que substituídos nas Equações 4.1 e 4.2 geraram a seguinte equação:

$$T_{m,o} = 313,15 + 0,85 \left[\frac{313,15 - T_{m,o}}{\ln(0,0699 T_{m,o} - 20,8986)} \right] \quad (Eq. 4.3)$$

que é uma equação implícita, isto é: a incógnita $T_{m,o}$ aparece nos dois lados da igualdade, de uma forma em que não é possível explicitá-la. Foi então usado o algoritmo de aproximações sucessivas de Newton-Raphson para resolvê-la por tentativa e erro. Fazendo-se:

$$f(T_{m,o}) = T_{m,o} - 313,15 - 0,85 \left[\frac{313,15 - T_{m,o}}{\ln(0,0699 T_{m,o} - 20,8986)} \right]$$

$$f'(T_{m,o}) = 1 + 0,85 \left\{ \frac{\ln(0,0699 T_{m,o} - 20,8986) + 0,0699 (313,15 - T_{m,o}) / (0,0699 T_{m,o} - 20,8986)}{[\ln(0,0699 T_{m,o} - 20,8986)]^2} \right\}$$

o algoritmo é montado como:

$$(T_{m,o})_{k+1} = (T_{m,o})_k + \frac{f(T_{m,o})_k}{f'(T_{m,o})_k}$$

que converge rapidamente:

k	$(T_{m,o})_k$	$f(T_{m,o})_k$	$f'(T_{m,o})_k$
1	303	-3,1030	1,6519
2	305,0284	- 0,1005	1,5529
3	305,0931	-0,001	1,8500
4	305,0931		

Portanto a temperatura estimada dos efluentes na saída é:

$$T_o = 305,093 \text{ K} \cong 32^\circ\text{C}$$

4.1.6 Coeficientes de dispersão

Existem duas fases espacialmente distintas no processo de diluição dos efluentes de um emissário submerso descarregando efluentes menos densos que a água ambiente. Em um campo próximo, onde ocorre a diluição primária, predomina a ação do jato na qual gradientes intensos de velocidade que ocorrem nos limites entre o jato e o ambiente provocam instabilidades que geram vórtices, que por sua vez entranham a água do ambiente e provocam a diluição. Esta é a fase em que a maior parte da diluição tem lugar.

Impulsionado pela sua quantidade de movimento (ou “momentum”) inicial, o jato ascende até atingir uma cota máxima de equilíbrio gravimétrico, i.é: até sua densidade se igualar à do corpo receptor no processo de diluição. Eventualmente o jato ascendente atinge a superfície. Estes processos se dão no que se convencionou chamar o “campo próximo” do jato; a diluição aí obtida é denominada diluição primária.

A partir deste ponto o jato dos efluentes passa a comportar-se como uma pluma que é transportada pela corrente local e expande-se – o que significa entranhar água não contaminada que a dilui – sob o efeito conjugado da turbulência e do cisalhamento. Este é o “campo afastado”, onde se processa a diluição secundária. Ao se expandir a pluma vai naturalmente abarcando vórtices de dimensões cada vez maiores. A velocidade de expansão sofre assim uma aceleração. O coeficiente de dispersão é o fator que mede a taxa de variação desta expansão. Tratando-se de um processo em três dimensões, há que se considerar os componentes nas direções longitudinal ao eixo da pluma (D_x), na transversal a ela (D_y) e na vertical (D_z). Suas dimensões no sistema SI são m^2/s .

O coeficiente vertical é geralmente pelo menos uma ordem de grandeza inferior aos componentes horizontais:

$$D_z < 10^{-1} (D_x, D_y)$$

pois, como as dimensões horizontais do oceano são muito superiores à vertical, os vórtices responsáveis pela dispersão são muito mais atuantes no plano horizontal. Isto significa que a espessura da pluma (dimensão vertical) é praticamente constante no campo afastado; a ação

diluidora do entranhamento só se dá de maneira significativa pelas laterais, tanto mais que no caso de uma pluma menos densa aderida encostada à superfície a mistura vertical torna-se ainda mais prejudicado.

Numa situação de descarga contínua, a dispersão longitudinal definida por D_x não é de interesse pois a mistura na direção do eixo da pluma não causa diluição e o entranhamento só tem lugar nas laterais. Por isto o componente que realmente interessa é D_y . Como corpos de água extensos têm uma estrutura horizontal de turbulência razoavelmente isotrópica pelo menos em curtas distâncias, tem-se $D_x \cong D_y = D$, o que pode ser expresso por uma lei da forma:

$$D = A L^n \quad (5.1)$$

onde L é a dimensão representativa da nuvem de efluente (ou traçador) e A e n são dois parâmetros ajustáveis às situações locais. O parâmetro n expressa a influência da turbulência; geralmente tende a assumir os seguintes valores:

$n = 4/3$	em pontos afastados da costa
$n = 1$	em pontos próximos da costa
$n < 1$	em corpos d'água confinados

enquanto que o valor de A fica geralmente confinado dentro da faixa $0,001 < A < 0,1$. A maneira mais acurada de determinar tais parâmetros é via testes com traçadores injetados e monitorados na região em estudo.

Testes com traçadores (Rodamina WT) na Enseada de Itaorna - RJ (Moreira & Pinto, 2002) forneceram valores dos parâmetros de dispersão nas faixas de (em unidades do sistema CGS):

$$0,005 < A < 0,05$$

$$0,68 < n < 1,22$$

os valores de n confirmando assim a influência da costa (a dispersão fica amortecida). Uma grande quantidade de dados quantitativos sobre a dispersão oceânica é disponível, furto de várias séries de medições realizadas por diversos pesquisadores em vários oceanos (Yudelso, 1967). Conforme mostra-se no Estudo Anterior, os valores acima não diferem notavelmente de valores observados em outros locais e oceanos. Estão na faixa superior da banda dos valores mundiais e indicam capacidades de dispersão superiores às medidas em outros locais do litoral brasileiro (costas leste e nordeste). Uma extensa compilação destes valores experimentais é mostrada na Fig. 4.16.

Finalmente há que se considerar que a situação da pluma de efluente estratificada no fundo do corpo receptor apresenta a mesma vantagem das plumas retidas a meia profundidade da coluna d'água pelo efeito de uma picnóclina, e que freqüentemente é buscada nos projetos de emissários. Ou seja: se as correntes transportarem a plumas em direção à costa, a camada ocupada pelos

4.2 Parâmetros do Efluente

4.2.1 Vazões de projeto

O valores de projeto para a vazão máxima de descarte foram diretamente comunicados ao CDTN pela PETROBRÁS (Petrobrás/Cepemar, s/ data; ANA, 2002):

$$q_o = 115 \text{ m}^3/\text{h} = 32,2\text{L/s}$$

4.2.2 Composição de projeto do efluente

Os efluentes são originários de:

- Purga da torre de resfriamento
- Unidade de desmineralização
- Dreno dos pisos e equipamentos
- Dreno da área dos transformadores.

Os drenos do sistema de desmineralização são coletados no poço de neutralização onde têm seu pH corrigido por adição de ácido ou de base. O dreno oleoso dos pisos, equipamentos e área dos transformadores são enviados ao separador de água/óleo; o óleo separado é enviado para um tanque de rejeito e somente a fase aquosa será descartada no lago. A purga da água de resfriamento e os outros fluxos de efluentes líquidos que não necessitem de ajuste do pH nem separação água/óleo são enviados diretamente para o descarte. Haverá um coletor de amostras na linha de descarte para o Lago Jupuíá, onde se fará a monitoração da qualidade dos efluentes.

As características físico-químicas dos efluentes após tratamento na ETE foram repassadas ao CDTN pela Referência Petrobrás, 2006. A caracterização é a indicada na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 Composição de projeto dos efluentes

<i>Componente/ Parâmetro</i>	<i>c_o</i>
pH	6,0 a 8,0
Turbidez	40 NTU
DBO _{5,20°C}	0,1 mg/L O ₂
Fosfato total	0,05 mg/L P
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L ₃
Óleos e graxas	< 20 mg/L
Temperatura	< 40°C

4.2.3 Densidade de projeto do efluente

No presente estudo considera-se a total predominância das águas de produção na fase aquosa dos efluentes, dada a sua salinidade de aproximadamente 500 mg/L (em sólidos dissolvidos). Isto corresponde a ~0,5‰, ou seja: a menos do que 60 vezes a salinidade da água do mar em costas brasileiras. Rios da América do Sul têm um teor médio de sólidos totais dissolvidos da ordem de 69 mg/L (Wetzel, 1993). No semi-árido brasileiro a salinidade varia entre 300 mg/L e 25.000 mg/L (águas doces são consideradas aquelas com menos de 1.000 mg/L). A influência dos solutos sobre a densidade desta água é pois desprezível, e mesmo difícil de medir (Perry, 1984).

Assim, resta apenas influência da temperatura sobre a densidade desta água, que é praticamente a mesma sobre a água doce. A Tabela 4.6 indica os valores da densidade (ρ) do efluente a temperaturas intermediárias entre a média anual do Lago Jupia (25,7°C) e a temperatura máxima do descarte (40°C). A terceira coluna desta tabela indica o decréscimo de densidade do efluente em relação à água do lago (ρ_0).

Tabela 4.6 Densidades e diferenças de densidades do efluente

T (°C)	ρ (kg/m ³)	$\rho - \rho_0$ (kg/m ³)
25,7	996,86	0
30	995,65	-1,21
32	995,03	-1,83
36	993,68	-3,18
40	992,22	-4,64

Isto quer dizer que 1 m³ do efluente a 32°C tem quase 2 kg a menos do que 1 m³ da água do lago, e que portanto tenderá a boiar na mesma.

4.3 Conformidade do efluente

A Resolução CONAMA N° 357 fixa as concentrações máximas permissíveis para águas receptoras e efluentes nelas descartados. Assim o Artigo 34 desta Resolução fixa os valores máximos admissíveis nos efluente, a serem enquadrados pela diluição com a águas do corpo receptor na zona de mistura. Este valores estão indicados na Tabela 4.5, onde estão cotejados com os efluentes da UTE Três Lagoas. O Artigo 34 da CONAMA 357 não fixa valores máximos permissíveis de sólidos totais dissolvidos (STD), turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20°C}) e fosfatos.

Tabela 4.5 Concentrações dos efluentes da UTE Três Lagoas (c_o) comparadas às *CMP*'s

<i>Componente</i>	c_o	<i>CMP</i>
pH	6,0 – 8,0	5 - 9
Turbidez	40 <i>UNT</i>	-
DBO _{5,20°C}	0,1 <i>mg/L O₂</i>	-
Fosfato total	0,05 <i>mg/L P</i>	-
Sólidos totais dissolvidos (STD)	500 <i>mg/L</i>	-
Óleos e graxas (O&G)	< 20 <i>ppm</i>	< 20 <i>mg/L</i>
Temperatura	< 40°C	< 40°C *

* - a variação não devendo exceder 3°C na zona de mistura

Observa-se à primeira vista que os efluentes são muito limpos, o que era de se esperar uma vez que não resultam de resíduos ou rejeitos de processos, conforme foi dito no parágrafo 4.1.2, além de serem submetidos a um separador SAO.

O cotejo na Tabela 4.5 indica que os efluentes da UTE de Três Lagoas não ferem nenhuma das prescrições do Artigo 34 da CONAMA N° 357 fixa as concentrações máximas permissíveis para águas receptoras de classe 1 e podem ser descartados no Lago.

5. ESTIMATIVA DA DILUIÇÃO NECESSÁRIA

5.1 Conceitos Básicos

A função básica de um emissário submerso é a de descartar em um dado corpo hídrico de superfície (lagos, rios, estuários, baías e oceanos) efluentes com algum grau de tratamento prévio, de uma maneira tal que seja minimizado o impacto ambiental. Este impacto está relacionado com a introdução de materiais ou que sejam estranhos ou que, embora possa estar presentes no corpo receptor, não ocorram nele na mesma proporção (concentrações, intensidades, etc.) em que estão presentes no efluente.

A minimização do impacto é obtida jogando-se fundamentalmente com duas possibilidades:

- afastando o ponto de descarte das margens,
- promovendo uma eficiente mistura entre o efluente e a água do corpo receptor logo à saída da descarga.

A segunda possibilidade acima está em parte ligada à primeira, pois quanto maior os afastamentos da margem, maiores profundidades estarão disponíveis para diluições eficientes já no jato da descarga, e mais propícias serão as condições de renovação das águas que efetuam a diluição.

No entanto, mesmo para iguais condições geométricas e hidrodinâmicas no ponto de descarga, a eficiência da diluição pode ser incrementada por técnicas de engenharia que consistem no projeto de um adequado difusor. Este componente do sistema cria artificialmente uma turbulência adicional no(s) jato(s) efluente(s) que, em conjunção com os efeitos gravimétricos devidos à diferença de densidade entre o efluente e o corpo receptor, eleva o grau inicial da diluição de duas ordens de grandeza em relação ao efeito da simples turbulência natural.

Para que o descarte se conforme à qualidade das águas na classe em que foram enquadradas, os efluentes têm que sofrer uma diluição pela água do corpo receptor de uma magnitude tal que suas concentrações sejam reduzidas a valores inferiores às concentrações máximas permitidas (CMP) pela especificação da classe.

Considerando c_{oi} como sendo a concentração do i -ésimo componente do efluente na descarga, tem-se que cada componente tem de sofrer um grau de diluição dado por um fator S_i , chamado “coeficiente de diluição”, definido como:

$$S_i = \frac{c_{oi}}{(CMP)_i} \quad (5.1)$$

Como os componentes estão mais ou menos concentrados no efluente, e como as concentrações máximas permissíveis são mais ou menos restritas em função das toxicidades dos

componentes, resulta que cada um dos N componentes do efluente deve sofrer uma diluição específica para atingir a especificação legal:

$$S_i \neq S_j, \quad i \neq j, \quad i = 1, \dots, N \quad (5.2)$$

O componente cujo valor S_i for máximo (ou porque suas concentrações no efluente são muito elevadas, ou devido à sua alta toxicidade, ou por uma conjugação destas duas razões), será considerado o “componente crítico”. Este valor $S_{i,max}$ definirá o grau de diluição requerido pelo sistema emissário-difusor a fim de garantir a observação dos padrões e qualidade do corpo receptor.

Tal como definido na Equação (6.1), S representa um fator de diluição global, ou seja: incorpora a diluição obtida tanto no campo próximo como no campo afastado da descarga, as quais envolvem mecanismos bastante distintos.

5.2. Definição de Concentrações Máximas Permissíveis

A Resolução CONAMA 357, Art. 14 fixa para águas doces de classe 1 os valores e concentrações máximas admissíveis (*CMP*) para seus constituintes. Estes valores estão mostrados na Tabela 5.1 para aqueles parâmetros e componentes de interesse no efluente da UTE de Três lagoas.

Tabela 5.1 Valores/*CMP* para águas doces de classe 1

<i>Componente/ Parâmetro</i>	<i>CMP</i>
pH	6,0 a 9,0
Turbidez	40 <i>NTU</i>
DBO _{5,20°C}	3 <i>mg/L O₂</i>
Fosfato total	0,02 <i>mg/L P</i>
Sólidos dissolvidos totais	-
Óleos e graxas	Virtualmente ausentes
Temperatura	-

Alguns itens são marcados com um traço (-) na terceira coluna da Tabela 5.1. Para estes parâmetros não tem sentido calcular o coeficiente de diluição. Por isto algumas explicações são necessárias sobre critérios adotados *ad hoc* para determinados valores das *CMP*'s indefinidos pela Resolução CONAMA N° 357.

5.2.1 Óleos e graxas

Observa-se na Resolução que os teores de óleos e graxas (O&G), são limitados pelo critério qualitativo de “virtualmente ausentes”; delegando o CONAMA a quantificação destes parâmetros aos órgãos de controle ambientais. Esta situação é importante para o problema aqui discutido, considerando-se a ubíqua presença de O&G em efluentes de instalações da indústria do petróleo.

Para balizar esta qualificação, foram feitas algumas considerações com base em especificações de normas estrangeiras (CDTN, 1987) e o critério adotado foi: $CMP_{O\&G} = 0,5 \text{ mg/l}$. Porém convém notar que as normas consultadas têm um caráter mais de recomendações e aplicam-se a corpos receptores de natureza distinta do aqui considerado.

Como ilustração da dificuldade, reportamo-nos ao critério estipulado pela US-EPA, uma agência que serve como referência mundial e que norteia a confecção das normas brasileiras (EPA, 1976). A EPA também se refere à virtual ausência, mas para o caso de águas destinadas ao abastecimento doméstico. Para águas naturais, apenas requer a sua adequação à manutenção da vida aquática, restringindo os teores de O&G a 0,01 do $LC_{50} - 96 \text{ h}$ (concentração na qual 50% dos organismos morreriam após uma exposição de 96 h) para espécies marinhas de importância e de demonstrada susceptibilidade a óleos e produtos petroquímicos. Isto coloca o complicador da execução de onerosos e nem sempre conclusivos bioensaios.

No presente estudo propõe-se um critério operacional: o limite mínimo de detecção com base nas metodologias analíticas oficialmente aceitas. O *Standard Methods* (APHA, 1985) recomenda o método de extração por solvente ($C_2Cl_2F_3$) e detecção por espectrofotometria no infravermelho para teores $< 10 \text{ mg/l}$. Segundo a mesma referência, este método possibilita detecções de teores até $0,2 \text{ mg/l}$ de O&G com uma instrumentação adequada. Este é o valor que consideraremos para a concentração máxima permitível (CMP), correspondente a “virtualmente ausentes”, posto que teores inferiores não seriam passíveis de detecção.

5.2.2 Sólidos totais dissolvidos (STD)

Os valores para estes parâmetros não são sequer qualitativamente fixados no Artigo 14 da resolução CONAMA 357.

Os teores de STD nos efluentes (500 mg/L) podem parecer elevados, mas só porque numericamente se destacam entre os demais parâmetros. Como foi visto no Parágrafo 4.1.3 esta concentração nem mesmo influi sobre a densidade da água ou a torna salobra. No presente estudo essa indefinição não coloca portanto quaisquer problemas.

5.3 Definição dos Coeficientes de Diluição

Aplicando-se a definição contida na Equação 5.1 aos valores de c_o (Tabela 5.1) e das CMP's previstas para águas doces de classe 1 pela resolução CONAMA 357, Art. 14, obtêm-se os valores dos coeficientes de diluição S , necessários para o enquadramento na Resolução N° 357, tal como indicados na última coluna da Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Coeficientes de diluição necessários para os da UTE Três Lagoas

<i>Componente/ Parâmetro</i>	<i>c_o</i>	<i>CMP</i>	<i>S</i>
pH	6,0 – 8,0	6,0 a 9,0	1
Turbidez	40 UNT	40 NTU	1
DBO _{5,20°C}	0,1 mg/L O ₂	3 mg/L O ₂	1
Fosfato total	0,05 mg/L P	0,02 mg/L P	2,5
STD	500 mg/L	-	-
O&G	< 20 ppm	Virtualmente ausentes*	1
Temperatura	< 40°C	≤ 40°C	1

* - equivalente a 20 mg/L , conforme definido no Parágrafo 5.2.1.

Os valores $S = 1$ correspondem aos parâmetros que já no ponto de lançamento estão enquadrados na Resolução CONAMA 357, Art. 14, isto é: não requerem qualquer adicional diluição. Assim apenas os fosfatos demandam diluição, e mesmo assim de um fator muito pequeno e facilmente alcançável pelo jato a uma curta distância da descarga (a zona de mistura será assaz reduzida).

Esta situação comprova que os efluentes podem ser considerados muito “limpos” e de baixo impacto para o meio ambiente.

5.4 Componente Crítico

De uma maneira geral os fatores de diluição são bastante modestos em relação aos níveis usualmente alcançáveis nos emissários submersos. Isto indica que os efluentes líquidos da UTE Três lagoas sofreram um tratamento prévio eficiente e que, tanto em quantidade como em qualidade, representam um muito baixo potencial de impacto ao meio ambiente. Mediante adequada diluição pelo emissário, eles não colocarão nenhum risco para as águas locais.

Verifica-se na Tabela 5.2 que os componentes que requerem diluição são os fosfatos.

Os óleos e graxas não demandam diluição. Ressalta-se que óleos e graxas tiveram uma *CMP* também conservativamente estabelecida *ad hoc* para este estudo.

O fator de diluição de projeto para o emissário é, portando: $S = 500$.

6. ESTIMATIVA DA DILUIÇÃO

6.1 Definição do Tipo de Difusor

Com o objetivo de provocar a maior diluição possível nos jatos emergentes do emissário faz-se uso de um dispositivo ao final a tubulação do emissário: o difusor. Este componente consiste de uma extensão do emissário com múltiplas saídas (um *manifold*) que provoca um espalhamento do fluxo por um volume inicial maior do corpo receptor. Os múltiplos jatos emergentes têm assim condições de entrar um volume maior de água do corpo hídrico receptor para a diluição do que se houvesse apenas um orifício de descarga.

A vazão a ser descarregada pelo emissário da UTE Três Lagoas é porém muito reduzida: $q_o = 115 \text{ m}^3/\text{h}$. A divisão deste fluxo entre vários, ou mesmo dois orifícios de descarga, reduziria a velocidade na saída a valores inadequados para garantir o máximo aproveitamento dos efeitos ligados à turbulência do jato. Adota-se portanto um único orifício ao final do tubo de emissário, com uma redução no diâmetro do orifício de descarga ao seu final, para se garantir uma velocidade do jato efluente que seja mais eficiente para a diluição.

6.2 Diluição Primária – Campos Próximo Descarga

O campo próximo da descarga compreende aquela região onde o escoamento dos efluentes descarregados sente o efeito da quantidade de movimento que lhe é conferida pela velocidade no orifício de descarga. À diluição obtida no campo próximo da descarga se dá o nome de diluição primária:

$$\bar{S}_p = \frac{c_o}{\bar{c}_H} \quad (\text{Eq. 6.1})$$

onde c_o e \bar{c}_H são as concentrações do efluente na descarga e no final do campo próximo. As barras superiores indicam que se trata dos valores médios na secção transversal da pluma.

A magnitude de \bar{S}_p é aquela que pode ser controlada pelas técnicas de engenharia, especificamente pelo projeto do emissário e do difusor.

O campo próximo da descarga compreende aquela parte do volume do oceano atingido pelos efluentes na qual os mecanismos de transporte induzidos pelo sistema emissário-difusor prevalecem no processo de entranhamento/diluição. Estes mecanismos de transporte induzidos pelo difusor são devidos ao fluxo de volume por ele descarregado, que possui quantidade de movimento (*momentum*) e densidade diferentes das do corpo receptor. A diferença de densidade entre o efluente e as águas que o recebem introduz um efeito de “boiância”, que no caso ora estudado é positiva dado ser a densidade do efluente menor do que a da água do corpo receptor.

Este efeito é restrito às proximidades da descarga, pois a turbulência criada é tão intensa que com a rápida diluição o fluxo de momentum (razão entre o momentum e a área da secção transversal do jato) decresce rapidamente e logo a influência da boiância se sobrepõe e ele. Neste ponto o jato toma uma trajetória ascendente, normalmente transversal às correntes. Tanto o empuxo devido à boiância como a intersecção com as correntes continuam a contribuir vigorosamente para o entranhamento e a diluição dos efluentes.

O momentum e a boiância introduzem agudos gradientes de velocidade na superfície limite entre o jato e a água ambiente, os quais provocam instabilidades hidrodinâmicas que criam torvelinhos (*eddies*) e desta maneira a água é progressivamente introduzida no núcleo do jato, diluindo-o.

Contudo, mesmo com o entranhamento do fluido ambiente, o diferencial de densidades ainda permanece suficientemente significativo de modo que o jato de efluente se desloca em relação à água do mar sob a influência da gravidade. Isto mantém os gradientes de velocidade nos limites jato/ambiente e a diluição é reproduzida. A gravidade porém acaba sendo superada à medida que o volume entranhado estabelece um equilíbrio densimétrico entre o jato ascendente e as águas do corpo receptor.

Se isto não acontece antes eu o jato atinja a superfície, ele será por ela barrado (formando o denominado “borbulhão”), perderá o momentum de boiância que lhe resta e será obrigado a uma drástica alteração em seu mecanismo e direção de transporte. Nos Limites do borbulhão pode ser formado um ressalto Hidráulico e a seguir o transporte se dá sob o efeito das correntes, ocupando uma camada mais ou menos espessa (dependendo da ação das correntes na fase ascensional) confinada à parte superior da coluna d’água.

Mas o jato ascendente pode alcançar o equilíbrio gravimétrico antes de atingir o topo da coluna d’água. Neste ponto o campo de efluentes também passará a ser governado pela ação das correntes, formando uma cama da estratificada no interior do corpo receptor. Porém a transição entre as trajetórias ascensional e horizontal dar-se-á de maneira mais suave. .

A avaliação da magnitude da diluição é baseada em princípios da hidrodinâmica dos jatos, complementados pela análise dimensional dos fenômenos e em calibrações em modelos físicos (Fischer, *et.al.*, 1979; Chu, 1979; Roberts, 1979, 1987, 1996). No caso em apreço: um jato simples em ambiente não estratificado, os parâmetros que regem o fenômeno são:

- a) Os três parâmetros de descarga, os fluxos iniciais de volume, Q_o , de boiância, B_o , e de momentum, M_o :

$$Q_o = u_o A_o = \frac{\rho}{4} d^2 u_o \quad B_o = g \frac{\Delta \rho_o}{\rho_o} Q_o = g' Q_o \quad (\text{Eqs. 6.2})$$

$$M_o = u_o Q_o = \frac{\rho}{4} d^2 u_o^2$$

Onde:

- u_o = velocidade de descarga do jato emergente do difusor
 A_o = área do orifício de descarga
 D = diâmetro do orifício de descarga
 G = aceleração da gravidade
 d = diâmetro do orifício de descarga
 ρ_o = densidade do efluente
 $\Delta\rho_o = \rho_o - \rho_a$ = diferença de densidades entre o efluente e o fluido no ambiente receptor
 $g' = g(\Delta\rho_o/\rho_a)$ = é uma gravidade “reduzida” (pela flutuabilidade no meio)

b) Duas escalas adimensionais, l_m e l_Q :

$$l_m = \frac{M_o^{3/4}}{B_o^{1/2}} \quad l_Q = \frac{Q_o}{M^{1/2}} \quad (\text{Eqs. 6.3})$$

Estas escalas têm um significado físico preciso.

A escala de comprimento $l_Q (= A_o^{1/2})$ é a razão entre os fluxos de volume e de momentum da pluma. Ela é uma medida da distância à qual o fluxo volumétrico do fluido ambiente entranhado torna-se aproximadamente igual ao fluxo de volumétrico inicial Q_o (a concentração inicial dos componentes do efluente caindo pela metade). A distâncias do descarte muito superiores a l_Q o fluxo volumétrico inicial deixa de ter importância para a seqüência dos fenômenos físicos.

A escala de comprimento l_m é a razão entre os fluxos de momentum e de boiância do jato emergente. Ela é uma medida da distância à qual a boiância gera um momentum aproximadamente igual ao fluxo inicial de momentum.

Uma reprodução do jato boiante em meio receptor sem correntes calmas é dado na Fig. 6.1. Nela são indicadas as intensidades das concentrações através da modulação cromática transitando do vermelho para o azul.

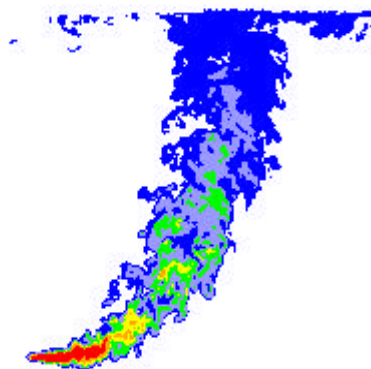


Fig. 6.1 - Descarga de um jato boiante

Uma reprodução esquemática do jato boiante é dado na Fig. 6.2. Nela são indicadas grandezas físicas de interesse para o projeto.

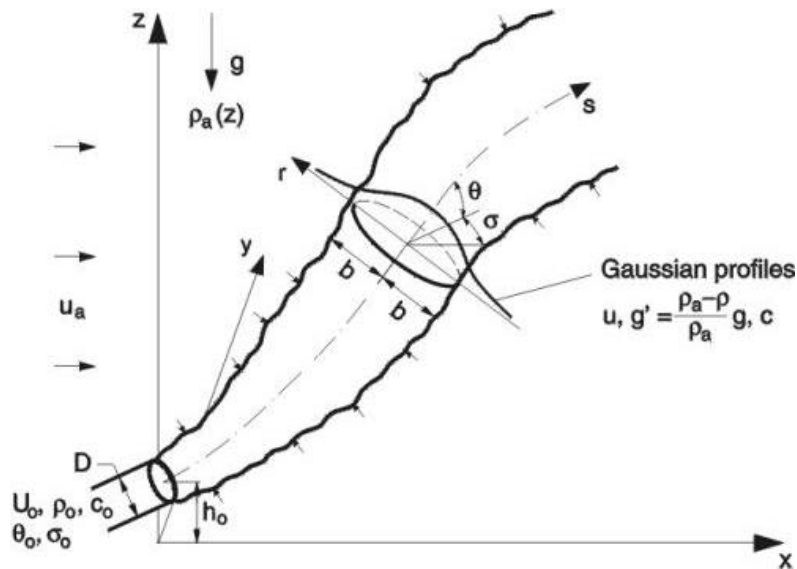


Fig. 6.2 – Esquema de um jato boiante sob a influência da ação das correntes

Essencial para quantificar a ação conjunta das correntes e da densidade é a relação entre a inércia (momentum) e a gravidade condicionada pelas densidades do jato e do corpo receptor. A relação destes fluxos, o número de Froude densimétrico (Eq. 6.4) é fundamental para a modelagem do fenômeno.

$$IF = \frac{u_a}{(g'_o d)^{1/2}} \quad (Eq. 6.4)$$

O parâmetro S_m indica que a concentração mínima (aquela no eixo central do jato, cf. Fig. 6.2) atinge um valor final no final do trecho ascendente a uma certa distância x_m da descarga também denominado “comprimento da zona de mistura”. A turbulência na camada interior de espalhamento.

6.2 Diluição na pluma no campo próximo

G.H. Jirka e R.L. Donecker vêm desenvolvendo há duas décadas, aperfeiçoando e expandindo periodicamente, um modelo hidrodinâmico numérico para a representação da zona de mistura de jatos no campo próximo da descarga de emissários. Em seu estágio atual este modelo encontra-se substanciado em um *software* comercial cognominado CORMIX (Donecker, *et al.*, 2007), que é recomendado como documento guia chave por órgãos reguladores americanos para o licenciamento

de uma série de descargas industriais, municipais, térmicas, e outras, em corpos hídricos superficiais.

O CORMIX é um sistema numérico abrangente para a análise, predição do desempenho e projeto de emissários e zonas de misturamento de efluentes aquosos. Contém modelos matemáticos de descargas de fontes pontuais e uma interface CAD para projeto assistido por computador. Ademais atende à avaliação do impacto ambiental e ao gerenciamento ambiental. O sistema também prevê o comportamento da pluma de efluentes a longas distâncias (campo afastado da descarga).

Mais alguns detalhes sobre o procedimento adotado pelo código CORMIX podem ser encontrados no Apêndice II.

6.3 Diluição Secundária – Campo Afastado da Descarga

Ao atingir a distância x_m a pluma praticamente perde sua capacidade de mistura vertical em função do colapso de sua turbulência.

Não obstante a turbulência natural do corpo receptor (variável com a profundidade) continua a atuar sobre a pluma densa e a causar uma mistura horizontal. Esta situação foi bem estudada por Brooks (1960) para jatos leves, só que com plumas estratificadas na camada superficial.

A partir daí a pluma passa a estar sujeita unicamente aos agentes hidráulicos ambientais. É a interação destes agentes, com destaque especial para as correntes e da turbulência ambiente, que se encarregam do subsequente transporte da pluma, ou seja: de seu espalhamento e diluição no que se convencionou denominar campo afastado da descarga. A Fig. 6.3 esquematiza a pluma passivamente advectada, em que b_h é uma medida da largura da pluma e u_a é a velocidade da corrente (parâmetro de advecção).

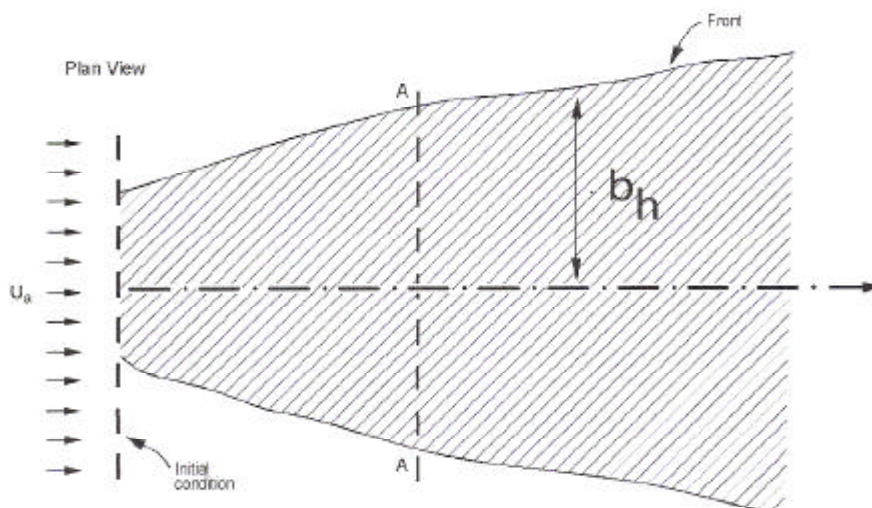


Fig. 6.3 – Esquema da pluma de efluentes no campo afastado da descarga.

A diluição obtida no campo afastado é denominada diluição secundária. Os agentes hidráulicos naturais acima nomeados concorrem para compor os dois mecanismos responsáveis pelo transporte no campo afastado: a) a turbulência natural do oceano e os efeitos cisalhantes devido aos gradientes verticais das correntes compõem o efeito da dispersão; b) as correntes ao afastarem a pluma do ponto de descarga efetuam o efeito da advecção.

A equação de balanço de massa que descreve o transporte dos efluentes sob a influência composta da dispersão e da advecção, para a situação de uma descarga contínua e de condições homogêneas do corpo receptor, é:

$$u_a \frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - \frac{I c}{h_a} \quad (\text{Eq. 6.5})$$

onde:

c = concentração do efluente

u_a = velocidade da corrente, atuando na direção x

D = coeficiente de dispersão na direção y , transversal à da corrente

h_a = dimensão vertical do campo de efluentes

I = taxa de decaimento de um constituinte não conservativo do efluente (desaparecendo segundo uma cinética de primeira ordem).

Ocorre que o coeficiente de dispersão não é uma grandeza constante; na realidade a dispersão aumenta à medida que a pluma se expande e passa a abranger em seu interior vórtices da turbulência oceânica cada vez maiores. Efetivamente, o coeficiente de dispersão corresponde à taxa de crescimento do espalhamento da pluma; espalhamento este que é medido pela variância da distribuição de concentrações na pluma. Ou seja:

$$D = \frac{1}{2} \frac{d\mathbf{s}^2}{dt} = \frac{1}{2} u_a \frac{d\mathbf{s}^2}{dx} \quad (\text{Eq. 6.6})$$

onde o coeficiente $\frac{1}{2}$ dá conta do fato de que embora a dispersão se dê em ambos os sentidos da advecção (para montante e para jusante), somente o avanço para jusante contribui para a diluição e decorrente variação da concentração c .

Considerações teóricas a respeito dos mecanismos de turbulência oceânica e um grande número de medições experimentais em campo (Yudelson, 1967), determinaram que o coeficiente de dispersão é dado por uma expressão do tipo:

$$D = A L^n = A' \mathbf{s}^n \quad (\text{Eq. 6.7})$$

A dimensão representativa da pluma, L , pode ser representada pelo desvio padrão da distribuição das concentrações do efluente (traçador) ao longo do eixo transversal à direção de transporte da pluma. A' , A e n são coeficientes cujos valores dependem das condições oceânicas locais e que carecem ser determinados experimentalmente (no caso em apreço estes valores são

indicados no Parágrafo 4.1.6). Brooks (1960) resolveu analiticamente a equação da dispersão com um coeficiente D variável. Para valores de $n = 4/3$ (que são os representativos da situação de descargas que na sente a influência da linha da costa obteve a seguinte expressão para a diluição mínima no campo afastado:

$$\bar{S}_a = \frac{1}{\operatorname{erf} \left\{ \left[\frac{1,5}{(1 + 2/3 \mathbf{b} x/b)^3 - 1} \right]^{1/2} \right\}} \quad (\text{Eq. 6.8})$$

onde b é a largura da pluma no início do campo afastado e \mathbf{b} é:

$$\mathbf{b} = \frac{12 D|_{x=0}}{u_a b} = \frac{12 A b_o^{4/3}}{u_a} \quad (\text{Eq. 6.9})$$

a segunda igualdade derivando da Eq. (6.7). A notação erf denota a função erro, dada pela expressão:

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-q^2} dq \quad (\text{Eq. 6.10})$$

A função erro encontra-se tabulada na literatura (Abramowitz & Stegun, 1970). Observa-se ainda que o cálculo supôs serem conservativos (inertes) os constituintes do efluente, ou seja: $I = 0$. Isto não corresponde exatamente aos fenômenos físico-químicos atuantes, é mais uma suposição também conservativa. A diluição mínima é aquela verificada no eixo da pluma, onde a concentração é máxima (a uma dada distância da descarga). Ou seja: em qualquer outra posição a diluição será maior, conforme mostra a Fig. 6.4.

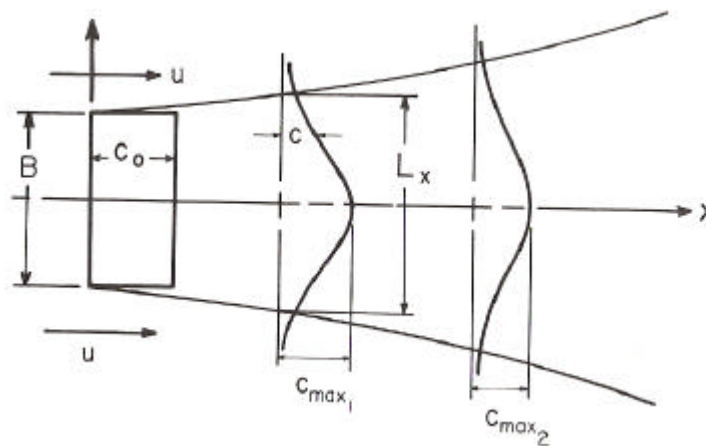


Fig. 7.4 – Diagrama da pluma no campo afastado (Grace, 1978).

No entanto, o valor \bar{S}_a assim estimado corresponde a uma das muitas possibilidades de realização do movimento turbulento em corpos receptores. Isto porque a pluma real não exibe um eixo retilíneo paralelo ao sentido da advecção. Ela sofre um constante meandramento gerado pela turbulência do ambiente. Deste modo \bar{c} é uma medida muito mais realista em termos do impacto dos efluentes.

6.4 Diluição Global

A diluição total, S_T , que sofrerão os constituintes do efluente é o resultado da ação superposta das diluições no campo próximo e no campo afastado:

$$S_T = \hat{S}_m \bar{S}_a \quad (\text{Eq. 6.10})$$

Ela é obtida combinando as Equações (6.4) e (6.8):

$$\bar{S}_T = \frac{5,2 IF}{\text{erf} \left\{ \left[\frac{1,5}{\left(1 + \frac{2}{3} \mathbf{b} x/b\right)^3 - 1} \right]^{1/2} \right\}} \quad (\text{Eq. 6.11})$$

Os parâmetros que aparecem na expressão acima são determinados com os dados de campo obtidos no local. O valor de S_T é estimado para cada distância x (contada a partir do “borbulhão”).

A largura da pluma também pode ser calculada com a solução de Brooks. Na situação aplicável ao emissário da UTE de Três Lagoas, vale a seguinte expressão para a largura L_x :

$$L_x = \left(1 + \frac{2}{3} \frac{\mathbf{b}}{b} x \right)^{3/2} \quad (\text{Eq. 6.11})$$

Esta relação acusa um crescimento linear da largura com a distância.

7. CÁLCULO DAS DILUIÇÕES

7.1 Diluição Primária

Conforme visto no capítulo anterior, a diluição no campo próximo da descarga depende fundamentalmente das escalas do jato: l_m e l_Q , que por sua vez dependem da velocidade de descarga u_o do efluente através de suas equações definidoras (6.2) e (6.3).

7.1.1 Definição da velocidade de descarga u_o

A importância da velocidade u_o está em criar uma turbulência propiciadora do entranhamento de água do ambiente no jato de descarga, incrementando sua diluição. Em que pese a boiância (negativa) se impor a uma distância relativamente curta (dependente de l_m) e a pluma “esquecer” seu *momentum* de descarga, a magnitude da boiância também depende do fluxo volumétrico de descarga, visto que:

$$B_o = g' q_o = g' u_o A_o \quad (\text{Eq. 7.1})$$

Com as reduzidas vazões previstas neste projeto, o valor de u_o fica forçosamente limitado. Os critérios considerados para a definição da velocidade de escoamento dentro da tubulação do emissário dizem respeito a um compromisso entre as perdas de carga e a necessidade de se evitar a deposição dos sólidos transportados em suspensão pelo efluente.

A vazão de descarga do emissário da UTE de Três Lagoas será (cf. Parágrafo 4.2.1):

$$q_o = 115 \text{ m}^3 / \text{h} = 0,0319 \text{ m}^3 / \text{s}$$

As recomendações para evitar a deposição de materiais sólidos no interior da tubulação (limite inferior) e a insipiência de erosão situam a velocidade interna de escoamento v entre os limites (Hernandez Muñoz, 1992):

$$0,9 \text{ m/s} \leq v \leq 3 \text{ m/s}$$

Também no caso de dutos de PEAD (polietileno de alta densidade) este intervalo é situado entre os limites $1 \text{ m/s} \leq v \leq 3 \text{ m/s}$ na faixa de diâmetros $100 \text{ mm} - 300 \text{ mm}$ (Reiff, 1997).

O baixo teor de sólidos em suspensão no efluente da UTE de Três Lagoas é favorecido pelo processo de decantação sofrido pelos efluentes nos separadores SAO. Nestas circunstâncias pode-se optar por uma velocidade de escoamento interno próxima da média da faixa acima: $v = 2 \text{ m/s}$.

Para se obter esta velocidade $v = 2 \text{ m/s}$, seria exigida uma tubulação com o diâmetro interno igual a:

$$F = \sqrt{\frac{4q_o}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,0319}{\pi \times 2,0}} \times 1000 = 143 \text{ mm}$$

Este é um valor muito reduzido. Visando ainda versatilidade durante a vida útil do equipamento (geralmente em torno de 25 anos) e a possibilidade de usar um dispositivo raspador (*pig*) para limpezas internas periódicas, pode-se usar uma tubulação de PEAD de pequeno diâmetro interno: 180 mm (mais precisamente 177,2 mm) conforme a Norma ISO. Tubulações de outros materiais, em dimensões compatíveis, não ficam todavia excluídas.

Calculando-se as velocidades de escoamento para este diâmetro, verifica-se que com a vazão de projeto de 115 m³/h obtém-se velocidades v iguais a

$$v = \frac{4 \times 0,0319}{\pi (0,1772)^2} \cong 1,3 \text{ m/s}$$

que é um valor perfeitamente dentro intervalo de velocidades recomendadas para obstar a deposição de sólidos no interior do emissário.

Prevedo-se para esta parca vazão um emissário sem difusor (cf. Seção 6.1) e for o orifício de descarga simplesmente a extremidade aberta da tubulação do emissário, ter-se-á $u_o = v$. Com esta velocidade de descarga, um efluente a 32°C e o corpo receptor à temperatura média de 25,7°C o número de Froude densimétrico é:

$$IF = \frac{1,3}{\left[\left(\frac{996,863 - 995,026}{996,863} \right) \times 9,81 \times 0,1772 \right]^{1/2}} = 22,97$$

que já é bastante elevado para efeitos de modo a criar causar um jato turbulento com eficácia de dispersão dos efluentes. As velocidades internas ao jato são suficientes para gerar um cisalhamento na superfície jato/água do corpo receptor tal que a decorrente instabilidade nesta fronteira gere vórtices que entranhem a água e diluam o jato a uma curta distância do bocal do emissário.

Por outro lado, ao conferir ao efluente suficiente bioância de modo a contrabalançar o efeito da gravidade, o jato atingirá uma razoável altura y antes de se equilibrar densimetricamente com a água do corpo receptor e passar ao campo afastado em uma camada estratificada submersa. Como resultado desta conjugação a diluição no campo próximo, \hat{S}_m , será suficiente para potenciar a diluição global $S_T = \hat{S}_m \bar{S}_a$ requerida para rebaixar as concentrações iniciais dos componentes críticos do efluente aos níveis exigidos pelas normas.

Como será visto na modelagem, o enquadramento do campo de efluentes nos padrões da Resolução CONAMA 357, Art. 14, será atingido muito antes do final do campo próximo. Ou seja, zona de mistura será muito inferior ao campo próximo da descarga.

Desta forma é conveniente utilizar para a tubulação do emissário o diâmetro $F_o = 1772 \text{ mm} = 0,1772 \text{ m}$, A área do orifício será então (observando-se que $d = F_o$):

$$A_o = \frac{\pi (0,1772)^2}{4} = 0,0247 \text{ m}^2$$

7.1.2. Cálculo dos parâmetros hidráulicos

Para o cálculo do Número de Froude densimétrico na descarga, IF , usando a Equação (6.4) do capítulo anterior é mister determinar a densidades reduzida r_o .

No problema sob enfoque:

$$q_o = 0,032 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$u_o = \frac{4 \times 0,032}{\pi (0,1772)^2} = 1,30 \text{ m/s}$$

$$A_o = 0,0247 \text{ m}^2$$

$$r_o = 996,863 \text{ kg/m}^3$$

$$r_a = 995,026 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta r_o = 1,837 \text{ kg/m}^3$$

$$g'_o = \left(\frac{996,863 - 995,026}{996,863} \right) \times 9,81 = 0,0181 \text{ m}^2/\text{s}$$

As magnitudes das escalas são portanto:

$$l_m = \frac{M_o^{3/4}}{B_o^{1/2}} = \frac{(u_o q_o)^{3/4}}{(g' q_o)^{1/2}} = \left(\frac{u_o^3 q_o}{(g')^2} \right)^{1/4} = 3,83 \text{ m}$$

$$l_Q = \frac{q_o}{M_o^{1/2}} = A_o^{1/2} = \sqrt{0,0133} = 0,16 \text{ m}$$

donde se depreende que o efeito do *momentum* da descarga faz-se sentir apenas em uma região extremamente confinada à vizinhança imediata bocal (o que é compreensível face às reduzidas

vazões) e que a boiância passa a ser a função forçante quase que imediatamente após a descarga do efluente no corpo receptor.

O número de Froude densimétrico será, conforme o cenário identificado:

$$IF = \frac{1,30}{\sqrt{0,0181 \times 0,1772}} = 22,97 \cong 23$$

7.1.3 Cálculo da diluição primária - definição da profundidade do ponto de descarga

O código CORMIX calcula estas variáveis com maior precisão. Ele estabelece um sistema de coordenadas cartesianas para os cálculos, tal que a origem seja o ponto na superfície acima da descarga e os eixos x coincide com a direção da corrente e mede as distâncias contadas a partir da vertical da descarga, o eixo dos y é perpendicular a x na horizontal e z é o eixo vertical.

Tratando-se de um jato menos denso do que o ambiente receptor, sua trajetória configura-se como inversa à de um míssil lançado a horizontalmente, com uma trajetória ascendente mas defletida pela ação das correntes, um ápice e uma trajetória final horizontal em uma cota superior àquela do lançamento.

Para evitar a entrada de sedimentos na tubulação do emissário durante os períodos ociosos, bem como sobrepor sua descarga aos restos de vegetação e galhadas remanescentes no fundo do lago ponto de descarga foi fixado a uma altura de 1,5 m acima do fundo.

A estratificação densimétrica do ambiente receptor no local da descarga revelou-se relativamente fraca e sem importância, de maneira que o jato penetra as diversas camadas (ou rompe as tênues estratificações) através de seu vigoroso processo de mistura.

Com a cota de descarga acima definida os cálculos realizados pelo código CORMIX resultaram nos seguintes valores para as variáveis de interesse do projeto (cotas relativas ao fundo do lago no local da descarga):

Cota da descarga:	1,5 m
Altura terminal de ascensão:	7,4 m
Altura final da estratificação:	6,2 m
Comprimento da <i>ZM</i> :	2,5 m
Comprimento do <i>CP</i> :	27,7 m
Diluição mínima no final do <i>CP</i> :	64,5
Largura da pluma ao final do <i>CP</i> :	5,9 m
Espessura do campo de efluentes ao final do <i>CP</i> :	4,2 m

Tempo de trânsito no *CP*:

237 s

O valor da altura terminal de ascensão z_t condiciona a cota do ponto de descarga: para que fique garantida a completa imersão do jato e assim a diluição se efetue conforme previsto nos modelos é necessário que a espessura da lâmina de água seja superior a z_t .

As características batimétricas no local indicam um aprofundamento do lago por patamares (Figs. 4.3 a 4.6). Após o segundo trecho de forte declividade a profundidade alcança o valor de -24 m e novamente segue-se outro patamar. Por outro lado a linha de maior declividade é perpendicular à linha da margem no local. Portanto o indicado é situar o ponto final de descarga do emissário justamente após serem atingidos os -24 m de profundidade.

Sendo assim fica garantida a submersão da pluma no campo afastado: $Z_{LA} > z_t$ (onde $Z_{LA} = 22,5$ m é a espessura da lâmina de água no local da descarga, visto que a descarga dar-se-á a 1,5 m do fundo do lago).

O tempo de trânsito é uma variável que tem interesse para efluentes não conservativos, o que se arbitrou ser aplicável no presente caso por uma simples questão de segurança.

Uma tabela detalhada listando as posições, fatores de diluição, concentrações e larguras do jato é mostrada no Apêndice.

Na Fig 7.1 está graficado o coeficiente de diluição no *CP*. A Fig. 7.2 mostra as correspondentes concentrações. Como se parte de uma concentração normalizada $c_o = 1$ mg/L, tem-se $c(x) = 1/S$. Para determinar as concentrações ao longo da trajetória partindo-se de qualquer outra concentração inicial, basta multiplicar o valor do gráfico (ou da tabela no Apêndice) por esta concentração inicial (em mg/L).

É importante observar as linhas tracejadas nestas figuras. Elas indicam a distância (contada a partir da descarga) à qual o componente crítico no efluente (os fosfatos) atinge a *CMP* para águas doces de classe 1. Portanto esta linha também indica o final da zona de mistura, pois para além dela o efluente está totalmente enquadrado na Norma. Esta linha é também indicada em todas as figuras do *CP* a seguir.

Sendo o coeficiente de diluição necessário para enquadrar os fosfatos igual a $S = 2,5$ (Tabela 5.2) conclui-se que o comprimento da zona de mistura é $\sim 2,5$ m.

As Figs. 7.3 a 7.5 fornecem visões panorâmicas do *CP* em diversas perspectivas.

Na parte superior da Fig. 7.3 tem-se uma visão lateral do jato, na mesma perspectiva da Fig. 6.2. a parte inferior ilustra esta perspectiva com mais detalhe, privando dos recursos do software CORMIX: conferindo um ligeiro giro ao plano *XZ* (plano vertical passando pelo eixo do jato) o jato ascendente passa a ser visto em 3-D.

Na Fig. 7.4 o jato é visto de cima. Esta perspectiva deixa bem clara a expansão lateral do mesmo, bem como a alteração que sofre na transição do campo próximo para o campo afastado.

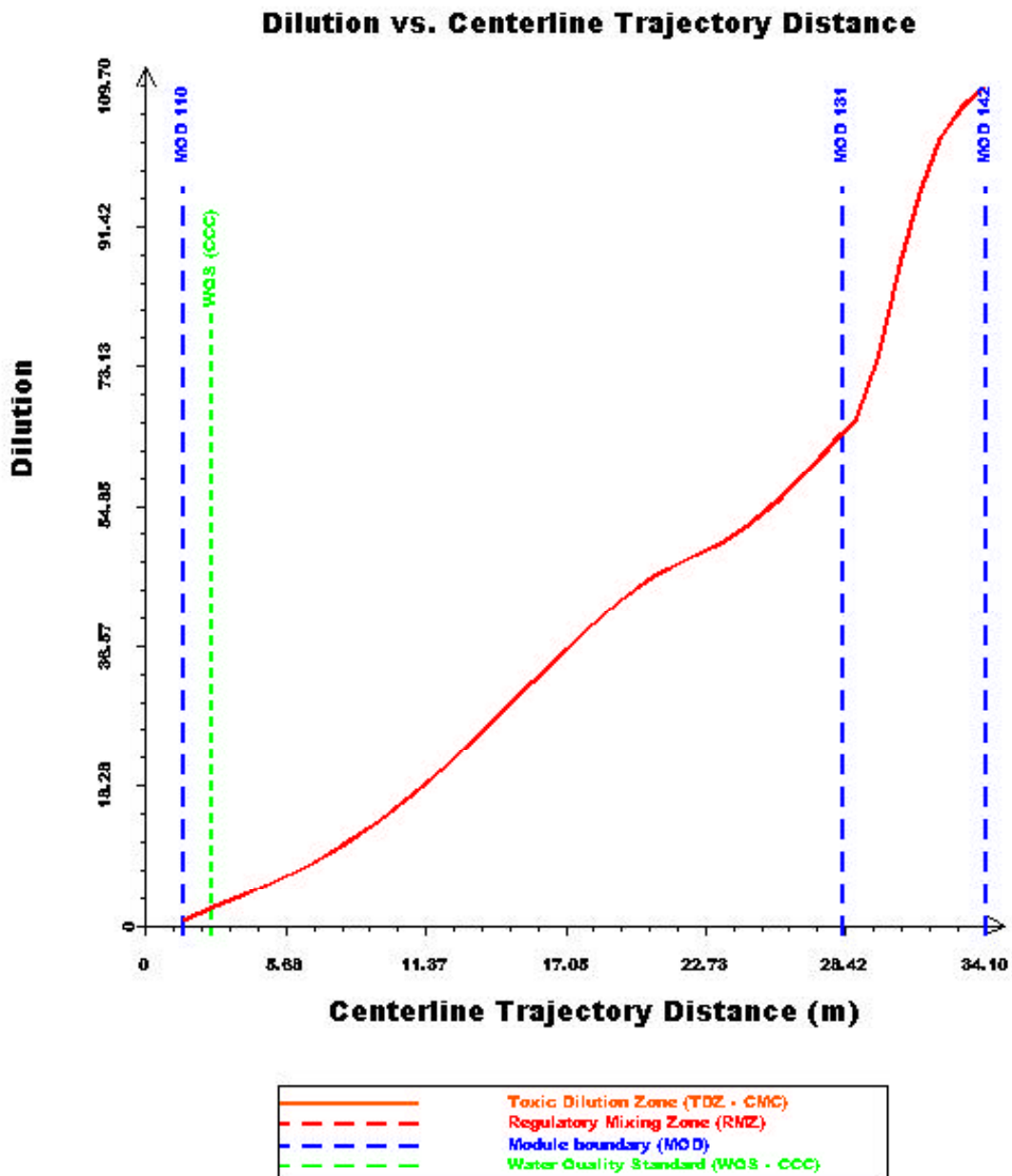


Fig. 7.1 – Perfil do coeficiente de diluição S no CP ($0 < x < 28$ m)

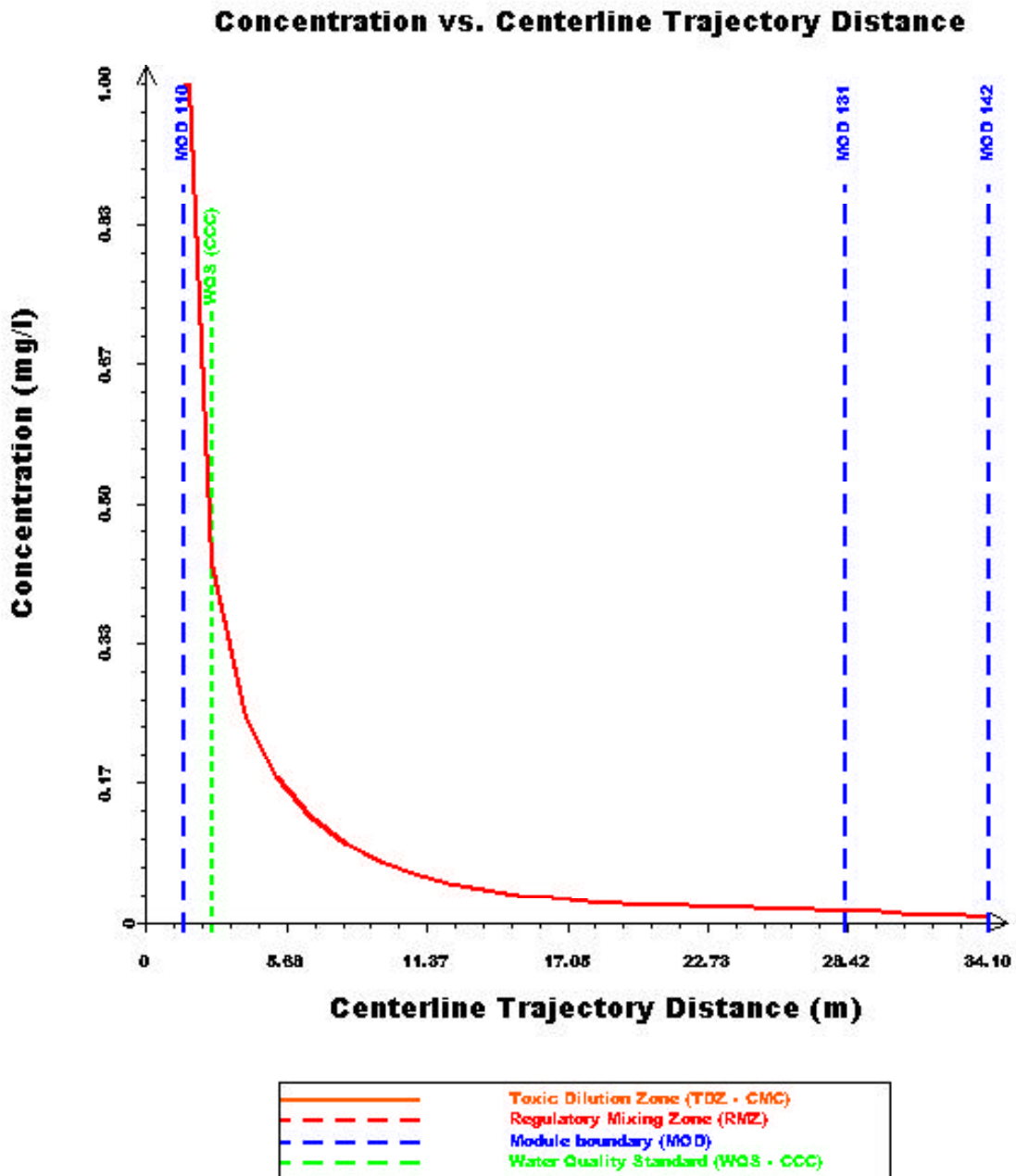


Fig. 7.3 - Perfil das concentrações no CP

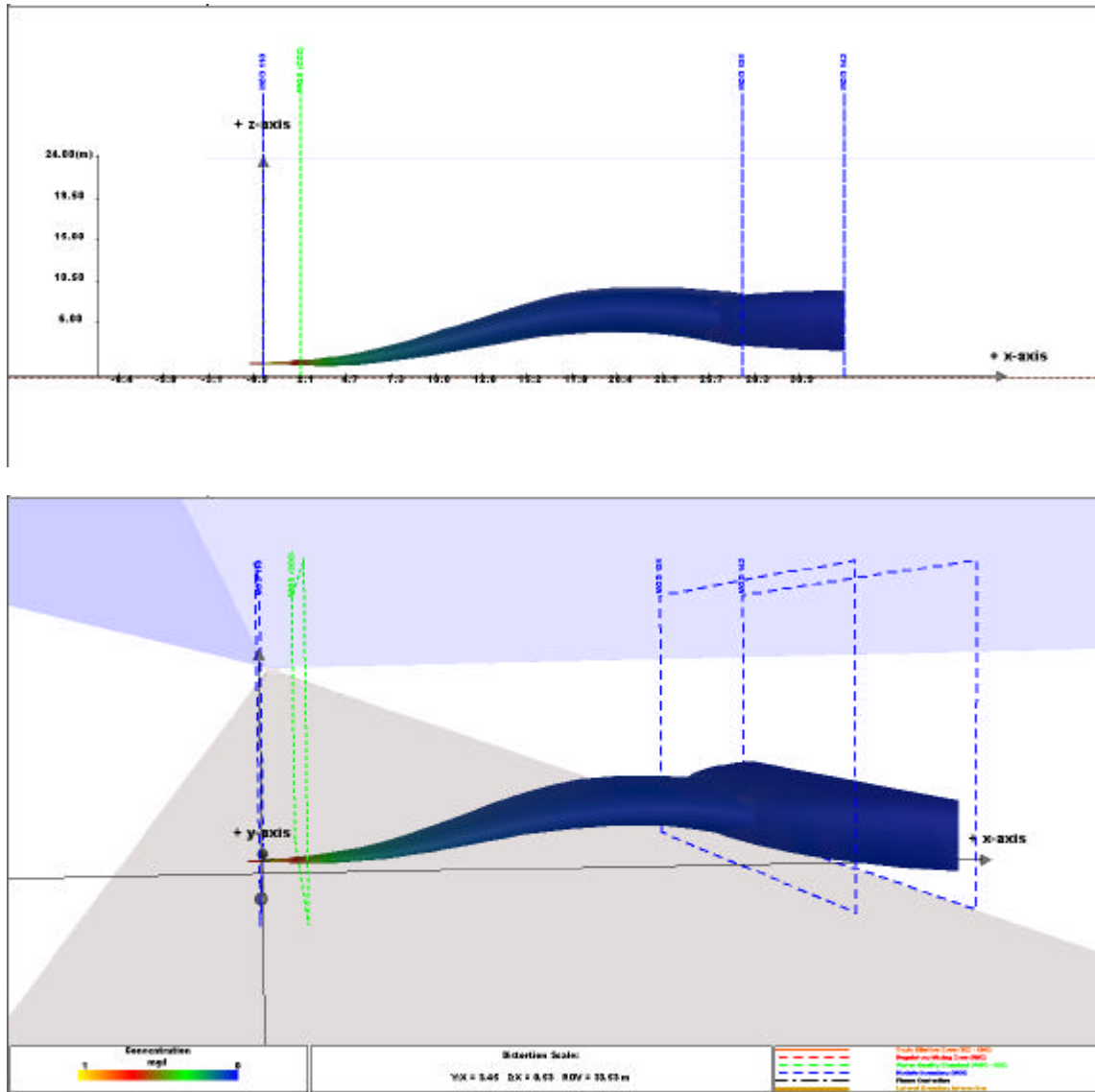


Fig. 7.3 Jato no campo próximo da descarga; visão lateral (Plano XZ)

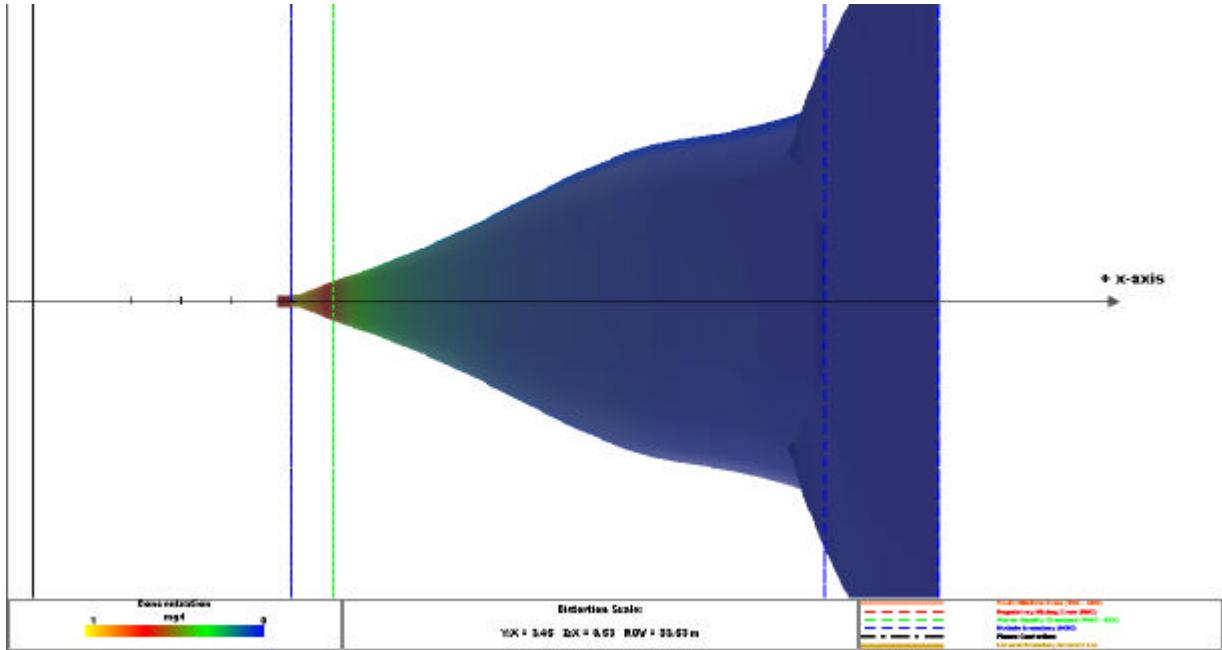


Fig. 7.4 Vista em plano do campo próximo

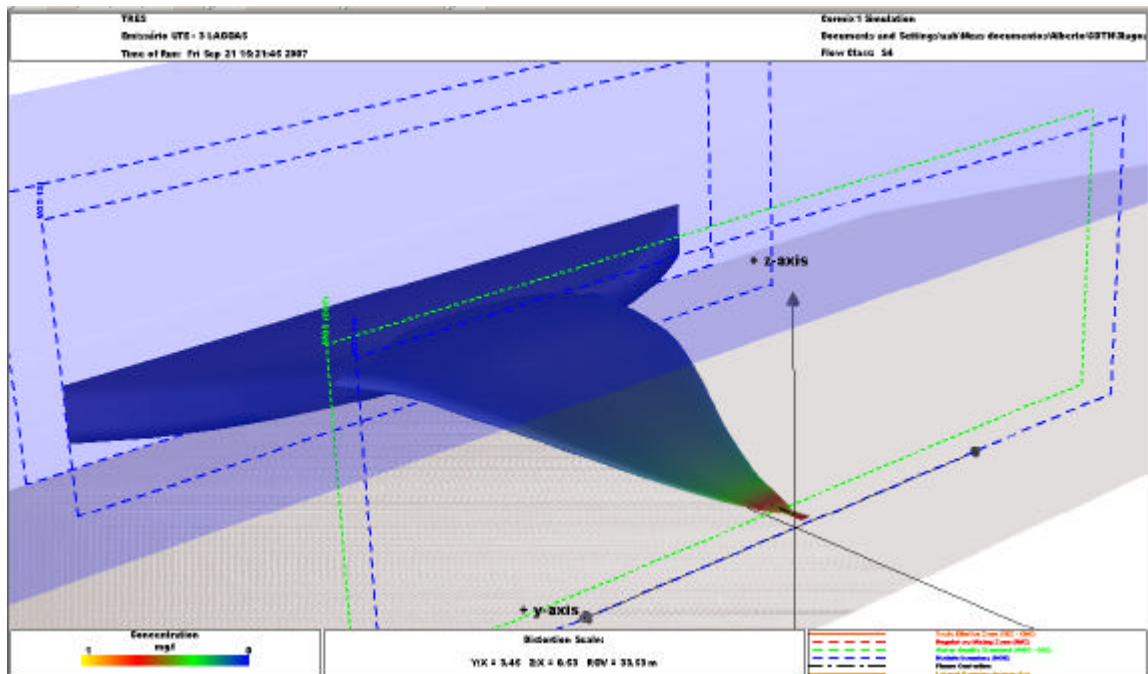


Fig. 7.5 CP em uma perspectiva de montante para jusante

A Fig. 7.5 fornece uma perspectiva do jato no *CP* de montante para jusante.

A Fig. 7.7 oferece uma “topografia” as concentrações no *CP*. Cada uma das linhas de iso-diluição indica um lugar geométrico de idênticas concentrações e limita em seu interior concentrações maiores do que as correspondentes às isolinhas.

Como as concentrações são muito baixas já a partir do ponto de lançamento dos efluentes, a figura anterior foi ampliada: a Fig. 7.8 em uma escala menor indica claramente a configuração da zona de mistura.

7.2 Cálculo da Diluição no Campo Afastado

O código CORMIX aplica a teoria esboçada no Capítulo 6 e fornece os valores de interesse da no campo afastado (pluma de efluentes densos no fundo).

A pluma calculada termina por ter contacto com a margem direita do lago na situação estudada; o que significa lhe serem impostos constrangimentos à expansão e diluição, mas quando isto ocorre a zona de mistura já há muito terminou e as concentrações já estão baixas.

Uma tabela detalhada mostrando nas posições ao longo da pluma os respectivos valores do coeficiente de diluição *S*, concentração (normalizada para 1 *mg/L*) e largura da pluma, é mostrada no Apêndice.

Na parte superior da Fig. 7.8 é apresentada uma visualização do campo afastado, *CA*, no plano vertical *XZ*. Parte inferior da figura é apresentado o *CA* (também interceptado pelo plano *XZ*) mas na perspectiva de um observador em uma cota ligeiramente superior; como se estivesse vendo-o da margem direita do lago. No *CA* o campo de efluentes está estratificado, forma uma lente horizontal na cota de equilíbrio densimétrico a 6,2 m do fundo. Comumente dá-se-lhe o nome de “pluma”.

Observam-se duas coisas: 1) as concentrações são praticamente uniformes na pluma posto serem tão reduzidas (indetectáveis); 2) a secção vertical da pluma aumenta ligeiramente (isto é mais visível no seu início), mas também quase imperceptivelmente uma vez que os gradientes de concentração que causam a expansão também são extremamente atenuados e o gradiente densimétrico vertical na coluna também impõe uma barreira à mistura.

Finalmente, a Fig 7.9 apresenta uma perspectiva do *CA* visto de montante para jusante do ponto de vista de um observador que estivesse situado na margem esquerda do lago. O eixo *OZ* passa pelo ponto inicial do *CA*. Observa-se que à direita do plano *XZ* a pluma é mais estreita; isto se deve à barreira da margem que lhe impede a livre expansão nesta direção.

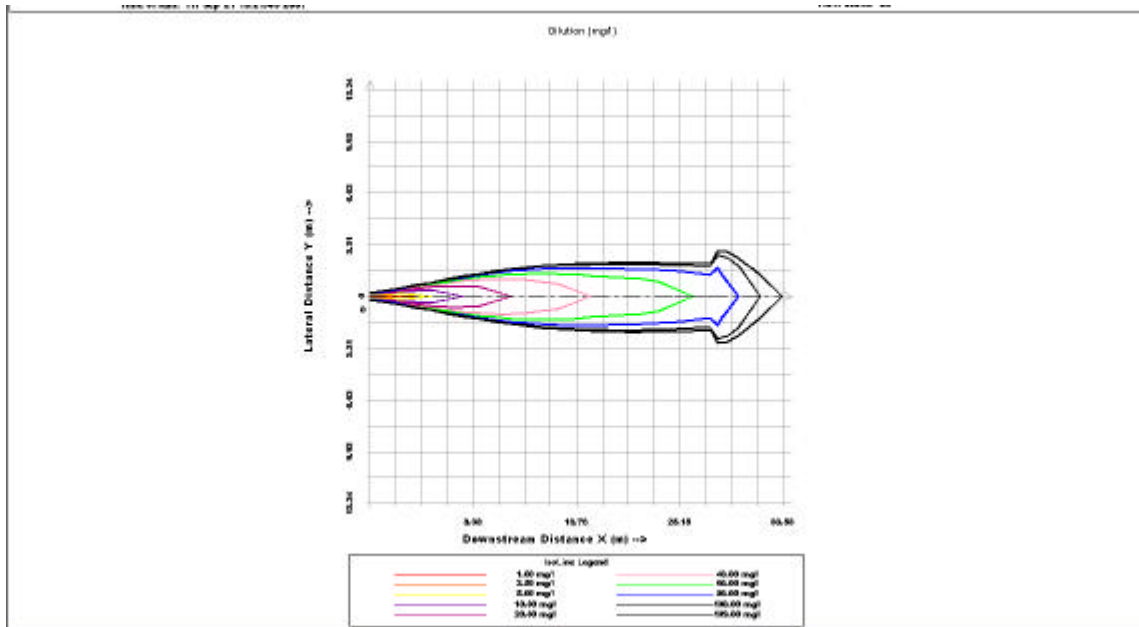


Fig. 7.6 Isolinas de diluição no CP

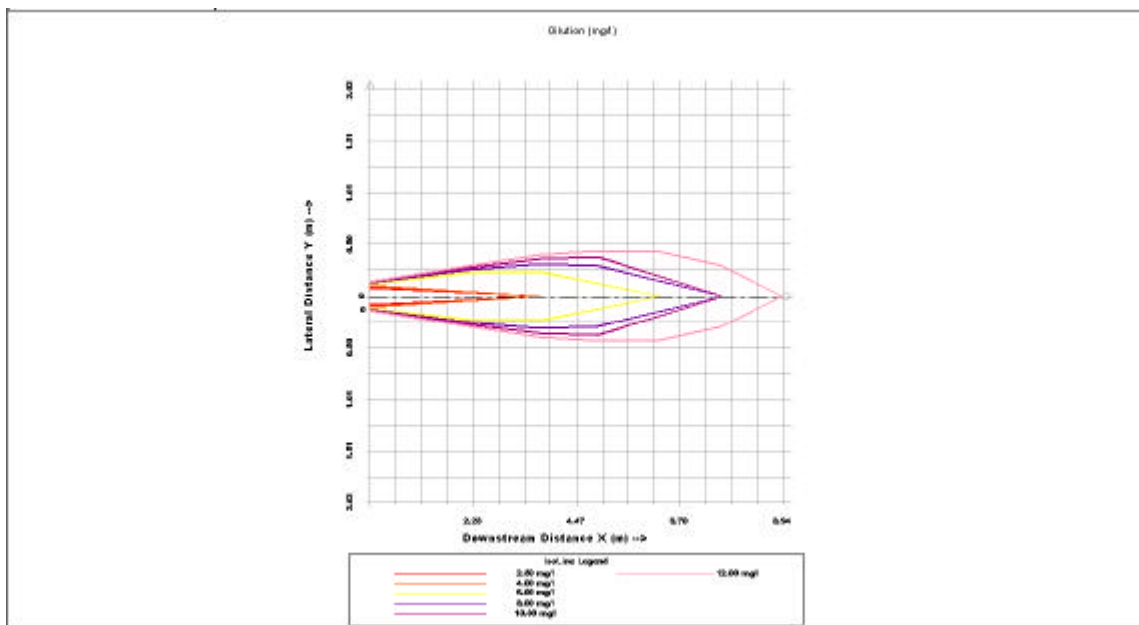


Fig. 7.7 Isolinas de diluição próximas à descarga ($0 < x < 9$ m)

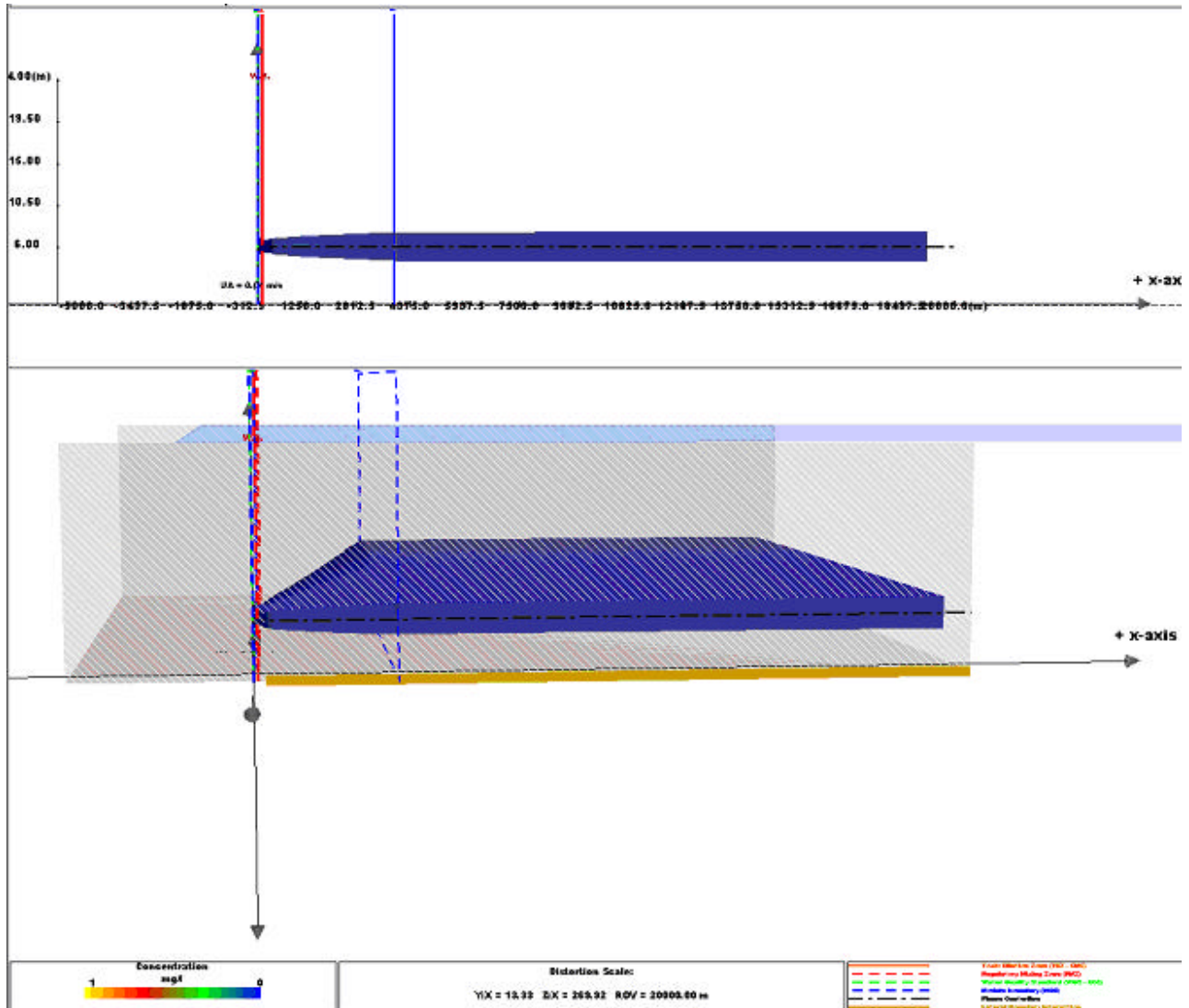


Fig. 7.8 Visualização do campo afastado

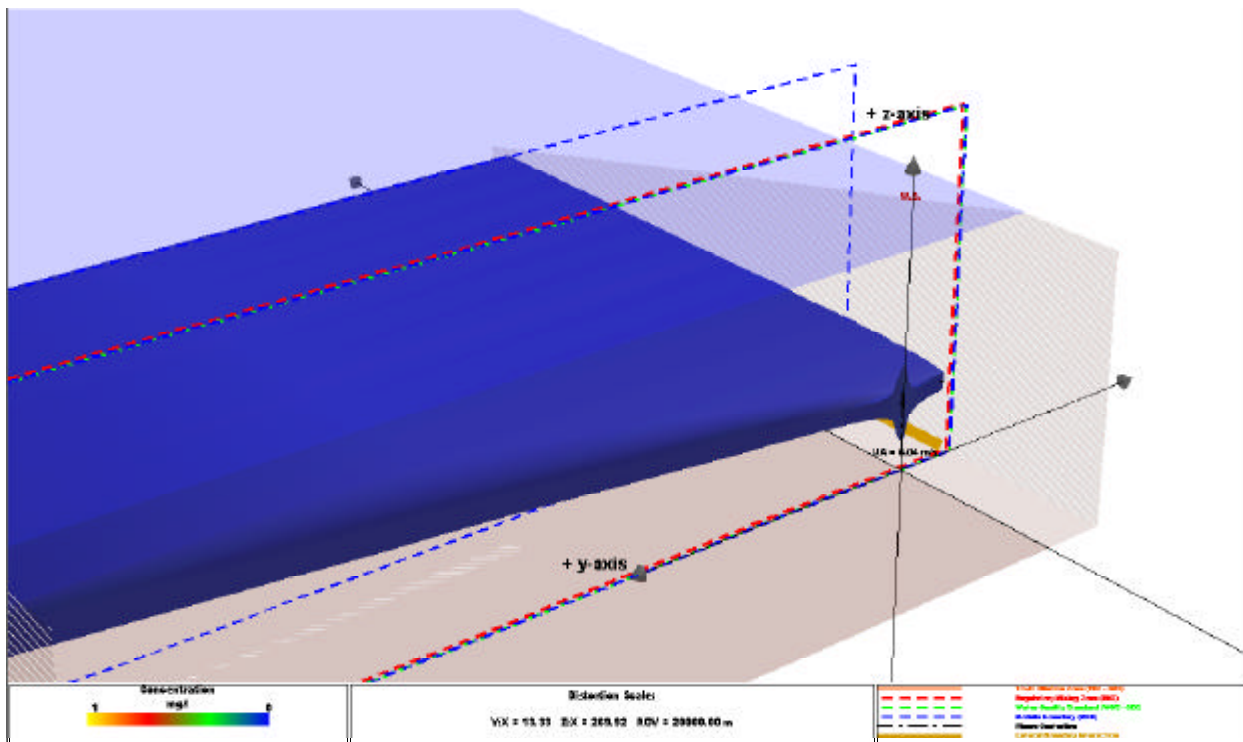


Fig. 7.9 Perspectiva do CA de montante parajusante

8. ZONA DE MISTURA

Nas imediações do local em que os efluentes são descarregados no corpo receptor obviamente as concentrações ainda estão acima dos valores máximos permissíveis. É justamente função do jato e do próprio corpo receptor diluir o efluente através da mistura causada pelo momentum do jato e pela turbulência natural.

Ora, isto demanda um volume do corpo receptor no qual ainda se tem, inevitavelmente, $c > CMP$. Esta região do corpo receptor constitui a zona de mistura, visando o projeto do emissário reduzi-la ao máximo. Importa portanto verificar quais são estas dimensões e a sua magnitude relativamente à do corpo receptor, uma vez o sistema tenha sido otimizado como foi feito acima.

Resumindo o que foi dito no Capítulo 7, mais os dados contidos no “output” do software CORMIX (Apêndice) a Tabela 8.1 indica os valores de interesse para o projeto, i.é: as características da Zona de Mistura (ZM) entendida como o volume do corpo receptor necessário para diluir os efluentes até que se alcance as CMP 's previstas pela Resolução CONAMA N° 357, Art. 14:

Tabela 8.1 - Dimensões e Diluições da Zona de Mistura

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>
Padrão de qualidade para o componente crítico (fosfatos)	0,02 mg/L
S	2,5
Distância da descarga	~ 3 m
Largura da pluma	~ 0,6 m

É importante conhecer as dimensões da região de mistura para se ter uma avaliação da magnitude relativa da área afetada pelo descarte.

As distâncias mínimas às quais as concentrações do componente mais crítico se adequam aos padrões, ou seja: os comprimentos das zonas de mistura podem ser deduzidos da Tabela 8.1. O resultado obtido é:

$$\text{Comprimento da zona de mistura: } x_{ZM} = 3 \text{ m}$$

Supondo que a pluma seja aproximadamente caracterizada em três dimensões por um crescimento linear da largura, tendo a forma cônica com o vértice no ponto de descarga, seu volume será dado por:

$$V_{ZM} = \frac{\mathbf{P}}{3} x_{ZM} (B_{ZM})^3 \quad (\text{Eq. 8.1})$$

onde: x_{ZM} = comprimento da zona de mistura

B_{ZM} = largura (raio) da pluma ao final da zona de mistura.

Entrando com os dados da Tabela 8.1, obtém-se:

$$V_{ZM} \cong 0,7 \text{ m}^3$$

Relativamente às dimensões do corpo receptor, este sé um valor absolutamente insignificante.

9. CARACTERÍSTICAS DO EMISSÁRIO

9.1 Localização

Propõe-se situar o início do emissário na extremidade na margem do Lago de Jupuíá em frente ao poço de visita em que a atual linha de descarte de efluentes termina. Daí ele seguiria em linha reta compreendendo um curto trecho terrestre até mergulhar no lago e continuaria, submerso, em uma trajetória pela linha de maior declividade até a atingir a profundidade adequada.

De acordo com a batimetria levantada no local (Fig. 4.3), que revelou isóbatas aproximadamente paralelas à linha da margem na direção N-S, esta linha seria uma reta na direção E-S até atingir a isóbata de -24 m , além da qual as declividades se tornam muito baixas. Portanto a trajetória será tal como mostrado na Fig. 9.1 pela linha reta a partir do atual ponto de descarte.

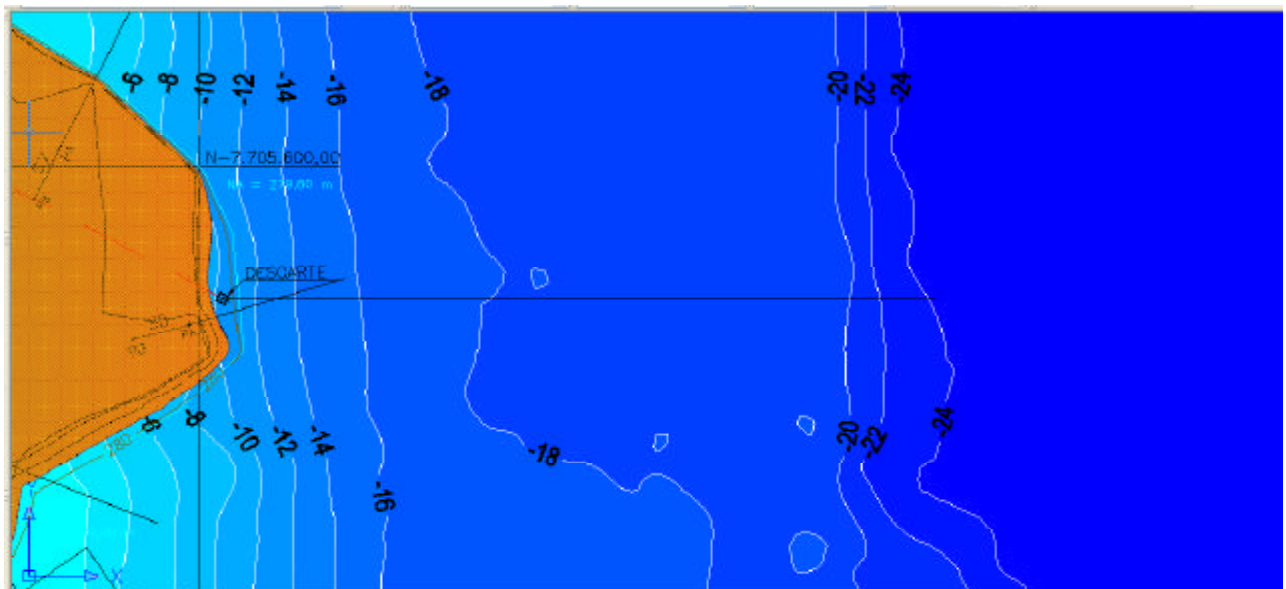


Fig. 9.1 Trajetória proposta para a tubulação do emissário (linha negra a partir do atual ponto de descarte)

As coordenadas UTM do ponto de descarga serão (aproximadamente):

$$N = 7.705.590 \text{ S}, E = 432.330 \text{ W}$$

A foto na Fig. 9.2 mostra a atual caixa de visita no final da linha do descarte dos efluentes. A Fig 9.3 fornece uma visão da lagoa a partir do futuro ponto de mergulho do emissário.



Fig. 9.2 Aspecto atual da caixa de visitação final da linha de descarte de efluente



Fig. 9.3 Vista do lago no trecho em que será implantado o emissário

9.2 Tubulação do Emissário

Sem prejuízo de outros materiais a tubulação poderá consistir de um duto de polietileno de alta densidade, PEAD, de 200 mm de diâmetro externo e paredes com 11,4 mm de espessura (classe de pressão 6 Kg/cm², peso de 6,79 Kg/m), conforme as dimensões da Norma ISO.

A razão de dimensão padrão (*SDR*), definida como:

$$SDR = \frac{D}{e} \quad (Eq. 9.1)$$

onde *D* é o diâmetro externo da tubulação e *e* a espessura da parede.

Para a tubulação acima recomendada *SDR* = 17,5. Alternativamente poder-se-ia empregar uma espessura de 11,4 mm na zona de arrebentação e 7,7 mm (4 Kg/cm², 4,69 Kg/m, *SDR* = 26) no restante.

Pode ser usada tubulação fabricada de resina de polietileno de peso molecular extra alto que tem características superiores de robustez, durabilidade, resistências ao impacto, à abrasão e à formação de trincas (além de facilitar os procedimentos de fusão das extremidades). Tais características são de fundamental importância para resistir à agressividade do ambiente marinho.

De acordo com o catálogo de fabricantes (p. ex.: Pipelife Portugal, consulta em 28/05/2007): (www.pipelife.com/web/pt_new/t2w_pt.nsf/webTop/F248BC2036195158802570BD0047A84F):

“Tal como a maioria dos produtos naturais e dos plásticos, o polietileno pode deteriorar-se se permanecer muito tempo exposto às intempéries, devido principalmente à componente ultravioleta da luz solar e ao oxigênio do ar, produzindo endurecimento e diminuição das suas propriedades. Isto torna necessário o uso de antioxidantes, quando na sua utilização posterior vier a prever-se esta degradação. Felizmente, os antioxidantes são de absoluta eficácia durante um período de tempo muito prolongado”.

Outros materiais podem ser usados, conforme a conveniência da PETROBRÁS, porém suas dimensões internas devem ser o mais próximo possível das aqui recomendadas para se garantir a validade dos cálculos deste Relatório. Se julgado conveniente o trecho terrestre pode ser em aço devidamente protegido. Como o trecho submarino é muito reduzido, é também possível ter-se toda a tubulação em aço (devidamente protegida), conquanto para o trecho submerso as qualidades do PEAD sejam indubitavelmente superiores.

9.3 Concepção do Sistema de Descarga

Em função das reduzidas vazões consideradas é evitada a concepção clássica de difusor, que consiste em um *manifold*. Esta subdividiria a escassa vazão disponível prejudicando a diluição primária e tornando mais complexo o sistema sem ganho compensador.

A descarga deve ser efetuada na direção horizontal (ângulo de descarga com o fundo: $q = 0^\circ$).

É igualmente interessante que o alinhamento da extremidade final do emissário esteja alinhado com a direção predominante das correntes no local, que é para SSE (cf. Parágrafo 4.1.3). Isto incrementa o efeito da atuação das correntes sobre o jato emergente. Ou seja a descarga deve apontar para o ângulo de 160° com o NV.

Isto implica em impor uma inflexão à trajetória do emissário no seu trecho final; esta inflexão deve dar-se ca. 3 m antes da descarga para garantir o alinhamento das linhas de fluxo na direção desejada..

A altura y_o do bocal de descarga em relação ao fundo é determinada pela existência de galhos e restos de árvores no fundo do lago e à necessidade de evitar a entrada de sedimentos na tubulação quando esta estiver ociosa. Deve-se ter:

$$y_o = 1,5 \text{ m}$$

Deste modo, o término da tubulação do emissário deve ser suspensa sobre o fundo. O apoio da tubulação deve ser vazado (estacas, etc) para evitar o acúmulo de sedimentos no local.

9.4 Ancoragem do Emissário

Dados o reduzido diâmetro do emissário e as fracas correntes observadas no local, não serão geradas altas velocidades e não é de se prever maiores problemas com a fixação ou o solapamento do trecho submerso do emissário. Assim a ancoragem do emissário é o fator estrutural crítico a impedir que ocorra o rompimento deste.

9.4.1 Espaçamento entre os lastros

As maiores tensões ocorrem durante as operações de flutuação e reboque durante a instalação. A pressão a ser suportada pode ser estimada como em uma viga uniformemente carregada, a carga sendo a flutuação da tubulação.

Para limitar a deflexão a menos de 5% e a deformação a menos de 1%, uma tubulação com diâmetro externo $D = 200 \text{ mm}$ e $SDR = 17,5$, deve ter um espaçamento de no máximo 5,3 m entre os lastros, conforme indicado na Figura 9.4 (Reiff, 1997).

De qualquer forma é preferível utilizar lastros menores e mais próximos do que maiores e mais espaçados, uma vez que quanto mais perto a tubulação estiver do fundo, menos forças externas terá de suportar.

9.4.2 Peso dos lastros

O critério para fixar os pesos dos lastros – impedir a flutuação e o movimento horizontal sob ação das correntes, assim como resistir aos esforços extremos passíveis de serem gerados na zona de arrebentação – é quantificado em termos de um coeficiente de afundamento, K . Este é a razão entre as forças atuantes para baixo e para cima sobre o sistema (incluindo a tubulação, seu conteúdo e os lastros):

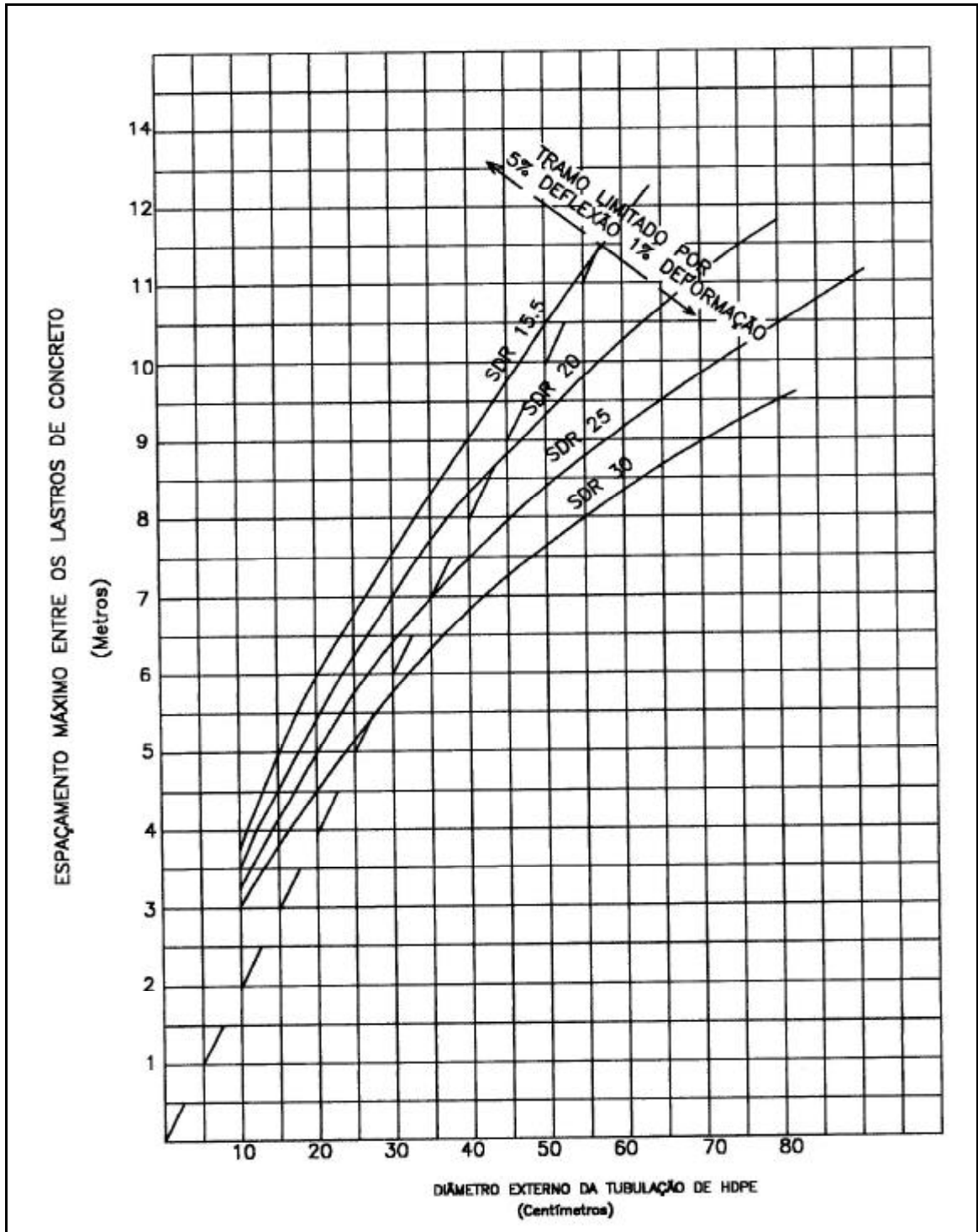


Fig. 9.4 Espaçamento entre os lastros no trecho submerso de emissários

$$K = \frac{(\text{peso da tubulação}) + (\text{peso do efluente}) + (\text{peso dos lastros})}{(\text{peso da água deslocada pela tubulação}) + (\text{peso da água deslocada pelos lastros})}$$

ou:

$$K = \frac{S_L (W_p + W_s) + W_A}{S_L V W_m + W_A \rho_m / \rho_c} \quad (\text{Eq. 9.2})$$

onde: S_L = distância entre os lastros (m)
 W_p = peso unitário da tubulação (kg/m)
 W_s = peso unitário do conteúdo da tubulação (kg/m)
 W_A = peso de cada lastro (kg)
 V = unidade de volume externo da tubulação por unidade de comprimento (m^3/m)
 ρ_m = densidade da água (kg/m^3)
 ρ_c = densidade do concreto (kg/m^3)

Reordenando e explicitando W_A para situações em que não se tem arrebentação de ondas:

$$W_A = \frac{S_L (K V W_m - W_p - W_s)}{1 - K \rho_m / \rho_c} \quad (\text{Eq. 9.3})$$

Recomenda-se o uso de lastros de concreto reforçado, devido à sua densidade apropriada e durabilidade em água.

É boa prática ter o peso máximo de lastro no trecho da tubulação a ser localizado na zona de arrebentação, mas que ainda lhe possibilite flutuar quando se encha de ar. Na prática usa-se cerca de 80% deste peso máximo. Nestas condições $K = 1$ e $W_s = 0$. A Eq. (9.3) então se simplifica para:

$$W_A = \frac{0,8 S_L (W_m V - W_p)}{1 - \rho_m / \rho_c} \quad (\text{Eq. 9.4})$$

Nas condições do emissário considerado, tem-se:

$$\begin{aligned} SDR &= 17,5 \\ S_L &= 5,7 \text{ m} \\ W_p &= 6,79 \text{ Kg/m} \\ W_s &= \pi \times (0,1772)^2 / 4 \times 1 \times 995,026 = 24,5 \text{ Kg/m} \\ V &= \pi \times (0,180)^2 / 4 \times 1 = 0,0255 \text{ m}^3/\text{m} \\ \rho_m &= 997 \text{ Kg/m}^3 \\ \rho_c &= 2400 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

Com estes valores obtêm-se os seguintes pesos de lastro:

$$: \quad W_A = \frac{0,8 \times 5,7 \times (997 \times 0,0255 - 6,79)}{1 - 997/2400} = 145 \text{ kg/lastro}$$

O projeto dos lastros deve dar preferência a formatos retangulares para aumentar a resistência à rotação sob a ação de correntes laterais ou das ondas.

9.5 Perda de Carga

Os cálculos a seguir devem ser considerados apenas como uma primeira aproximação da ordem de grandeza das perdas de carga, em função de indefinições que só o projeto detalhado precisará.

9.5.1 Perda de carga no ejetor

Supondo a descarga por um bocal que consiste simplesmente numa secção aberta da tubulação:

$$h_d = k \left(\frac{u_o^2}{2g} \right) \quad (\text{Eq. 9.5})$$

onde k é o coeficiente para perdas de cargas singulares. Para uma saída simples de tubo em um reservatório tem $k = 1$ (Simon, 1976). Usando o valor de u_o definido no Parágrafo 7.1.2:

$$h_d = \frac{(1,3)^2}{2 \times 9,81} = 0,09 \text{ mCA}$$

9.5.2 Perda de carga por atrito

Utilizando o nomograma de Hazen-Williams da Fig. 9.5, sendo o coeficiente de Hazen-Williams apropriado para tubos de HDPE igual a $C = 155$ (Reiff, 1996), obtêm-se a perda unitária Δh_l :

$$\text{Para } q_o = 115 \text{ m}^3/\text{s} = 32 \text{ L/s e } F_o = 177,2 \text{ mm}^{\text{TM}} \quad v = 1,30 \text{ m/s}$$

e

$$\text{para } C = 155^{\text{TM}} \quad \Delta h_l = 0,23 \text{ mCA/m}$$

a qual, para o comprimento do emissário desde a atual caixa de visita até o ponto de descarga ~180 m, demanda a carga:

$$h_l = 0,23 \times 180 = 41,4 \text{ mCA}$$

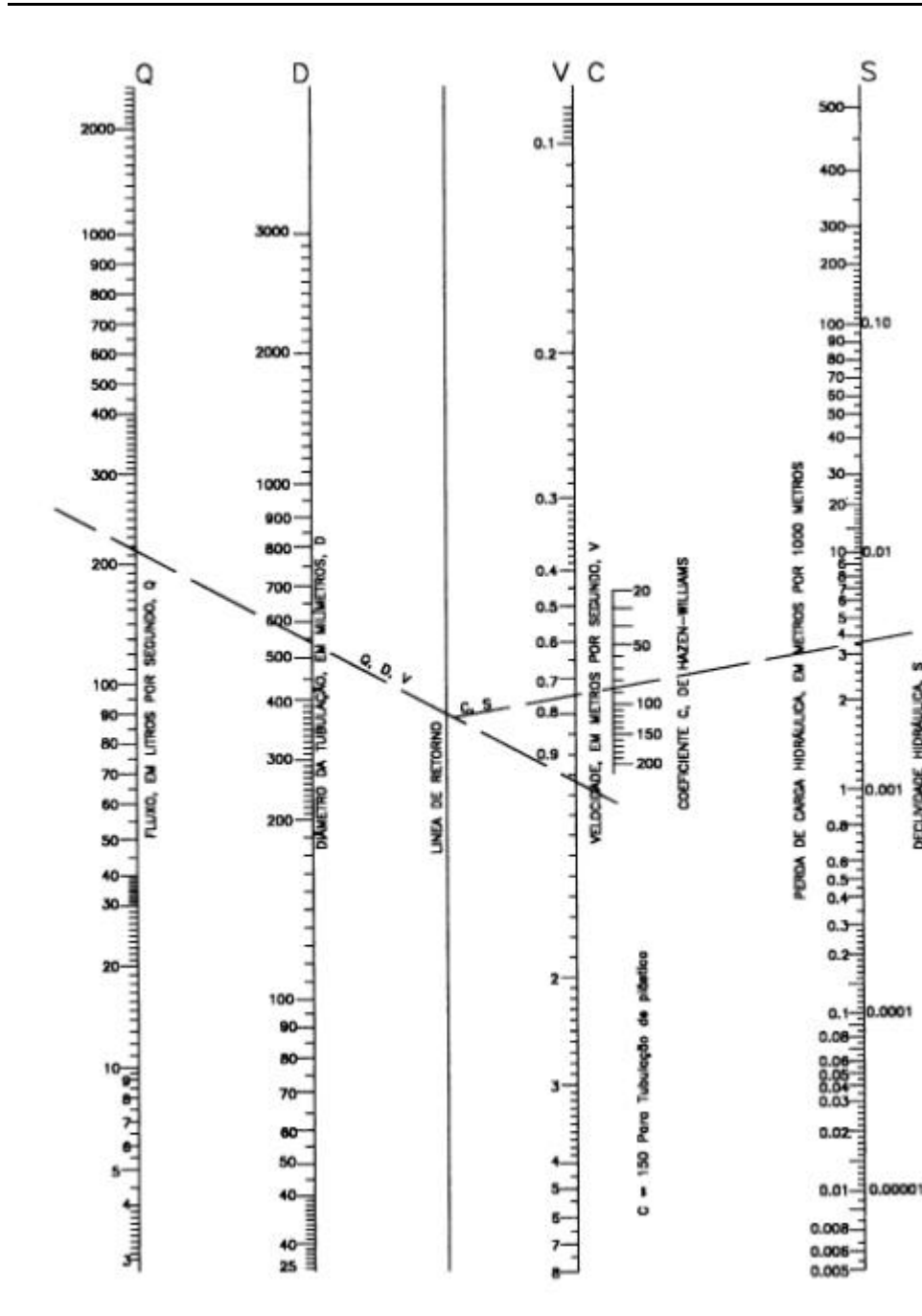


Fig. 9.5 Nomograma de Hazen-Williams

9.5.3 Carga necessária para o bombeio

A carga total requerida é:

$$h_T = h_d + h_l = 0,09 + 41,4 = 41,2 \text{ mCA}$$

Desta carga teria que ser abatida a carga disponível em relação ao nível médio do lago para se estimar a potência requerida pelo bombeio. Supondo conservativamente que esta carga disponível é desprezível, com q_o em m^3/h , vem:

$$W = \frac{q_o h_T \rho_o}{3,670 \times 10^5} = \frac{0,032 \times 3600 \times 41,2 \times 995}{3,670 \times 10^5} = 12,9 \text{ KW}$$

10. RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DO EMISSÁRIO

- a) Localização do ponto de mergulho: em frente ao atual ponto de descarga na margem
- b) Trecho submerso: retilíneo, na direção W – E (vide Fig. 9.1)
- c) Coordenadas do ponto de descarga: N ~ 7.705.590 S, E ~ 432.330 W
- d) Direção da descarga (em planta): extremidade da tubulação apontando para 160° com o NV
- e) Ângulo da descarga com o plano horizontal: 0°
- f) Profundidade do lago no local da descarga: 24 m
- g) Altura do ponto de descarga em relação ao fundo do lago: 1,5 m
- h) Lâmina d'água disponível no ponto de descarga: 22,5 m
- i) Material: HDPE (preferencialmente)
- j) Diâmetro externo: 200 mm
- k) Espessura da parede: 11,4 mm
- l) Ancoragem do emissário: lastros de concreto reforçado, de formato retangular.
- m) Peso dos lastros: 145 Kg
- n) Espaçamento entre lastros: 5,3 m

N.B.: as especificações nos itens j, k, l, m e n acima aplicam no caso de se ter uma tubulação de HDPE.

11. REFERÊNCIAS

Abramowitz, M., Stegun, I.A. (Eds.) (1970): “Handbook of mathematical functions”, Dover Publications, Inc., N. York.

ANA (2002): Resolução N° 032 de 21 de fevereiro de 2002, Agência Nacional de Águas.

APHA (1985): “Standard methods for the examination of water and wastewater – 16th edition”, APHA, AWWA, WPC.F, Washington, DC

Brooks, N.H. (1960): “Diffusion of sewage effluent in a ocean outfall”, Proc. of First International Conference of Waste Disposal in the Marine Environment, Pergamon Press, N. York.

CDTN (1987): “Estudo para o descarte dos efluentes da ETDI do complexo de Guamaré via emissário submarino – DERL.CN-008/87”, CDTN/NUCLEBRÁS, Belo Horizonte.

Chu, V.H. (1979): ‘L.N. Fan’s data on buoyant jets in crossflow’, *J. of Hydraulic Engng.* – ASCE,105 (HY5): 612-617.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005): “Resolução N° 357, de 17 de marco de 2005, Brasília.

De Carvalho, J.L.B., da Silva, L.F., de Menezes, J.T., Ceconello, C. (2006): “Medições hidrográficas no reservatório de Jupia, Município de Três Lagoas, MS - Relatório Técnico”.

Donecker, R.L, Jirka, G.H., Hinton, S.W., (2007): “CORMIX: A hydrodynamic mixing zone model and decision support system for pollutant discharges into surface waters – User’s manual”, Office of Science and Technology, U.S.E.P.A, Washington

EPA (1976): “Quality criteria for water”, U.S.E.P.A., Washington, D.C.

Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J., Brooks, N.H. (1979): “Mixing in inland and coastal waters”, Academic Press, N. York.

Grace, R.A. (1978): “Marine Outfall Systems – Planning, Design, and Control”, Prentice-Hall, Engelwood-Cliffs.

Hernandez Muñoz, A. (1992): “Saneamiento y Alcantarillado”, Servicio de Publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid (U.P.M.), Madrid.

Incropera, F.P., De Witt, D.P. (1990): “ Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, John Wiley & Sons, New York

Moreira, R.M., Pinto, A.M.F. (2002): ‘Discharge of heated water and ultimate heat sink at Itaorna Cove’, CDTN/CNEN, Belo Horizonte

Petrobrás/Cepemar (s/ data): PBA – Projeto Básico Ambiental da Termelétrica de Três Lagoas, Seção 3-2 – Captação de água e descarte do efluente tratado no Lago da UHE Souza Dias.

Petrobrás (2006): “Critério de Projeto – Gás e Energia – UTE Três Lagoas Geração de Energia”, N° ET-8000.15-5132-941-CNC-001

Perry, R.H. ed. (1984): “Chemical Engineer’s Handbook”, McGraw-Hill Book Co., N. York.

Reiff, F.M. (1997): “Emisários de pequeno diâmetro de polietileno de alta densidad”, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) – OPAS/OMS, Lima.

Roberts, P.J.W. (1977): “Dispersion of buoyant wastewater discharged from outfall diffusers of finite length”, W.M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, Report n° KH-R-35.

Roberts, P.J.W. (1987): “Inclined Dense Jets in Flowing Current”, *J. of Hydraulics Div.* – ASCE, 113 (3): 323-341.

Roberts, P.J.W. (1979): “Line plume and ocean outfall dispersion”, *J. of Hydraulics Div.* – ASCE, 105 (HY4): 313-331.

Roberts, P.J.W. (1996): “Sea outfalls”, in Singh, V.P., Hager, W.H. (eds.) “Environmental Hydraulics”, Kluwer Academic Publishers, printed in the Netherlands, 63-110.

Simon, A.L. (1976): “Practical Hydraulics”, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Velini, E.D., Corrêa, M.R., Tanaka, R.H., Bravin, L.F., Antuniassi, U.R., Carvalho, F.T., Galo, M.L.B.T. (2005): “Avaliação operacional do controle mecânico de plantas aquáticas imersas no reservatório de Jupia”, *Planta Daninha, Viçosa*, 23 (2): 277-285.

Wetzel, R.G. (1993): “Limnologia”, Fundação Calouste Gulbekian, Lisboa

Yudelson, J.M. (1967): “A survey of ocean diffusion studies and data”, Tech. Memo. 67-2, W.M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, Pasadena.

APÊNDICE

Código CORMIX- Documentação e Resultados

CORMIX SESSION REPORT:

XX

CORMIX MIXING ZONE EXPERT SYSTEM

CORMIX Version 5.0GT

HYDRO1:Version March,2007

SITE NAME/LABEL: TRES LAGOAS - MS
DESIGN CASE: Emissário UTE - 3 LAGOAS
FILE NAME: C:\Documents and Settings\aab\Meus
documentos\Alberto\CDTN\3lagoas\Cormix\lagoas.prd
Using subsystem CORMIX1: Single Port Discharges
Start of session: 09/21/2007--15:21:45

SUMMARY OF INPUT DATA:

AMBIENT PARAMETERS:

Cross-section = bounded
Width BS = 2000 m
Channel regularity ICHREG = 2
Ambient flowrate QA = 1520 m³/s
Average depth HA = 19 m
Depth at discharge HD = 24 m
Ambient velocity UA = 0.04 m/s
Darcy-Weisbach friction factor F = 0.2
Wind velocity UW = 1.5 m/s
Stratification Type STRCND = A
Surface temperature = 26.70 degC
Bottom temperature = 25 degC
Calculated FRESH-WATER DENSITY values:
Surface density RHOAS = 996.5958 kg/m³
Bottom density RHOAB = 997.0456 kg/m³

DISCHARGE PARAMETERS:

Single Port Discharge
Nearest bank = right
Distance to bank DISTB = 130 m
Port diameter D0 = 0.1772 m
Port cross-sectional area A0 = 0.0247 m²
Discharge velocity U0 = 1.30 m/s
Discharge flowrate Q0 = 0.031944 m³/s
Discharge port height H0 = 1.5 m
Vertical discharge angle THETA = 0 deg
Horizontal discharge angle SIGMA = 0 deg
Discharge temperature (freshwater) = 32 degC
Corresponding density RHO0 = 995.0253 kg/m³
Density difference DRHO = 1.9922 kg/m³
Buoyant acceleration GP0 = 0.0196 m/s²
Discharge concentration C0 = 1 mg/l
Surface heat exchange coeff. KS = 0 m/s
Coefficient of decay KD = 0 /s

DISCHARGE/ENVIRONMENT LENGTH SCALES:

LQ = 0.16 m Lm = 5.09 m Lb = 9.78 m
LM = 3.67 m Lm' = 3.87 m Lb' = 3.98 m

NON-DIMENSIONAL PARAMETERS:

Port densimetric Froude number FR0 = 21.98

Velocity ratio R = 32.38

MIXING ZONE / TOXIC DILUTION ZONE / AREA OF INTEREST PARAMETERS:

Toxic discharge = no
Water quality standard specified = yes
Water quality standard CSTD = 0.8 mg/l
Regulatory mixing zone = yes
Regulatory mixing zone specification = distance
Regulatory mixing zone value = 130 m (m² if area)
Region of interest = 20000 m

HYDRODYNAMIC CLASSIFICATION:

| FLOW CLASS = S4 |

This flow configuration applies to a layer corresponding to the linearly stratified density layer at the discharge site.
Applicable layer depth = water depth = 24 m

MIXING ZONE EVALUATION (hydrodynamic and regulatory summary):

X-Y-Z Coordinate system:

Origin is located at the bottom below the port center:
130 m from the right bank/shore.
Number of display steps NSTEP = 20 per module.

NEAR-FIELD REGION (NFR) CONDITIONS :

Note: The NFR is the zone of strong initial mixing. It has no regulatory implication. However, this information may be useful for the discharge designer because the mixing in the NFR is usually sensitive to the discharge design conditions.

Pollutant concentration at NFR edge c = 0.0091 mg/l
Dilution at edge of NFR s = 109.7
NFR Location: x = 33.53 m
(centerline coordinates) y = 0 m
z = 6.20 m

NFR plume dimensions: half-width (bh) = 6.62 m
thickness (bv) = 6.62 m

Cumulative travel time: 384.1717 sec.

Buoyancy assessment:

The effluent density is less than the surrounding ambient water density at the discharge level.
Therefore, the effluent is POSITIVELY BUOYANT and will tend to rise towards the surface.

Stratification assessment:

The specified ambient density stratification is dynamically important.
The discharge near field flow is trapped within the linearly stratified ambient density layer.

FAR-FIELD MIXING SUMMARY:

Plume becomes laterally fully mixed at 3931.58 m downstream.

PLUME BANK CONTACT SUMMARY:

Plume in bounded section contacts nearest bank at 340.91 m downstream.

Plume contacts second bank at 3931.58 m downstream.

***** TOXIC DILUTION ZONE SUMMARY *****

No TDZ was specified for this simulation.

***** REGULATORY MIXING ZONE SUMMARY *****

The plume conditions at the boundary of the specified RMZ are as follows:

Pollutant concentration c = 0.004653 mg/l

Corresponding dilution s = 215.0

Plume location: x = 130 m

(centerline coordinates) y = 0 m

z = 6.20 m

Plume dimensions: half-width (bh) = 58.16 m

thickness (bv) = 1.48 m

Cumulative travel time: 2795.9314 sec.

At this position, the plume is CONTACTING the RIGHT bank.

Furthermore, the specified water quality standard has indeed been met

within the RMZ. In particular:

The ambient water quality standard was encountered at the following

plume position:

Water quality standard = 0.8 mg/l

Corresponding dilution s = 1.3

Plume location: x = 1.14 m

(centerline coordinates) y = 0 m

z = 1.50 m

Plume dimension: half-width (bh) = 0.13 m

***** FINAL DESIGN ADVICE AND COMMENTS *****

REMINDER: The user must take note that HYDRODYNAMIC MODELING by any known technique is NOT AN EXACT SCIENCE.

Extensive comparison with field and laboratory data has shown that the CORMIX predictions on dilutions and concentrations (with associated plume geometries) are reliable for the majority of cases and are accurate to within about +-50% (standard deviation).

As a further safeguard, CORMIX will not give predictions whenever it judges the design configuration as highly complex and uncertain for prediction.

The following description of flow class S4 applies to the FULL WATER DEPTH at the discharge site.

FLOW_CLASS_S4

This flow configuration is profoundly affected by the linear ambient density stratification. The predominantly plume-like flow gets trapped at some terminal (equilibrium) level. The trapping is also affected by the reasonably strong ambient crossflow.

Following the trapping zone, the discharge flow forms an internal layer that is further influenced by buoyant spreading and passive diffusion.

The following flow zones exist:

- 1) Weakly deflected jet in crossflow: The flow is initially dominated by the effluent momentum (jet-like) and is weakly deflected by the ambient current.
- 2) Strongly deflected jet in crossflow: The jet has become strongly deflected by the ambient current.
- 3) Strongly deflected plume in crossflow: After some distance, the plume buoyancy starts to affect the flow. The plume is strongly deflected by the current and is slowly rising toward the terminal level.
- 4) Terminal layer approach: The bent-over submerged jet/plume approaches the terminal level. Within a short distance the concentration distribution becomes relatively uniform across the plume width and thickness.

*** The zones listed above constitute the NEAR-FIELD REGION in which strong initial mixing takes place. ***

5) Buoyant spreading in internal layer: The discharge flow within the internal layer spreads laterally while it is being advected by the ambient current. The plume thickness may decrease during this phase. The mixing rate is relatively small. The plume may interact with a nearby bank or shoreline.

6) Passive ambient mixing: After some distance the background turbulence in the ambient shear flow becomes the dominating mixing mechanism. The passive plume is growing in depth and in width. The plume may interact with the upper layer boundary, channel bottom and/or banks.

*** Predictions will be terminated in zone 5 or 6 depending on the definitions of the REGULATORY MIXING ZONE or the REGION OF INTEREST. ***

END OF FLOW CLASS DESCRIPTION *****

X-Y-Z COORDINATE SYSTEM:

ORIGIN is located at the bottom and below the center of the port:
 130.00 m from the RIGHT bank/shore.

X-axis points downstream, Y-axis points to left, Z-axis points upward.
 NSTEP = 20 display intervals per module

 BEGIN MOD101: DISCHARGE MODULE

X	Y	Z	S	C	B
0.00	0.00	1.50	1.0	0.100E+01	0.09

END OF MOD101: DISCHARGE MODULE

BEGIN CORJET (MOD110): JET/PLUME NEAR-FIELD MIXING REGION

Plume-like motion in linear stratification with strong crossflow.

Zone of flow establishment: THETA= 0.00 SIGMA= 0.00
 LE = 0.89 XE = 0.89 YE = 0.00 ZE = 1.50

Profile definitions:

- B = Gaussian 1/e (37%) half-width, normal to trajectory
- S = hydrodynamic centerline dilution
- C = centerline concentration (includes reaction effects, if any)

X	Y	Z	S	C	B
0.00	0.00	1.50	1.0	0.100E+01	0.09
0.89	0.00	1.50	1.0	0.100E+01	0.10

WATER QUALITY STANDARD OR CCC HAS BEEN FOUND

The pollutant concentration in the plume falls below water quality standard
 or CCC value of 0.800E+00 in the current prediction interval.

This is the spatial extent of concentrations exceeding the water quality
 standard or CCC value.

2.15	0.00	1.52	2.3	0.430E+00	0.23
3.69	0.00	1.64	4.1	0.244E+00	0.39
4.94	0.00	1.84	5.8	0.174E+00	0.52
6.31	0.00	2.17	7.9	0.126E+00	0.67
7.64	0.00	2.62	10.6	0.945E-01	0.84
8.94	0.00	3.15	13.7	0.731E-01	1.01
10.21	0.00	3.74	17.2	0.582E-01	1.19
11.47	0.00	4.36	21.1	0.474E-01	1.38
12.73	0.00	4.99	25.4	0.393E-01	1.57
14.00	0.00	5.59	29.9	0.335E-01	1.76
15.29	0.00	6.15	34.2	0.292E-01	1.94
16.61	0.00	6.63	38.5	0.260E-01	2.11
17.97	0.00	7.01	42.5	0.235E-01	2.27
19.35	0.00	7.26	45.8	0.219E-01	2.39
20.75	0.00	7.37	48.0	0.208E-01	2.47

Maximum jet height has been reached.

22.15	0.00	7.33	49.9	0.200E-01	2.53
23.55	0.00	7.15	52.6	0.190E-01	2.60
24.93	0.00	6.88	56.1	0.178E-01	2.70

26.29 0.00 6.54 60.2 0.166E-01 2.81
 27.65 0.00 6.20 64.5 0.155E-01 2.94
 Terminal level in stratified ambient has been reached.
 Cumulative travel time = 237.3452 sec

END OF CORJET (MOD110): JET/PLUME NEAR-FIELD MIXING REGION

 BEGIN MOD131: LAYER BOUNDARY/TERMINAL LAYER APPROACH

Control volume inflow:

X	Y	Z	S	C	B
27.65	0.00	6.20	64.5	0.155E-01	2.94

Profile definitions:

- BV = top-hat thickness, measured vertically
- BH = top-hat half-width, measured horizontally in Y-direction
- ZU = upper plume boundary (Z-coordinate)
- ZL = lower plume boundary (Z-coordinate)
- S = hydrodynamic average (bulk) dilution
- C = average (bulk) concentration (includes reaction effects, if any)

X	Y	Z	S	C	BV	BH	ZU	ZL
24.72	0.00	6.20	64.5	0.155E-01	0.00	0.00	6.20	6.20
25.60	0.00	6.20	64.5	0.155E-01	4.16	2.09	8.28	4.12
26.48	0.00	6.20	64.5	0.155E-01	4.93	2.96	8.67	3.73
27.36	0.00	6.20	64.5	0.155E-01	5.43	3.62	8.91	3.48
28.24	0.00	6.20	66.3	0.151E-01	5.79	4.19	9.10	3.30
29.12	0.00	6.20	74.5	0.134E-01	6.07	4.68	9.23	3.16
30.00	0.00	6.20	85.9	0.116E-01	6.28	5.13	9.34	3.06
30.88	0.00	6.20	96.2	0.104E-01	6.43	5.54	9.41	2.98
31.77	0.00	6.20	103.3	0.968E-02	6.54	5.92	9.47	2.93
32.65	0.00	6.20	107.2	0.933E-02	6.60	6.28	9.50	2.90
33.53	0.00	6.20	109.7	0.912E-02	6.62	6.62	9.51	2.89

Cumulative travel time = 384.1715 sec

END OF MOD131: LAYER BOUNDARY/TERMINAL LAYER APPROACH

 ** End of NEAR-FIELD REGION (NFR) **

 BEGIN MOD142: BUOYANT TERMINAL LAYER SPREADING

Profile definitions:

- BV = top-hat thickness, measured vertically
- BH = top-hat half-width, measured horizontally in Y-direction
- ZU = upper plume boundary (Z-coordinate)
- ZL = lower plume boundary (Z-coordinate)
- S = hydrodynamic average (bulk) dilution
- C = average (bulk) concentration (includes reaction effects, if any)

Plume Stage 1 (not bank attached):

X	Y	Z	S	C	BV	BH	ZU	ZL
33.53	0.00	6.20	109.7	0.912E-02	6.62	6.62	9.51	2.89
48.90	0.00	6.20	147.5	0.678E-02	2.76	21.38	7.58	4.82
64.27	0.00	6.20	162.9	0.614E-02	2.13	30.60	7.26	5.14

79.63	0.00	6.20	175.0	0.571E-02	1.83	38.13	7.11	5.28
95.00	0.00	6.20	186.6	0.536E-02	1.66	44.77	7.03	5.37
110.37	0.00	6.20	198.5	0.504E-02	1.56	50.87	6.98	5.42
125.74	0.00	6.20	211.3	0.473E-02	1.49	56.62	6.94	5.45

** REGULATORY MIXING ZONE BOUNDARY **

In this prediction interval the plume DOWNSTREAM distance meets or exceeds the regulatory value = 130.00 m.

This is the extent of the REGULATORY MIXING ZONE.

141.11	0.00	6.20	224.9	0.445E-02	1.45	62.14	6.92	5.48
156.48	0.00	6.20	239.6	0.417E-02	1.42	67.50	6.91	5.49
171.85	0.00	6.20	255.2	0.392E-02	1.40	72.76	6.90	5.50
187.22	0.00	6.20	271.8	0.368E-02	1.39	77.96	6.89	5.50
202.59	0.00	6.20	289.3	0.346E-02	1.39	83.12	6.89	5.50
217.95	0.00	6.20	307.5	0.325E-02	1.39	88.27	6.89	5.50
233.32	0.00	6.20	326.6	0.306E-02	1.40	93.41	6.90	5.50
248.69	0.00	6.20	346.3	0.289E-02	1.40	98.57	6.90	5.50
264.06	0.00	6.20	366.8	0.273E-02	1.41	103.74	6.90	5.49
279.43	0.00	6.20	387.9	0.258E-02	1.42	108.93	6.91	5.49
294.80	0.00	6.20	409.5	0.244E-02	1.43	114.15	6.91	5.48
310.17	0.00	6.20	431.8	0.232E-02	1.44	119.40	6.92	5.48
325.54	0.00	6.20	454.7	0.220E-02	1.46	124.68	6.93	5.47
340.91	0.00	6.20	478.1	0.209E-02	1.47	129.99	6.93	5.46

Cumulative travel time = 8068.4517 sec

 Plume is ATTACHED to RIGHT bank/shore.

Plume width is now determined from RIGHT bank/shore.

Plume Stage 2 (bank attached):

X	Y	Z	S	C	BV	BH	ZU	ZL
340.91	-130.00	6.20	478.1	0.209E-02	1.47	259.98	6.93	5.46
520.44	-130.00	6.20	711.5	0.141E-02	1.75	324.83	7.07	5.32
699.97	-130.00	6.20	948.1	0.105E-02	1.91	397.08	7.15	5.25
879.51	-130.00	6.20	1199.8	0.834E-03	2.02	473.46	7.21	5.19
1059.04	-130.00	6.20	1468.5	0.681E-03	2.12	552.73	7.26	5.14
1238.57	-130.00	6.20	1754.4	0.570E-03	2.21	634.25	7.30	5.09
1418.11	-130.00	6.20	2056.8	0.486E-03	2.29	717.65	7.34	5.05
1597.64	-130.00	6.20	2375.1	0.421E-03	2.36	802.67	7.38	5.02
1777.18	-130.00	6.20	2708.4	0.369E-03	2.43	889.12	7.41	4.98
1956.71	-130.00	6.20	3056.3	0.327E-03	2.50	976.83	7.45	4.95
2136.24	-130.00	6.20	3418.0	0.293E-03	2.56	1065.69	7.48	4.92
2315.78	-130.00	6.20	3792.9	0.264E-03	2.62	1155.59	7.51	4.89
2495.31	-130.00	6.20	4180.7	0.239E-03	2.68	1246.44	7.54	4.86
2674.85	-130.00	6.20	4580.7	0.218E-03	2.73	1338.17	7.57	4.83
2854.38	-130.00	6.20	4992.6	0.200E-03	2.79	1430.70	7.59	4.80
3033.91	-130.00	6.20	5416.0	0.185E-03	2.84	1523.99	7.62	4.78
3213.45	-130.00	6.20	5850.4	0.171E-03	2.89	1617.97	7.64	4.75
3392.98	-130.00	6.20	6295.5	0.159E-03	2.94	1712.60	7.67	4.73
3572.52	-130.00	6.20	6751.1	0.148E-03	2.98	1807.84	7.69	4.71
3752.05	-130.00	6.20	7216.7	0.139E-03	3.03	1903.65	7.71	4.68
3931.58	-130.00	6.20	7692.2	0.130E-03	3.07	1999.99	7.73	4.66

Cumulative travel time = 97833.5391 sec

Plume is LATERALLY FULLY MIXED at the end of the buoyant spreading regime.

END OF MOD142: BUOYANT TERMINAL LAYER SPREADING

