

**SIMULAÇÃO DA PLUMA DE DISPERSÃO
DE EFLUENTES PARA
A PLATAFORMA PETROBRAS 40 (P40)**

CAMPO DE MARLIM SUL – BACIA DE CAMPOS

PETROBRAS/ CENPES

NOVEMBRO de 2000

ELABORAÇÃO

Celso Alleluia Mauro

Químico Industrial

CENPES/SUPAB/SEAMB

CRQ: 03411583 3ª Região

REGISTRO IBAMA: 3//33/1999/000376-0

Marcelo Rocha Martinelli

Engenheiro Químico

CENPES/DIPREX/SEPRON

CRQ: 03310777 3ª Região

1 - JUSTIFICATIVA

Em atendimento ao ELPN/IBAMA, conforme solicitado em seu parecer técnico 145/00, são apresentados os resultados da simulação matemática tridimensional, desenvolvida para previsão das características da pluma de dispersão dos efluentes que serão descartados no mar pela plataforma PETROBRAS 40 (P40).

Após a entrada em operação, a P40 terá aumento progressivo de vazão da água produzida variando de zero a cerca de 2.000 m³/d, no final de 2005. A vazão de descarte máxima de água produzida prevista para a P40, a ser alcançada em 2022, é de 13.850 m³/d.

2 - SIMULAÇÃO DA PLUMA DE DISPERSÃO DOS EFLUENTES DA P40

A pluma de dispersão dos efluentes para a P40 foi simulada utilizando-se o modelo CORMIX (CORNELL MIXING ZONE EXPERT SYSTEM) da *Cornell University (New York)*.

2.1- DADOS BÁSICOS PARA SIMULAÇÃO DA PLUMA DE DISPERSÃO

A plataforma P40 é uma plataforma do tipo semi-submersível para produção de petróleo. Operará na Bacia de Campos no Campo de Marlim Sul, nas coordenadas UTM 7506345 N e 390097 E, em uma lâmina d'água de 1080 metros.

Para a simulação da dispersão da pluma dos efluentes da P40, utilizou-se a vazão de 14.000 m³/dia, correspondente à vazão máxima a ser obtida em 2022.

Os dados do perfil de densidade, correspondem aos da Região Intermediária Central da Bacia de Campos (PETROBRAS, 1999).

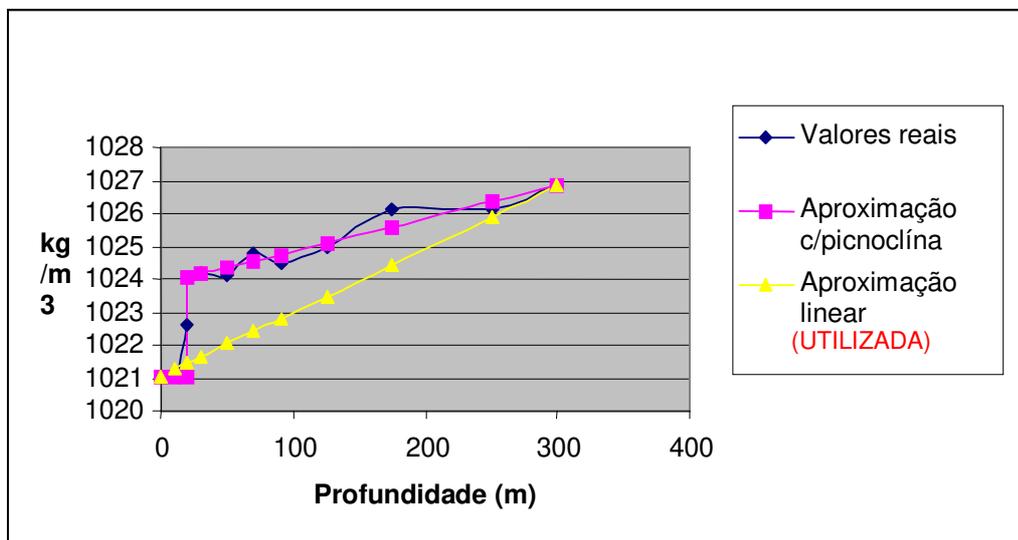
Para a simulação utilizou-se o valor de 56 psu (56.000 mg/L) para a salinidade do efluente e temperatura de descarte de 40^o C, o que proporciona uma densidade de 1033,6 kg/m³. Este valor de salinidade corresponde à salinidade média da água de formação no Campo de Marlim, reservatório que tem características similares a Marlim Sul e vem sendo utilizado como referência pois, ainda não se dispõe de caracterização da água de formação a ser produzida pela P40 (PETROBRAS, 2000a).

A velocidade média das correntes marinhas adotada foi de 0,55 m/s. Esse valor corresponde à velocidade que ocorre com maior frequência na região.

Para avaliação da diluição de um poluente ao longo da dispersão da pluma, utilizou-se um poluente solúvel fictício com concentração inicial de 100 ppm. A simulação foi realizada para um poluente conservativo, ou seja, aquele que não se degrada ou interage quimicamente com o meio ambiente, sendo o decaimento de sua concentração inicial decorrente apenas da diluição proporcionada pela dispersão da pluma na coluna d'água.

Foi utilizado, por limitações do programa CORMIX, um perfil de densidade linear, correspondendo às profundidades de 0 a 326 m, suficiente para o caso, pois a pluma, conforme demonstra o programa se manteve dentro destes limites. Este perfil é considerado conservativo, para o efeito de penetração da pluma de efluentes na lâmina d'água, pois apresenta, na maior parte da mesma, uma densidade menor que a real (Figura 1).

FIGURA 1 – PERFIS DE DENSIDADE DA ÁGUA DO MAR EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE



O descarte da água produzida na P40 será feito por uma tubulação de 10 polegadas de diâmetro, situada a um metro acima da superfície da água (PETROBRAS, 2000b). Todavia, por limitações do CORMIX, a simulação foi conduzida considerando-se o lançamento dos efluentes na superfície da água do mar. Este também é um fator da simulação que contribui de forma conservativa na penetração (afundamento) da pluma, pois, na realidade, ocorrerá um espalhamento do jato quando do seu impacto com a superfície da água, reduzindo o **'efeito de jato'** e assim, diminuindo a profundidade de penetração da pluma, quando comparado com o resultado da simulação.

2.2 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Os resultados da simulação são ilustrados pelas Figuras de 2 a 4, a seguir, geradas a partir dos dados de saída da simulação realizada com o CORMIX. Os dados de saída do modelo, bem como os dados técnicos usados para a condução da simulação constam no relatório gerado pelo software que é apresentado no anexo.

As Figuras 2a e 2b mostram a propagação da pluma ao longo da distância da plataforma. A Figura 2a (com zoom) mostra em detalhe, no campo próximo à plataforma, a profundidade de penetração da pluma e seu padrão de dispersão.

Como o efluente da P40 é mais denso que a água do mar e é descartado na superfície da água a uma vazão de $0.162 \text{ m}^3/\text{s}$ na forma de jato, ele penetra na massa d'água e afunda mas, não ultrapassa a profundidade de cerca de 20 metros a uma distância de 125 metros da plataforma (borda inferior da pluma).

Através da Figura 2b, observa-se que a pluma, após um rápido afundamento, se mantém estável, a uma profundidade fixa, mesmo a uma distância da plataforma da ordem de 30 Km. Destaca-se que, na verdade, já em distâncias inferiores a essa, a pluma dos efluentes está quase que totalmente dispersa na coluna d'água, conforme pode-se ver nos dados de saída apresentados no anexo.

FIGURA 2a - PROPAGAÇÃO DA PLUMA NO CAMPO PRÓXIMO E PROFUNDIDADE DE PENETRAÇÃO/AFUNDAMENTO

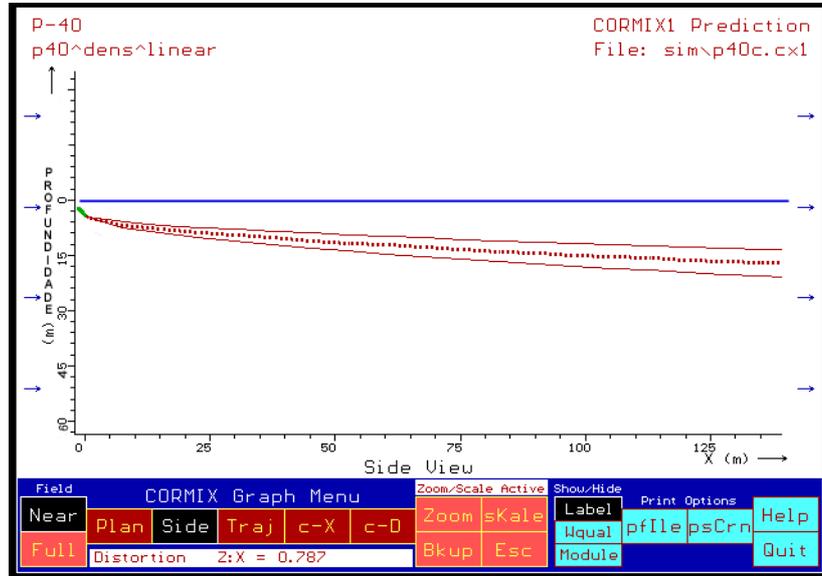
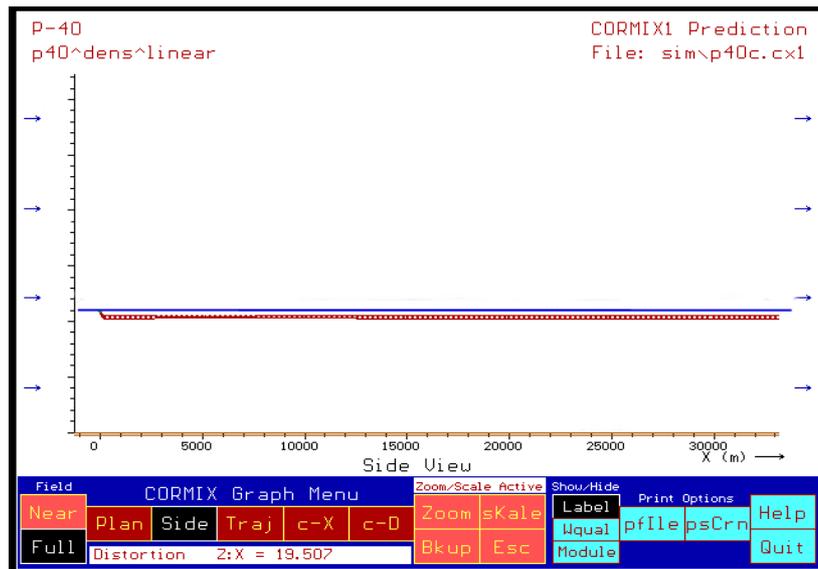
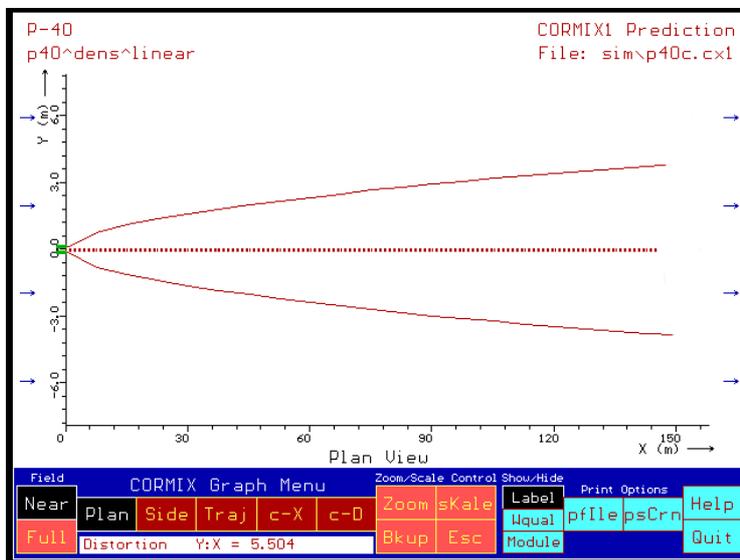


FIGURA 2b - PROPAGAÇÃO DA PLUMA NO CAMPO AFASTADO



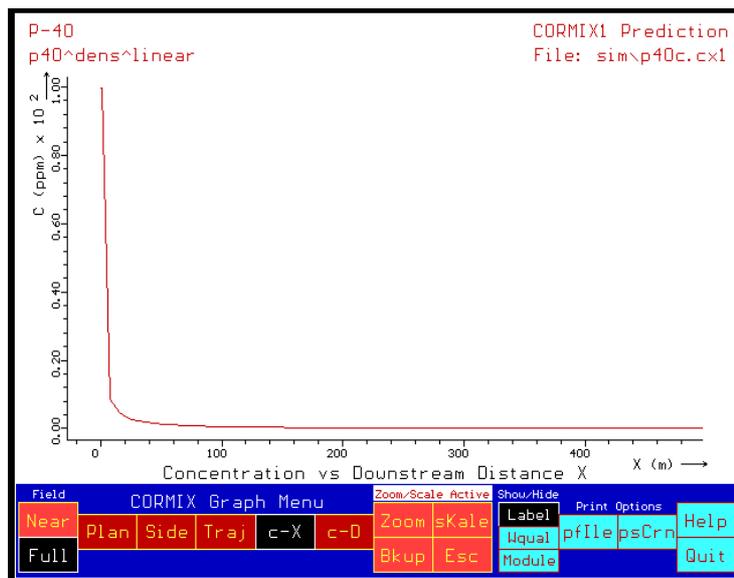
A Figura 3, ilustra, no campo próximo de dispersão, a distribuição horizontal (vista superior) apresentada pela pluma ao longo de sua trajetória. Destaca-se que os limites das bordas da pluma, a partir de seu centro, têm uma amplitude relativamente modesta, cerca de seis metros de afastamento entre as bordas da pluma a uns 120 m de distância do lançamento. Esta vista sugere que a pluma amplia-se horizontalmente com a distância mas, deve ficar claro que a concentração de um poluente decresce proporcionalmente com o aumento da distância da plataforma. Conforme pode ser visto nos dados de saída da simulação apresentados no anexo, um poluente sofre uma diluição da sua concentração inicial (no efluente) da ordem de 8.000 vezes a 5.000 metros de distância da plataforma.

FIGURA 3 - VISTA SUPERIOR, NO CAMPO PRÓXIMO, DA PLUMA DE DISPERSÃO DOS EFLUENTES DA P40



A Figura 4 ilustra a diluição, no campo próximo, de um poluente solúvel na água. Após o descarte, conforme a figura, considerando-se uma concentração inicial de 100 ppm no efluente, a concentração do poluente na água do mar, já na faixa dos 200 metros distantes da plataforma, é praticamente nula comprovando o fato de que o poluente é rápida e intensamente disperso ou diluído na água nas proximidades da plataforma. Destaca-se que este grau de diluição será semelhante para todos os componentes solúveis no efluente.

FIGURA 4 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE UM POLUENTE SOLÚVEL NO CAMPO PRÓXIMO



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PETROBRAS, 1999 - Metocean Data, Technical Specification I-ET-3000.00-1000-941-PPC-001, E&P Bacia de Campos, Campos Basin, Offshore Systems and Units, 72 pp.

PETROBRAS, 2000a – E&P-BC/GERET, Eng^a. Vera Amorin, Comunicação Pessoal.

PETROBRAS, 2000b – E&P-BC, Eng^o. Valdeci Oliveira, Comunicação Pessoal.

ANEXO

DADOS UTILIZADOS PARA A SIMULAÇÃO E DADOS DE SAÍDA DO MODELO CORMIX

ITERATION DATA:

Prior design case: P-40 dens estratificada

Enter NEW DESIGN CASE (up to 40 characters):

p40 dens linear

Prior file name: p40b

Enter NEW FILE NAME (up to 8 characters, without extension):

p40c

Prior File name: p40b Design case: P-40 dens estratificada

NEW File name: p40c Design case: p40 dens linear

Please VERIFY: Are the NEW labels correct?

yes no

START OF CORMIX ITERATION SESSION:

XX

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

SITE NAME/LABEL: P-40
ORIGINAL design case: P-40 dens estratificada
ORIGINAL file name: p40b
Start of main session: 11/24/00--15:52:05

Design iteration number: 1
NEW DESIGN CASE: p40 dens linear
NEW FILE NAME: p40c
Start of iteration session: 11/24/00--17:15:17

CASE DESCRIPTION

Site name/label: P-40
Design case: p40^dens^linear
FILE NAME: cormix\sim\p40c .cx1
Time of Fortran run: 11/24/00--17:19:55

ENVIRONMENT PARAMETERS (metric units)

Unbounded section

HA = 990.00 HD = 990.00
UA = .550 F = .007 USTAR = .1639E-01
UW = 5.000 UWSTAR= .5890E-02

Density stratified environment

STRCND= A RHOAM = 1023.9500

RHOAS = 1021.1000 RHOAB = 1026.8000 RHOAH0= 1024.9230 E =
.5500E-04

DISCHARGE PARAMETERS (metric units)

BANK = LEFT DISTB = 80000.00
D0 = .254 A0 = .051 H0 = 326.00
THETA = -45.00 SIGMA = .00
U0 = 3.197 Q0 = .162 = .1620E+00
RHO0 = 1033.6000 DRHO0 = -.8677E+01 GP0 = -.8302E-01
C0 = .1000E+03 CUNITS= ppm
IPOLL = 1 KS = .0000E+00 KD = .0000E+00

FLUX VARIABLES (metric units)

Q0 = .1620E+00 M0 = .5180E+00 J0 = -.1345E-01 SIGNJ0= -1.0

Associated length scales (meters)

LQ = .23 LM = 5.26 Lm = 1.31 Lb = .08
Lmp = 9.85 Lbp = 13.48

Plume-like motion in linear stratification with strong crossflow.

Zone of flow establishment: THETA E= -38.32 SIGMA E= .00
LE = .77 XE = .58 YE = .00 ZE = 325.49

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
.00	.00	326.00	1.0	.100E+03	.13
.58	.00	325.49	1.0	.100E+03	.13
7.70	.00	323.28	11.3	.884E+01	.78
15.15	.00	322.21	21.3	.469E+01	1.12
22.62	.00	321.34	31.5	.317E+01	1.38
30.10	.00	320.55	42.2	.237E+01	1.61
37.59	.00	319.82	53.3	.188E+01	1.82
45.09	.00	319.14	64.7	.155E+01	2.01
52.58	.00	318.49	76.4	.131E+01	2.19
60.08	.00	317.88	88.4	.113E+01	2.36
67.58	.00	317.29	100.5	.995E+00	2.52
75.09	.00	316.74	112.7	.887E+00	2.68
82.60	.00	316.20	125.0	.800E+00	2.82
90.11	.00	315.70	137.3	.728E+00	2.96
97.62	.00	315.22	149.5	.669E+00	3.09
105.13	.00	314.76	161.6	.619E+00	3.21
112.64	.00	314.32	173.5	.577E+00	3.33
120.15	.00	313.91	185.1	.540E+00	3.45
127.67	.00	313.52	196.6	.509E+00	3.55
135.18	.00	313.15	207.7	.482E+00	3.65

142.70 .00 312.80 218.4 .458E+00 3.75

150.20 .00 312.47 228.7 .437E+00 3.83

Terminal level in stratified ambient has been reached.

150.22 .00 312.47 228.7 .437E+00 3.83

Cumulative travel time = 245. 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
150.22	.00	312.47	228.7	.437E+00	3.83

Profile definitions:

BV = top-hat thickness, measured vertically

BH = top-hat half-width, measured horizontally in Y-direction

ZU = upper 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
146.38	.00	312.47	228.7	.437E+00	.00	.00	312.47	312.47
147.53	.00	312.47	228.7	.437E+00	4.76	2.39	314.85	310.09
148.68	.00	312.47	228.7	.437E+00	5.64	3.38	315.29	309.65
149.83	.00	312.47	228.7	.437E+00	6.21	4.14	315.57	309.36
150.98	.00	312.47	235.0	.426E+00	6.63	4.79	315.78	309.16
152.13	.00	312.47	264.1	.379E+00	6.94	5.35	315.94	309.00
153.28	.00	312.47	304.4	.329E+00	7.18	5.86	316.06	308.88
154.43	.00	312.47	341.1	.293E+00	7.35	6.33	316.14	308.79

155.58	.00	312.47	366.3	.273E+00	7.47	6.77	316.20	308.73
156.73	.00	312.47	379.9	.263E+00	7.54	7.18	316.24	308.70
157.88	.00	312.47	388.8	.257E+00	7.57	7.57	316.25	308.68

Cumulative travel time = 259. 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
157.88	.00	312.47	388.8	.257E+00	7.57	7.57	316.25	308.68
5099.99	.00	312.47	8120.0	.123E-01	5.33	224.35	315.13	309.80
10042.10	.00	312.47	22708.5	.440E-02	6.58	508.30	315.76	309.18
14984.20	.00	312.47	42397.6	.236E-02	7.49	833.86	316.21	308.72
19926.31	.00	312.47	66377.4	.151E-02	8.22	1188.57	316.58	308.36
24868.41	.00	312.47	94119.5	.106E-02	8.85	1565.55	316.90	308.04
29810.52	.00	312.47	*****	.798E-03	9.41	1960.36	317.17	307.76
34752.63	.00	312.47	*****	.627E-03	9.91	2369.92	317.42	307.51
39694.73	.00	312.47	*****	.509E-03	10.36	2791.95	317.65	307.29
44636.84	.00	312.47	*****	.423E-03	10.79	3224.73	317.86	307.08

