

独立行政法人国際協力機構
リオデジャネイロ州環境都市開発局 (SEMADUR)
リオデジャネイロ州上下水道公社 (CEDAE)

ブラジル国 グアナバラ湾の環境に関する管理及び改善調査

ファイナルレポート 要 約

平成15年10月

株式会社 パシフィックコンサルタンツインターナショナル
株式会社 日水コン

本報告書で採用した通貨換算率

通 貨	1 ドルあたり
ブラジル レアル (R\$)	2.90 R\$
円 (JPY)	120.0 円

(2002 年 7 月の為替交換率による)

序 文

日本国政府はブラジル国政府の要請に基づき、同国のグアナバラ湾の環境に関する管理及び改善調査にかかる開発調査を行なうことを決定し、独立行政法人国際協力機構（旧国際協力事業団）がこの調査を実施することと致しました。

当機構（旧事業団）は、平成 14 年 5 月から平成 15 年 8 月までの間、株式会社パシフィックコンサルタンツインターナショナルの武智昭氏を団長とし、同社及び株式会社日水コンの共同企業体によって構成された調査団を現地に派遣しました。また、平成 14 年 3 月から平成 15 年 8 月までの間、独立行政法人土木研究所水循環研究グループ水質チームの岡安祐司氏を委員長とする作業監理委員会を設置し、本調査に関し、専門的かつ技術的な見地から検討、議論が行われました。

調査団はブラジル国政府関係者と協議を行なうとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成 15 年 10 月

独立行政法人国際協力機構

理 事 松 岡 和 久

ブラジル連邦共和国グアナバラ湾の環境に関する管理及び改善調査 伝 達 状

平成 15 年 10 月

独立行政法人国際協力機構
理 事 松 岡 和 久 殿

ブラジル連邦共和国グアナバラ湾の環境に関する管理及び改善調査の最終報告書をここに提出いたします。本報告書は株式会社パシフィックコンサルタンツインターナショナルと株式会社日水コンによって構成される共同企業体が平成 14 年 3 月 13 日、平成 15 年 4 月 24 日、平成 15 年 5 月 19 日（平成 15 年 9 月 17 日変更）付貴機構（旧国際協力事業団）との契約書に基づき作成したものです。

本調査報告書は、要約、主報告書、付属報告書によって構成されています。要約には全調査結果の要点をまとめ、主報告書には現況、既存マスタープランの見直し、優先プロジェクトのフィージビリティ調査結果、結論と提言を記載しました。また、主報告書の内容の技術的な裏付けは付属報告書に取り纏めました。

最後に、調査団は貴機構、作業監理委員会、外務省、国土交通省、在ブラジル連邦共和国日本大使館、さらにブラジル連邦共和国の関係者の皆様のご支援に厚く感謝を申し上げますとともに、調査結果がグアナバラ湾の環境の改善に寄与し、さらに、これを機会として両国の友好関係がより深まることを祈念いたします。

ブラジル国グアナバラ湾の環境に関する管理及び改善調査団
総括 武智 昭

調査結果の概要

本調査では、1994 年の「グアナバラ湾水質汚濁防止計画調査」により策定されたグアナバラ湾の環境改善を目的としたマスタープラン（以下、JICA マスタープランと略記）と 1994 年にリオデジャネイロ州上下水道公社（CEDAE）が策定した「リオデジャネイロ首都圏下水道マスタープラン」（以下、CEDAE マスタープランと略記）の見直しを行った。その結果をもとに下水道整備を中心とするグアナバラ湾浄化の戦略計画を策定し、湾内の著しく汚染された海域を改善する下水道整備を優先事業として、そのフージビリティ調査を実施した。

グアナバラ湾浄化の戦略計画

1. JICA マスタープランの見直し

JICA マスタープランは 2000 年を達成年とする短期目標、2010 年を達成年とする中期目標、達成年を定めない長期目標を設定し、短期、中期目標を下水道の整備とその他の補足的な浄化策により達成するものとしている。マスタープランでは目標達成に必要な汚濁負荷削減の約 3 分の 1 を下水道の整備により、残り 3 分の 2 を河口部付近で安定地を建設する、土地利用規制を導入する、ファベラの衛生状態を改善するなどの補足的手段によるものとしている。

しかしながら、提案された補足手段の負荷削減効果は定量的には把握されず、目標達成の技術的な裏づけが明確とはいえない。また、目標はグアナバラ湾の期待される水利用を可能にする水質を設定しているが、既存技術、あるいはリオデジャネイロ州の事業実施能力から判断して、目標の実現は困難なものと考えた。

したがって、グアナバラ湾の環境改善には実施可能な技術を中心に対策を進め、技術的な実施可能性と湾の現状から決まる改善の緊急性から目標を設定するのがより現実的と考えた。

2. CEDAE マスタープランの見直し

CEDAE マスタープランはリオデジャネイロ首都圏を 32 の排水区に分割、各排水区に 1 つないしは 2 つ以上の処理場を配置し、首都圏内の市街地全体の下水を収集、処理対象とする計画である。32 排水区のうち 16 の排水区がグアナバラ湾流域に位置する。したがって、本調査ではこの 16 の排水区を見直しの対象とした。

マスタープランの一部は PDBG としてすでに事業化が進んでいる。事業化の過程で、排水区の分割、統合がおこなわれているが、残りの排水区についてはマスタープランを踏襲するものとして、人口、汚水量、施設規模等を見直しを行った。その結果、マスタープランの 2020 年人口は 2000 年センサスに基づく本調査の推計人口と数パーセントの違いはあるものの、計画下水量は施設計画の許容範囲内で、幹線、ポンプ場、処理場の能力に特に変更を加える必要がないことが明らかになった。

建設費については、為替変動の影響でかなり高くなっているため、現在の為替ルートで修正を加えた。

排水区によっては幹線が道路のない部分、あるいは河川内に計画されているため、フージビリティ調査段階では幹線の再配置が必要な場合が予想される。また、処理場予定地についてはすでに他の目的で使用されているところもあり、早めの確保が必要である。

3. グアナバラ湾浄化の戦略

両マスタープランの見直し結果をもとに、グアナバラ湾浄化の戦略を以下のように定めた。

- JICA マスタープランが提案したような補足的な手段はその効果を定量的に評価できず、実施を前提とする対策にはなりえないため、改善目標は下水道整備により達成するものとする。
- CEDAE マスタープランが存在しその一部が PDBG として実現しているため、本調査では CEDAE マスタープランの見直し結果をもとにグアナバラ湾の環境を改善する戦略計画を提案する。
- 下水道整備により水質改善を達成するという前提で、改善目標を技術的に可能なものに再設定する。
- したがって、短期目標は不快な状態の除去を目標として湾全域を BOD10mg/l 以下にするものとする。長期目標は CONAMA の環境基準達成を目標とするが技術的に達成可能とはいえないため、目標達成年は規定せず将来の努力目標とする。中期目標は現在汚染の著しい海域を除き CONAMA の環境基準を達成するものとし、下水道戦略計画の目標とする。(表 1 参照)
- 水質目標を達成する手段とはしないが、環境改善、自然保護の観点から、浚渫、海面清掃、マングローブおよび湿地の保護を勧める。
- 環境管理行政を強化する。

表 1 再設定された改善目標と達成目標年

目標	摘要	目標年
短期目標	感覚的に不快な状況をなくす。 湾内すべての水質観測点で BOD10mg/l 以下。	2010 年
中期目標	西側海域の一部を除き BOD5mg/l 以下	2020 年
長期目標	CONAMA 環境基準 (DZ105) (全域で BOD5mg/l 以下)	特定せず

4. 下水道整備戦略計画

整備対象及び施設計画

CEDAE マスタープランをもとに、流域内 16 排水区のうち PDBG での整備済みの 4 排水区を除く 12 の排水区を対象に表 2 に示す施設整備を行うものとする。

表 2 下水道整備戦略計画の整備対象排水区及び施設概要

排水区名	面積 (ha)	人口 2020 年	計画下水量 (l/sec)	処理場		収集管	
				処理場数	総能力 (l/sec)	ポンプ場数	管渠延長 (km)
1. Pavuna-Meriti*	17,800	1,577,500	3,944	2	4,100	23	1,890
2. Sarapuí*	13,200	993,700	2,480	2	2,685	14	1,320
3. Bangu	3,300	403,600	1,009	1	1,000	1	255
4. Bota	39,200	1,274,400	3,154	5	3,210	0	4,114
5. Iguaçu	18,100	300,400	631	2	640	3	1,826
6. Estrela	35,100	450,500	1,076	4	1,100	1	3,564
7. Roncador	57,100	202,400	287	3	300	2	3,817
8. Macacu	65,600	400,000	845	8	870	3	6,501
9. Guaxindiba	7,100	252,400	554	3	570	2	737
10. Alcântara	10,600	499,500	928	3	940	4	1,290
11. Imboassu	5,900	336,700	869	2	875	3	810
12. Niterói*	4,000	404,000	1,064	2	1,482	6	600
合計	277,000	7,095,100	16,841	37	17,772	62	26,724

*: 既設分を含む

事業実施計画

投資効果、汚濁負荷削減効果、CEDAE の優先度の意向を考慮して、事業実施計画を定めた。

事業費

総事業費は表 3 に示すとおり 15 億 4,800 万ドルである。運転維持管理費は直接工事費の 5% とした。

表 3 下水道整備戦略計画の事業費

直接工事費	1,257,247
用地取得費	7,881
管理費	62,862
技術費	125,725
予備費	125,725
計	1,579,440

(単位:1000 ドル)

事業評価

技術的に CEDAE はいくつかの下水処理施設を運転していることから、既存の技術レベルで対応できると判断された。

本調査で開発した水質シミュレーションモデルにより、水質改善の中期目標を達成できることが確認された。

州政府から現在支出されている補助金と同額相当の補助金を支出する、国際援助期間の融資を受けるという条件のもと FIRR は 10.8% となり財務的に実施可能と判断された。

「きれいなグアナバラ湾」の環境価値を住民、旅行者の支払い意思により調査し、その回復を経済便益とした場合の EIRR は 10.0% となり、経済的に実施可能と判断された。

事業はファベラからの発生下水を受け入れる前提で幹線容量を計画し、ファベラに対して将来の下水道サービスを提供できるように配慮した。

予備的な環境影響を調査した結果、工事に伴う騒音振動、交通障害、処理場運転に伴う臭気等の負の影響が予想されるが、いずれも機材、工法の選択により対策可能と判断された。

以上の考察から事業は実施可能と判断した。

5. 優先プロジェクトの選定

投資効果、短期目標を達成できるかを判断基準に表 4 に示す 4 つの排水区の下水道整備プロジェクトを優先プロジェクトとして選定した。

表 4 優先プロジェクト対象排水区

排水区	排水区面積 (ha)	処理場 能力 (L/秒)	処理場面積 (ha)	備考
1.Pavuna	3,660	1,500	-	既存施設の能力含まず
2.Acari	3,100	1,100	-	
3.Sarapuí	640	1,000	-	既存施設の能力含まず
4.Bangu	1,870	1,000	6.5	
Total	9,270	4,600	6.5	

優先プロジェクトのフィージビリティ調査

1. 施設計画

下水収集システム

下水収集システムは 1,833 km の下水管と 6 ヶ所のポンプ場から構成される。その内訳を表 5 に示す。

表 5 優先プロジェクトの下水収集システム

排水区	枝管延長	幹線 開削工法	幹線 推進工法	幹線 圧力管	合計
Pavuna	695,000	7,170	15,642	-	717,812
Acari	558,000	7,690	16,148	1,010	582,848
Sarapui	96,000	2,090	4,660	-	102,750
Bangu	411,000	5,770	12,910	-	429,680
合 計	1,760,000	22,720	49,360	1,010	1,833,090

(単位: m)

下水処理施設

パブナ、サラプイは既存処理場の拡張、アカリ、バンゲーは新設である。処理方式は活性汚泥法を採用した。汚泥は濃縮後、機械脱水、加熱乾燥して廃棄物処理場で処分する。各処理場の処理能力は表 6 に示すとおりである。

表 6 各処理場の処理能力および主仕様

処理場	計画処理能力 (L/s)		流入水 BOD/SS (mg/L)	処理水 BOD/SS (mg/L)
	既設	計画		
Pavuna	1,500	1,500	230/250	20/20
Acari	-	1,100	230/250	20/20
Sarapuí	1,500	1,000	230/250	20/20
Bangu	-	1,000	230/250	20/20

2. 事業費

総事業費は 3 億 9,400 万ドルである。その内訳を表 7 に示す。維持管理費は年間 1,050 万ドルである。

表 7 優先プロジェクトの事業費

(単位: 1000 ドル)

項目	外貨	内貨	計
直接工事費	14,852	299,567	314,419
用地取得 (Bangu 処理場)	-	650	650
管理費 (5%)	-	15,722	15,722
技術費 (10%)	-	31,443	31,443
予備費 (10%)	-	31,443	31,443
事業費	14,852	378,825	393,677

3. 事業評価

優先プロジェクトの実施により湾内の BOD はすべて 10 mg/l 以下となり、短期目標が達成できることが明らかになった。

州が 2006 年に 2,000 万ドル、2007 年から 2009 年の間に 400 万ドルの補助金を支出し、事業費の 30% を低利 (2.5%) の融資、30% を国際水準の金利 (5.5%) の融資を導入することにより、FIRR は 9.7% となり、財務的に実行可能と判断された。

グアナバラ湾の環境価値を経済便益とすることで、EIRR は 12.9% となり、経済的に実施可能と判断された。

幹線計画では隣接するファベラに将来下水が敷設された場合に発生する下水を流下できるよう計画し、また、処理場もその量を見込んで計画下水量を定めた。

ブラジルの環境法に則った環境影響評価をもとに予想される負の影響に対して詳細設計段階で考慮すべき点を明らかにしたが、いずれも現行の技術で対応できると予想された。

以上の評価から優先プロジェクトは実施可能と判断した。

4. 提 言

環境管理行政の強化、事業実施、運転能力の強化という観点から以下の提言をした。

環境管理行政の強化

SEMADUR 内に環境管理機能を有する組織を設立することを提言した。当該組織はグアナバラ湾環境に関する情報を集約し、管理計画を策定、浄化のシナリオを決定し、関連機関に予算を配分し、浄化対策を実行する機能を有する。本調査は政策決定支援ツールとして湾内水質を汚濁負荷量の発生状況に応じて予測する水質シミュレーションモデル (WQSM) と流域情報を総合的に管理し WQSM により水質を予測し、さらにその水質を評価する決定支援システム (DSS) を開発した。

環境管理行政を持続的に進めていくためには環境政策に対する政治的な支持が必要であり、そのためには住民の環境政策への理解が重要である。こうした観点から環境教育プログラムの実施を提言し、環境情報の発信のためのホームページを開設した。環境教育プログラムについては 3 つの違うタイプのプログラムを提案した。

事業実施、運転能力の強化

CEDAE に対して直ちに優先プロジェクト実施のためのアクションをとることを提言した。

料金収入の増加、運転費削減を中心として、数値目標を設定した財務改革のアクションプログラムを作成し、実行することを提言した。

運転維持管理の改善、老朽化が始まった既設管の維持管理、修理計画を早急に策定することを提言した。

適正な処理効率の維持、経済的な処理場運転のため下水処理場の運転監視を実行することを提言した。

目 次

序 文
伝達状
調査結果の概要
目 次
図表目次
略語集

	<u>ページ</u>
1 調査概要	S - 1
1.1 はじめに	S - 1
1.2 調査の背景	S - 1
1.3 調査の目的	S - 1
1.4 調査対象地域	S - 2
1.5 作業工程	S - 2
1.6 調査の組織体制	S - 3
2 汚濁解析	S - 5
2.1 はじめに	S - 5
2.2 水文解析	S - 5
2.3 汚濁負荷解析	S - 6
2.4 水質予測モデル (WQSM)	S - 7
2.5 データベースおよび決定支援システム (DSS)	S - 7
3 JICA マスタープランの見直し	S - 11
3.1 はじめに	S - 11
3.2 社会経済状況の更新	S - 11
3.3 JICA マスタープランの概要	S - 11
3.4 JICA マスタープランの実現化の評価	S - 12
3.5 グアナバラ湾環境改善の戦略	S - 13
3.6 結 論	S - 14
4 CEDAE マスタープランの見直し	S - 15
4.1 はじめに	S - 15
4.2 計画諸元	S - 15
4.3 排水区分割および下水収集システム	S - 16
4.4 下水処理場	S - 18
4.5 建設費	S - 18
4.6 維持管理費	S - 19
4.7 結 論	S - 19
5 下水道整備の戦略計画	S - 20
5.1 下水道計画	S - 20
5.2 事業実施の優先度	S - 20

5.3	事業費積算	S - 20
5.4	事業評価	S - 22
5.5	優先プロジェクトの選定	S - 22
6	優先プロジェクトのフィージビリティ調査	S - 24
6.1	調査対象	S - 24
6.2	計画諸元	S - 25
6.3	下水道施設の予備設計	S - 26
6.4	事業費積算	S - 29
6.5	事業評価	S - 30
7	結論と提言	S - 32
7.1	結 論	S - 32
7.2	提 言	S - 32

表 目 次

	<u>ページ</u>
表 2.1 現在・将来の流域内負荷発生量および負荷到達量（BOD, TN & TP）	S - 9
表 3.1 JICA マスタープランに基づく必要汚濁負荷削減量の推計結果	S - 11
表 3.2 JICA マスタープランで提案された 2010 年目標を達成するために必要な 対策の最適組み合わせ	S - 12
表 3.3 現在と短期目標の水質比較	S - 12
表 3.4 再設定された改善目標と目標年達成	S - 14
表 4.1 CEADE マスタープランの計画人口と 2000 年センサスをもとにした 推計人口の比較	S - 16
表 4.2 計画水質	S - 16
表 4.3 各排水区の人口および計画下水量（2020 年）	S - 17
表 5.1 事業費内訳	S - 21
表 5.2 優先プロジェクト対象処理区	S - 22
表 6.1 フィジビリティ調査対象区域	S - 24
表 6.2 処理区毎の下水収集人口	S - 25
表 6.3 処理区毎の日平均下水量	S - 25
表 6.4 下水収集システムの構成	S - 26
表 6.5 各処理場の処理能力および主仕様	S - 26
表 6.6 直接建設費	S - 29
表 6.7 運転維持管理費	S - 29
表 6.8 事業費	S - 30

図 目 次

	<u>ページ</u>
図 1.1 調査対象地域位置図	S - 2
図 1.2 調査工程	S - 2
図 1.3 調査組織体制	S - 3
図 2.1 汚濁解析概念図	S - 5
図 2.2 水質予測モデルのモジュールとその相互関係	S - 7
図 2.3 実測および予測 BOD(左)・クロロフィル(右)の比較	S - 10
図 3.1 PDBG 完成後の水質予測	S - 13
図 4.1 CEADE マスタープランのグアナバラ湾流域の排水区および処理場位置図・	S - 15
図 5.1 事業実施計画	S - 21
図 5.2 優先プロジェクトの位置図	S - 23
図 6.1 フィージビリティ調査対象区域	S - 24
図 6.2 パブーナ処理区の主要施設配置図	S - 27
図 6.3 サラプイ処理区の主要施設配置図	S - 27
図 6.4 アカリ処理区の主要施設配置図	S - 28
図 6.5 バンゲー処理区の主要施設配置図	S - 28
図 6.6 事業実施計画	S - 30

略 語 集

1. ORGANIZATIONS

ABC	Agência Brasileira de Cooperação (Brazilian Cooperation Agency)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas (Brazilian Association of Technical Standards)
AFB	Agência Financeira da Bacia (Basin Financial Agency)
BC	Banco Central (Central Bank of Brazil)
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento (Inter-American Development Bank - IDB)
BIRD	Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento (International Bank for Reconstruction and Development - IBRD)
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (National Bank for Economic and Social Development)
CECA	Comissão Estadual de Controle Ambiental (State Commission for Environmental Control)
CEDAE	Companhia Estadual de Aguas e Esgoto (State Company of Water and Sewages)
CEF	Caixa Econômica Federal (Federal Savings Bank)
CEHAB	Companhia Estadual de Habitação (State Company of Housing)
CET-Rio	Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro (Traffic Engineering Corporation of Rio de Janeiro)
CIDE	Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro Data and Information Center)
CODIN	Companhia Distritos Industriais (Industrial District Companies) (Industrial Districts Company)
CODEC	Comissão Coordenadora para Execução do Programa de Despoluição da Baía de Guanabara (Coordinating Commission for Pollution Control of Guanabara Bay Program)
COFIEEX	Comissão de Financiamentos Externos (External Financial Commission)
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana (Municipal Company of Urban Cleaning)
CONTROL	Secretaria de Estado de Planejamento, Controle e Gestão (State Secretariat of Planning, Control and Management)
CPI	Consumer Price Index
CMN	Conselho Monetário Nacional (National Monetary Council)
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente (National Environmental Council)

DCON	Divisão de Controle de Industriais (da FEEMA) (Division of Industry Control)
DER	Departamento de Estradas de Rodagem (Department of Roads and Highways)
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação (da Marinha do Brasil) (Hydrographic and Navigation Board (Brazilian Navy))
DILAB	Divisão de Laboratórios (da FEEMA) (FEEMA's Laboratory Division)
DRM-RJ	Departamento de Recursos Mineirais (Department of Mineral Resources)
DSGME	Diretoria de Serviço Geográfico do Ministério do Exército (Geographical Services Board, Army Ministry)
EMBASA	Empresa Baiana de Águas e Saneamento SA
EMOP	Empresa de Obras Público do Estado do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro State Company of Public Buildings)
FECAM	Fundo Especial para o Controle Ambiental (Special Fund for Environmental Control)
FECF	Fundo Estadual de Combate à Pobreza e às Desigualdades Sociais State Fund for Combat to Poverty and Social Inequality
FEEMA	Fundação Estadual para Engenharia do Meio Ambiente (State Foundation for Environmental Engineering)
GEDEG	Grupo Executivo de Despoluição da Baía de Guanabara (Executive Group for Pollution Control of Guanabara Bay)
GERSOL	Grupo Executivo de Resíduos Sólidos (Executive Group for Solid Residues)
GOB	Government of Brazil
GOJ	Government of Japan
IBRD	International Bank for Reconstruction and Development
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (Brazilian Institute of Environment, Natural and Renewable Resources)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Brazilian Institute of Geography and Statistic)
IDB	Inter-American Development Bank (Banco Interamericano de Desenvolvimento - BID)
IEF	Fundação Estadual de Florestas (State Foundation of Forests)
IMF	International Monetary Fund
IPE INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais (Institute of Space Research) (Space Research Institute)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia (Meteorologic National Institute)
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (National Institute of Metrology, Standardization and Industrial Quality)
INPH	Instituto de Pesquisas Hidroviárias (Institute of Hydro-routes Research) (Hydro-routes Research Institute)
IPEA	Fundação Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Institute of Applied Economics Research)

IPEM	Instituto de Pesos e Medidas (Institute of Weights and Measures)
IPLANRIO	Instituto de Planejamento Municipal (Institute of Municipal Planning) (Municipal Planning Institute)
IPP	Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos (Pereira Passos Municipal Institute of Urbanism)
JBIC	Japan Bank for International Cooperation
JICA	Japan International Cooperation Agency
JSWA	Japan Sewage Works Association
MMA	Ministério do Meio Ambiente (Ministry of the Environment)
MPO	Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (Ministry of Planning, Budget and Management)
MRE	Ministério das Relações Exteriores (Ministry of Foreign Affairs)
NGO	Non-Governmental Organization
OECF	Overseas Economic Cooperation Fund
OIM	Organização Internacional Marítima (International Maritime Organization)
ONG	Organização Não Governamental (Non-Governmental Organization)
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEDUR	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano (State Secretariat of Urban Development)
SEF	Secretaria de Estado de Fazenda (State Secretariat of Finance)
SEF	Secretaria de Estado de Finanças (State Secretariat of Finance)
SEMADUR	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano (State Secretariat of Environment and Urban Development)
SEMAN	Secretaria de Meio Ambiente (State Secretariat of Environment)
SEMAMPE	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Projetos Especiais (State Secretariat of Environment and Special Projects)
SEPDET	Secretaria de Estado de Planejamento, Desenvolvimento Econômico e Turismo (State Secretariat of Planning, Economical Development and Tourism)
SEPURB	Secretaria de Política Urbana - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (Secretariat of Urban Policy - Ministry of Planning, Budget and Management)
SERLA	Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (State Authority for Rivers and Lagoons)
SESRH	Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos (State Secretariat of Sanitation and Water Resources)
SINS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (National Information System on Sanitation)

SMH	Secretaria Municipal de Habitação da Cidade do Rio de Janeiro (Municipal Secretariat of Housing of Rio de Janeiro City)
SSPU	Subsecretaria Superintendência de Planejamento (Undersecretariat of Urban Planning)
UERJ	Universidade Estadual do Rio de Janeiro (State University of Rio de Janeiro)
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro (Federal University of Rio de Janeiro)
WB	World Bank

2. TERMINOLOGY

AD	Advection Dispersion Model
As	Arsenic
APM	Área de Proteção de Mananciais (Water Catchment Protection Area)
BOD (5)	Biochemical Oxygen Demand, (5-day, 20°C)
C	Carbon
Cd	Cadmium
CDL	Chart Datum Level
Chl-a	Chlorophyll-a
CIF	Cost, Insurance and Freight
Cl ⁻	Chlorine Ion
CN ⁻	Cyanide Ion
COD	Chemical Oxygen Demand
Coliform	Coliform Group Bacteria
Cr (6+)	Chromium Sexavalent
Cu	Copper
DBOD	Dissolved Biochemical Oxygen Demand
DC	Detritus Carbon
D/D	Detailed Design
DHWL	Design High Water Level
DO	Dissolved Oxygen
DLWL	Design Low Water Level
EC	Electrical Conductivity
EIA	Environmental Impact Assessment
EIRR	Economic Internal Rate of Return
EL	Elevation
EU	Eutrophication Model
FC	Foreign Currency
F. coli	Fecal Coliform Bacteria
FIRR	Financial Internal Rate of Return
F/M	Food-to-Microorganisms Ratio
F/S	Feasibility Study
GIS	Geographic Information System
GDP	Gross Domestic Product
GRDP	Gross Regional Domestic Product

HD	Hydrodynamic Model
H ₂ S	Hydrogen Sulfide
Hg	Mercury
HHW	Highest High Water
HW	High Water
IL	Ignition Loss
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias (Value Added Taxes on Sales and Services)
INPC	Índice Nacional de Preços ao Consumidor (National Consumer Price Index)
K	Mineralization Constant, 1/day
L _{BOD}	Specific BOD load, kg/km ² /day
L _{TN}	Specific TN load, kg/km ² /day
L _{TP}	Specific TP load, kg/km ² /day
L _{PO4}	Specific PO ₄ -P load, kg/km ² /day
L _{DIN}	Specific DIN load, kg/km ² /day
L _{TOTAL}	Total pollution before self purification, ton/day
L _{MON}	Monitored load to Bay, ton/day
L _{WWTP-DIS}	Load from WWTP, ton/day
L _{POP. WITHOUT SEWER}	Load from population without sewer, ton/day
L _I	Load from large industries, ton/day
L _M	Load from small scale treatment units, ton/day
L _{AREAL}	Natural background load, ton/day
L _{RIVER}	Load to river, ton/day
LC	Local Currency
LLW	Lowest Low Water
LW	Low Water
MBAS	Methylene Blue Active Substance
MHWN	Mean High Water Neaps
MHWS	Mean High Water Spring
MIKE 21	Model System from DHI Water and Environment
MLSS	Mixed Liquor Suspended Solids
MLWN	Mean Low water Neaps
MLWS	Mean Low Water
MPN	Most Probable Number
MSL	Mean Sea Level
MW	Minimum Wage
N	Nitrogen
NAM	Precipitation Run-off Model
NH ₄ -N	Ammonia Nitrogen
NH ₂ -N	Nitrite Nitrogen
NO ₃ -N	Nitrate Nitrogen
NPV	Net Present Value
NTU	Nephelometric Turbidity Units
OM or O/M	Operation and Maintenance
P	Phosphorus
PAR	Photosynthetic Active Radiation

Pb	Lead
PC	Phytoplankton Carbon
PCB	Polychlorinated Biphenyls
PDBG	Programa de Despoluição da Baía de Guanabara (Guanabara Bay Pollution Abatement Program)
pH	The Reciprocal of the Logarithm of the Hydrogen-ion Concentration (potential of hydrogen ion)
PIS	Programa de Integração Social (Employees' Profit Participatio Program)
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento (National Plan of Sanitation)
PMSS	Plano de Modernização do Setor de Saneamento(do Ministério do Planejamento) (Modernization Plan for the Sanitation Sector [of the Ministry of Planning])
PNB	Programa Nova Baixada (Nova Baixada Program)
PO ₄ P	Phosphate Phosphorus
PPA	Programa Plurianual (4-year Plan)
PROSANEAR	Programa de Saneamento para a População de Baixa Renda (Sanitation Program for the Low Income Population)
PVC	Polyvinyl Chloride
Q _s	Specific Discharge, l/km ² /sec
SRT	Solids Retention Time
SS	Suspended Solids
SS (IL)	Ignition Loss of Suspended Solids
SUS	Sistema Único de Saúde (Unified Health System)
TDP	Total Dissolved Phosphorus
TDH	Total Dynamic Head
THg	Total Mercury
TIN	Total Inorganic Nitrogen
TIP	Total Inorganic Phosphorus
TN	Total Nitrogen
TNK	Total Kjeldahl Nitrogen
TOC	Total Organic Carbon
TON	Total Organic Nitrogen
TOP	Total Organic Phosphorus
TP	Total Phosphorous
TR (IL)	Ignition Loss of Total Residue
TS	Total Solids
Turb.	Turbidity
VTS	Volatile Total Solids
TSS	Total Suspended Solids
UV	Ultra Violet
VSS	Volatile Suspended Solids
VTS	Volatile Total Solids

WTP	Willingness to Pay
WWTP	Wastewater Treatment Plant
WQ	Water Quality Model
Zn	Zinc

3. UNITS

cm	centimeter
cm ²	square centimeter
g	gram
g/m ³	gram per cubic meter
ha	hectare
km ²	Square kilometer
kg	kilogram
kg/d	kilogram per day
km	kilometer
kW	kilowatt
L	liter
L/d	liter per day
Lpcd	liter per capita per day
L/s	liter per second
L/km ² /sec	liter per square kilometer per second
m ²	square meter
m ³	cubic meter
m ³ /d	cubic meter per day
m ³ /h	cubic meter per hour
m ³ /m	cubic meter per minute
m ³ /s	cubic meter per second
mm ²	square millimeter
m ³ /m ² /d	cubic meter per square meter per day
m	meter
mg	milligram
mg/L	milligram per liter
ml	milliliter
mm	millimeter
m/s	meter per second
s	second
t	ton (1,000 kg)
W	watt
R\$	Brazilian Currency, Real
¥	Japanese Currency, Yen
US\$	United States Currency, Dollar
%	Percent

Currency exchange rate adopted is the two digits half currency adjust of monthly average exchange rate in July, 2002, when actual cost estimates work started.

R\$2.9 = US\$1 = 120 Yen

1 調査概要

1.1 はじめに

2000 年のブラジル連邦国政府（ブラジル政府）の要請に基づき、日本国政府（日本政府）はブラジル、リオデジャネイロ州の「グアナバラ湾の環境に関する管理及び改善調査」（本調査）を実施することを決定した。その結果、国際協力事業団（JICA）はブラジル政府と協議・協力のもとに本調査を進めることとなった。

JICA は事前調査団をブラジルに派遣し、本調査の事前調査と S/W の協議を行った。本調査の S/W と M/M は 2001 年 11 月 7 日にリオデジャネイロ州環境水資源局（SERSH）と JICA 間で署名・交換が行われた。JICA は(株)パシフィックコンサルタンツインターナショナルと(株)日水コンの共同企業体を指名し 2002 年 3 月に調査団を結成、調査を開始した。本調査団は 2002 年 5 月からリオデジャネイロでの現地調査を開始した。

1.2 調査の背景

リオデジャネイロ市が面するグアナバラ湾は、その美しい景観からブラジル国を代表するシンボルのひとつとして人々に親しまれ、また、同市の国際観光都市としての景観価値を高めている。しかしながら近年、未処理下水の流入や廃棄物の不法投棄などにより、湾の水質は著しく悪化してきた。

このため、JICA は 1994 年にグアナバラ湾水質汚濁防止計画調査（JICA マスタープラン）を行なった。一方、リオデジャネイロ州上下水道公社（CEDAE）も、同時期に下水道マスタープランを作成した。CEDAE は、グアナバラ湾浄化計画（PDBG）を米州開発銀行（IDB）と日本の国際協力銀行（JBIC、旧 OECF）の共同融資により実施している。

PDBG による下水道整備は、同マスタープランの第一期と位置付けられ、2003 年に終了予定である。CEDAE はグアナバラ湾の水質改善のため更なる下水道整備区域の拡大を計画している。そのためブラジル政府はその地域に対する F/S の実施を我が国に要請した。

1.3 調査の目的

本調査の調査目的は以下に示すとおりである。

- グアナバラ湾水質汚濁防止計画調査によって作成されたマスタープランをレビューする。
- リオデジャネイロ首都圏下水道マスタープランの関連部分のレビューを行う。
- レビューに基づいて、下水道整備事業に係る優先プロジェクトを選定して、そのフィージビリティスタディー（F/S）を実施する。
- 本調査を通じて、ブラジル国側カウンターパートに技術移転を行なう。

1.4 調査対象地域

調査対象地域は図 1.1 に示すとおり、グアナバラ湾の全流域とする。グアナバラ湾流域はリオデジャネイロ州内に位置し、16 市を包括する。

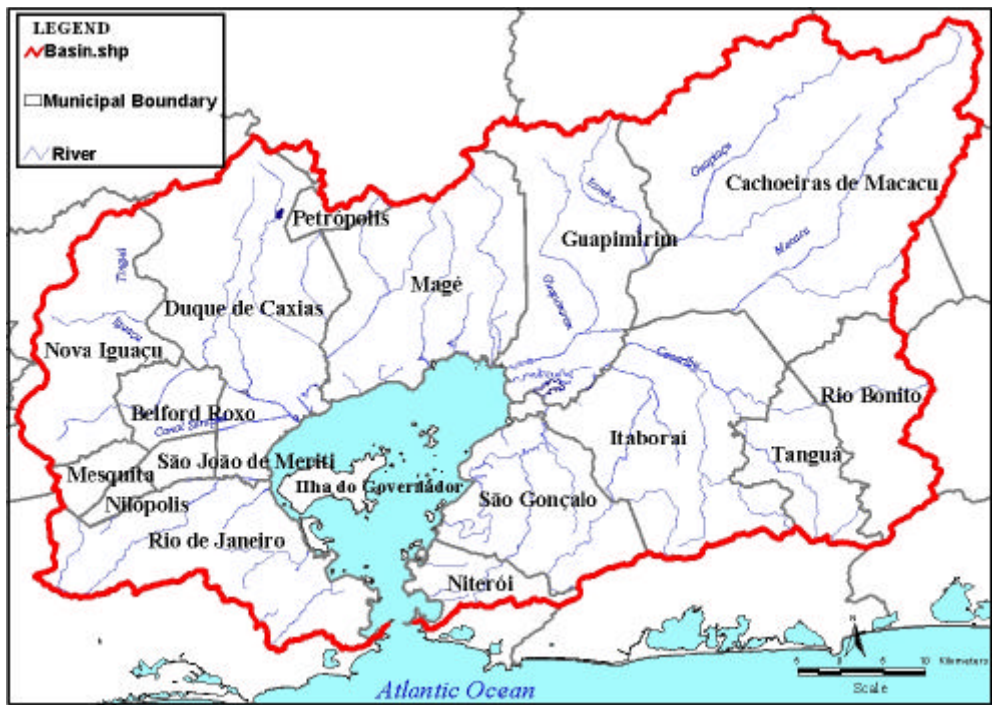


図 1.1 調査対象地域位置図

1.5 作業工程

本調査の作業工程は図 1.2 に示すとおりである。本調査は 2002 年 3 月中旬から 2003 年 10 月までの 18.5 ヶ月間で行われ、5 つのステージからなる。本調査の技術的な性質上、調査は 2 つのフェイズに分けられる。フェイズⅠはマスタープランのレビュー、フェイズⅡは優先プロジェクトの F/S 調査である。

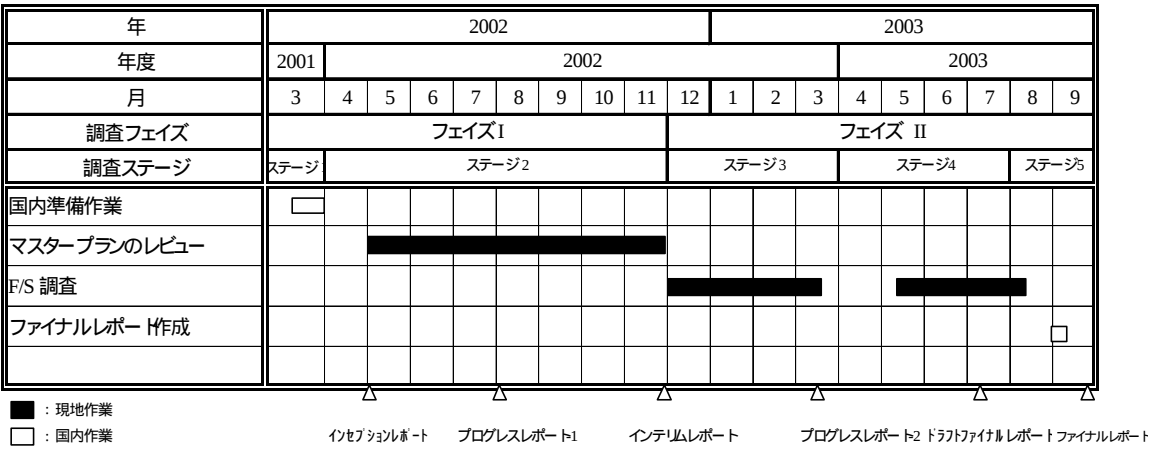


図 1.2 調査工程

1.6 調査の組織体制

本調査は図 1.3 に示すの組織体制によって実施された。

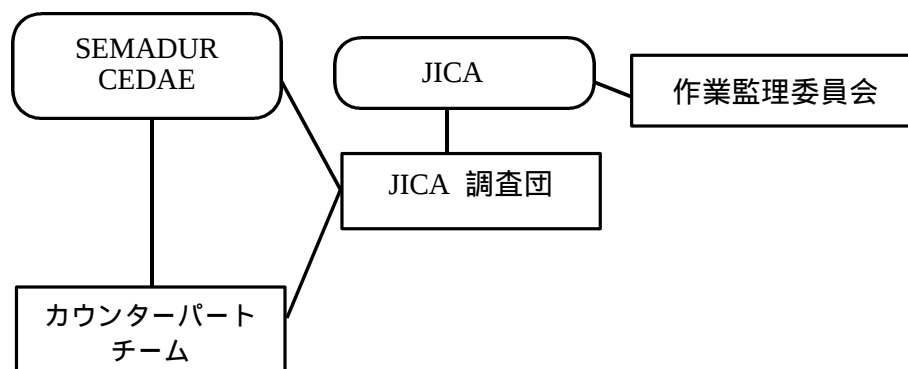


図 1.3 調査組織体制

調査団、監理委員会、カウンターパートチームの名簿を以下に示す。

調 査 団

分 担 業 務	団 員 名
総括 / 水質保全計画 / 土地利用 (1)	武智 昭
水質汚濁解析 A	E.K.ラスムセン
水質汚濁解析 B	トーマス・ウレンホルド
水質汚濁解析 C	クガブラサータム・シバブラガサム
水文解析	M.M.サビール ハッサン
下水道計画 / 下水道処理計画 / 土地利用 (2)	佐田 昭平
下水処理施設計画・設計	中尾 正和
下水管路計画・設計	花房 齊一
組織制度	ホセ エンリケ ベニード モンテイロ
計画支援データベース	松丸 亮
経済・財務分析	榊原 洋司
環 境	川村 哲司
社会配慮 A	古関コルネヨ イオネ マリサ
社会配慮 B / 業務調整	落合 知帆
通 訳 A	藤沢 圭子
通 訳 B	的野 セザール

監理委員会

担 当	団 員 名
作業監理委員長	岡安 祐司
作業監理委員	水口 正美

カウンタートチーム

2003 年 1 月から

担 当	氏 名	機 関
総 括	Rafael Carvalho Oliveira Santos	PDBG, CEDAE
水質汚濁解析水質保全計画	Fátima de Freitas Lopes Soares	DEP (水質部), FEEMA
水質汚濁解析	Elisabeth Lima	DEP (水質部), FEEMA
水文解析	André Pinhel	SERLA
下水道計画 / 下水道処理計画 / 土地利用 (2)	Marcos Antonio Coimbra do Nascimento	DRO (西部担当), CEDAE
下水処理施設計画・設計	Sérgio Pinheiro de Almeida	PDBG, CEDAE
下水管路計画・設計	Marcos Vinícios M. Fagundes	DRO (東部担当), CEDAE
計画支援データベース	Vera Lucia de Souza Pinheiro	PDBG, CEDAE
環 境	Isabel Hirsch de Alcântara	DECON (Non Industrial Activities Division), FEEMA
社会配慮/ 環境教育	Dionê Maria Saldanha Marinho	PAC SSA-PA / SEMADUR
廃棄物	José Maria de Mesquita Jr.	SSA-PA / SEMADUR
SEMADUR 代表	Alexandre Augusto Furlanetto	Under Secretary of Environment Assistant, SEMADUR
SEMADUR 代表	Alberto José Mendes Gomes	Under Secretary of Environment SEMADUR
CEDAE 代表	Breno Marinho Junqueira	PDBG, CEDAE

旧カウンタートチーム

2002 年 12 月まで

担 当	氏 名	機 関
総 括	Luis Edmundo Cascão Silva	PDBG, CEDAE
水質汚濁解析水質保全計画	Celso Bredariol	DEP (水質部), FEEMA
水質汚濁解析	Elisabeth Lima	DEP (水質部), FEEMA
水文解析	Mônica Miranda Falcão	SERLA
下水道計画 / 下水道処理計画 / 土地利用 (2)	Ciro Lacerda Correia Fillho	DRO (西部担当), CEDAE
下水処理施設計画・設計	Rafael Santos	PDBG, CEDAE
下水管路計画・設計	Marcos Vinícios M. Fagundes	DRO (東部担当)CEDAE
計画支援データベース	Vera Pinheiro	PDBG, CEDAE
環 境	José M. Mesquita Jr.	DECON (Non Industrial Activities Division), FEEMA
経済・財務分析 / 社会配慮	José Stelberto Porto Soares	SEPDET
業務調整	Gladstone de Castro	SESRH

2 汚濁解析

2.1 はじめに

汚濁解析は以下の 4 つの要素で構成され、その関係は図 2.1 に示すとおりである。

- 水質予測モデルの水理モデルに入力する河川流入量を設定するための水文解析。
- 水質予測モデルに入力する流域からの汚濁負荷量を計算する汚濁負荷量解析。
- 流域から排出される汚濁負荷量をもとに湾内の水質を予測する水質予測モデルの開発。
- 汚濁負荷データベースの構築と決定支援システムの開発。

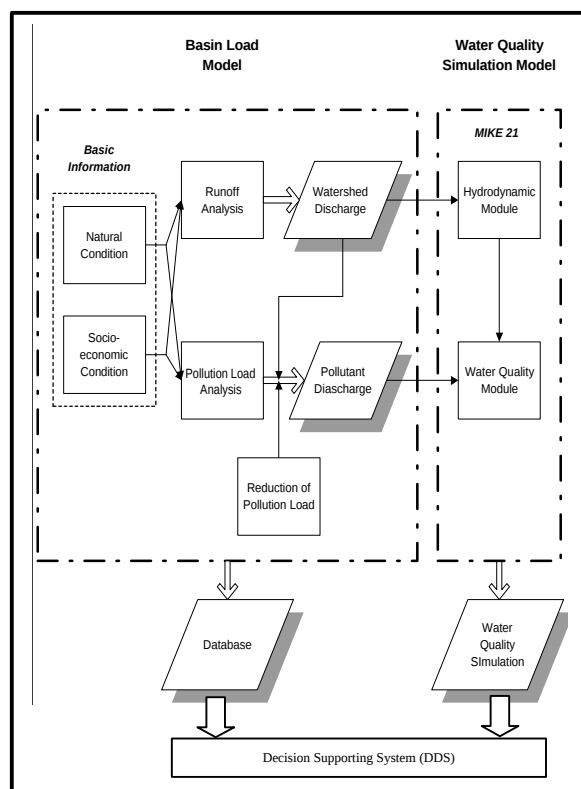


図 2.1 汚濁解析概念図

2.2 水文解析

水文解析の目的は水質予測モデルの水理モデルに使用する河川の日流量を設定することである。

(1) データ

気象データは INMET、SELRA、GEO RIO のウェブサイトより入手した。水文解析では収集した全データを使用した。流出解析に必要な日降雨量は 7 箇所観測所のデータのみが使用可能であった。

流量観測データは SERLA の 1999 年から 2000 年の 23 箇所の流量観測点の水位標読み取りデータを使用した。水位流量曲線は SERLA の流量観測結果を使用して調査団が作成した。

(2) 流量計算

河川流量計算ではグアナバラ湾流域を 24 の河川流域に分割した。24 河川の流量を渇水年、平年、豊水年について以下のように計算した。確率流量は 36 年間の観測結果をもとに計算した。

- 平水年： 50%非超過確率流量
- 渇水年： 10%非超過確率流量
- 豊水年： 90%非超過確率流量

主要な計算結果は以下のとおりである。

- 渇水年、平水年、豊水年の流域全体の年間流量はそれぞれ 96、131 および 183 m³/日、2000 年の流量は 113 m³/日であり、渇水年と平水年の中間である。
- 一定量とみなされる基底流量と汚水流量はそれぞれ 29 および 23 m³/日である。
- 平水年においては、基底流量、汚水量、表面流出量の全流量に占める割合はそれぞれ 22%, 17% および 61% である。
- 最大流量はグアピミリン川である。グアピミリン川、イグアス川、サラクルナ川、カセリブ川流量の全河川流量に占める割合はそれぞれ 35%, 22%, 8% および 7% である。

2.3 汚濁負荷解析

汚濁負荷解析の目的は 流域内の汚濁負荷源を整理すること、 現在、将来の湾への汚濁負荷到達量を算出することである。

汚濁負荷は 2000 年、2010 年、2020 年について算出した。さらに、各種シナリオに対応する汚濁負荷量も算出した。

(1) 汚濁源の分類

汚濁源は以下のとおり分類された。

点源負荷

- 人間から発生する負荷：原単位により計算(54 g BOD /日/人, 10 g TN/日/人, 2.5 g TP/日/人)
- 下水処理場からの負荷：計画値と処理効率から算出。
- 大規模工場からの負荷：FEEMA の工場排水データベースから算出。
- ショッピングセンター、病院等の小規模処理施設からの負荷：FEEMA への登録から推定。

面源負荷

- 農地、市街地から流出する負荷：マカク川の FEEMA による水質測定結果と SERLA による流量観測結果から推定。

(2) 湾域到達負荷量の算定

河川流下過程で有機物は自浄作用により減少するもとし、以下の計算式で算出した。

$$\begin{aligned} \frac{L_{RIVER}}{L_{BAY}} &= \frac{L_{WWTP-Dis} + L_{POP-without sewerage} + L_I + L_{NI} + L_{AREAL}}{L_{RIVER} * e^{K*t}} \end{aligned}$$

L_{RIVER} ;	河川流入負荷
$L_{WWTP-Dis}$;	下水処理場からの負荷
$L_{POP-without sewerage}$;	下水処理されない人口からの負荷
L_I ;	大規模工場からの負荷
L_{NI} ;	小規模処理施設からの負荷
L_{AREAL} ;	面源負荷
t ;	河川の湾域への平均流達時間
K ;	減少係数

2000 年、2010 年、2020 年の計算結果を表 2.1 に示す。

(3) 負荷シナリオ毎の負荷量計算

PDBG 終了後、優先プロジェクト終了後、下水道整備戦略計画終了後の負荷量を算出した。その結果を表 2.1 に示す。

2.4 水質予測モデル (WQSM)

グアナバラ湾の水質数値モデルを作成した。水質予測モデルは現状の評価および下水道整備による水質の改善効果を予測するために使用される。

(1) モデル開発手法

モデルは水理モデルと移流拡散モデルに水質指標に影響を与える生物化学反応を記述するモデルを結合して開発した。成層がほとんど起こらないグアナバラ湾の条件を考慮し深さ方向を積分する二次元モデルとした。

モデル開発には MIKE21 を採用した。MIKE21 は水理 (HD) モジュール、移流拡散 (AD) モジュール、水質(WQ)モジュール および富栄養化(EU)モジュールにより構成される。各モジュール間の関係を図 2.2 に示す。

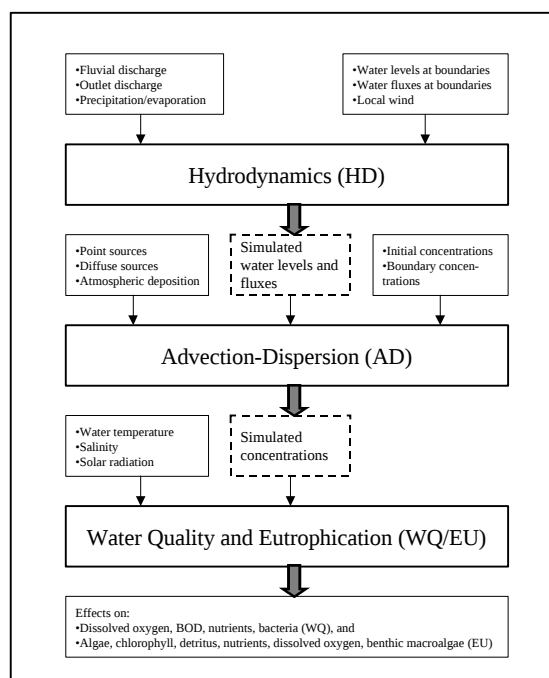


図 2.2 水質予測モデルのモジュールとその相互関係

(2) 水理および移流拡散モデル

モデルの主要特性、分割を以下に示す。

モデル座標原点	23° 00' S; 43° 19' W
モデルの大きさ	33.1 x 39.8 km ²
グリッド間隔 (DX)	330 m
グリッド数	101 x 121
計算時間間隔(DT)	80 秒

水理モデル、移流拡散モデルは潮位変動と塩分濃度により検証した。

(3) 富栄養化モデル

富栄養化モデルは富栄養化した水域での、炭素、窒素、リン、酸素の循環を記述する。また、モデルは栄養塩負荷及び有機物質の関数として光合成プランクトンの消長をシミュレートする。富栄養化モデルは以下の要素を含む。

状態変数:	光合成プランクトン (C, N, P), デトリタス (C, N, P), 動物プランクトン (C, N, P) 無機態 N、P、酸素
主要プロセス:	光合成プランクトンの実質生産プロセス、光合成プランクトンの死滅と無機化
その他:	デトリタスの貯留、光合成プランクトン増殖による無機 N、P の取り込み、デトリタス無機化過程での酸素の消費

富栄養化モデルは7つの観測点でのBOD、無機N、P、クロロフィル等により検証した。BOD、クロロフィルの検証結果を図2.3に示す。

2.5 データベースおよび決定支援システム (DSS)

データベースは以下の2つの目的のために構築された。

- 水質予測モデルの入力手段とするため。
- 決定支援システムの一部とするため。

第一の目的のために Arcview 上に、負荷発生に影響する地形、行政界、流域界、土地利用、下水処理区、人口、主要負荷発生源位置などの平面、表データを取り込んだ。

次に、DSS はデータベースに以下の機能を負荷することで開発した。

- データベース編集のための GUI インターフェース。
- 負荷の計算と MIKE21 入力ファイル生成機能。
- シミュレーション結果の表示機能。

表 2.1 現在・将来の流域内負荷発生量および負荷到達量（BOD, TN & TP）

シナリオ	BOD 発生量 t/日	TN 発生量 t/日	TP 発生量 t/日	BOD 到達量 t/日	TN 到達量 t/日	TP 到達量 t/日	総人口	下水処理 人口
基準年 / 除去率								
Year 2000	474.8	93.9	22.9	275.4	72.0	18.4	8,290,200	2,058,900
Year 2000 80% BOD, 30 % TN, 50 % TP	474.8	93.9	22.9	64.0	52.7	9.6	8,290,200	
Year 2000 90% BOD, 35 % TN, 80 % TP	474.8	93.9	22.9	35.9	49.1	4.1	8,290,200	
Year 2000 90% BOD, 80 % TN, 80 % TP	474.8	93.9	22.9	35.9	16.4	4.1	8,290,200	
Year 2010	520.3	103.9	25.2	300.6	78.7	20.2	9,013,000	2,165,300
Year 2010 80% BOD, 30 % TN, 50 % TP	520.3	103.9	25.2	69.1	57.4	10.5	9,013,000	
Year 2010 90% BOD, 35 % TN, 80 % TP	520.3	103.9	25.2	38.5	53.5	4.5	9,013,000	
Year 2020	557.9	112.0	27.1	321.2	84.0	21.6	9,619,500	2,262,100
Year 2020 90% BOD, 35 % TN, 80 % TP	557.9	112.0	27.1	40.6	57.0	4.7	9,619,500	
流域別								
Year 2000, 東域 80% BOD, 30 % TN, 50 %TP	474.8	93.9	22.9	253.4	70.3	17.8	8,290,200	
Year 2000, 北東域 80% BOD, 30 % TN, 50 %TP	474.8	93.9	22.9	253.8	69.3	17.8	8,290,200	
Year 2000, 北西域 sector 80% BOD, 30 % TN, 50 %TP	474.8	93.9	22.9	232.3	67.9	16.8	8,290,200	
Year 2000, 西域 80% BOD, 30 % TN, 50 %TP	474.8	93.9	22.9	155.5	62.4	14.7	8,290,200	
PDBG1								
Year 2000 PDBG1	474.8	93.9	22.9	214.3	69.9	17.8	8,290,200	3,488,600
Year 2010 PDBG1	520.3	103.9	25.2	238.3	76.3	19.5	9,013,000	3,627,700
Year 2020 PDBG1	557.9	112.0	27.1	257.8	81.4	20.9	9,619,500	3,752,400
FS								
Year 2010 Feasibility Study	520.3	103.9	25.2	194.3	73.8	18.3	9,013,000	5,003,900
Year 2010 Feasibility Study, 90% BOD, 30% TN, 50% TP	520.3	103.9	25.2	181.3	72.9	17.2	9,013,000	5,003,900
戦略計画								
Year 2020 Strategy Plan	557.9	112.0	27.1	182.8	76.9	20.3	9,619,500	6,700,200
Year 2035 Strategy Plan, population year 2020	557.9	112.0	27.1	125.3	79.2	20.7	9,619,500	7,914,000
Year 2035 Strategy Plan, 90% BOD, 30% TN, 80% TP	557.9	112.0	27.1	125.3	76.0	10.8	9,619,500	7,914,000

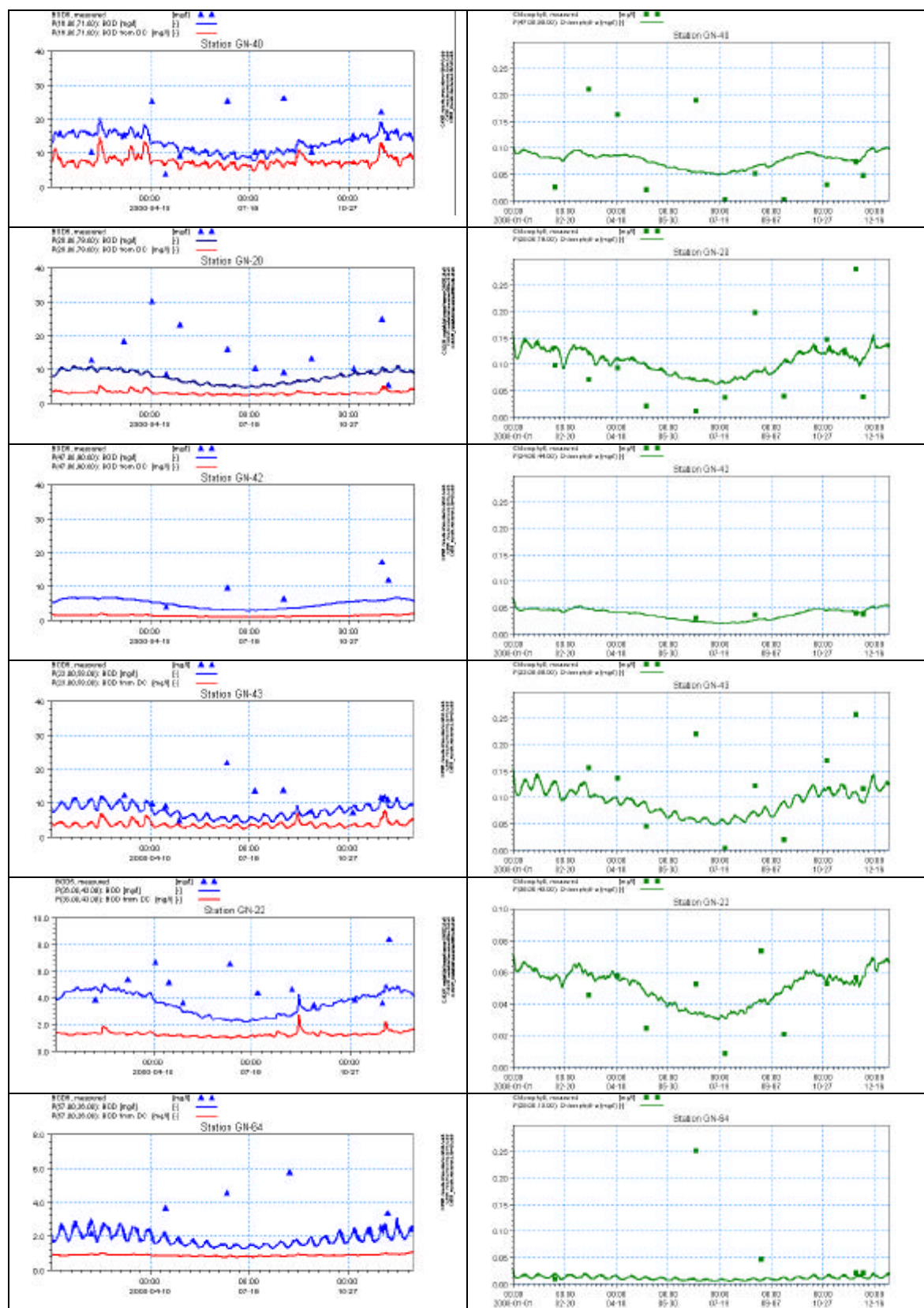


図 2.3 実測および予測 BOD(左)・クロロフィル(右)の比較

3 JICA マスタープランの見直し

3.1 はじめに

1994 年に実施された「グアナバラ湾水質汚濁防止計画調査」が提案した水質改善のマスタープランの進捗状況と実現度を評価し、現状に合わせ、より効果的にするために見直しを行った。

見直しの結果、グアナバラ湾の環境改善を目的とする戦略計画を提案した。

3.2 社会経済状況の更新

1991 年センサスに基づく JICA マスタープランのグアナバラ湾流域人口を 2000 年センサス人口をもとに見直しをした。

その結果、JICA マスタープランの 2000 年人口(8,290,300)は 4%、2010 年人口(9,013,026)は 6%減少した。

JICA マスタープランは経済成長を産業別の成長率で表示したが、本見直しでは州財務局の調査結果により更新した。財務局は州経済の牽引力であった石油産業のかげりを見こし、低めの成長率を設定し、2011 年から 2017 年の成長率を毎年 1.5%としている。

3.3 JICA マスタープランの概要

(1) 目標

JICA マスタープランでは以下の水質改善目標を設定している。

短期目標:	2000 年達成
中期目標:	2010 年達成
長期目標:	達成年を設定しない

長期目標に対しては「グアナバラ湾の生態系が回復する水質」として具体的な水質を表示していない。中期目標、短期目標に対しては CONAMA が定めるグアナバラ湾の環境基準に基づき具体的な水質を規定している。

マスタープランは許容可能な汚濁負荷量を求めているが、必要汚濁負荷量は算定していない。本見直しで推定した必要汚濁負荷削減量を表 3.1 に示す。

表 3.1 JICA マスタープランに基づく必要汚濁負荷削減量の推計結果

流域		中期目標達成のための ¹⁾ 許容負荷量(ton/year)	流域からの ²⁾ 負荷流入量 (ton/year)		必要負荷削減量 ³⁾ (ton/year)	
			2000	2010	2000	2010
全流域	BOD	232.0	375.39	415.33	143.39	183.33
	T-P	13.2	23.25	25.69	10.05	12.49

Note: 1)、2) は JICA M/P より推計。3) は本調査で計算 (= 2) - 1))

(2) 対策

改善目標を達成するため、マスタープランは表 3.2 に示す「流域ごとの最適な対策の組み合わせ」を提案している。

組み合わせ案の中の下水道整備は「グアナバラ湾浄化計画（PDBG）」の一部として実現されている。

表 3.2 JICA マスタープランで提案された 2010 年目標を達成するために必要な対策の最適な組み合わせ

流域	対策	
	構造的対策	非構造的対策
東部	➤ 下水処理 (一次処理) ➤ 下水処理 (三次処理) ➤ 魚粉工場廃水処理	
北東部	➤ 安定池	➤ 土地利用規制
北西部	➤ 下水処理 (一次処理) ➤ 安定池 ➤ 魚粉工場廃水処理	➤ 土地利用規制
西部	➤ 下水処理 (一次処理) ➤ 海洋放流	➤ ファベラの衛生状態改善
島	➤ 下水処理 (三次処理)	
全流域		➤ 工場廃水規制強化

出典: JICA M/P

JICA マスタープランでは汚濁負荷削減の 3 分の 1 を下水道等その効果が定量的に予測できる手段で削減するものの、残りの 3 分の 2 は効果を定量的に予測できない補足的な方法で削減し、目標を達成するとしている。

3.4 JICA マスタープランの実現化の評価

JICA マスタープランが提案した対策の中で下水道整備のみが PDBG の事業として実現している。今のところその効果を示すデータはないが、PDBG 事業の完成により目標の汚濁負荷削減は達成できると予想される。

水質に関しては未だ PDBG の下水道はその効果を発揮していないため、改善効果を観測することはできない。表 3.3 には現在の水質を示すが、PDBG の効果はほとんど現れていない。本調査で開発した水質予測モデルで PDBG 完成後の水質を予測してみると、図 3.1 のように改善効果は十分とはいえない。

表 3.3 現在と短期目標の水質比較

モニタリングポイント	現在の水質 ¹⁾ (BOD mg/l)	JICA M/P の短期目標 (BOD mg/l)
GN-064	4.3	3
GN-022	5.6	5
GN-043	12.7	10
GN-040	22.8	10
GN-020	19.3	8
GN-042	13.7	8
GN-000	7.6	5
GN-026	5.9	5

注意: 1)FEEMA の 2000 年の測定値の平均

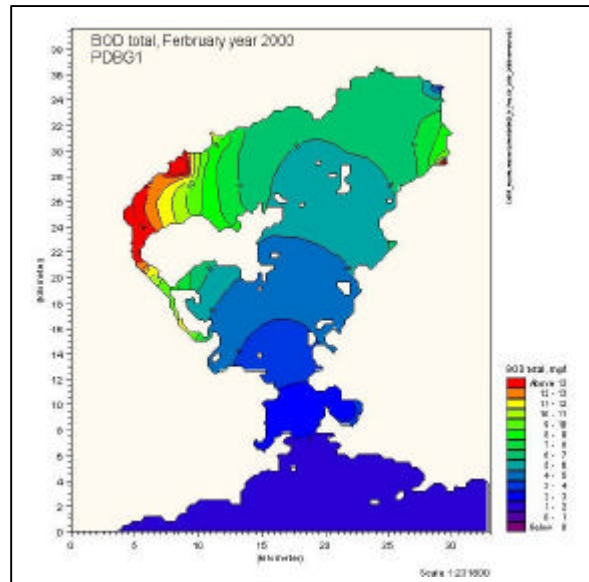


図 3.1 PDBG 完成後の水質予測

3.5 グアナバラ湾環境改善の戦略

(1) はじめに

JICA マスタープランは改善目標と対策を調和させ、実現可能なものに変えなければならない。本調査はマスタープランを実現可能なものにするために以下の戦略を採用する。

- 下水道整備を目標達成のための主要手段とする。
- 実行可能な方法で達成できる改善目標を再設定する。

(2) 主要改善策

下水道整備が唯一定量的にその効果を予測できるため、改善の主要手段を下水道整備とする。

CEDAE マスタープランは流域全体を対象とし、その一部は PDBG で実施されている。CEDAE マスタープランの継続的な実施はグアナバラ湾環境改善策として有効である。

したがって、CEDAE マスタープランを現況に合わせるよう見直し、環境改善の戦略計画として提案した。

(3) 補足的な改善策

主要な改善策としては下水道整備が提案されるが、補足的手段についても考察することが必要である。

底泥の除去、ごみの除去は不快な状況を改善する補足手段として提案される。また、マングローブの保全/回復、湿地帯の保全は汚濁負荷削減の補助手段として、そして自然環境の保護という観点からも推奨される。

(4) 改善目標の再設定

湾内に存在する不快な状態の解消は湾の利用価値回復より優先されるべきである。改善目標は実現の可能性を考慮し、湾の現状から望まれる改善の程度と下水道整備により達成できる改善のバランスを考慮し、表 3.4 のように再設定された。

表 3.4 再設定された改善目標と目標年達成

目標	摘要	目標年
短期	不快な状態の解消。 湾内全測定点で BOD10mg/l 以下。	2010
中期	湾西部を除き、BOD5mg/l 以下。	2020
長期	DZ105 に定められる基準を満たす。（全域で BOD5mg/l 以下）	特定せず。

3.6 結 論

JICA マスタープランの見直しにより以下の点が明らかになった。

- JICA マスタープランは下水道整備とその他の補足的な手段の組み合わせによりグアナバラ湾の水質改善を達成することを提案した。
- ただし、下水道により必要汚濁負荷削減の 3 分の 1 を削減するものの、残りの 3 分の 2 については補足的な手段によるものとして定量的な考察がなされていない。
- 最適な組み合わせとして提案された対策のうち、下水道整備のみが PDBG により実現している。PDBG による下水道整備は JICA マスタープランが提案した整備を超えている。
- しかしながら、その改善効果は実際には観測されず、さらに、完成後を予測した結果ではその改善効果は不十分なことが明らかになった。

上記の結果をもとに、本調査はグアナバラ湾改善のための以下の戦略を提案することとした。

- JICA マスタープランが提案したような補足的な手段はその効果を定量的に評価できないため実施を前提とする対策にはなりえない。改善目標は下水道整備により達成するものとする。
- CEDAE マスタープランが存在しその一部が PDBG として実現しているので、本調査では CEDAE マスタープランを見直し、その結果によりグアナバラ湾の環境を改善する戦略計画を提案するものとする。
- 下水道整備により水質改善を達成するという前提で、改善目標を技術的に可能なものに再設定する。
- したがって、短期目標は不快な状態の除去を目標として湾全域を BOD10mg/l 以下にするものとする。長期目標は CONAMA の環境基準達成を目標とするが技術的に達成可能とは言えないため、目標達成年は規定せず将来の努力目標とする。中期目標は現在汚染の著しい海域を除き CONAMA の環境基準を達成するものとし、下水道戦略計画の目標とする。

4 CEDAE マスタープランの見直し

計画諸元を更新し、グアナバラ湾改善の主要な手段とするため CEDAE のマスタープランの見直しを行った。

CEDAE マスタープランはリオデジャネイロ首都圏を対象とするが、本調査はグアナバラ湾の浄化を目的としているため、本見直しの範囲はグアナバラ湾流域内の 16 の排水区に限定した。

CEDAE マスタープランでは、目標年次を 2035 年としていたが、およそ 20 年先が妥当であると考え、目標年次を 2020 年に見直した。

4.1 はじめに

16 の排水区の位置図を図 4.1 に示す。

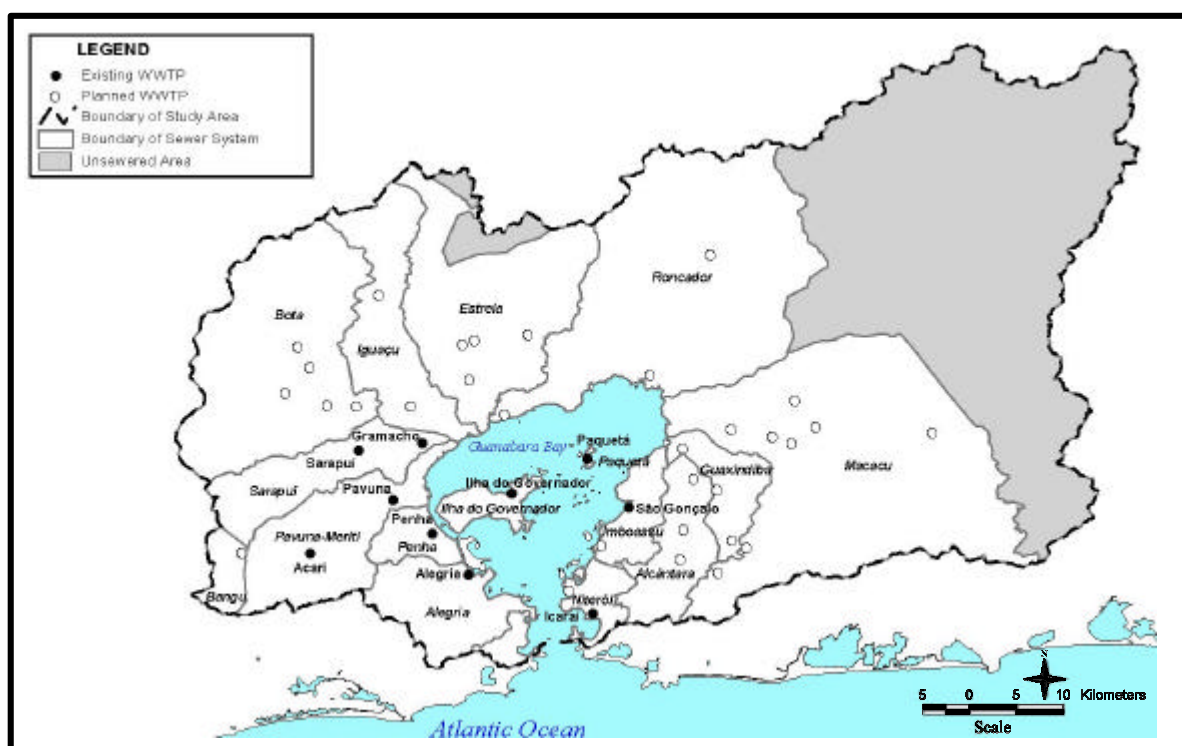


図 4.1 CEDAE マスタープランのグアナバラ湾流域の排水区および処理場位置図

4.2 計画諸元

(1) 人口

CEDAE マスタープランは排水区/処理区人口を 1991 年センサスをもとに算定し、2035 年までの人口を予測した。

人口の 90%が下水道に接続するという仮定のもとに 2000 年と 2020 年の計画人口を設定している。2000 年センサスに基づく推計人口との比較を表 4.1 に示す。

表 4.1 CEADAE マスタープランの計画人口と 2000 年センサスをもとにした計画人口の比較

ベース	2000	2020	2035	備考
CEDAE M/P (1994)	7,367,923	8,371,675	9,695,403	グアナバラ湾流域内人口 計画人口は全人口の 90%
2000 年センサス人口 ^(*)	7,290,000	8,477,370	-	

Note: ^(*) 本調査で計算

CEADAE マスタープランの推計値は 2000 年センサスに基づく人口推計とほぼ一致している。

(2) 下水の特性

CEADAE マスタープランは下水量を各排水区毎に 5 年おきに推計した。家庭排水量は年平均 1 日あたり給水量をもとにその 80% が下水道に排出されるものとして計算し、工場排水量は家庭下水量に含まれるとしている。

CEADAE マスタープランは家庭排水の原単位を排水区毎に 200 から 400L/日/人の間で変動させている。また、浸透量は下水管あたり 0.05~1.0 L/秒/km としている。

下水の汚濁負荷については BOD、SS で表現し、以下の値を与えている。

表 4.2 計画水質

下水	BOD (mg/L)	SS (mg/L)
WWTP 流入水	220	200
二次処理水	25	30

4.3 排水区分割および下水収集システム

実際の工事の進捗状況に伴い、マスタープランが定めた処理区割り、処理場位置はすでに変更が加えられている。いくつかの排水区においては統合・分割が行われている。

下水収集システムは日平均下水量の 1.8 倍の時間最大下水量で設計されている。表 4.3 に 2020 年における各排水区の人口および計画下水量をまとめる。

表 4.3 各排水区の人口および計画下水流量 (2020 年)

排水区	処理場	処理人口 (人)	日量平均 下水流量		時間最大 下水流量	
			一人あたり流量 (Lcd)	下水流量 (L/s)	一人あたり流量 (Lcd)	下水流量 (L/s)
Alegria	Alegria	1,304,400	300	4,529	524	7,911
Penha	Penha	580,800	235	1,580	407	2,736
Pavuna- Meriti	Pavuna	1,029,600	240	2,860	416	4,957
	Acari	390,200	240	1,084	416	1,879
	Sub-Total	1,419,800		3,944		6,836
Sarapuí	Gramacho	68,400	235	186	407	322
	Sarapuí	825,900	240	2,294	416	3,977
	Sub-Total	894,300		2,480		4,299
Bangu	Bangu	363,200	240	1,009	416	1,749
Bota	Iguaçu 02	126,000	240	350	416	607
	Madame	11,400	240	32	416	55
	Velhos	35,600	250	103	434	179
	Bota	801,500	255	2,366	443	4,110
	Joinville	119,100	220	303	380	524
	Others	-				
	Sub-Total	1,093,600		3,154		5,475
Iguaçu	Xerém	10,500	220	27	380	46
	Campos eliseos	237,200	220	604	380	1,043
	Others	-				
	Sub-Total	247,700		631		1,089
Estrela	1	88,600	245	251	425	436
	2	135,100	250	391	434	679
	3	108,400	250	314	434	545
	4	42,200	245	120	425	208
	Others	-				
	Sub-Total	374,300		1,076		1,868
Roncador	1	17,900	220	46	380	79
	2	72,800	225	190	389	328
	3	20,100	220	51	380	88
	Others	-				
	Sub-Total	110,800		287		495
Macacu	1	80,600	225	210	389	363
	2	61,100	225	159	389	275
	3	31,100	225	81	389	140
	4	26,200	225	68	389	118
	5	36,000	225	94	389	162
	6	44,100	225	115	389	199
	7	19,000	225	49	389	86
	8	26,600	225	69	389	120
	Others	-				
	Sub-Total	324,700		845		1,463
Guaxin- Diba	1	162,500	225	423	389	732
	2	38,000	225	99	389	171
	3	12,600	220	32	380	55
	Others	-				
	Sub-Total	213,100		554		958
Alcântara	Trindade	156,900	220	400	380	690
	Alcântara	91,400	220	233	380	402
	Jardim Nazaré	114,700	220	292	380	504
	Others	-				
	Sub-Total	363,000		925		1,596
Imboassu	Sao Gonçalo	235,000	280	762	488	1,327
	Bomba	40,200	230	107	398	185
	Others	-				
	Sub-Total	275,200		869		1,512
Niteroi	Toque Toque	182,000	250	527	434	914
	Icaraí	182,000	255	537	443	933
	Sub-Total	364,000		1,064		1,847
Ilha do Governador	Ilha do Governador	203,000	220	517	380	893
Paqueta	Paqueta	3,300	705	27	1,253	48
Others		-				
Total		8,135,200		23,491		40,775

Note: 人口は 2000 年センサスによる。

他の数値は CEDAE M/P

2020 年人口は計画の基準値。

4.4 下水処理場

下水処理場は日平均下水量で計画されている。

CEDAE マスタープランでは下水処理場を 2035 年の下水量で計画しているが、本見直しの結果、2020 年の下水量に変更する。

汚泥は各処理場で濃縮、脱水するものとし、脱水汚泥の含水率は 75% と計画している。

4.5 建設費

CEDAE マスタープランは建設費を US ドルで算出しているが、ドル・レアル交換レートが下落したため現在価格ではかなり高い建設費となっている。また、CEDAE マスタープランでは経済性について一切考慮されていない。

本レビューでは 2002 年の価格で建設費を再計算した。適用したドル/レアル/円の交換レートは以下のとおりである。

$$\text{US\$ } 1 = \text{R\$ } 2.9 = \text{¥}120$$

本見直しではマスタープランでは考慮されていなかった間接費も建設費に加えた。なお、見直しを行った建設費は「5. 下水道整備の戦略計画」に示す。

(1) 管渠

建設費の見直しを行った結果、実際の建設費は CEDAE マスタープランの約 50% と計算されたが、計算にあたっては安全面をみて 70% とした。

本見直しではサラプイ、パブーナ、アカリ、バンゲー処理区における管きょ建設費の計算を行うにあたり以下の単位面積あたりの建設費を適用した。

$$C_s = \text{US\$ } 28,000/\text{ha} \quad C_s : \text{管きょ建設費 US\$}$$

(2) ポンプ場

見直しではマスタープランの建設費の 70% とした。

(3) 下水処理場

見直しでは以下の活性汚泥法の費用関数を適用した。

$$C = 260 Q^{0.7229}$$

ここに、

$$C = \text{建設費 (1,000US\$)}$$

$$Q = \text{計画下水量 (L/s)}$$

(4) 用地取得費

処理場の用地取得費は以下の算式により必要面積を求め、それに単価を乗ずることにより算出した。

$$A = 1,855 Q^{0.4864}$$

ここに、

$$A = \text{必要面積 (m}^2\text{)}$$

$$Q = \text{計画下水量 (L/s)}$$

処理場予定地の現在の価格は 3 から 12 US\$ の範囲である。戦略計画ではアルカンタラ処理場を US\$15/m² その他を US\$10/m² とした。

4.6 維持管理費

CEDAE マスタープランには維持管理費が含まれていない。見直しでは維持管理費を直接建設費の 5% とした。

4.7 結 論

見直しの主要な結論は以下のとおりである。

- 人口は CEDAE マスタープランの推計人口に比較してより増加している。しかしながら、市街化が進んだ地域では逆に人口増加は少なめである。
- CEDAE マスタープランの下水流量、下水水質は適正な範囲であり、処理場に対して過負荷になることはない。
- CEDAE マスタープランが採用した標準活性汚泥法は、安定的に高い除去率を示す方式で、湾への汚濁負荷削減には適切な方法である。
- 管きょは道路地下に敷設される。CEDAE マスタープランでは道路がないところでは河川に幹線を敷設するよう計画しているが、実施にあたっては排水区境界を変更するなど、河川への敷設を避けなければならない。
- いくつかの処理場予定地はすでに市街化され、あるところでは処理場予定地を特定することもできない。代替の処理場予定地を確保することが必要である。