

E. 水 文

1. 資料調査

01. ここでは、収集された資料をもとに、調査対象域の水文環境を概説する。

1.1 降水量

02. 表 E-1 は Urussanga の EPAGRI 事務所における降水量と蒸発量の月間観測値をまとめたものである。過去 19 年間の年間降水量の平均は 1673mm (標準偏差 323mm) と算出された。降雨の年間変動をみると、12 月から 2 月までの多雨季、4 月から 9 月までの少雨季およびこれら 2 つの季節間の移行季 (3 月、10 月～11 月) とに区分することが出来る。

03. 各季節の降水量は月平均値でそれぞれ 205～212、87～117、135～147mm と算出される。少雨期の変動係数は多雨期のそれに比べ大きい。これは少雨期と言えども、年によっては他の年に比べ、多量の降雨が発生することがあることを物語っている。

1.2 蒸発量

04. 降水量と同様に月間値および年間値の統計値を示した。1 年間を、月間値が 90mm (日平均値 3mm) を超える期間 (10 月～3 月) と、90mm 未満の期間 (4 月～9 月) とに大別することができる。蒸発量の変動係数は 0.03～0.15 であり、年毎に大きな差がない。これは気温が蒸発量値の主要な支配要因であるからである。与えられている補正值を使って、蒸発散量を求め、表 E-1 に示した。

05. 降水量に対する蒸発散量の比は年間値で 0.42、月間値は 0.19～0.60 となった。このことから表面流出量の雨量に対する比すなわち流出率はおよそ年間値で 0.6、月間値で 0.8～0.4 であると推定できる。また、この流出率は冬期 (5 月～7 月) に大きく、夏期 (11 月～1 月) に小さい。

1.3 日降水量の最大値

06. 表 E-2 は Urussanga の EPAGRI 事務所における日降水量の月間最大値について過去 19 年間の統計値を示したものである。年最大日降水量の平均は 94mm (標準偏差

表 E-1

Urussanga における降水量・蒸発量の年変化

Source: EPAGRI

		Unit: mm/month													
		1978 ~ 1996													
MONTH		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC	YEAR	DURATION
Precipitation															
Mean		206	212	147	110	117	87	124	100	114	138	135	205	1673	
Standard deviation		106	93	46	46	95	44	93	68	64	66	56	97	323	
C. of Variation		0.51	0.44	0.31	0.42	0.81	0.51	0.75	0.68	0.56	0.48	0.41	0.47	0.19	
Evaporation															
Mean		121	102	96	77	58	42	48	63	72	92	116	128	1016	
Standard Deviation		16	14	5	8	3	4	7	2	2	11	8	4	41	
C. of Variation		0.13	0.14	0.05	0.10	0.05	0.10	0.15	0.03	0.03	0.12	0.07	0.03	0.04	
Correction Factor		0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8		
Evapo-Transpiration		97	82	67	54	35	21	24	37	43	64	81	102	707	
Evapo Trans./Precipitation		0.47	0.39	0.46	0.49	0.30	0.24	0.19	0.37	0.38	0.46	0.60	0.50	0.42	

表 E-2

Urussanga における白降水量の月最大値

Source: EPAGRI

Unit: mm/day

MONTH	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC	YEAR	DURATION
Monthly Maximum														1978~1996
Mean	49	59	41	35	43	38	39	31	34	39	40	52	94	
Standard Deviation	17	47	14	15	30	28	20	18	19	20	18	26	41	
C. of Variation	0.35	0.80	0.34	0.43	0.70	0.74	0.51	0.58	0.56	0.51	0.45	0.50	0.44	

41mm) と算出された。月間最大値の平均は夏期で 50~60mm、冬期で 30~40mm と算出され、冬期の日降水量の最大値は、夏期にくらべ小さい。しかし冬期の変動係数が夏期に比し大きいことから、年によっては夏期並の強い雨が発生すると考えられる。

1.4 設計降水量

07. 現地では、24 時間未満の降雨継続時間と降雨強度との関係についての資料がないため、下記に示す資料をもとにこれらの関係を誘導することとした。この種のデータは別章での考察対象である河道や水路のサイズを決定する際必要となる。

08. 降雨強度時間継続曲線の誘導

i) 引用資料: Preciitacoes extremas para o Estado de Santa Catarina; Alvaro Jose Back, 1995, Documentos No 154; Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura; Expressa de Pesquisa Agropecuaria e de Extensao Rural de Santa Catarina

ii) 雨量観測所: 上記資料から次の 4 地点を FS 地域に適用すべき雨量観測所として選定した。

FS サイト	地点コード	地 点 名	標高	緯度・経度
Capivari	02848000	Amazon-Capivari	21	28.15/48.59
Rochinha	02849001	Orleans	90	28.21/49.17
Carvão	02849011	Urussanga	48	28.31/49.19
Fiorita	02849012	Ararranguá	13	28.53/49.31

iii) 任意継続時間内の降雨量: 上記資料中に示されたデータを用い、任意継続時間内の降雨量を、24h 雨量に対する比として推定することとした。

継続時間の比*	降水量の比*	24h雨量に対する 任意継続時間雨量の比	1hに対する 任意継続時間の比
		alfa	tt
5min/30min	.34	.11	.08
10min/30min	.54	.17	.17
18min/30min	.70	.22	.25
20min/30min	.81	.25	.33
25min/30min	.91	.28	.42
30min/1h	.74	.31	.5
1h/24h	.42	.42	1.0
6h/24h	.72	.72	6.0
8h/24h	.78	.78	8.0
10h/24h	.82	.82	10.0
12h/24h	.85	.85	12.0
24h/24h		1.0	24.0

*これらの数値は上記資料の中で示されている。

上の alfa と tt との関係は次式で近似できる。

$$\text{alfa} = \log(2.63 \cdot \text{tt}^{.4})$$

iv) 上記の4地点それぞれにおける日降水量(mm)は再帰年との関係において、上の資料に、次の通り示されている。

地点コード	地点名	再帰年						
		5	10	15	20	25	50	100
02848000	Amazem-Capivari	96.6	112.3	121.1	127.3	132.1	146.8	161.4
02849001	Orleans	129.5	157.7	173.6	184.8	193.4	219.8	246.1
02849011	Urussanga	106.9	126.3	137.2	144.8	150.7	168.8	186.8
02849012	Araranguá	88.5	102.3	110.1	115.6	119.8	132.7	145.6

v) 以上の結果、任意再帰年および任意継続時間に対応する降水量 (RR) は、上記で示した降水量を RT としたとき、次式によって推定できる。

$$\text{RR} = \text{RT} \cdot \text{alfa} = \text{RT} \cdot \log(2.63 \cdot \text{tt}^{.4})$$

**例 Rochinha 地区において、継続時間 15 分、再帰年 20 年の場合の降雨強度 (mm/hr) を求めよ。

解 上式において

RT = 184.8 (Oreleans、再帰年 20 の日降水量)

tt = 0.25 を代入すると

RR = 33.1 を得る

したがって、この RR を 1 時間当りの降雨強度で示すと

132.4 mm/hr

1.5 地表水

09. 本調査が対象とする炭田地域は、河川の流域として、3 区域に区分される。河川名でいえば Urussanga 川、Araranguá 川および Tubarão 川である。いずれもその上流域に夾炭層と共に黄鉄鉱が分布しているため、炭田開発の進行と共に流水の酸性化が進行し、下流への影響が心配される状況にある。図 E-1 は CPRM が実施した流量観測データをもとに比流量と流域面積との関係を示したものである。流域別、観測時期別にみると比流量は流域面積に関係なく一定と見なして良いと考えられる。それぞれの平均値は次のように算出される。

流域	平均比流量(m ³ /sec・km ²)		
Tubarão	0.031 (Jun95)	0.010 (Sept 95)	0.032 (Nov 95)
Urussanga	0.009 (Jul 95)	0.018 (Oct 95)	0.004 (Jan 96)
Araranguá	0.015 (Aug 95)	0.006 (Oct 95)	0.114 (Jan 96)

観測が同時におこなわれていないので、上の平均値から、個々の流域についての一般的特性を抽出することは難しい。

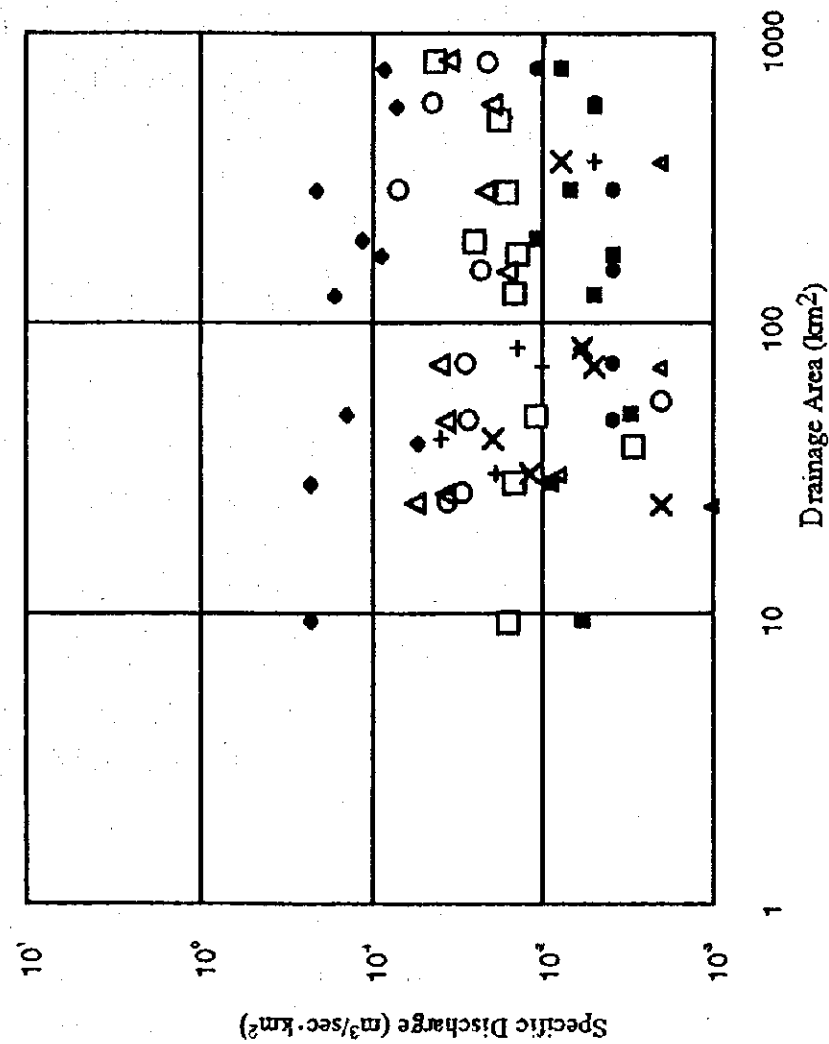
1.6 地下水

10. 調査対象域には次に示す 3 種の地下水が分布していると考えられる。

- 1) Serra Geral Formation 中の裂カ水
- 2) Rio Bonito Palermo 層中の被圧水
- 3) 沖積層中の自由水

11. 第 1 の裂カ水は、Serra Geral 高地の形成に寄与している深成岩中の亀裂の中に賦存する地下水で、Carvão の坑道から湧出する水は、この種の裂カ水もしくは断層帯中

(Source: CPRM)



比流量と流域面積との関係

図 E-1

に賦存する地下水と推定される。この種の地下水は、その存在位置を推定することは困難であるが、ひとたび水脈に当たると、Carvãoで見られるように、恒常的に多量の湧水が起きることが多い。Rio Bonito 層中の地層水は、透水性の高い砂層中に賦存しており、Siderópolis 付近では、地表下 10~60m に賦存している。第 3 の地下水は山腹や河谷の沖積層中に賦存する自由地下水である。地表水との関係が最も密接であり、本調査が対象とする地下水である。

2. 現地調査

2.1 雨量調査

12. 雨量計の設置: 調査対象地域は西北に標高約 1500m の Serra Geral 高地と接しているため、東部の海岸地帯から大気が流入する場合、地形性の熱雷が発生しやすい。この種の降雨の雨域は数平方 km 以下であり、寿命も数時間未満であるものの、その雨域が移動し、かつ極めて強い降雨をもたらす。石炭の乱開発が進んだ本調査域では、この熱雷性の降雨が流域を荒廃させる 2 次要因として、重要であると判断されるのであるが、残念ながら調査域では降雨特性についての情報が不足している。特に降雨量については日単位での観測がなされているのみである。そこで、図 E-2 に示した地点に自記雨量計を設置し、雨量観測を実施し、降雨強度特性等を把握することとした。

13. 観測成果: 図 E-3 に観測成果の例を示した。この地域には 2 種類の降雨があり、一つは大気大循環に基づく降雨で、Carvão、6 月 26 日の例のように、降雨強度は小さいが継続時間の長い降雨である。他の降雨は図中に 3 例を示したように降雨継続時間は短い、強度の強い降雨である。観測を開始してほんの数カ月経過したばかりであるのに、Rochinha、Florita および Carvão 地区で 30 分雨量がそれぞれ 14mm、32mm、22mm という極めて強い降雨が記録された。そして、当初の予想通り、降雨の後の流域の荒廃状況も観察することができた。

2.2 表流水調査

14. 横断測量: 20 箇所の河川横断測量をサンパウロの測量会社 BASE 社に依頼した。

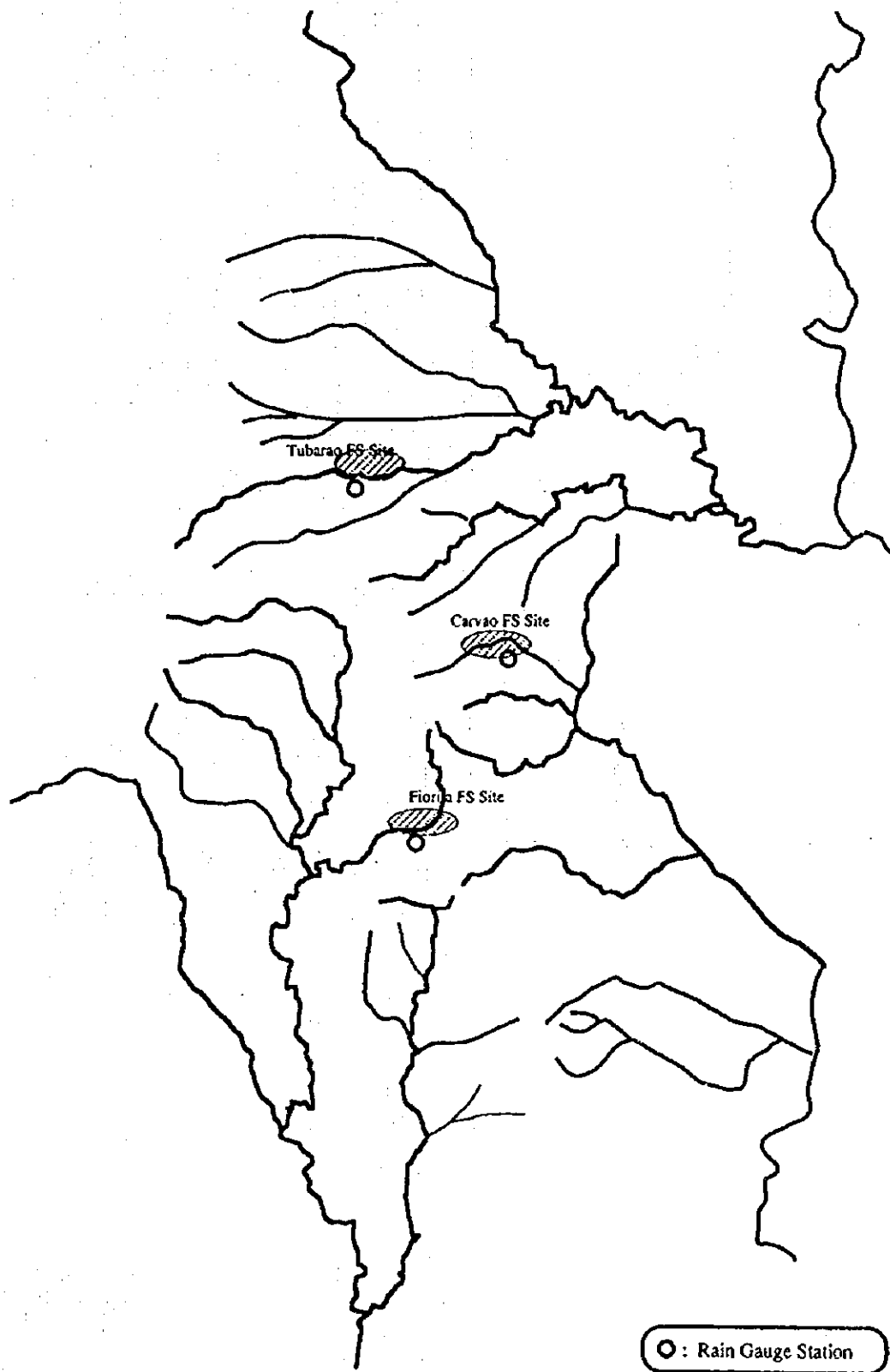


圖 E-2 自記雨量計設置位置

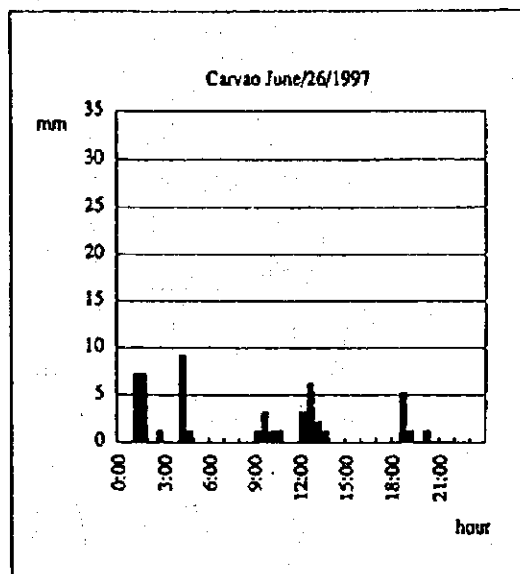
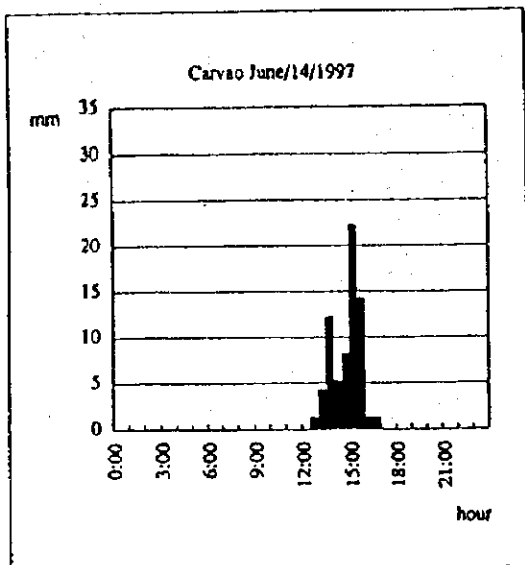
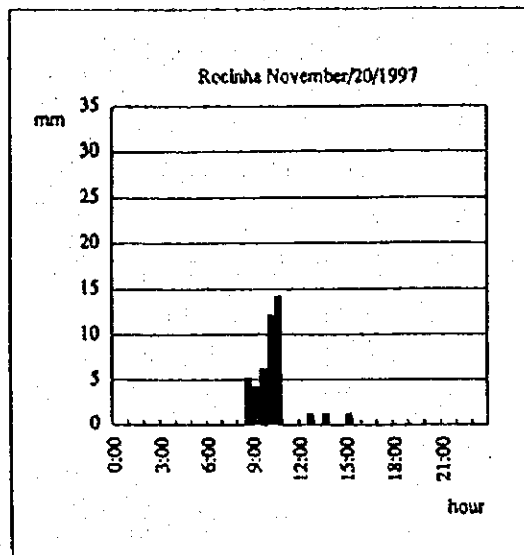
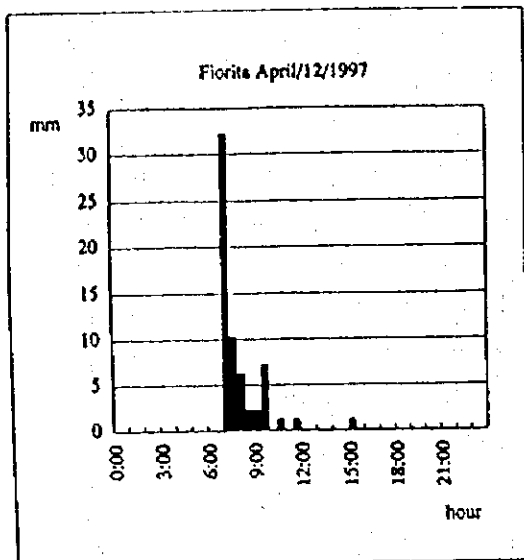


図 E-3 降水量時間変化の例

15. 流量観測: 河川流量は一般に流水断面積と流速との積で推定される。FATMA が JICA より供与された 3 台の電磁流速計による流速計測を実施したが、観測人員が不足し、その実施上の困難さなどから、浮子による計測も実施した。この観測は 1997 年 10 月末まで引き続き実施した。

16. 自記水位観測: 3 流域それぞれに 1ヶ所の自動モニタリングステーションを設定し、水位、pH および電導度が自動計測されている。計測装置は JICA から供与された計測装置 (SIGMA 950) を設置した。設置した地点は次の通りである。

流域	地点番号	地点名
Araranguá	PA-10	Maracaja
Urussanga	PU-6	Morroda Fumaça
Tubarão	PT-8	Perdas Grande

17. 観測成果 表 E-3 に流量観測成果を示した。過去に観測された事例に基づくと、調査域内の河川流量は、比流量値としてみると時期別、流域別にほぼ一定であるとみなすことができることがわかった。次表中に、個々の観測成果についての比流量値も示してある。流域別、時期別の平均値は次の通りであるが、これを使って欠測地点の流量を推定することが可能である。

流 域		観 測 時 期			
		1 月	2 月	3 月(1)	3 月(2)
Araranguá	平 均	0.124	0.047	0.029	0.015
	標準偏差	0.076	0.074	0.017	0.010
Tubarão	平 均	0.060	0.058	0.074	0.041
	標準偏差	0.024	0.033	0.088	0.021
Urussanga	平 均	0.060	0.030	0.033	0.037
	標準偏差	0.024	0.012	0.019	0.028

単位 : $m^3/sec \cdot km^2$

2.3 地下水観測

18. 観測井の設置: 観測井設置の位置は 1 地点 (NG-1) を除いていずれも FS サイト内に設置され、表層地下水の汚染状況をモニタリングする目的を有している。Capivari FS サイト以外のボーリングおよび観測井設置工事は、現地の業者に委託した。表 E-4 は、全

表 E-3(1/2)
流量觀測結果

Station	Drainage Area (km ²)	Observed Runoff Discharge (m ³ /sec)												Specific Discharge (m ³ /sec./km ²)			
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Jan	Feb	Mar	Apr			
		Disc. Date	Disc. Date	Disc. Date	Disc. Date	Disc. Date	Disc. Date	Disc. Date	Disc. Date	Disc. Date	Disc. Date	Disc. Date	Disc. Date				
PA.1	38.71	4.80 17	1.34 18	1.11 7	0.57 11									0.1240	0.0471	0.0287	0.0147
PA.2	28.45	0.94 17	1.62 18		0.72 11									0.0330	0.0569		0.0077
PA.3	9.48	3.40 20													0.3586		
PA.4	126.2																
PA.5	48.33			1.13 4	0.53 11										0.0023	0.0110	
PA.6	291.92															0.0164	0.0167
PA.7	172.97			2.83 13	2.89 14												
PA.8	571.02																
PA.9	196.25																
PA.10	782.52																
JA.1	77.96	19.00 31		5.01 13	2.44 18									0.2437		0.0643	0.0313
JA.2	126.2	11.00 31		3.75 13	3.65 18									0.0872		0.0297	0.0289
JA.3	209.45			7.56 13	2.88 18											0.0361	0.0138
JA.4	2.25	0.44 23	0.64 14	0.14 7	0.084 11									0.1956	0.2844	0.0622	0.0373
JA.5	10.75	0.76 20	0.59 18	0.54 4	0.15 11									0.0707	0.0549	0.0032	0.0140
JA.6	3.5	0.03 17	0.07 18		0.11 10									0.0086	0.0200		0.0314
JA.7	15.5	1.20 17	0.57 18	0.77 4	0.30 11									0.0774	0.0368	0.0497	0.0194
JA.8	38.75	0.58 16	3.25 14	1.56 4	1.03 11									0.0150	0.0839	0.0403	0.0266
JA.9	13	0.19 16	1.15 14	0.54 4	0.47 11									0.0146	0.0885	0.0415	0.0262
JA.10	54.75	0.76 16	4.61 14	2.19 4	1.41 11									0.0139	0.0842	0.0400	0.0258
JA.11	18.75	0.51 16	2.00 14											0.0272	0.1067		
JA.12	79	1.00 16		3.63 14	2.96 18									0.0127		0.0459	0.0375
PT.1	26.07	2.97 30	1.53 18	7.54 5	0.71 14									0.1139	0.0587	0.2892	0.0272
PT.2	45.98	3.20 21	4.53 17											0.0696	0.0985		
PT.3	24.63	0.79 21	0.67 17											0.0321	0.0272		
PT.4	70.61		5.51 18	1.55 10	1.66 14									0.0780	0.0220	0.0235	
PT.5	293.53			13.20 12	22.77 19										0.0518	0.0776	
PT.6	579.96			18.20 12	33.55 19										0.0314	0.0578	
PT.7	153.86	21.00 31												0.1365			
PT.8	804.65																
PT.9	1808.00																
PT.10																	
PT.14		0.22 24	0.42 19														
PT.16		19.70 24	0.88 19														
JT.1	81.25			3.37 12	2.79 14										0.0045	0.0415	0.0343
JT.2	148.75			0.67 13	1.62 14											0.0348	0.0329
JT.3	241.25			8.40 12	7.93 14									0.0827	0.0900		0.0560
JT.4	3.75	0.31 21	0.30 17		0.21 13									0.1646	0.0538	0.0669	0.0377
JT.5	13	2.14 29	0.70 17	0.87 6	0.49 13									0.0382	0.0418		
JT.6	16.5	0.63 21	0.69 17											0.1890	0.1244		0.0797
JT.7	31.75	6.00 29	3.95 17		2.53 13												

表 E-3(2/2)

流量觀測結果

Station	Drainage Area (km ²)	Observed Runoff Discharge (m ³ /sec)						Specific Discharge (m ³ /sec/km ²)						
		Jan	Feb	Mar	Apr.	May	June	July	Aug	Sept	Jan	Feb	Mar	Apr
		Disc.	Date	Disc.	Date	Disc.	Date	Disc.	Date	Disc.	Date	Disc.	Date	
JT 8	17.25	0.46	21	0.72	17	0.41	13			0.0267	0.0417			0.0238
JT 9	64			3.26	17	3.34	6	2.70	13			0.0509		0.0422
JT 10	9.75	0.72	21	0.33	18	0.32	13			0.0226	0.0338			0.0378
PU 1	23.59											0.0000		
PU 2	30.32													
PU 3	71.28	4.53	21	3.59	12	4.65	17			0.0636		0.0504		0.0652
PU 4	40.49													
PU 5	32.28													
PU 6	358.21													
PU 7	123.25			2.61	14							0.0212		
PU 8														
PU 9	560.21													
PU 10	7.08	0.284	28	0.27	13	0.047	5	0.048	17			0.0401	0.0381	0.0066
JU 1	53.57	4.20	29	1.05	12	1.60	17			0.0784		0.0196		0.0299
JU 2	10.75	0.35	21	0.49	10	0.19	13			0.0326		0.0456		0.0177
JU 3	121.31	10.60	30	5.40	12	8.12	17			0.0874		0.0445		0.0669

地点の状況をまとめて示してある。

表 E-4
井戸設置状況

Bore Hole No.	Location	Construction Day	Elevation (above MSL)	Well Depth (m)	Water Depth (m)	Geological Condition of Water Bearer Startum
	Near Santa Barbara Church					
FG-1	Rio Florita Village	June 25	120	5	3	Weathering sandstone
	In shale deposit area between					
FG-2	dragline piles	June 28	125	8	6	Fractured sandstone
	On north bank of Main Fork of					
FG-3	Florita Rivera	June 29	130	5	2.8	Coarse reject
CG-1	Capella in Rio Carvao	July 2	170	5	3	Alluvium with pebbles
	Between Wash Plant and					
RG-1	uppermost setting pond	July 10	285	8.8	0	
	South of stream/North of					
RG-2	road. Upstream of crossing	July 11	255	9.3	7.3	Coarse reject
	North Rochinha River in the					
RG-3	valley bottom	July 16	230	1	0	
RG-4	Reject pile (see air photo)	July 9	290	7.8	2.8	Weathering sandstone
	Within a trench of powerline					
RG-5	near reject pile	July 9	290	5	0	--x--
	In coarse refuse besides					
RG-6	access road	July 6	310	9.7	3.7	Coarse reject
RG-7	No indication	-	230	-	-	
RG-8	Public Park in Lauro Muller	July 17	240	5	4	Alluvium
NG-1	In playing field near mining	July 20		6.6	5	Weathering sandstone

19. 観測成果: 表 E-5 は、水位の時間的変化を示したものである。多雨から少雨期への季節変化を反映し、水位は低下傾向を示している。

表 E-5
地下水位観測成果

LOCATION*	JAN	FEB	MAR	MAR	APR	MAY
CG1		2.2(20)	2.12(7)	2.35(14)	2.8()	2.9(16)
FG1		2.65(25)	3.25(7)	3.3(18)		
FG2		2.09(21)	3.3(7)	3.4(18)		
FG3						
RG1	2.5(22)	2.75(20)	3.0(7)	3.15(14)	3.2()	3.15(14)
RG2	0.6(22)	5.2(25)	4.9(7)	5.0(14)	5.15()	5.25(14)
RG4		N/W	N/W	N/W	N/W	N/W
RG6		N/W	N/W	N/W	N/W	N/W
RG8		N/W	N/W	N/W	N/W	N/W
CAG1	0.6(22)	0.5(20)	0.61(10)	0.77(18)	1.2()	0.85(22)
CAG2		0.6(20)	1.01(10)	0.96(18)	1.6()	1.25(22)
CAG3		0.25(20)	0.32(10)	0.47(18)	0.43()	0.35(22)
CAG4		N/W	1.25(10)	N/W		
LBG1	0.48(22)	0.65(20)	1.65(10)	0.87(17)	1.1()	1.0(19)
DG1						3.2(16)
DG2						1.65()

*: Ground Elevation (meter in MSL)

2.4 掃流土砂・浮遊土砂調査

20. 一般に河川における流送土砂は掃流土砂量、浮遊土砂量とに大別されるが、本調査域のように熱雷に起因する洪水が頻発する流域では、Wash load としての流出土砂が総流出土砂のほとんどを占めると考えられる。この場合、流出土砂量は流量の2乗に比例することが知られており、日本では次式が知られている。

$$Q_s = (4 \times 10^{-8} \sim 6 \times 10^{-6}) Q^2$$

Q_s: wash load (m³/sec)

Q: 河川流量(m³/sec)

21. 浮遊土砂調査: 水質測定時に流送土砂量の測定も平行して実施した。表 E-6 に浮遊土砂調査測定結果とそれから推定される単位面積当りの流送浮遊土砂量 (Specific SS) とを示した。炭田開発とは直接関係のない観測点 (PT-1、PT-7) における Specific SS 値に基づき、それが $10\text{g}/\text{sec}\cdot\text{km}^2$ を越えた場合、流域の荒廃と関係がある可能性が高いものと判断された。

表中に示した 4 回の観測時期別に Specific SS の平均を求めると次のようになる。

流 域		観 測 時 期			
		1 月	2 月	3 月(A)	3 月(B)
Araranguá	平 均	0.39	20.36	7.35	7.45
	標準偏差	0.63	19.52	8.67	5.99
Tubarão	平 均	0.82	12.84	8.65	3.34
	標準偏差	1.30	5.90	5.63	4.19
Urussanga	平 均	0.91	11.66	1.88	10.20
	標準偏差	0.99	7.86	1.43	6.27

単位: $\text{m}^3/\text{sec}\cdot\text{km}^2$

22. いずれの流域においても 2 月に多量の流送土砂量が観測された。これは、観測時期と降雨とに関係すると思われる。

- i) Urussanga の EPAGRI 事務所の降雨観測結果によれば、2 月 11 日、12 日、15 日降雨量がそれぞれ 37.9mm、29.2mm、47.2mm であった。
- ii) 観測は 2 月 13 日、14 日、17 日および 18 日の降雨の時期に実施された。
- iii) 2 月 11 日から 15 日の降雨による流送土砂が、13 日および 18 日の SS 観測時に影響が残っていたものと考えられることができる。

地点毎に細かくみると、JA-4、JA-8、JA-9、PT-5、JT-5 および JU-2 における流送土砂量は他の地点に比し多い。

23. Wash Load の推定: Wash Load は流量の 2 乗に比例するとの今日までの一般的知見を前提とし、関係を求めると次のようにあらわされる。

表 E-6(1/3)
浮遊泥送土砂量の観測成果 (Ararangua)

Station Area (km ²)	Jan				Feb				Mar												
	Flowrate	SS	Disch. Data	(g/m ³) (g/sec) ①-③-④	Flowrate	SS	Disch. Data	(g/m ³) (g/sec) ①-③-④	Flowrate	SS	Disch. Data	(g/m ³) (g/sec) ①-③-④	Specific SS	Flowrate	SS	Disch. Data	(g/m ³) (g/sec) ①-③-④				
PA.1	38.71	4.8	17 <1.0	4.8	0.1240	1.34	18 <0.1	0.134	0.0035	0.57	11	131.0	103.17	2.6652	1.11	7	386.0	428.46	11.0685		
PA.2	28.45	0.94	17 <1.0	0.94	0.0330	1.62	18	454.0	735.48	25.8517	0.22	11	156.0	34.32	1.2063	7	434.0				
PA.3																					
PA.4																					
PA.5		3.4	20	93.0	316.2	1.59	18	285.0	453.15	0.53	11	461.0	244.33	1.13	4	85.0	96.05				
PA.6	291.92		29	5.0		25	72.0				31	224.0			4	153.0					
PA.7	172.97		31	<1.00						2.89	14	17.0	49.13	0.2840	2.83	13	212.0	599.96	3.4636		
PA.8	571.02		17	6.0		24	158.0				14	31.0			4	198.0					
PA.9	196.25		22	36.0		24	141.0				14	36.0			4	276.0					
PA.10	782.52		22	9.0		24	143.0				14	20.0			4	16.0					
JA.1	77.96		19	31	171	2.1934	207.0			2.44	18	71.0	173.24	2.7222	5.01	13	324.0	1673.24	20.8214		
JA.2	126.2		11	31	12.0	132	1.0460			3.65	18	347.0	1266.55	10.0361	3.76	13	214.0	804.64	6.3759		
JA.3	209.45		31	3.0						2.88	18	26.0	74.88	0.3575	7.56	13	165.0	1247.4	5.9556		
JA.4	2.25	0.44	23	<1.0	0.44	0.1956	0.64	14	243.0	155.52	69.1200	0.084	11	182.0	15.288	6.7947	0.14	7	476.0	66.64	29.6178
JA.5	10.75	0.76	20	15.0	11.4	1.0605	0.59	18	324.0	191.16	17.7823	0.15	11	476.0	71.4	6.6419	0.094	4	27.0	0.918	0.0854
JA.6	3.5	0.03	17	<1.0	0.03	0.0086	0.07	18	272.0	15.54	4.4400	0.11	10	995.0	63.45	18.7000		4	23.0		
JA.7	15.5	1.2	17	2.0	2.4	0.1548	0.57	18	496.0	282.72	18.2400	0.3	11	491.0	147.3	9.5032	0.77	4	67.0	51.59	3.3284
JA.8	38.75	0.58	16	2.2	1.276	0.0329	1.25	14	424.0	1378	35.5613	1.03	11	482.0	496.46	12.8119	1.56	4	12.0	18.72	0.4831
JA.9	13	0.19	16	1.2	0.228	0.0175	1.15	14	15.0	17.25	1.7269	0.47	11	498.0	234.06	18.0046	0.54	4	50.0	27	2.0769
JA.10	54.75	0.76	16	2.0	1.52	0.0278	4.61	14	264.0	1217.04	22.2290	1.41	11	448.0	631.68	11.3375	2.19	4	39.0	85.41	1.5600
JA.11	18.75	0.51	16	1.0	0.51	0.0272	2	14	85.0	170	9.0667		11	508.0			4	158.0			
JA.12	79	1	16	12.0	12	0.1519				2.96	18	93.0	275.28	3.8846	3.63	14	72.0	261.36	3.3084		

表 E-6(2/3)

浮遊汚染土砂量の観測成果 (Urussanga)

Station	Jan			Feb			Mar			Apr		
	Flowrate	SS (g/hr)	Specific SS (g/sec)	Flowrate	SS (g/hr)	Specific SS (g/sec)	Flowrate	SS (g/hr)	Specific SS (g/sec)	Flowrate	SS (g/hr)	Specific SS (g/sec)
Drainage Area (km ²)	Ditch Date	Ditch Date	Ditch Date	Ditch Date	Ditch Date	Ditch Date	Ditch Date	Ditch Date	Ditch Date	Ditch Date	Ditch Date	Ditch Date
PU1												
PU2	30.32	30	43.0	13	386.0		13	299.0		5	756.0	
PU3	71.28	4.53	21	4.8	21.744	0.3031	4.65	17	70.0	373.5	4.5665	3.59
PU4	40.49		21	<1.0			13	29.0		5	205.0	
PU5												
PU6	358.21	30	14.0	19	46.0		17	66.0		6	470.0	
PU7	123.25	20	<1.0	2.61	14	24.0	62.64	0.5082	17	96.0		5
PU8												
PU9	560.21	31	10.0	25	90.0		17	46.0		5	136.0	
PU10	7.08	0.284	28	<1.0	0.284	0.0401	0.27	13	434.0	117.18	16.5508	0.048
JU1	55.57	4.2	29	22.0	92.4	1.7248	1.6	17	72.0	115.2	2.1505	1.05
JU2	10.75	0.35	21	<1.0	0.35	0.0326	0.67	13	285.0	190.95	17.7628	0.19
JU3	121.31	10.6	30	28.0	796.8	2.4466	8.12	17	16.0	129.92	1.0710	5.4

表 E-6(3/3)

浮遊流送土砂量の観測成果 (Tubarao)

Station	Jan				Feb				Mar												
	Drainage Area		Flowrate		Flowrate		Flowrate		Flowrate		Flowrate		Specific SS								
	(km ²)	Date	(g/m ³)	(g/sec)	(g/m ³)	(g/sec)	(g/m ³)	(g/sec)	(g/m ³)	(g/sec)	(g/m ³)	(g/sec)	(g/m ³)	(g/sec)							
PT1	26.07	2.97	30 <1.0	7.97	0.1139	1.53	18	105.0	160.65	6.1623	0.71	14	81.0	57.51	2.2060	7.54	5	25.0	188.5	7.2205	
PT2	45.98	3.2	21 <1.0	3.2	0.0696	4.53	17	110.0	498.3	10.8373		13	123.0				5	74.0			
PT3	24.63	0.79	21 <1.0	0.79	0.0321	0.67	17	491.0	378.97	13.3565		13	16.0				5	151.0			
PT4	70.61	30	14.0			5.51	18	138.0	760.38	10.7687	1.66	14	42.0	69.72	0.9874	1.55	10	26.0	40.3	0.5707	
PT5	293.53	31	3.0								22.77	19	175.0	3084.75	13.5753	15.2	12	196.0	2979.2	10.1496	
PT6	579.96	31	10.0								33.55	19	216.0	7246.8	12.4953	18.2	12	156.0	2839.2	4.8955	
PT7	153.86	21	13.0	273	1.7743		19	140.0				19	116.0				6	430.0			
PT8	804.65	<1.0					24	166.0				19	228.0				6	513.0			
PT9		<1.0					24	232.0				18	69.0				6	262.0			
PT10		<1.0					24	192.0				18	190.0				6	204.0			
PT14		0.22	24	5.0	1.1		0.42	19	11.0	4.62		18	169.0				6	506.0			
PT16		19.7	24	2.0	39.4		0.88	19	145.0	177.6		18	81.0				6	455.0			
JT1	81.25	31	6.0								2.79	14	47.0	131.13	1.6199	3.37	12	155.0	522.35	6.4289	
JT2	148.75	31	4.0								1.62	14	61.0	98.82	0.6643		12	223.0		0.0000	
JT3	241.25	31	4.0								7.93	14	18.0	142.74	0.5917	8.4	12	155.0	1302	5.3969	
JT4	3.75	0.31	21	<1.0	0.31	0.0827	0.3	17	297.0	89.1	23.7600	0.21	13	28.0	5.88	1.5680	5	133.0		0.0000	
JT5	13	2.14	29	25.0	53.5	4.1154	0.7	17	267.0	186.9	14.3769	0.49	13	59.0	28.91	2.2238	0.87	6	233.0	202.71	15.5931
JT6	16.5	0.63	21	<1.0	0.63	0.0382	0.69	17	459.0	316.71	19.1945		13	354.0			5	210.0			
JT7	31.75	6	29	10.0	60	1.8898	3.95	17	81.0	319.95	10.0772	2.53	13	15.0	37.95	1.1953	6	100.0			
JT8	17.25	0.46	21	2.1	0.966	0.0560	0.72	17	350.0	252	14.6087	0.41	13	53.0	21.73	1.2597	6	240.0			
JT9	64		30	6.0			3.26	17	20.0	65.2	1.0188	2.7	13	62.0	167.4	2.6156	3.34	6	364.0	1715.76	18.9963
JT10	9.75	0.22	21	2.0	0.44	0.0451	0.33	18	504.0	166.32	17.0585	0.32	13	73.0	23.36	2.3959	6	275.0			

流 域	関 係 式
Araranguá	$Q_s = 5500 Q_w^2$
Tubarão	$Q_s = 2000 Q_w^2$
Urussanga	$Q_s = 1800 Q_w^2$
ただし Q_s : g/sec、 Q_w : m^3/sec	

これらの関係式を用い、それぞれの流域について流量から流出土砂量を推定することが可能である。

F. 土質及び地質調査

1. 調査目的

01. 土質及び地質の調査目的は次の通りである。

- ・ 公害源の被覆による汚染地域復旧のために用いる土壌又は代替物質の探索。
- ・ 酸性水中和材としての石灰岩及び他の中和材の供給に関する事項。
- ・ 土石採掘及び復旧工事自体による2次公害を防ぐための地域的な地質特性の把握。

2. 地質図

02. 調査地域の地質図は、未公表資料、既存の文献及び航空写真の解析を通じ2万分の1のスケールで纏められた。本地質図はCriciúmaのFATMAとDNPM事務所にある。簡略地質図を図F-1に示す。この地域の地質は基盤の花崗岩類、ゴンドワナ期の堆積層及びこれらを覆う玄武岩からなる。ゴンドワナ堆積層（二疊紀層）は直接先カンブリア紀の層を覆うが、DNPMの立てた層序に従い下記の2層群6累層に区分した。この中で、石炭層はRioBonito層に夾在する。層序は表F-2に示すとおりである。

表 F-1

炭田の地質層序

地質時代	層群	亜層群	累層
第四紀			
白亜紀	São Bento		Serra Geral
ジュラ紀			Botucatu
二疊紀 後期	Passa Dois		Rio do Rasto
			Estrada Nova
			Irati
中期	Tubarão		Palermo
前期			Rio Bonito
		Itararc	Rio do Sul
先カンブリア紀	変成岩類及び混成岩の複合岩体		

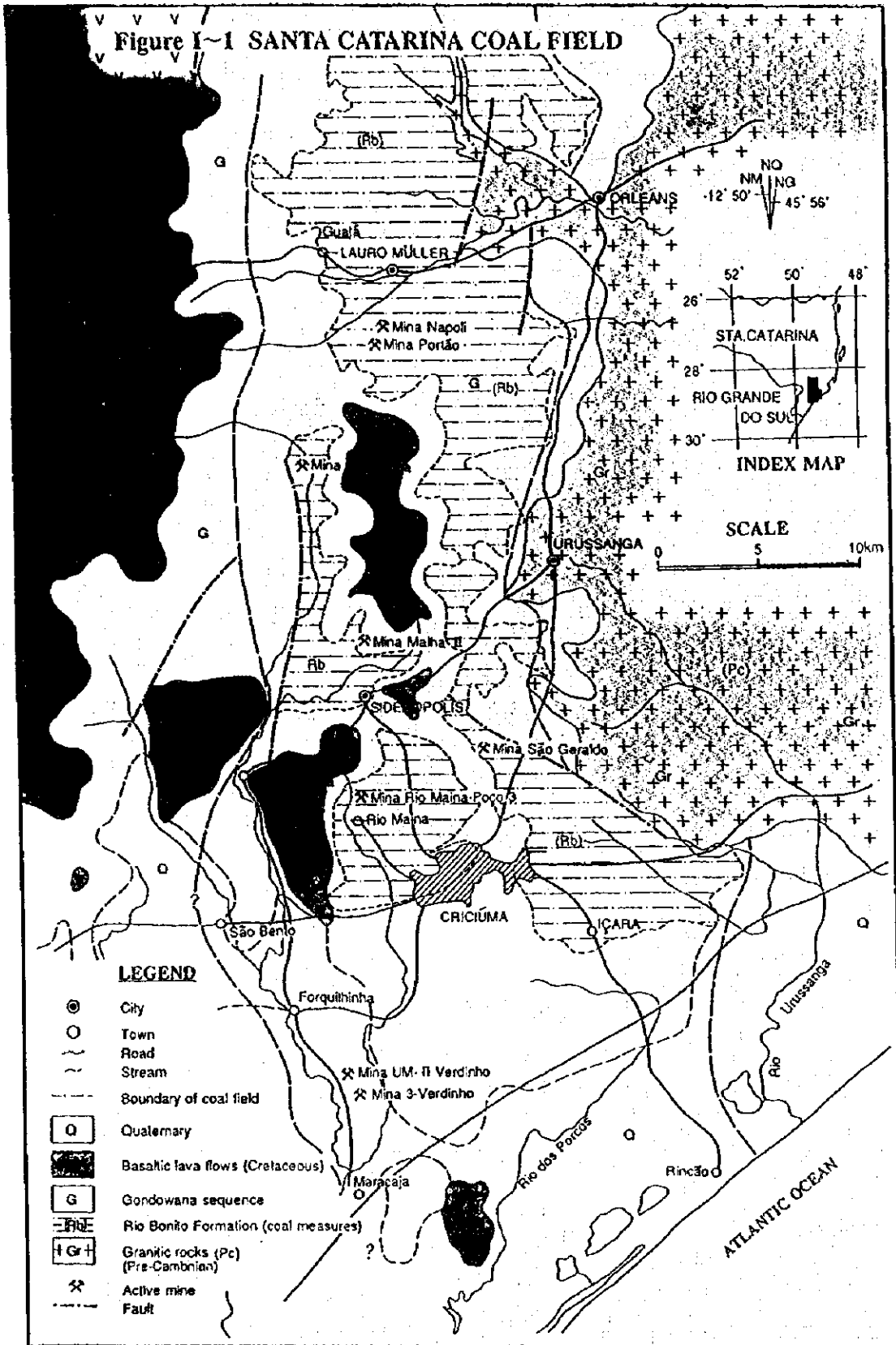


図 F-1 サンタカタリーナ州炭田

表 F-2
 サンタカタリーナ州炭田の層序

Period	Group	Subgroup	Formation	Thickness(m)	Lithology
Quaternary					Alluvial deposit
Cretaceous	Sao Bento		Serra Geral		Basalt flow and diabase dyke
			Botucatu	?	Reddish gray feldspathic medium sandstone
Jurassic	Passa Dois		Rio do Rasto	?	Violet dark gray sandstone, siltstone Reddish tabular sandstone
		Upper	Estrada Nova	?	Dark gray tabular siltstone with intercalated purple gray fine sandstone
			Irati	30	Dark gray tabular siltstone, contained calcareous nodule, diabase dyke
Permian	Tubarao	Middle	Palermo	80...90	Gray and greenish gray siltstone, Intercalate thin sandstone at basal part
		Lower	Rio Bonito	90	Gray fine and medium sandstone, thin siltstone, Coal
			Itararc	Rio do Sul	ND
Pre-cambrian	Complex of metamorphic rocks and migmatite				Migmatite, Granit, Gneiss

03. 地質図は、次の目的に使用した。

- ・各地層の分布とその地層の特徴を把握するため。
- ・工事その他、地域選定のため。
- ・岩風化に起因する残積土壌の分布を把握するため。

3. 土質調査

04. 調査地域に分布する土壌は、SNLCS (Serviço Nacional de levantamento e Conservação de Solos) によって次の様に分類されている。

- (1) Dark red podzolic soil (赤色ポドゾル性土)
- (2) Yellowish red podzolic soil (黄赤色ポドゾル性土)
- (3) Cambisolos (カンビック土)
- (4) Gley soil, with organic subsoil (有機質を含むグライ土)

05. 最初の3土壌は、表 F-2に示した岩相の特徴を有する各層の変質された残積成土であり、地表からの深さ及び粘土の含有量は断層、破碎帯等又、地層の岩相に依存する。一般に頁岩、泥岩からなる地層が風化によって容易に粘土に変化しやすい。最後に示した土壌(4)は河岸及び平野部に分布する第四紀堆積物で主に農地となっている。現地調査では図 F-2(1/2)及び(2/2)に示すとおり。Rocinha, Fiorita 及びCapivariのFS地域近くに風化岩、残積成土等の復旧材料に良好な供給源が明らかにされた。

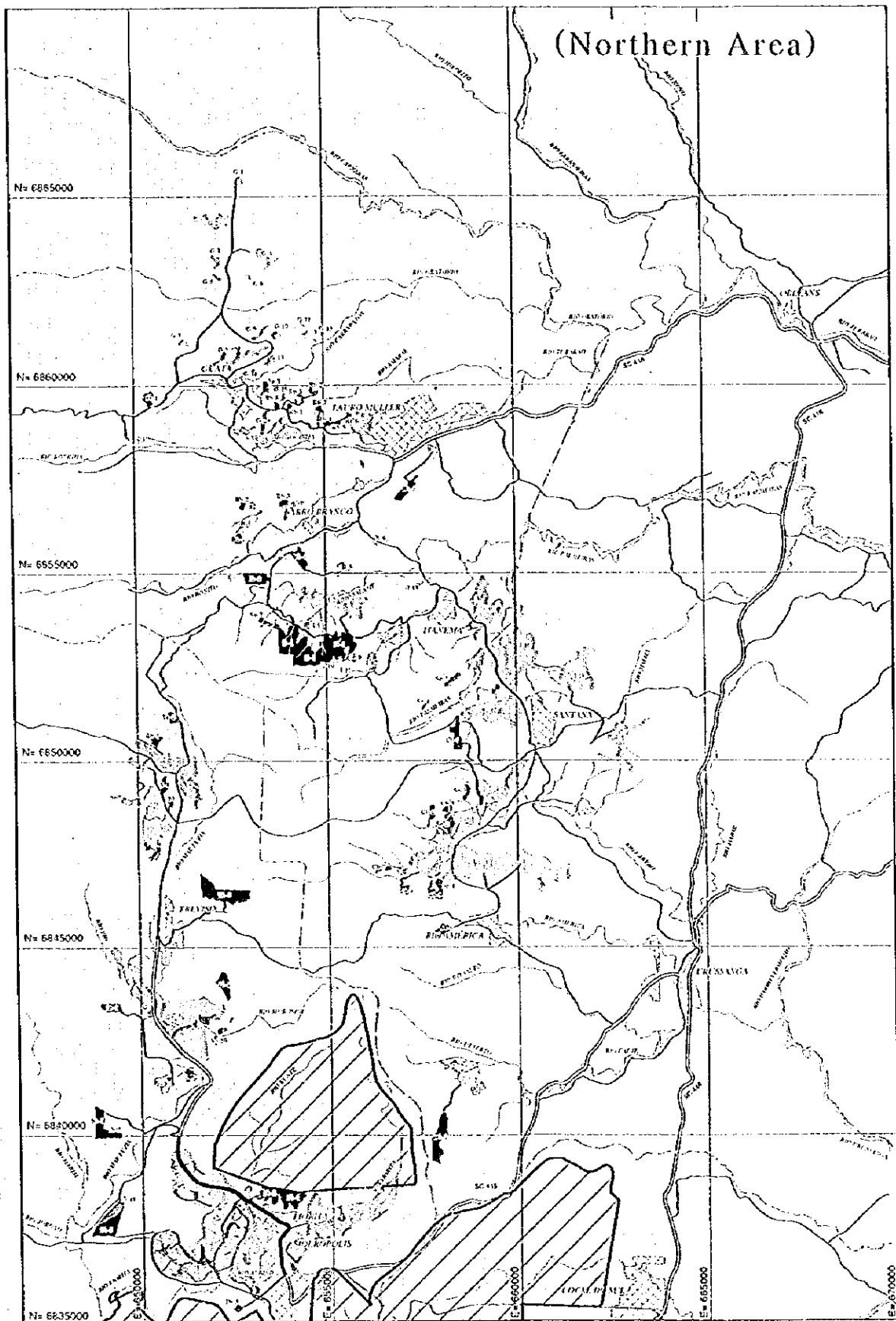
3.1 必要とされる土質

06. 2種類の上壌が汚染地の改善の為に必要とされ、1つは廃棄物に浸透する水を遮断する為の粘土及び粘土質土壌、2つ目は植栽を可能とする表土である。使用されるであろう粘性土は次の様な特徴が要求される。

- ・低い透水性；透水係数 k が $1 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 以下が期待出来るもの
- ・雨等の浸食に抵抗性のある高い塑性のもの

一方、表面を覆う土壌は高い透水性のものが必要とされる（透水係数 k が $1 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ 以上のもの）

3.2 開発

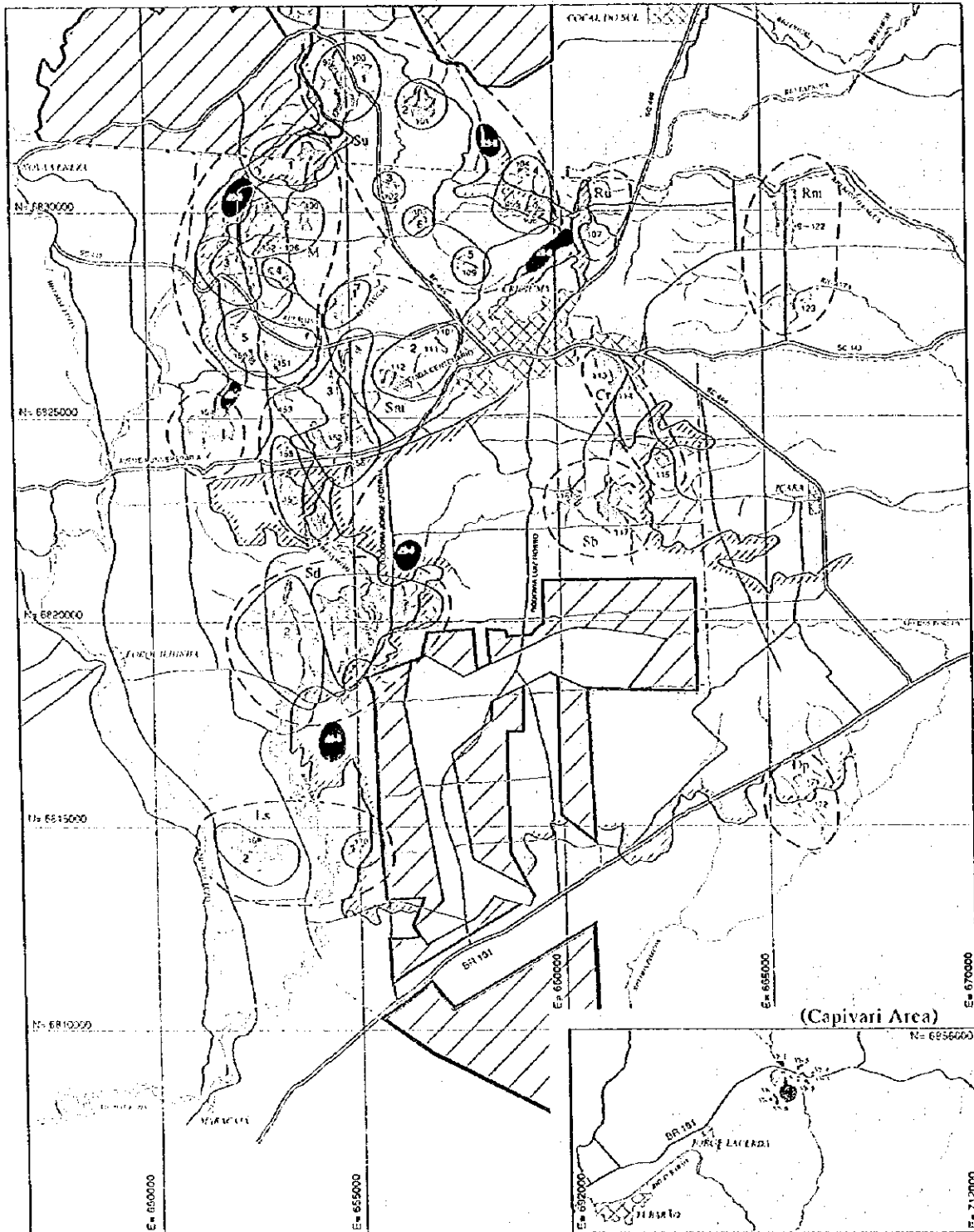


(Northern Area)

	Black Reject		Proposed Soil Borrow Pit
	Overburden Waste		Hauling Road
	Pond/Lake		Water Preserved Area
	Proposed Clay Borrow Pit		

図 F-2(1/2) 土取場および運搬経路
 THE FEASIBILITY STUDY ON RECLAMATION OF MINE DUMP AREAS
 IN
 SOUTH REGION OF SANTA CATARINA REPUBLIC OF BRAZIL
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY - JICA

(Southern Area)



Legend:

- | | | | |
|--|--------------------------|--|-------------------------------|
| | Black Reject | | Clay |
| | Overburden Waste | | Grouping |
| | Pond/Lake | | Water Preserved Area |
| | Proposed Clay Borrow Pit | | Environmental Protection Area |

図 F-2(2/2) 土取場および運搬経路

THE FEASIBILITY STUDY ON RECUPERATION OF MINED OUT AREAS
IN
SOUTH REGION OF SANTA CATARINA-REPUBLIC OF BRAZIL.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY - JICA

07. 地域選定の基準は、i) FSサイトに可能な限り近いこと ii) 土壌を採取するための土地開発の権利が容易に取得できることを旨とした。現地調査に先だって、候補地域は地質図を基に想定すると共に、ブラジル国及び地方の諸規制に従い、保護地域でないことを確認した。更に、選定に当たっては、農林関係の発展と整合し、自然環境と調和をはかる様に取りはからった。

08. 環境規制に関わる主な保護地域を次に示す。

- | | |
|-----------|-----------------------------|
| a. 永久制限地域 | 河川流域
特定丘陵区域
45度以上の傾斜地 |
| b. 森林保護地域 | 自然林 |
| c. 水源調整地域 | |

3.3 FSサイト復旧の為の上取り場開発

09. 現地調査の結果、開発対象として18区域が選定された。大部分の地域はユーカリの疎林及び牧草地からなる丘陵地である。Rocinha 及びFioritaでは、Palermo 累層の岩石が変質した残積堆積物の粘土及び粘土質シルトであり、地層の岩質を反映している。各地区の粘性土の採掘可能量は下記の様に纏められる。

表 F-3
掘削可能粘性土と掘削可能表土

FSサイト	掘削可能粘性土		
	地域数	面積(ha)	可採量 (m ³)
Rocinha	8	12.64	356,000
Fiorita	3	25.30	576,000
Capivari	8	30.20	604,000
計	19	68.14	1,536,000

掘削可能表土			
サイト	地域数	面積 (ha)	可採量(m ³)
Rocinha	1	4.40	177,250
Capivari	1	7.40	296,000
計	2	11.80	473,250

場所及び掘削可能土量の詳細は表 F-4及び図 F-3からF-7に示す。

(a) 粘性土の土質

10. Rocinhaからの代表的な粘性土4サンプル、Florita から4サンプル、及び Capivariより風化花崗岩の2サンプルの計10サンプルを5地域の露頭から選び次の試験を行った。試験結果は表 F-5に示す。

試験項目	目的
(1) 粒度分析 (ASTM D-422)	土の分類、透水性の推定
(2) 密度試験	土の単位体積
(3) 液性、塑性限界試験 (ASTM D-4318)	土のコンシステンシー、 塑性による分類
(4) 透水試験 (ASTM D-2434)	土の透水性
(5) 突固めによる土の締固め試験 (ASTM D-698)	土の締固めの程度

上記の試験結果から、各地域の土質は次の様に表現される。

(b) Rocinha

11. 三角座標分類 (U.S. Bureau of Soil and Chemistryによる)では、Clay (粘土)に相当し、統一土質分類では Fat 又は Lean Clay (粘土) に相当する。一般に通常の含水状態で粘着力のある塑性を有し、非常に低い浸透性 (透水係数は 2.88×10^{-5} cm/sec 以下) を示す。土の比重は 1.849から1.960g/cm³の範囲にある。この粘性土は、高い塑性と低い透水性から汚染源を覆うために適当な材料と考えられる。

表 F-4
粘土および表土の分布地 (FS サイト)

Proposed Borrow Pits, Excavation Volume and Hauling Distance

Clay and Clay Soil

FS site	Waste No.	Area (ha)	Covering Volume (m ³)	Borrow pit No.	Area (ha)	Excavation capacity(m ³)	Hauling road (km)		No road (in waste)	Total distance(km)	Volume(m ³) x distance(km)		
							(in Borrow area)	(Improved)					
Rachiba	R-2	45.0	725,200	Rb-1	2.30	73,000	0.10	0.50	0.30	0.04	0.40	97,820	
				Rb-2	1.20	62,000	0.10	0.60	1.50	0.03	0.40	2.65	164,200
				Rb-3	0.77	32,000	0.10	0.60	1.00	0.07	0.40	2.17	69,440
				Rb-4	2.36	35,000	0.13	0.83	0.00	0.13	0.40	1.51	52,450
				Rb-5	1.46	26,000	0.10	1.46	0.00	0.16	0.40	2.12	55,120
				Rb-6	1.45	40,000	0.10	1.50	0.00	0.40	0.40	2.40	96,000
				Rb-7	0.90	18,000	0.07	0.54	0.00	0.49	0.40	1.50	27,000
				Rb-8	2.20	70,000	0.15	0.72	0.00	0.02	0.40	1.29	90,200
Subtotal		45.0	725,200		17.64	356,000			0.00	Av:1.83	652,830		
Fierita	F-1	21.0	105,050	Fb-1	21.80	436,000	0.30	0.00	0.00	0.10	1.40	784,800	
				Fb-3	3.50	140,000	0.10	1.50	0.30	0.00	3.28	462,000	
	Subtotal			21.0	25.30	576,000					Av:2.16	1,246,800	
Capivari	Cv	80.0	400,000	Vb-1	11.10	222,000	0.25	0.46	0.00	0.12	0.70	339,660	
				Vb-2	5.40	108,000	0.25	1.79	0.04	0.00	0.70	2.78	300,240
				Vb-3	2.40	48,000	0.10	2.48	0.00	0.00	0.70	3.28	157,440
				Vb-4	2.10	42,000	0.10	2.48	0.00	0.00	0.70	3.28	137,760
				Vb-5	3.80	76,000	0.25	1.43	0.35	0.10	0.70	2.83	215,080
				Vb-6	2.60	52,000	0.10	0.00	0.40	0.00	0.35	0.85	44,200
				Vb-7	2.80	56,000	0.10	0.00	0.00	0.35	0.00	0.80	44,800
Subtotal		80.0	400,000		30.20	604,000				Av:2.05	1,239,180		
Total		146.0	730,250		68.14	1,536,000							

Top soil

FS site	Waste No.	Area (ha)	Covering Volume (m ³)	Borrow pit No.	Area (ha)	Excavation capacity(m ³)	Hauling road (km)		No road (in waste)	Total distance(km)	Volume(m ³) x distance(km)	
							(in Borrow area)	(Unpaved)				
Rachiba	R-2	45.0	135,120	So-8	4.40	154,000	0.15	1.60	0.20	0.40	361,900	
Fierita	F-1	21.0		607,590	Fb-1*	21.80	872,000	0.30	0.00	0.00	0.10	1,569,600
Capivari	Cv	80.0	240,000	Vb-8	7.40	259,000	0.20	2.00	0.15	0.15	3.20	828,800
Total		146.0		982,710		33.60	1,285,000					

*: Included Course part

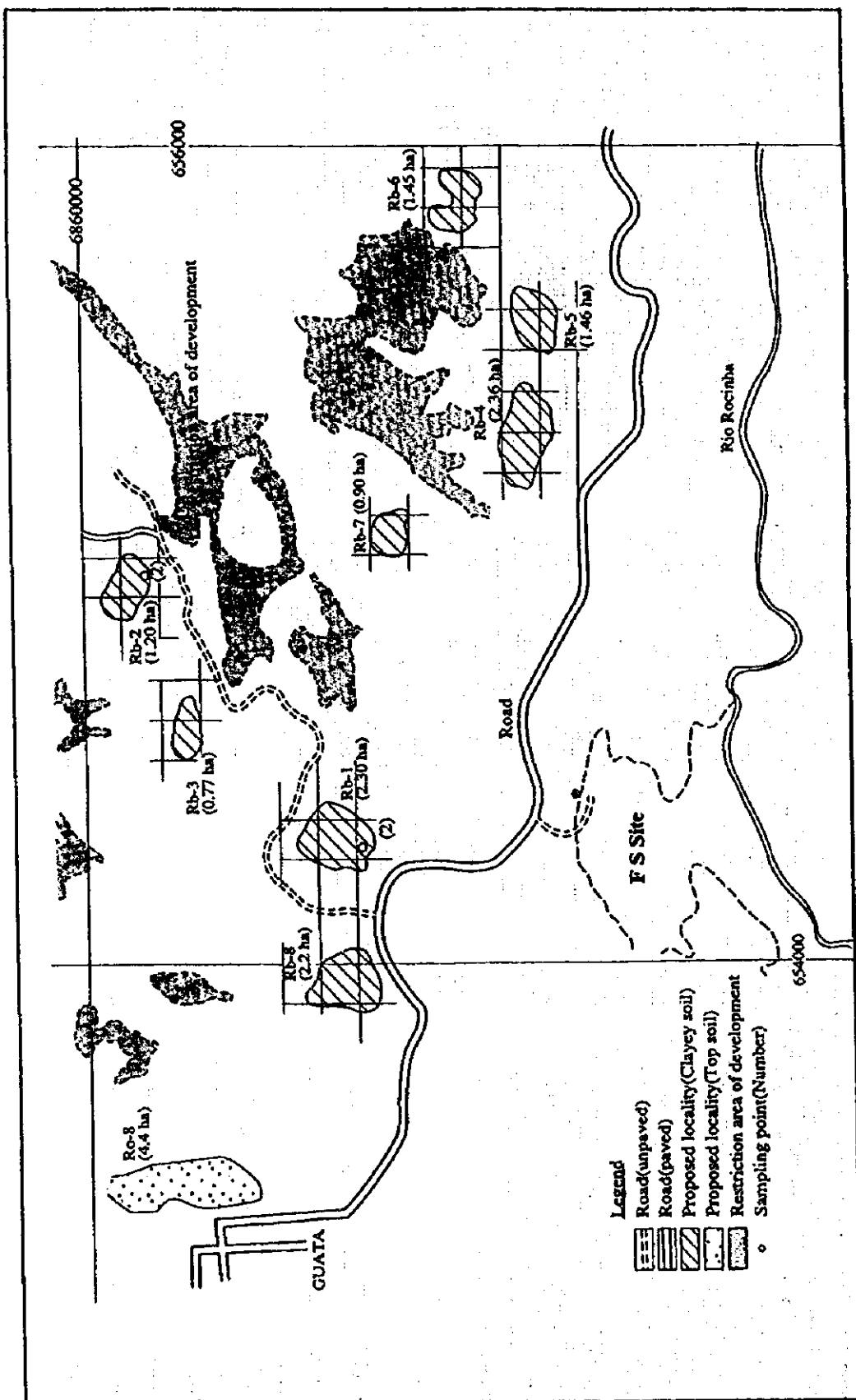


图 F-3 粘土採取候補地 (Rio Rocinha)

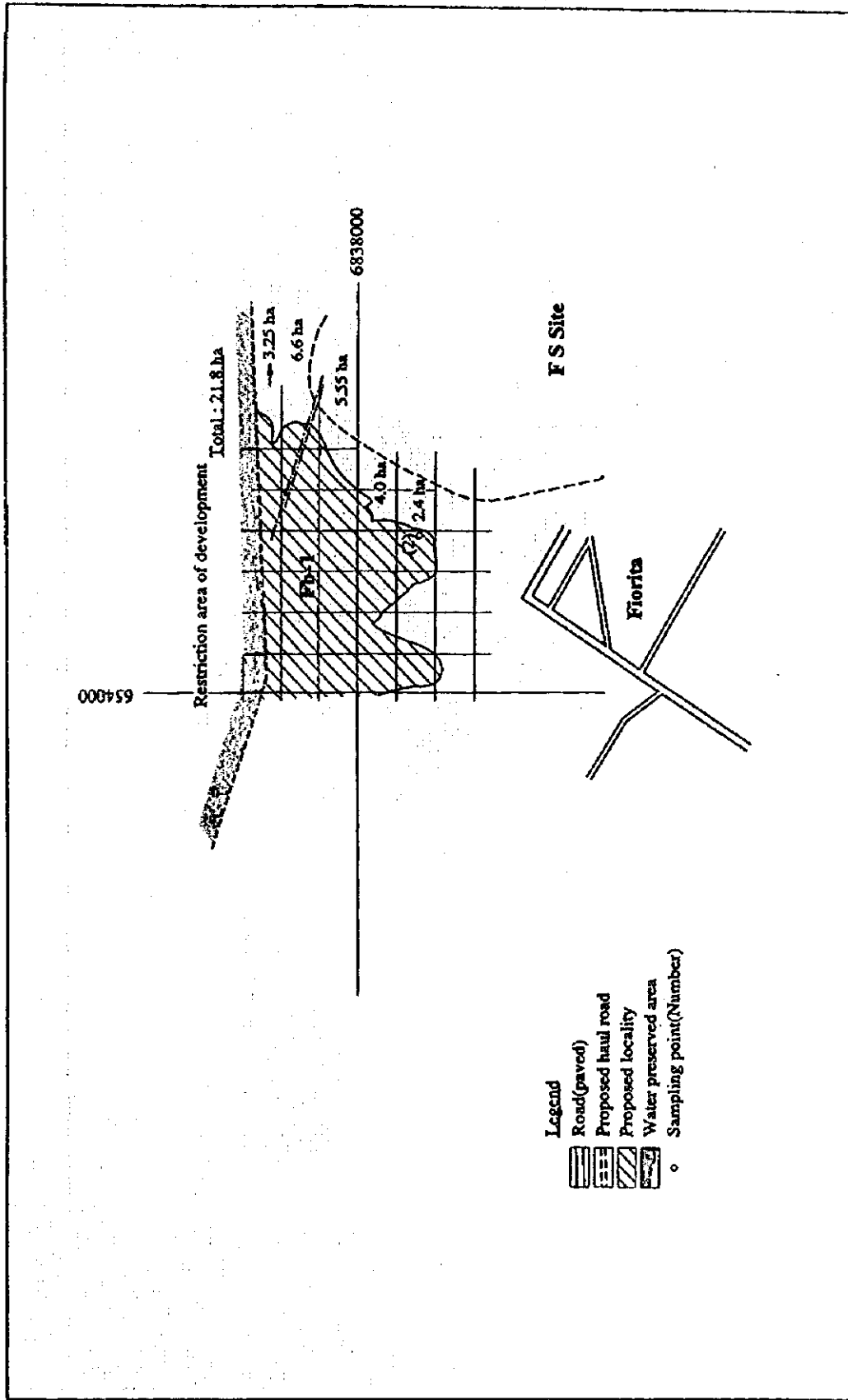


図 F-4 粘土採取候補地 (Rio Fiorita I)

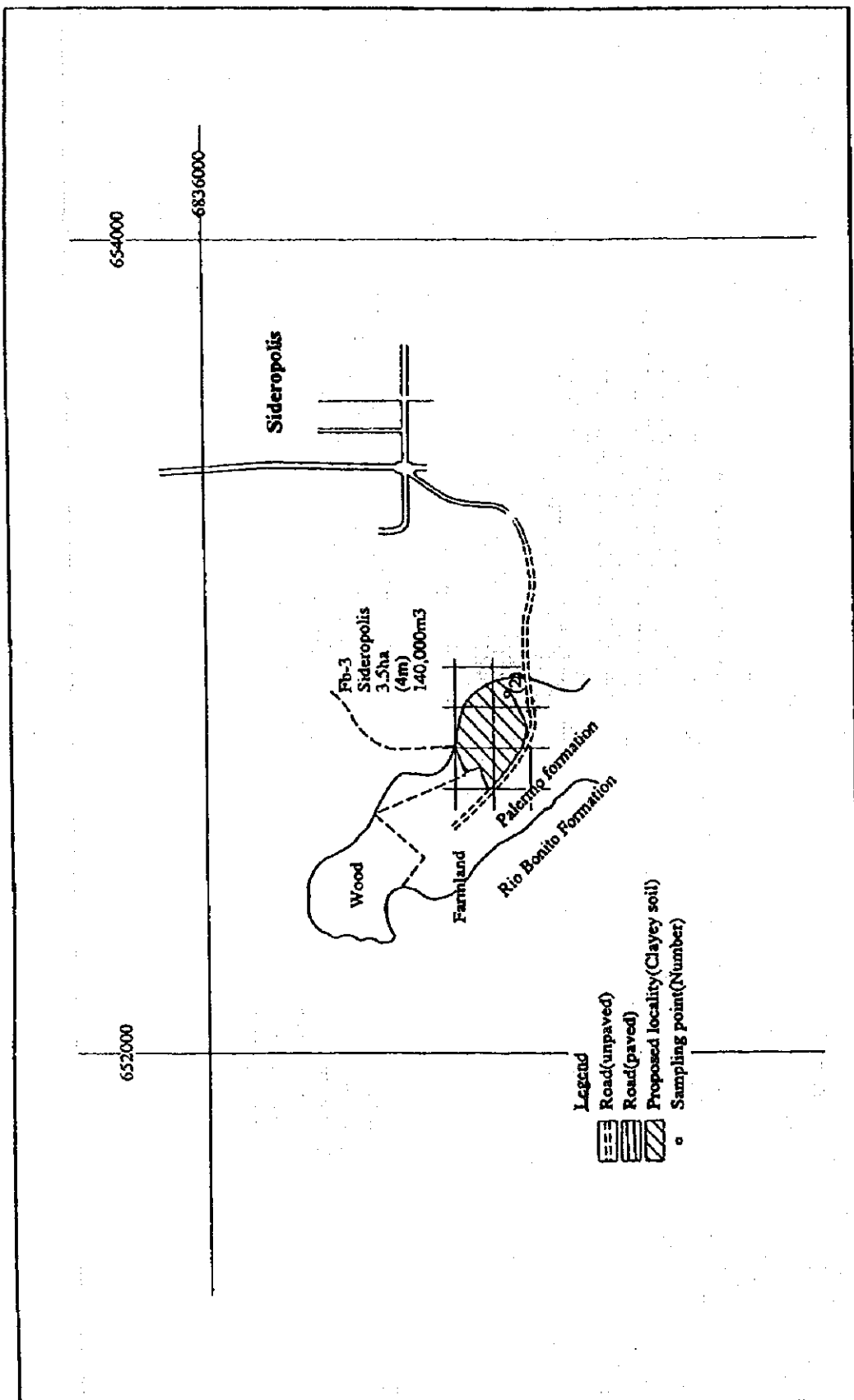


図 F-5 粘土採取候補地 (Rio Fiorita 2)

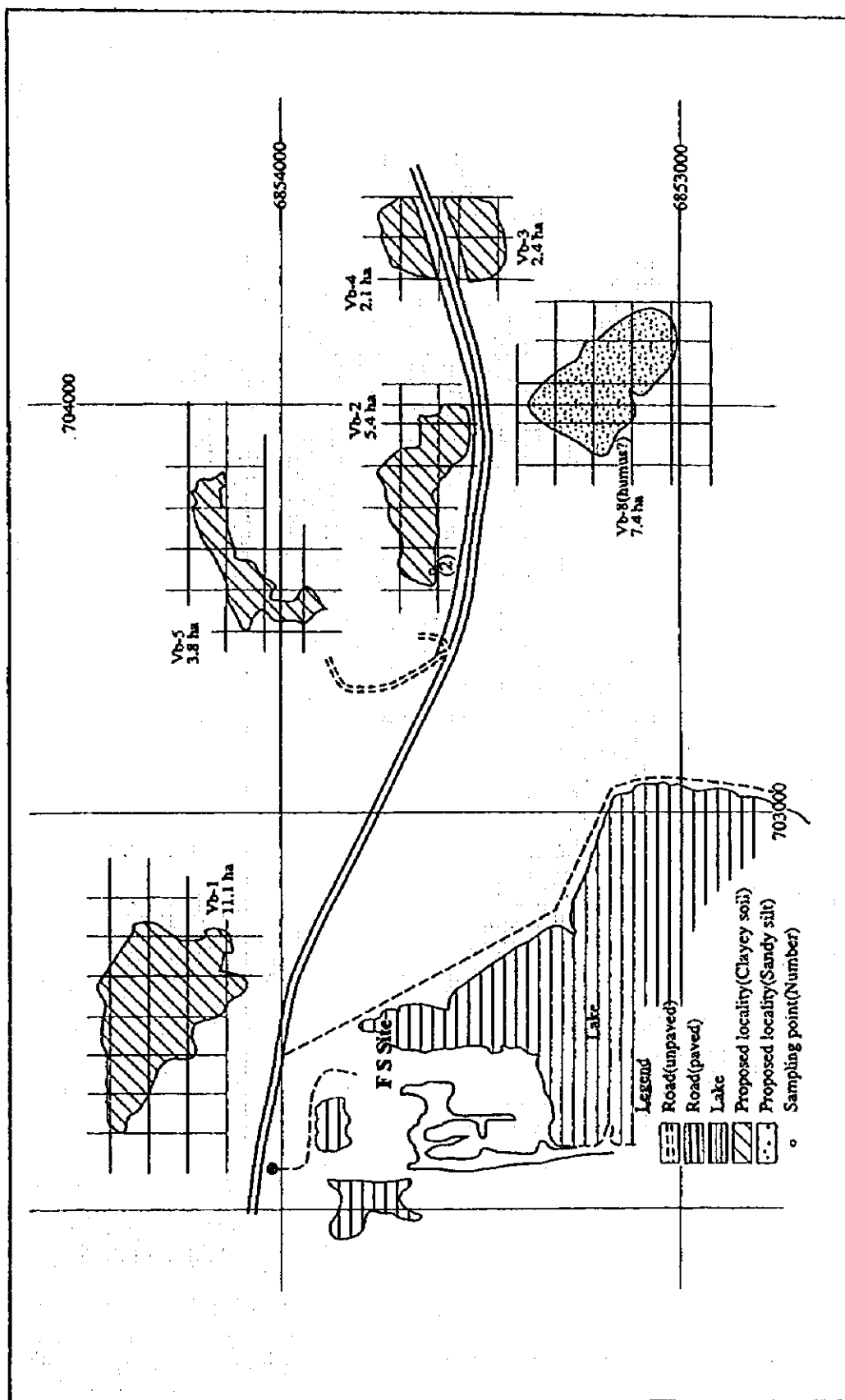


图 F-6 粘土採取候補地 (Capivari I)

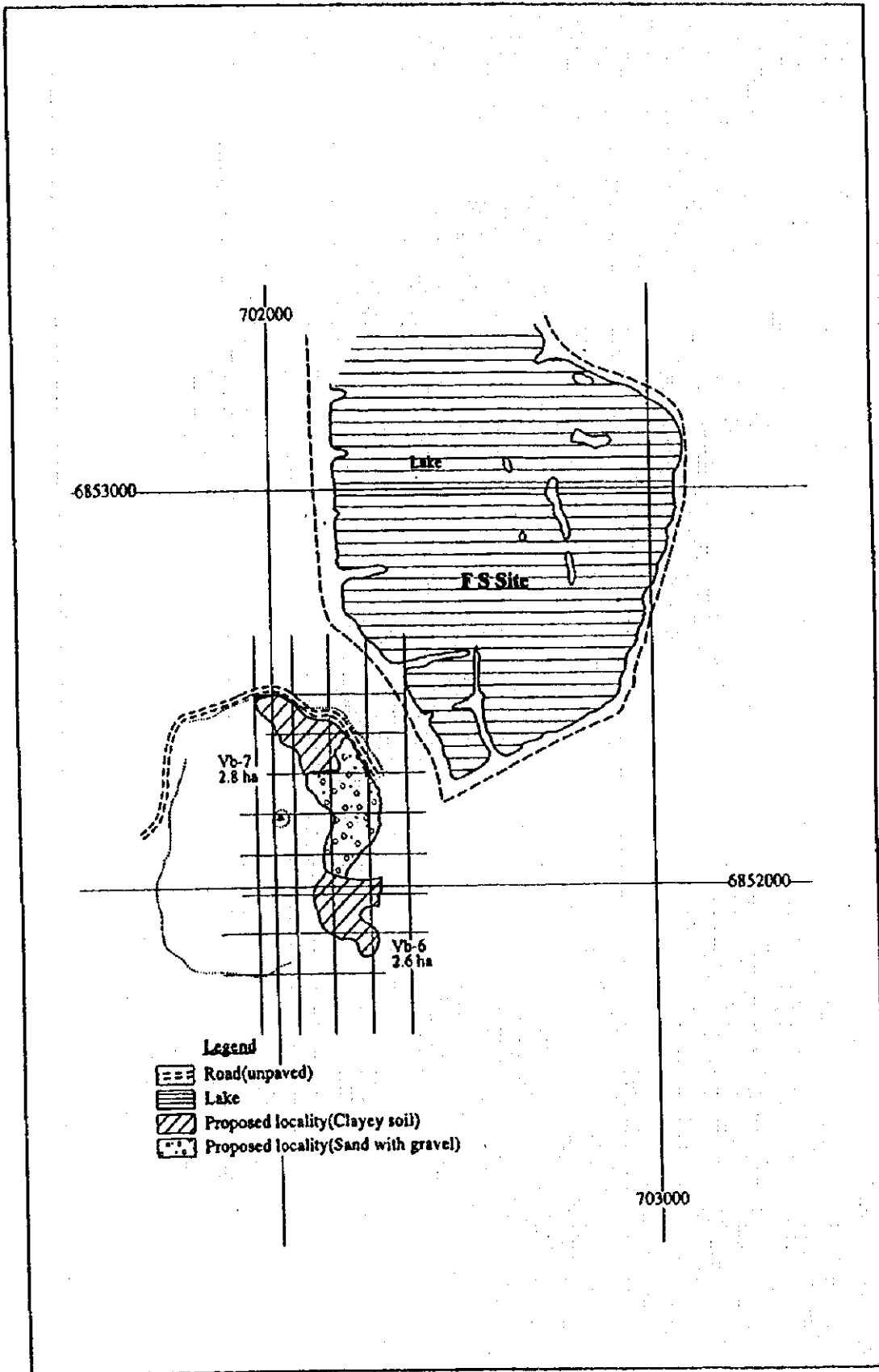


図 F-7 粘土採取候補地 (Capivari 2)

表F-5
粘性土の一般的特性

Locality	<u>Rocinha</u>	<u>Fiorita</u>	<u>Capivari</u>
Number of sample Item	Clayey silt & Clay 4	Clayey silt & Clay 4	Clay with sand 2
[General]			
Density ρ_t (t/m ³)	1.837 - 1.960	1.824 - 1.936	1.840 - 2.100
Dry density ρ_d (t/m ³)	1.528 - 1.782	1.367 - 1.676	1.598 - 1.903
Water contents W (%)	9.2 - 20.2	15.5 - 33.3	1.0 - 1.5
Specific gravity G _s	2.71	2.71	2.71
void ratio e	0.520 - 0.773	0.616 - 0.981	0.423 - 0.695
Degree of saturation Sr (%)	41.66 - 70.88	68.18 - 92.15	5.887 - 6.598
[Size composition]			
Gravel (%)	<0.1	<0.2	23.2 - 25.2
Sand (%)	13.5 - 30.1	5.7 - 32.2	40.3 - 49.8
Silt (%)	20.9 - 45.3	32.7 - 48.9	6.0 - 25.4
Clay (%)	41.2 - 55.5	35.1 - 52.2	9.1 - 21.1
Silt/Clay	0.90 - 2.65	0.88 - 1.23	0.28 - 2.79
Classification (Triangle chart)	Clay	Clay	Sandy loam & Sandy clay loam
[Consistency]*			
Liquid limit LL (%)	36.03 - 53.91	43.03 - 52.82	45.23
Plastic limit PL (%)	23.27 - 28.04	28.51 - 28.73	29.54
Plasticity Index IP	12.76 - 25.87	14.52 - 24.09	15.69
Consistency Index I _c	1.72 - 2.04	1.41 - 1.54	1.92
[Condition of compaction]			
Dry density ρ_d (g/cm ³)	1.506 - 1.720	1.480 - 1.610	1.696 - 1.920
Optimum moisture content (%)	18.70 - 25.50	19.5 - 26.00	12.40 - 17.20
[Permeability]			
Coefficient of permeability k (cm/sec)	2.88E-05 (max) Impermeable	5.35E-04 (max) 4.47E-06(min)	5.66E-06 (max) 9.25E-07 (min)

*: only clay samples

(c) Fiorita

12. 上記の三角座標分類で同じく Clay (粘土) に分類され、比重は 1.824 から 1.936 g/cm³で、低い透水性を有する。粘性土の粘土分の多い部分は汚染源被覆の材料として、粗い部分は表土としての利用が可能であろう。

(d) Capivari

13. 三角座標分類上は、Sandy loam (砂質ローム) 及び Sandy clay loam (砂質粘土ローム) に分類される。比重は1.840 から2.100 g/cm³の範囲を示し、水に対し低い浸透性を有する。この粘性土は汚染源被覆に適した材料である。

3.4 全体復旧地域の為の被覆土

14. 地域全体に分布する廃棄物を覆うための土の採取開発地域47カ所を選定した、その面積は 739.4 ha に及ぶ。それらは下記の様に要約される。

北部(グリッドN=6835000からN=6865000の範囲)

地域数	面積(Ha)	可採土量(1000m ³)	平均運搬距離(km)*	土質
34	454.1	20,850	4.01	Clayey soil

*ボタ山と土取り場間の平均距離

南部(グリッドN=6835000より南)

地域数	面積(Ha)	可採土量(1000m ³)	平均運搬距離(km)	土質
6+(未定)	174.6+(125.3)	4,591,000+(4,186)	3.70/(1未満)	Clayey soil

Capivari地域

地域数	面積(Ha)	可採土量(1000m ³)	平均運搬距離(km)	土質
7	30.2	604	2.05	Clayey soil

15. 南地域の廃棄堆積物の大部分は粘土に富んだPalermo層の近くにあり、粘性土は周辺から容易に得られる。これらの詳細は表 F-6(1/3)から表 F-6(3/3), 及び、図 F-2(1/2)から(2/2)に掲げる。FS地域の改善検討に対しての山岳地帯、丘陵地帯に分布する表土は少ない。又、全体地域の改善のためには次の点が考慮されるべきである。

表 F-6(1/3) 粘土および粘性土 (運搬料及び距離)

Overburden Waste and Black Reject (Northern Area)

No.	Area	Waste No.	Waste	Area (ha)	Compng Volume (ms)	Borrow Pit No.	Borrow area (ha)	Capacity (ms)	Road(in Borrow) (km)	Paved road (km)	Unpaved (km)	Non road (km)	Road(in Waste) Total distance (km)	Volume(m ³) x distance(km)
1	Guata North	G-1	OW	5.0	25,000	Gb-1	10.0	927,000	0.30	1.00	6.00	-	7.50	187,500
2	Guata North	G-2	OW	28.0	140,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	1.00	5.00	-	6.80	952,000
3	Guata North	G-3	OW	6.0	30,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	1.00	4.00	-	5.50	165,000
4	Guata North	G-4	OW	15.0	75,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	1.00	4.80	-	6.80	510,000
5	Guata North	G-5	OW	4.0	20,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	1.00	3.50	-	5.00	100,000
6	Guata North	G-6	OW	1.0	5,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	1.00	4.00	-	5.40	27,000
7	Guata North	G-7	OW	4.0	20,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	2.20	1.00	-	2.90	58,000
8	Guata North	G-8	OW	38.0	190,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	2.20	1.00	-	4.30	817,000
9	Guata North	G-9	OW	5.0	25,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	2.20	1.90	-	4.70	117,500
10	Guata North	G-10	OW	4.0	20,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	2.20	1.80	-	4.40	88,000
11	Guata North	G-11	OW	0.5	2,500	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	2.20	2.60	-	5.20	13,000
12	Guata North	G-12	OW	1.5	7,500	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	2.20	2.60	-	5.20	39,000
13	Guata North	G-13	OW	0.5	2,500	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	2.20	2.80	-	5.40	13,500
14	Guata North	G-14	OW	0.5	2,500	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	2.20	2.80	-	5.40	13,500
15	Guata North	G-15	OW	5.0	25,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	2.20	1.30	-	3.90	97,500
16	Guata North	G-16	OW	1.0	5,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	2.20	0.80	-	3.40	17,000
17	Guata North	G-17	OW	15.0	75,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	2.00	-	-	2.70	202,500
18	Guata North	G-18	OW	3.0	15,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	3.10	0.40	-	3.90	58,500
19	Guata North	G-19	OW	1.0	5,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	3.40	0.50	-	4.30	21,500
20	Guata North	G-20	OW	1.5	7,500	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	4.10	0.40	-	4.90	36,750
21	Guata North	G-21	OW	0.5	2,500	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	4.00	-	-	4.40	11,000
22	Guata North	G-22	OW	1.0	5,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	4.50	0.10	-	5.00	25,000
23	Guata North	G-23	OW	5.0	25,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	3.70	-	-	4.20	105,000
24	Guata North	G-24	OW	10.0	50,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	3.20	-	-	3.80	190,000
25	Rio Rocanha	R-1	BR	156.0	780,000		10.0	927,000	0.30	-	0.80	-	4.96	3,865,750
26	Rio Rocanha	R-2	BR	11.4	57,000	Gb-1	(10.0)	(927,000)	0.30	-	0.60	-	1.70	96,900
27	Rio Rocanha	R-3	OW	45.0	225,000	Rb1-8	12.6	356,000	0.30	6.50	0.10	-	7.20	652,830
28	Barro Branco	B-1	OW	20.8	104,000	Bb-1	5.6	134,400	0.10	-	0.40	-	3.76	62,400
29	Barro Branco	B-2	OW	3.4	17,000	Bb-2	2.4	57,600	0.05	-	-	-	0.20	3,400
30	Barro Branco	B-3	OW	8.0	40,000	Bb-3	4.0	96,000	0.07	-	-	-	0.35	16,800
31	Barro Branco	B-4	OW	8.0	40,000	Bb-4	15.4	369,000	0.20	-	0.10	0.50	0.35	14,000
32	Barro Branco	B-5	OW	8.8	44,000	Bb-4	(15.4)	(369,000)	0.45	-	0.50	0.15	1.10	43,400
33	Barro Branco	B-6	OW	7.6	38,000	Bb-3	(4.0)	(96,000)	0.05	-	3.40	-	3.60	136,800
34	Barro Branco	B-7	BR	8.0	40,000	Bb-5	4.4	105,000	0.25	-	1.75	-	2.30	92,000
35	Itaerema	I-1	OW	64.6	323,000		31.8	762,000	0.50	-	-	-	1.16	373,800
36	Itaerema	I-2	OW	38.4	192,000	Ib-1	130.8	5,232,000	0.20	-	-	-	0.45	86,400
37	Itaerema	I-10	OW	69.4	347,000	Ib-2	15.2	608,000	0.40	-	0.40	-	1.30	451,100
38	Itaerema	I-11	OW	12.1	60,500	Ib-1	(130.8)	(5,232,000)	0.10	-	-	-	0.25	15,125
39	Itaerema	I-12	OW	1.1	5,500	Ib-1	(130.8)	(5,232,000)	0.25	-	0.25	0.10	0.05	3,025
40	Itaerema	I-13	BR	43.2	216,000	Ib-1	(130.8)	(5,232,000)	0.30	-	0.30	0.20	0.80	72,000
41	Itaerema	I-14	OW	10.4	52,000	Ib-1	(130.8)	(5,232,000)	0.50	-	1.30	-	1.90	410,400
42	Itaerema	I-15	OW	71.8	359,000	Ib-1	(130.8)	(5,232,000)	0.50	-	4.00	-	4.90	228,800
43	Itaerema	I-16	BR	8.2	41,000	Ib-1	(130.8)	(5,232,000)	0.70	-	4.00	-	4.90	200,900
44	Itaerema	I-17	OW	150.4	752,000	Ib-1	(130.8)	(5,232,000)	0.70	-	5.00	-	6.50	4,888,000
45	Itaerema	I-18	BR	26.6	133,000	Ib-1	(130.8)	(5,232,000)	0.70	-	5.00	-	6.50	4,888,000
46	Itaerema	I-19	OW	89.0	445,000	Ib-1	(130.8)	(5,232,000)	0.70	-	6.60	-	8.00	3,560,000
47	Itaerema	I-20	OW	22.3	111,500	Ib-1	(130.8)	(5,232,000)	0.70	-	6.60	-	8.00	892,000
48	Itaerema	I-21	OW	72.6	363,000	Ib-1	(130.8)	(5,232,000)	0.70	-	7.60	-	8.80	3,194,400
49	Itaerema	I-22	OW	31.2	156,000	Ib-1	(130.8)	(5,232,000)	0.70	-	10.80	-	12.10	1,887,600
50	Itaerema	I-23	OW	25.4	127,000	Ib-1	(130.8)	(5,232,000)	0.70	-	10.80	-	12.10	1,526,700
51	Carvao	C-1	BR	690.1	3,450,500		146.0	5,840,000	0.10	-	-	-	5.81	20,050,050
52	Carvao	C-2	BR	10.6	53,000	Cb-1	5.6	314,000	0.20	-	0.05	0.90	1.05	55,650
53	Carvao	C-3	OW	122.6	613,000	Cb-1,2	5.6	352,000	0.20	-	0.25	0.90	1.35	827,550
54	Carvao	C-4	OW	41.6	208,000	Cb-3	6.4	358,000	0.25	-	0.20	0.60	1.05	218,400
55	Carvao	C-5	OW	47.2	236,000	Cb-7	14.4	576,000	0.25	-	1.50	-	2.35	554,600
56	Carvao	C-6	OW	44.8	224,000	Cb-4	9.2	224,000	0.15	-	1.00	-	2.00	705,600
57	Carvao	C-7	OW	40.0	200,000	Cb-5	9.2	294,000	0.20	-	0.25	-	1.80	450,000
58	Carvao	C-8	OW	106.4	532,000	Cb-6	8.8	554,000	0.15	-	2.80	-	4.15	2,207,800
59	Carvao	C-9	BR	25.0	125,000	Cb-7	(14.4)	(576,000)	0.70	-	4.50	-	5.70	712,500
60	Deserto	D-1	BR	438.2	2,191,000		54.0	2,672,000	0.10	-	-	-	2.62	5,732,100
61	Deserto	D-2	BR	31.4	157,000	Db-1	25.6	1,024,000	0.10	-	0.80	0.35	1.25	196,250
62	Treviso	T-1	OW	6.8	34,000	Db-1	(25.6)	(1,024,000)	0.10	-	1.00	0.25	1.95	66,300
63	Treviso	T-2	OW	38.2	191,000		25.6	1,024,000	0.15	-	-	-	1.37	262,550
64	Treviso	T-3	OW	28.2	141,000	Tb-1	5.2	291,000	0.15	-	-	-	0.40	77,550
65	Treviso	T-4	OW	72.8	364,000	Tb-2	5.2	374,000	0.10	-	0.75	-	1.60	582,400
66	Treviso	T-5	BR	8.8	44,000	Tb-1	(5.2)	(291,000)	0.15	-	0.20	0.30	0.95	41,800
67	Treviso	T-6	OW	7.2	36,000	Tb-1	(5.2)	(291,000)	0.15	-	0.20	0.30	0.95	34,200
68	Treviso	T-7	OW	6.8	34,000	Tb-1	(5.2)	(291,000)	0.15	-	1.20	0.30	2.15	66,300
69	Treviso	T-8	OW	2.8	14,000	Tb-1	(5.2)	(291,000)	0.15	-	1.40	0.30	2.15	30,100
70	Ruppio	P-1	BR	112.8	564,000	Tb-3	48.4	2,420,000	0.50	1.30	5.00	-	7.05	3,976,200
71	Ruppio	P-2	BR	239.4	1,197,000		58.8	3,085,000	0.25	-	-	-	4.02	4,808,550
72	Ruppio	P-3	OW	2.2	11,000	Pb-1	12.0	816,000	0.25	-	1.00	-	2.05	22,550
73	Ruppio	P-4	OW	108.0	540,000	Pb-1	(12.0)	(816,000)	0.25	-	1.00	-	2.05	1,107,000
74	Sideropolis	S-1	OW	34.8	174,000	Pb-1	(12.0)	(816,000)	0.25	-	2.60	-	3.25	565,500
75	Sideropolis	S-2	BR	200.8	1,004,000	Pb-2	16.0	1,152,000	0.35	-	0.20	1.00	1.55	1,556,200
76	Sideropolis	S-3	OW	19.0	95,000	Pb-2	(16.0)	(1,152,000)	0.35	-	-	0.20	1.55	147,250
77	Sideropolis	S-4	OW	364.8	1,824,000		28.0	1,968,000	0.35	-	-	-	1.86	3,398,500
78	Sideropolis	S-5	OW	100.8	504,000	Sb-1	20.0	1,260,000	0.45	1.70	3.00	-	5.85	2,948,400
79	Sideropolis	S-6	OW	73.8	369,000	Sb-2	12.8	512,000	0.20	1.70	4.40	-	7.30	2,693,700
80	Sideropolis	S-7	BR	129.6	648,000	Sb-1	(20.0)	(1,260,000)	0.45	1.70	3.00	-	5.85	3,790,800
81	Sideropolis	S-8	BR	4.8	24,000	Sb-1	(20.0)	(1,260,000)	0.45	1.70	3.00	-	5.85	140,400
82	Sideropolis	S-9	BR	4.4	22,000	Sb-1	(20.0)	(1,260,000)	0.45	1.70	3.00	-	5.85	128,700
83	Sideropolis	S-10	OW	350.6	1,753,000	Sb-3	29.2	1,868,000	0.35	-	1.20	-	2.85	4,996,050
84	Subtotal			664.0	3,320,000		62.0	3,640,000					4.43	14,698,050
85	Rio Fiorita	F-1	BR	21.0	105,050	Fb-3	3.5	140,000	0.10	1.50	0.30	0.00	1.40	346,665
86	Rio Fiorita	F-2	OW	(21.0)	(105,050)	Fb-1*	21.8	436,000	0.30	0.00	0.00	0.10	1.80	189,090
87	Subtotal			21.0	105,050		25.3	576,000					2.60	535,755
88	Total			2750.7	13,753,750		454.1	20,850,000					4.01	55,122,835

*substitute

表 F-6(2/3) 粘土および粘性土 (運搬料及び距離)

Overburden Waste and Black Reject (Southern Area)

No.	Area	Waste No.	Pile No.	Waste	Area (ha)	Covering Volume (m ³)	Borrow pit No.	Capacity (m ³)	Soil in Borrow (cm)	Paved road (km)	Unpaved (km)	Non road (km)	Soil in Waste (ton)	Total distance (km)	Volume (m ³)
81	Saugo upper	Su-1	100	BR	6.0	30,000	Nb	30,000	0.05	-	-	0.50	0.20	0.75	22,500
82	Saugo upper	Su-1	97,98	BR	20.5	102,500	Nb	102,500	0.10	-	-	0.50	0.65	1.25	30,000
83	Saugo upper	Su-1	99	OV	10.0	50,000	Nb	50,000	0.05	-	-	0.50	0.05	0.60	500,000
84	Saugo upper	Su-2	101	BR	40.0	200,000	Ab-1	360,000	0.17	-	1.93	0.10	0.30	2.50	100,000
85	Saugo upper	Su-3	102	BR	10.0	50,000	Ab-1	(360,000)	0.17	-	1.68	0.10	0.15	3.00	120,000
86	Saugo upper	Su-4	104	BR	8.0	40,000	Ab-1	(360,000)	0.17	-	2.58	0.50	0.20	0.77	42,350
87	Saugo upper	Su-4	105	BR	11.0	55,000	Nb	55,000	0.07	-	-	0.50	0.20	0.85	85,000
88	Saugo upper	Su-4	106	BR	20.0	100,000	Nb	100,000	0.10	-	-	0.50	0.20	1.00	35,000
89	Saugo upper	Su-5	109	BR	7.0	35,000	Ab-2	620,000	0.20	-	0.20	0.40	0.20	3.00	210,000
90	Saugo upper	Su-6	103	BR	14.0	70,000	Ab-1	(360,000)	0.17	-	2.50	0.10	0.23	3.00	1,272,975
	Subtotal				146.5	732,500		1,317,500							1,049,000
91	Saugo middle	Sm-1	147	BR	40.0	200,000	Ab-4	747,500	0.23	-	4.47	0.20	0.30	5.20	25,000
92	Saugo middle	Sm-2	110	BR	2.0	10,000	Ab-2	(620,000)	0.20	-	1.80	0.40	0.10	2.50	25,000
93	Saugo middle	Sm-2	111	BR	10.0	50,000	Ab-2	(620,000)	0.20	-	2.15	0.40	0.25	3.00	150,000
94	Saugo middle	Sm-2	112	BR	28.0	140,000	Ab-5	755,000	0.25	-	4.35	-	-	5.00	700,000
95	Saugo middle	Sm-3	152	BR	123.0	615,000	Ab-5	(755,000)	0.25	-	4.15	-	1.10	5.50	3,282,500
96	Saugo middle	Sm-3	156	BR	8.0	40,000	Nb	40,000	0.06	-	-	0.50	0.20	0.76	30,400
97	Saugo middle	Sm-3	153	BR	9.0	45,000	Ab-4	(747,500)	0.23	-	1.37	0.20	0.20	2.00	90,000
98	Saugo middle	Sm-4	157,158	BR	56.0	280,000	Nb	280,000	0.15	-	-	0.50	0.80	1.45	406,000
99	Saugo middle	Sm-4	155	BR	7.0	35,000	Nb	35,000	0.05	-	-	0.50	0.20	0.75	26,250
	Subtotal				283.0	1,415,000		618							5,850,150
100	Saugo down	Sd-1	165,166,167	BR	245.7	1,228,500	Ab-8	2,399,500	0.45	-	1.25	0.30	1.00	3.00	3,685,500
101	Saugo down	Sd-1	167	BR	12.5	62,500	Nb	62,500	0.70	-	-	0.50	0.30	1.50	93,750
102	Saugo down	Sd-2	159,160,161,163	BR	157.2	786,000	Ab-8	(79,9)	(1,751,000)	0.45	-	2.05	0.30	1.20	3,144,000
103	Saugo down	Sd-2	162	BR	8.0	40,000	Ab-8	(79,9)	(1,751,000)	0.45	-	2.00	0.30	2.25	120,000
104	Saugo down	Sd-2	164	BR	7.0	35,000	Ab-8	(79,9)	(1,751,000)	0.45	-	2.00	0.30	2.25	105,000
	Subtotal				430.4	2,152,000		82.0							7,148,250
105	Saugo brush	Sb	116	BR	18.0	90,000	Nb	90,000	0.10	-	-	0.50	0.20	0.80	72,000
106	Saugo brush	Sb	117,118	BR	78.0	390,000	Nb	390,000	0.18	-	-	0.50	0.50	1.18	460,200
	Subtotal				96.0	480,000									532,200
107	Masa	Ma-1	129	BR	3.0	15,000	Nb	15,000	-	-	-	0.50	0.10	0.60	5,600
108	Masa	Ma-1	127	BR	2.0	10,000	Nb	10,000	-	-	-	0.50	0.06	0.56	108,000
109	Masa	Ma-1	126,124,125	BR	24.0	120,000	Nb	120,000	0.10	-	-	0.50	0.30	0.90	121,500
110	Masa	Ma-2	131	BR	27.0	135,000	Nb	135,000	0.10	-	-	0.50	0.30	0.90	9,750
111	Masa	Ma-2	135	BR	1.5	7,500	Ab-3	357,500	0.16	-	1.06	-	0.08	1.30	319,000
112	Masa	Ma-2	132,136	BR	29.0	145,000	Ab-3	(11,9)	(357,500)	0.16	-	1.64	-	2.20	30,000
113	Masa	Ma-2	133	BR	3.0	15,000	Ab-3	(11,9)	(357,500)	0.16	-	1.77	-	2.00	240,000
114	Masa	Ma-2	130	BR	24.0	120,000	Ab-3	(11,9)	(357,500)	0.16	-	1.44	-	2.00	495,200
115	Masa	Ma-3	137,138	BR	72.0	360,000	Nb	360,000	0.17	-	-	0.50	0.70	1.37	56,250
116	Masa	Ma-3	142	BR	3.5	17,500	Ab-3	(11,9)	(357,500)	0.16	-	2.14	-	2.50	5,700
117	Masa	Ma-3	141	OW	4.5	22,500	Ab-3	(11,9)	(357,500)	0.16	-	2.14	-	2.50	44,600
118	Masa	Ma-3	134	BR	2.0	10,000	Nb	10,000	-	-	-	0.50	0.07	0.57	22,300
119	Masa	Ma-4	139	OW	4.0	20,000	Ab-3	(11,9)	(357,500)	0.16	-	2.00	-	2.23	10,000
120	Masa	Ma-4	140	OW	2.0	10,000	Ab-3	(11,9)	(357,500)	0.16	-	2.00	-	2.23	54,000
121	Masa	Ma-5	145	OV	4.0	20,000	Nb	20,000	0.10	-	-	0.50	0.10	0.50	45,000
122	Masa	Ma-5	146	BR	12.0	60,000	Nb	60,000	0.10	-	-	0.50	0.30	0.90	52,500
123	Masa	Ma-5	149	BR	2.5	12,500	Ab-4	(24,9)	(747,500)	0.23	-	3.10	0.20	3.60	46,200
124	Masa	Ma-5	148	BR	3.0	15,000	Ab-4	(24,9)	(747,500)	0.23	-	2.99	0.20	3.50	317,050
125	Masa	Ma-5	150	OW	12.0	60,000	Nb	60,000	0.10	-	-	0.50	0.17	0.77	2,033,400
126	Masa	Ma-5	151	OW	17.0	85,000	Ab-4	(24,9)	(747,500)	0.23	-	3.10	0.20	3.73	390,000
	Subtotal				252.0	1,260,000		38.0							27,480
127	Masa Luzon	L	154	BR	78.0	390,000	Ab-4	(24,9)	(747,500)	0.23	-	0.07	0.20	0.50	850,000
128	Masa Luzon	LS-1	170	BR	6.9	34,500	Nb	34,500	0.05	-	-	0.50	0.25	0.80	700,000
129	Masa Luzon	LS-2	168	BR	34.0	170,000	Ab-8	(79,9)	(1,751,000)	0.45	-	3.85	0.30	5.00	1,967,480
130	Masa Luzon	LS-2	169	BR	28.0	140,000	Ab-8	(79,9)	(1,751,000)	0.45	-	3.95	0.30	5.00	19,000
	Subtotal				146.9	734,500		1.1							24,375
131	Roncon upper	Ru	108	BR	0.5	2,500	Nb	2,500	-	-	-	0.50	0.05	0.55	650,000
132	Roncon upper	Ru	107	BR	7.5	37,500	Nb	37,500	-	-	-	0.50	0.15	0.65	875,000
133	Roncon middle	Rm	119,120	OV	25.0	125,000	Ab-2	(20,7)	(620,000)	0.20	-	4.30	0.40	5.20	1,625,000
134	Roncon middle	Rm	121,122	BR	30.0	150,000	Ab-2	(20,7)	(620,000)	0.20	-	4.30	0.40	5.50	3,125,750
135	Roncon middle	Rm	122	BR	30.0	150,000	Ab-2	(20,7)	(620,000)	0.20	-	5.20	0.40	6.30	19,000
	Subtotal				113.0	565,000		0.3							13,000
136	Chocoma	Cr	113	BR	3.8	19,000	Nb	19,000	-	-	-	0.50	0.50	1.00	70,400
137	Chocoma	Cr	114	BR	4.0	20,000	Nb	20,000	-	-	-	0.50	0.15	0.65	102,400
138	Chocoma	Cr	115	BR	16.0	80,000	Nb	80,000	0.08	-	-	0.50	0.30	0.88	31,240
	Subtotal				23.8	119,000		3.9							219,600
139	Dua Perosa	Dp	171	BR	8.8	44,000	Nb	44,000	0.06	-	-	0.50	0.15	0.71	250,840
140	Dua Perosa	Dp	172	BR	36.0	180,000	Nb	180,000	0.12	-	-	0.50	0.60	1.22	22,283,445
	Subtotal				44.8	224,000		7.5							77,406,280
	Total				1,536.4	7,681,850		255.3							
	Grand total				4,287.1	21,435,600		709.4							

Nb: From Nearby clay distribution area

表 F-6(3/3) 粘土および粘性土 (運搬料及び距離)

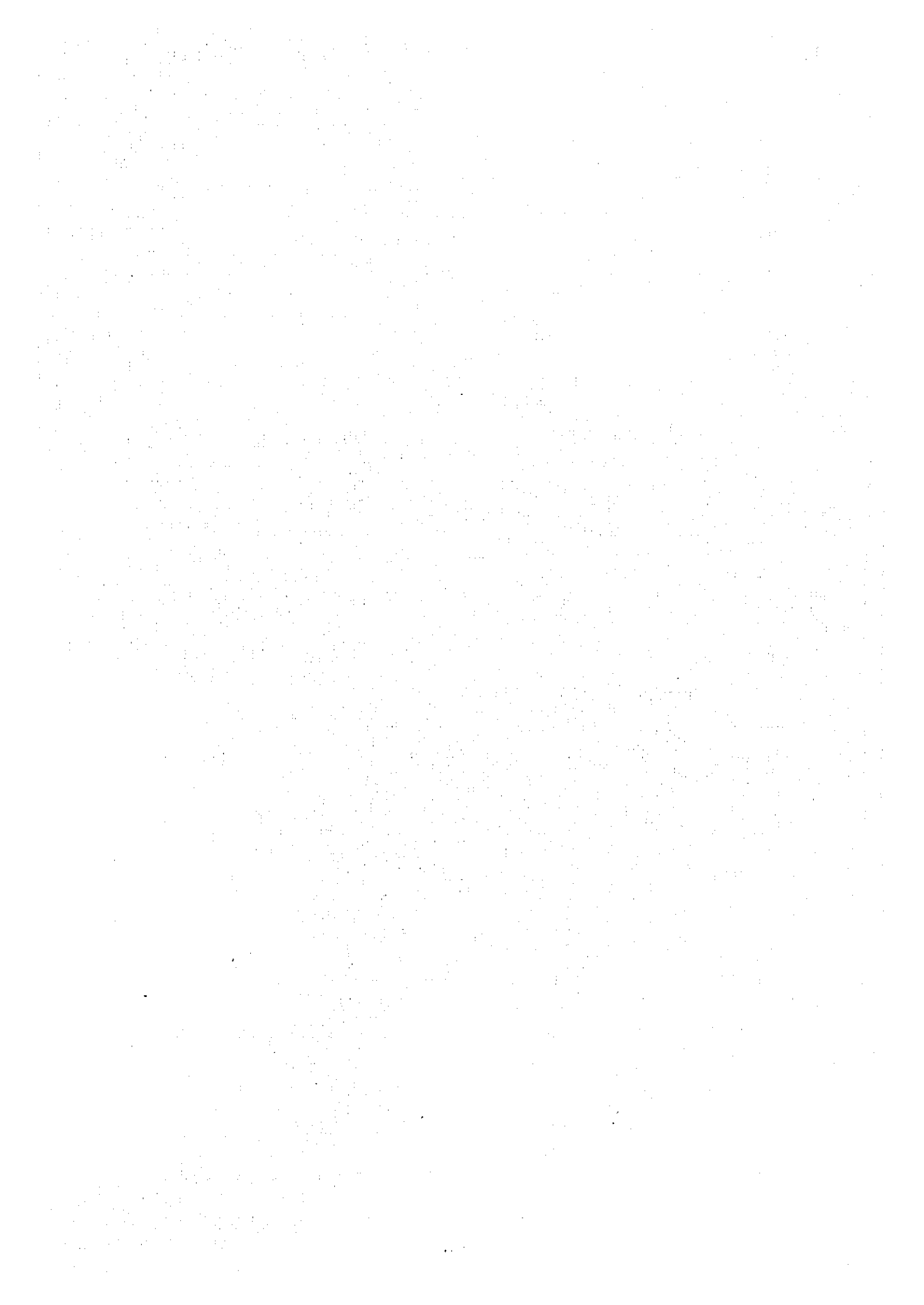
Black Reject
(Northern Area)

No.	Area	Waste No.	Waste	Area (ha)	Covering Volume (m ³)	Borrow pit No.	Borrow pit Area (ha)	Capacity (m ³)	Road (in Borrow) (km)	Paved road (km)	Unpaved (km)	Non road (km)	Road (in Waste) (km)	Total distance (km)	Volume (m ³) x distance (km)
1	Rocinha	R-1	BR	11.4	57,000	Gb-1	10.0	927,000	0.30	-	0.80	-	0.60	1.70	96,900
2	Rocinha	R-2	BR	43.0	223,200	Rb1-8	12.6	356,000	0.30	-	-	-	-	1.83	652,830
3	Barro Branco	B-7	BR	56.4	282,200	Fb-5	12.6	1,283,000	0.25	-	1.75	-	0.30	2.66	749,730
4	Juazeira	J-13	BR	8.0	40,000	Fb-5	4.4	105,000	0.25	-	-	-	0.30	2.30	92,000
5	Juazeira	J-15	BR	43.2	216,000	Ib-1	130.8	5,232,000	0.30	-	1.30	-	0.30	1.90	410,400
6	Juazeira	J-16	BR	8.2	41,000	Ib-1	(130.8)	(5,232,000)	0.50	-	4.00	-	0.40	4.90	200,900
7	Juazeira	J-17	BR	26.6	133,000	Ib-1	(130.8)	(5,232,000)	0.70	-	5.00	-	0.80	6.50	864,500
8	Carvão	C-1	BR	106.3	501,500	Ib-1	130.8	5,232,000	0.70	-	6.60	-	0.70	8.00	892,000
9	Carvão	C-1	BR	10.6	53,000	Cb-1	5.6	314,000	0.10	-	-	0.05	0.90	1.05	55,650
10	Carvão	C-5	BR	122.6	613,000	Cb-1.2	5.6	352,000	0.20	-	-	0.25	0.90	1.35	87,550
11	Deserto	D-1	BR	25.0	125,000	Cb-7	14.4	576,000	0.70	-	4.50	-	0.50	5.70	712,500
12	Deserto	D-2	BR	158.2	791,000	Db-1	25.6	1,242,000	0.10	-	-	0.80	0.35	2.02	1,595,700
13	Treviso	T-2	BR	38.2	191,000	Tb-1	5.2	291,000	0.15	-	0.20	-	0.30	0.95	41,800
14	Treviso	T-5	BR	112.8	564,000	Tb-3	48.4	2,420,000	0.30	1.30	5.00	-	0.25	7.05	3,976,200
15	Ruipo	P-1	BR	2.2	11,000	Pb-1	53.6	2,711,000	0.25	-	1.00	-	0.80	2.05	22,550
16	Ruipo	P-2	BR	34.8	174,000	Pb-1	(12.0)	(816,000)	0.25	-	2.60	-	0.40	3.25	565,500
17	Sideropolis	S-2	BR	37.0	185,000	Sb-1	12.0	816,000	0.45	1.70	3.00	-	0.70	3.85	3,790,800
18	Sideropolis	S-2	BR	129.6	648,000	Sb-1	(20.0)	(1,260,000)	0.45	1.70	3.00	-	0.70	5.85	140,400
19	Sideropolis	S-2	BR	4.4	22,000	Sb-1	(20.0)	(1,260,000)	0.45	1.70	3.00	-	0.70	5.85	128,700
20	Rua Florita	F-1	BR	138.8	694,000	Fb-3	20.0	1,260,000	0.10	0.00	0.35	0.00	1.40	3.30	346,665
21	Rua Florita	F-1*	BR	21.0	105,050	Fb-1*	3.3	140,000	0.10	0.00	0.00	0.10	1.40	1.80	189,090
22	Rua Florita	F-1*	BR	21.0	105,050	Fb-1*	21.8	2,180,000	0.30	0.00	0.00	0.10	1.40	1.80	189,090
23	Total			679.5	3,397,750		314.9	15,993,000						2.60	535,755
															14,269,485

*-substitute

(Southern Area)

No.	Area	Waste No.	Waste	Area (ha)	Covering Volume (m ³)	Borrow pit No.	Borrow pit Area (ha)	Capacity (m ³)	Road (in Borrow) (km)	Paved road (km)	Unpaved (km)	Non road (km)	Road (in Waste) (km)	Total distance (km)	Volume (m ³) x distance (km)
22	Sungao upper	Su-1	BR	6.0	30,000	Nb	1.0	30,000	0.05	-	-	-	0.50	0.75	22,500
23	Sungao upper	Su-1	BR	20.5	102,500	Nb	3.4	102,500	0.10	-	-	-	0.50	0.65	128,125
24	Sungao upper	Su-2	BR	40.0	200,000	Ab-1	12.0	360,000	0.17	-	1.93	-	0.10	2.50	500,000
25	Sungao upper	Su-3	BR	10.0	50,000	Ab-1	(12.0)	(360,000)	0.17	-	1.68	-	0.10	2.00	100,000
26	Sungao upper	Su-4	BR	8.0	40,000	Ab-1	(12.0)	(360,000)	0.17	-	2.58	-	0.10	3.00	120,000
27	Sungao upper	Su-4	BR	11.0	55,000	Nb	1.8	55,000	0.07	-	-	-	0.50	0.77	42,350
28	Sungao upper	Su-4	BR	20.0	100,000	Nb	3.3	100,000	0.10	-	-	-	0.50	0.85	85,000
29	Sungao upper	Su-5	BR	7.0	35,000	Ab-2	20.7	620,000	0.20	-	0.20	-	0.40	1.00	35,000
30	Sungao upper	Su-6	BR	14.0	70,000	Ab-1	(12.0)	(360,000)	0.17	-	2.50	-	0.10	2.23	210,000
31	Sungao middle	Sm-1	BR	136.5	682,500	Ab-4	42.2	1,667,500	0.23	-	4.47	-	0.20	3.00	1,242,975
32	Sungao middle	Sm-2	BR	40.0	200,000	Ab-4	24.9	747,500	0.23	-	1.80	-	0.40	2.50	7,040,000
33	Sungao middle	Sm-2	BR	10.0	50,000	Ab-2	(20.7)	(620,000)	0.20	-	2.15	-	0.40	3.00	25,000
34	Sungao middle	Sm-3	BR	28.0	140,000	Ab-5	25.2	755,000	0.25	-	4.35	-	0.40	5.00	150,000
35	Sungao middle	Sm-3	BR	123.0	615,000	Ab-5	(25.2)	(755,000)	0.25	-	4.15	-	1.10	5.50	700,000
36	Sungao middle	Sm-3	BR	8.0	40,000	Nb	1.3	40,000	0.06	-	-	-	0.50	0.76	30,400
37	Sungao middle	Sm-3	BR	9.0	45,000	Ab-4	(24.9)	(747,500)	0.23	-	1.37	-	0.20	2.00	90,000
38	Sungao middle	Sm-4	BR	56.0	280,000	Nb	9.3	280,000	0.15	-	-	-	0.50	1.45	406,000
39	Sungao middle	Sm-4	BR	7.0	35,000	Nb	1.1	35,000	0.05	-	-	-	0.50	0.75	26,250
40	Sungao down	Sd-1	BR	283.0	1,415,000	Ab-8	61.8	1,857,500	0.45	-	1.25	-	0.30	3.00	5,850,150
41	Sungao down	Sd-1	BR	245.7	1,228,500	Ab-8	79.9	2,399,500	0.70	-	-	-	0.50	1.50	3,685,500
42	Sungao down	Sd-2	BR	157.2	786,000	Ab-8	(79.9)	(2,399,500)	0.45	-	2.05	-	0.30	1.20	93,750
43	Sungao down	Sd-2	BR	8.0	40,000	Ab-8	(79.9)	(2,399,500)	0.45	-	2.00	-	0.30	4.00	3,144,000
44	Sungao down	Sd-2	BR	7.0	35,000	Ab-8	(79.9)	(2,399,500)	0.45	-	2.00	-	0.30	3.00	120,000
45	Sungao brush	Sb	BR	430.4	2,152,000	Nb	82.0	2,462,000	0.10	-	2.00	-	0.20	3.00	105,000
46	Sungao brush	Sb	BR	18.0	90,000	Nb	3.0	90,000	0.10	-	-	-	0.50	0.80	72,000
47	Maua	M-1	BR	78.0	390,000	Nb	13.0	390,000	0.18	-	-	-	0.50	1.18	460,200
48	Maua	M-1	BR	96.0	480,000	Nb	16.0	480,000	0.18	-	-	-	0.50	1.11	532,200
49	Maua	M-1	BR	3.0	15,000	Nb	0.5	15,000	-	-	-	-	0.50	0.60	9,000
50	Maua	M-2	BR	2.0	10,000	Nb	0.3	10,000	-	-	-	-	0.50	0.56	5,600
51	Maua	M-2	BR	24.0	120,000	Nb	4.0	120,000	0.10	-	-	-	0.50	0.90	108,000
52	Maua	M-2	BR	27.0	135,000	Nb	4.5	135,000	0.10	-	-	-	0.50	0.90	121,500
53	Maua	M-2	BR	1.5	7,500	Ab-3	11.9	357,500	0.16	-	1.06	-	0.40	1.30	9,750
54	Maua	M-2	BR	29.0	145,000	Ab-3	(11.9)	(357,500)	0.16	-	1.64	-	0.40	2.20	319,000
55	Maua	M-2	BR	3.0	15,000	Ab-3	(11.9)	(357,500)	0.16	-	1.77	-	0.07	2.00	30,000
56	Maua	M-3	BR	24.0	120,000	Ab-3	(11.9)	(357,500)	0.16	-	1.44	-	0.30	2.00	240,000
57	Maua	M-3	BR	72.0	360,000	Nb	12.0	360,000	0.17	-	-	-	0.50	1.37	493,200
58	Maua	M-3	BR	3.5	17,500	Ab-3	(11.9)	(357,500)	0.16	-	2.14	-	0.20	2.50	43,750
59	Maua	M-5	BR	2.0	10,000	Nb	0.3	10,000	-	-	-	-	0.50	0.57	5,700
60	Maua	M-5	BR	12.0	60,000	Nb	2.0	60,000	0.10	-	-	-	0.50	0.90	54,000
61	Maua	M-5	BR	2.5	12,500	Ab-4	(24.9)	(747,500)	0.23	-	3.10	-	0.20	3.60	45,000
62	Maua	M-5	BR	3.0	15,000	Ab-4	(24.9)	(747,500)	0.23	-	2.99	-	0.20	3.50	52,500
63	Maua	M-5	BR	208.5	1,042,500	Ab-4	35.5	1,067,500	0.23	-	-	-	0.08	1.47	1,537,000
64	Maua	M-5	BR	78.0	390,000	Ab-4	(24.9)	(747,500)	0.23	-	0.07	-	0.20	1.00	390,000
65	Rocosa upper	Ru	BR	6.9	34,500	Nb	1.1	34,500	0.05	-	-	-	0.50	0.80	27,480
66	Rocosa upper	Ru	BR	34.0	170,000	Ab-8	(79.9)	(2,399,500)	0.45	-	3.85	-	0.30	5.00	850,000
67	Rocosa middle	Rm	BR	30.0	150,000	Ab-2	(20.7)	(620,000)	0.20	-	4.30	-	0.40	5.00	700,000
68	Rocosa middle	Rm	BR	88.0	440,000	Ab-2	(20.7)	(620,000)	0.20	-	5.20	-	0.40	6.50	1,625,000
69	Chiluma	Cr	BR	3.8	19,000	Nb	0.6	19,000	-	-	-	-	0.50	1.00	19,000
70	Chiluma	Cr	BR	4.0	20,000	Nb	0.7	20,000	-	-	-	-	0.50	1.15	13,000
71	Chiluma	Cr	BR	16.0	80,000	Nb	2.6	80,000	0.08	-	-	-	0.50	0.30	70,400
72	Doa Ponsoa	Dp	BR	23.8	119,000	Nb	3.9	119,000	0.06	-	-	-	0.50	0.71	31,240
73	Doa Ponsoa	Dp	BR	36.0	180,000	Nb	6.0	1							



- i) Criciúmaより南の平野部に供給を求める。
- ii) 粘土を覆う表土の代替え物としてRio Bonito層上部が風化した砂混じり粘性土利用の可能性の検討。

4. 初期環境調査

16. 開発想定地域の初期環境調査はJICAのガイドラインに従って行った。予想地域及び近隣地域に対し、開発中及び開発後の社会、自然環境上の観点から検討されたが、現状から心配する様な影響は考えられない。但し、掘削中及びその後の流水、浸食及び開発後の景観については十分に配慮すべきである。それらは開発設計及び開発中の諸対策により処理が可能である。掘削後の現場復帰は横持ちした原表土での被覆、必要に応じ白ボタで凹部を充填し、粘土、原表土で覆うことが改善プログラムに含まれる。諸材料を運搬するためのトラック通行量の増大は周辺のコミュニティに粉塵及び交通事故の増大をもたらす結果となる。それらの全てはプロジェクトの実施に当たり改めて調査、検討されなければならない。

5. 石灰岩及び貝殻灰

17. サンタカタリーナ州の地質は、基盤としての先カンブリアの地層、ゴンドワナ期の地層及びこれらを覆う白亜紀の玄武岩溶岩からなる。先カンブリア紀層はサンタカタリーナ州の東部に分布し、当時の地質構造の発達に準じて下記に示した4帯からなる。

時代	層群及び岩体	地質
1. 初期原生代	花崗質岩類	花崗岩、混成岩
2. 初期-中期原生代	Itajai 層群	礫岩、砂岩
3. 後期原生代	Brusque 複合体	砂岩、石灰岩
4. 始生代	花崗岩、片麻岩複合体	花崗岩、片麻岩及び片岩

18. このBrusque 複合体は石灰岩を夾在する珪質砂岩からなり、一般に北東-南西の走向で約80度で西側に傾斜する。全体的に石灰岩は様々な層準に厚さ10~50m、延長50~300mのレンズ状に夾在する。その多くは、変成作用を受けており、層によってはドロマイト質石灰岩化している。DNPMの資料によると、Camboriu、Lagas、Rio do Campo、Vidal Ramos 及びBotuvera地区で分布が知られ調査されているが、現在、Botuvera地区でただ3採石場があるに過ぎない。

(a) 稼働採石場視察

19. Botuvera 地区では、30の夾在層が地質技師等によって認められている。その内 Botuvera 町近くの3地域で、3会社がそれぞれ採石をおこなっている。採石の現状及び採石条件は表 F-7に、品質は表 F-8に示してある。

(b) Rio Grande do Sul 州の砕石場開発

20. Rio Grande do Sul 州では、Cimento Portland Gaucho 社が Pinheiro Machado の自社セメント工場に供給するため同州の Caniota に2採石場が開発されている。月の生産量は約600,000tである。石灰岩は厚さ50~70mで厚い砂岩層中にレンズ状で夾在し、サンタカタリーナ州に分布する Brusque 複合体のものに対比される。産出する石灰岩の品質は表 F-8に示してある。

(c) 貝殻化石

21. 第四紀層に認められる貝殻層は沿岸部に分布し、1~4mの厚さで20~40%の貝化石を含んでいるが、その詳しい分布状況は把握されていない。現在、2会社が土壤改良材を生産している。各会社の生産量及び品質は表 F-8に示した通りである。

表 F-7
現稼動採石場とその状況

Company : Companhia de Cimento Portland Rio Branco

- Head office Itajai, Santa Catarina
- Location of quarry Ribeirao do Ouro, Botuvera
2.5km west of Botuvera town
- Deposits of limestone bed Lenticular form
Length of bed-Approximately 200m
Thickness- Approximately 20m
- Geologic structure Homocline structure
N45E65NW
- Workable reserves 9,400t (by data of DNPM)
- Face length for the quarrying 20m
- Face condition Bad condition
- Production Interbeded sandstone and limestone approximetry 5m,separetry
100-200 tons / year
- Another facility Non
Transport the aggregate to Itajai by truck
- Other concession 1) Camboriu, Santa Catarina
2) Vidal Ramos (west of Botuvera district) Planning stage.
- * Quarry of Botuvera currently carried out by contractor (Mineracao Areias Ltda)

Company: Calwer Mineracao Ltda

- Head office: Estrada Geral Ribeirao do Ouro
- Location of quarry Ribeirao do Ouro, Botuvera
1km west of Botuvera town
- Deposits of Limestone bed Lenticular intercalated bed in thick sandstone bed
Length-approximately 300m
width-approximately 150m
- Geologic structure Homocline structure
N58E
- Workable reserves 2,000,000 ton
- Face length for quarrying Approximately 50m
- Mining condition Excellent
Contains intercalated thin claystone
- Products 100 tons (1995)
- Use Neutrizer for soil improvement
- Facility Crusher & Screen, Capacity:Max 400,000 tons /year
- Other concession 1) Vidal Ramos district

Company: Mineracao Rio do Ouro Ltda

- Head office Estrada Geral s/n
- Location of quarry Lageado, Botuvera
2.5km west of Botuvera town
- Deposits of limestone bed Contains intercalated thin sandstone
Length-approximately 500m
Thickness-Approximately 150m
- Geologic structure Homocline
N60E50NW
- Workable reserves 4,450,000 tons
- Face length Approximately 50m
- Mining condition Excellent
Contains intercalated thin sandstone
- Products 128,430 tons (1995)
- Facility Crusher & Screen, Capacity, 200,000 tons/year

表 F-8
石灰石の品質と化石石灰石

State Company*	Santa Catarina		Rio Grande do Sul		Santa Catarina		ICAM Jaguaruna Fossil shell
	C.C.P.R.B. Botuvera Limestone	(Vidal Ramos)** Limestone	Calwer Botuvera Dolomitic Ls	Rio do Ouro Botuvera Dolomitic Ls	C.C.P.G. Candota Limestone	Sao Gabriel Limestone	
Raw Material	-	-	-	-	-	-	-
[Quality]	-	-	-	-	-	-	-
Calcium carbonate(CaCO ₃)%	50.0	45.0	29.8	28.7	41.5	48.0	95.0
Calcium oxide(CaO) %	2.1	1.0-2.0	20.8	21.4	4.5	4.5	54.0
Magnesium oxide(MgO) %	-	-	-	-	-	-	0.32
Boron oxide(B ₂ O ₃) %	-	-	-	-	-	-	0.056
Molybdenum(Mo)	-	-	-	-	-	-	(10ppm)
Zinc(Zn)	-	-	-	-	-	-	(13ppm)
Copper(Cu)	-	-	-	-	-	-	(7ppm)
Silicon Oxide(SiO ₂) %	-	-	-	-	15.0	8.5	3.0
Sulfate %	-	-	-	96.8	-	-	1.5
PN	-	-	-	81	-	-	94.0
PRNT	-	-	-	-	-	-	75.0
[Size]	-	-	-	-	-	-	-
>2mm	-	-	-	0.2	-	6-7inch	-
Passing 2mm	-	-	-	100	-	-	-
passing 0.84mm	-	-	-	93	-	-	-
Passing 0.30mm	-	-	-	67	-	-	-
Supply capacity	-	-	60,000/y	100,000/y	-	-	-
Aggregates	-	-	200,000/y	-	-	-	4,000/m
Fine	-	-	-	-	-	-	-
Price(R\$)	-	-	R\$ 7.00?	R\$ 7.00	-	-	R\$ 64.00(fine) R\$ 60.00(coarse)

*: C.C.P.R.B: Companhia de Cimento Portland Rio Blanco.

Calwer: Calwer Mineracao Ltda.

Rio do Ouro: Mineracao Rio do Ouro Ltda.

C.C.P.G: CIA Cimento Portland Gaucha.

CYSY: CYSY Mineracao Ltda.

Industria Catarinense: Industria Catarinense de Adubos e Mineracao Ltda

**: Planning stage

G. 微生物と植生

1. 植生調査

1.1 目的

01. 復旧対策後の植栽計画の策定に当たっては、植栽される植物が植栽対象となる地域の環境条件及び生態系に適合していることが重要である。特に本プロジェクトの対象となる石炭鉱害の特徴の一つは酸性水による汚染であり、酸性水あるいは酸性土壌に対する耐性が強い植物を選定する必要があることから、現状での植物の分布状況（現存植生）を調査し、各植物の実態を把握するとともに、耐酸性の強い植物選定の参考とする。また、一部地域については、自然植生の修復の必要性も考えられることから、酸性廃水、ボタ等がない場合に自生していたと推定される自然植生（潜在植生）についても把握しておく必要があると考えられる。そこで本プロジェクトでは、FSサイト及びその周辺域を対象として植生調査を実施し、現存植生及び潜在植生を把握し、復旧対策実施後に植栽可能な植物を選定するための基礎資料とした。

1.2 調査方法

02. FSサイト4ヶ所および周辺域の植生状況の概略を把握するために、航空写真および相観に基づき植生図を作成した。また、FSサイト内および周辺域を対象として相観による植生調査を実施し、優占植物種を記録した。優占種の記載には Ellenberg の優先度指数 (Dominance Index) を使用した。

優占度 : 5	-	Coverage	> 3/4
4	-	Coverage	1/2 - 3/4
3	-	Coverage	1/4 - 1/2
2	-	Coverage	1/10 - 1/4
1	-	Small number or small coverage	
+	-	rare	
r	-	very rare	

(Ellenberg Dominance Index)

1.3 各調査地点の概要

03. 各サンプリング箇所の状況は以下の通りである。

i) Rocinha

R1 : Rocinha 川上流部の森林が広がる地域。土壌は粘土質で炭鉱による汚染は見られない。

R2 : Rocinha 川河畔の堤防上の林。ボタ廃棄場所の中に位置する。

R3 : ボタ廃棄場所内に島状に草本類が生育する地点。粘土質の土壌である。

R4 : 低木が生育する。調整プラントに続く道路沿いの汚染されていない粘土質の斜面で遷移の第1～第2段階である。周囲はボタ廃棄場所として使用されている。

ii) Carvão

S1 : 13年前に放棄された露天掘り跡。草本、低木層から成り、自然な遷移の第2段階にある。

S2 : S1と同様であるが、より豊かな植生が見られる。

S3 : C.C.Uの縦坑付近。露天掘り地点ではない。粘土質の土壌で遷移の第2段階にある。

S4 : 汚染の見られない粘土質の土壌、2次林。

S5 : C.C.Uのボタ廃棄場所である。厚さ70cmの粘土層に覆われている。

S6 : 植被の見られない露天掘り跡。ユーカリ類や自然の低木類がみられる。

iii) Fiorita

F1 : 放棄された露天掘り跡で、草本類と低木が見られる。遷移の第2段階にある。

F2 : 植被の見られない露天掘り跡。ユーカリ類の生えている頂上部には薄い粘土層が存在する。自然の遷移による低木類が見られる。

F3 : 粘土質の土壌。汚染はない。過去に植栽されたものである可能性がある。

F4 : 2次的な、よく保存された森林。擾乱を受けていない粘土質の土壌である。

iv) Capivari

E1 : 汚染を受けていない、砂質の乾燥した土壌。

E2 : 汚染を受けていない湿原で、泥炭もしくは砂質土壌である。

E3 : 50cm幅の狭い粘土質の土壌である。ボタ廃棄場所上にある。

1.4 調査結果および考察

04. FSサイトおよび周辺域の現存及び潜在植生図を図 G-1に示す。また、調査地域における遷移の初期段階における侵入種（パイオニアプラント）について表 G-1に示す。調査地点は土地の履歴から大別して下記の5つのタイプに分類することができる。

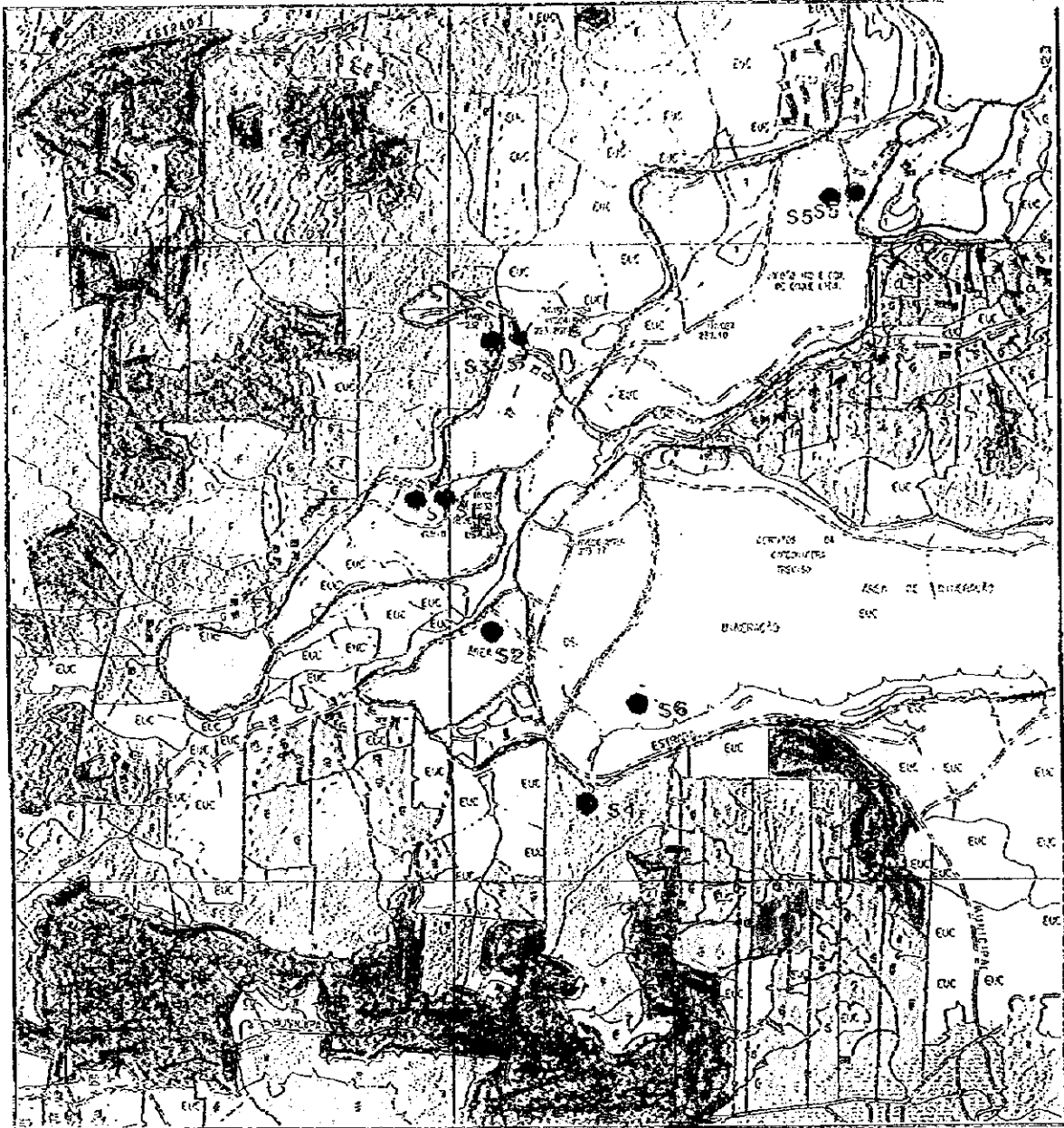
- ・ Type 1 : 人為的な植生の擾乱が行われていない場所（自然林） : R1,S4,F4,E2
- ・ Type 2 : 植物伐採により自然植生は失われたが、採炭活動による土壌の汚染はない地域 : R4,F3,E1
- ・ Type 3 : 採炭後、覆土および再植栽が行われた地域（下層の土壌は採炭活動により汚染されている） : F2,S5
- ・ Type 4 : 採炭後覆土は行われたが、植栽は行われていない地域（下層の土壌は採炭活動により汚染されている） : R2,R3,S1,S2,F1,E3
- ・ Type 5 : 採炭により表土が失われている地域 : S6

05. Type 5に属する地域では、植物の生長は悪く、植物相は貧相である。これに比べ、Type 4に属する地域では、植物の多様性は低く、侵入植物種も草本が中心ではあるが、植物の成長は早い傾向が認められた。Type 3の地域では、Type 4の地域よりもさらに多くの植物種の移入が認められた。Type 3の地域への移入種は非汚染域における移入種と大きな差が認められず、採炭後の覆土および植栽が極めて有効であると考えられた。また、Type 1に属する地域では植生の多様性が高く、多くの植物種が混在していた。

1.5 植生修復地調査

06. サンタカタリーナ州南部において一般に植生回復に利用され植物に関するデータ、情報を収集するため、既存の植生修復事例に関するヒアリング調査および修復地の現地踏査を実施した。調査対象となった事例を以下に示す。

- ⇒ 環境修復試験地 : Project M (FATIMA による環境修復試験) および Project Itanema (EPAGRI、UNESC、Carbonifera Treviso 社による環境修復試験)
- ⇒ 民間企業による植栽修復地、Santana 修復地、Siderópolis (Dalbo 社による修復地)、MINA PORTÃO ITANEMA 修復地



SCALE:1/20000

LEGEND

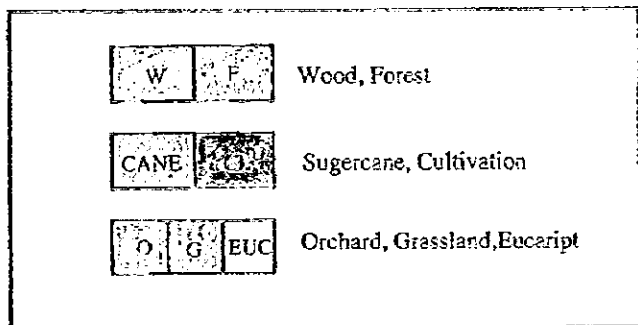
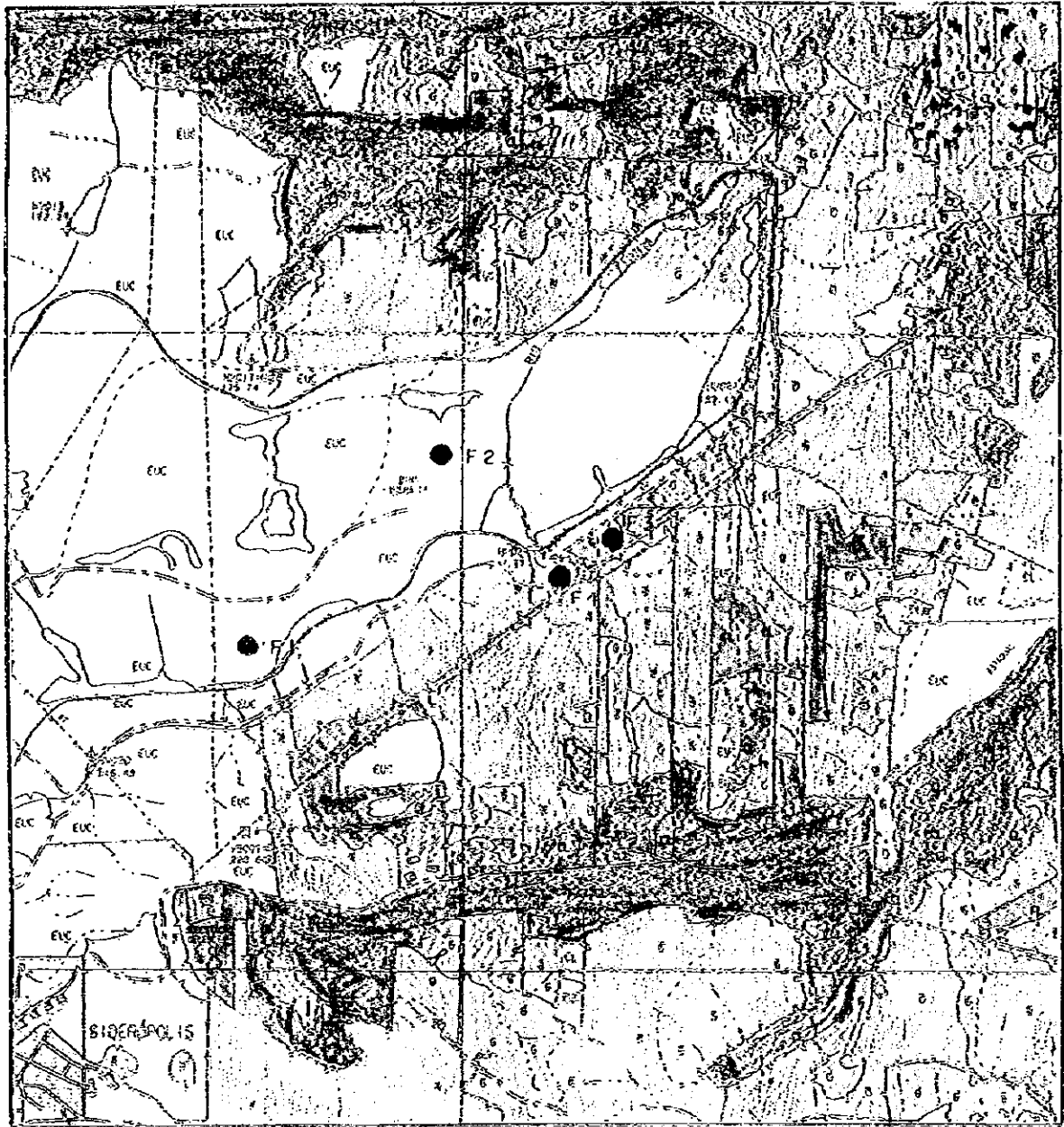


図 G-1(1/4) Rocinha ES サイトにおける現存植生図



SCALE:1/20000

LEGEND

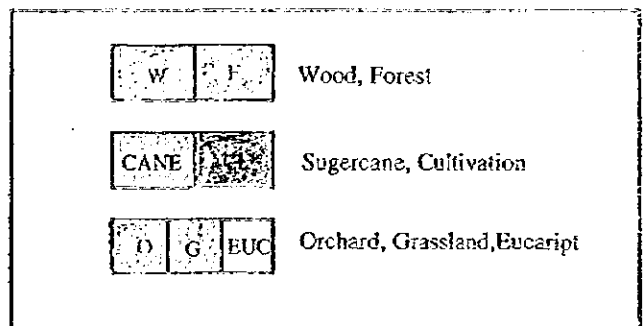
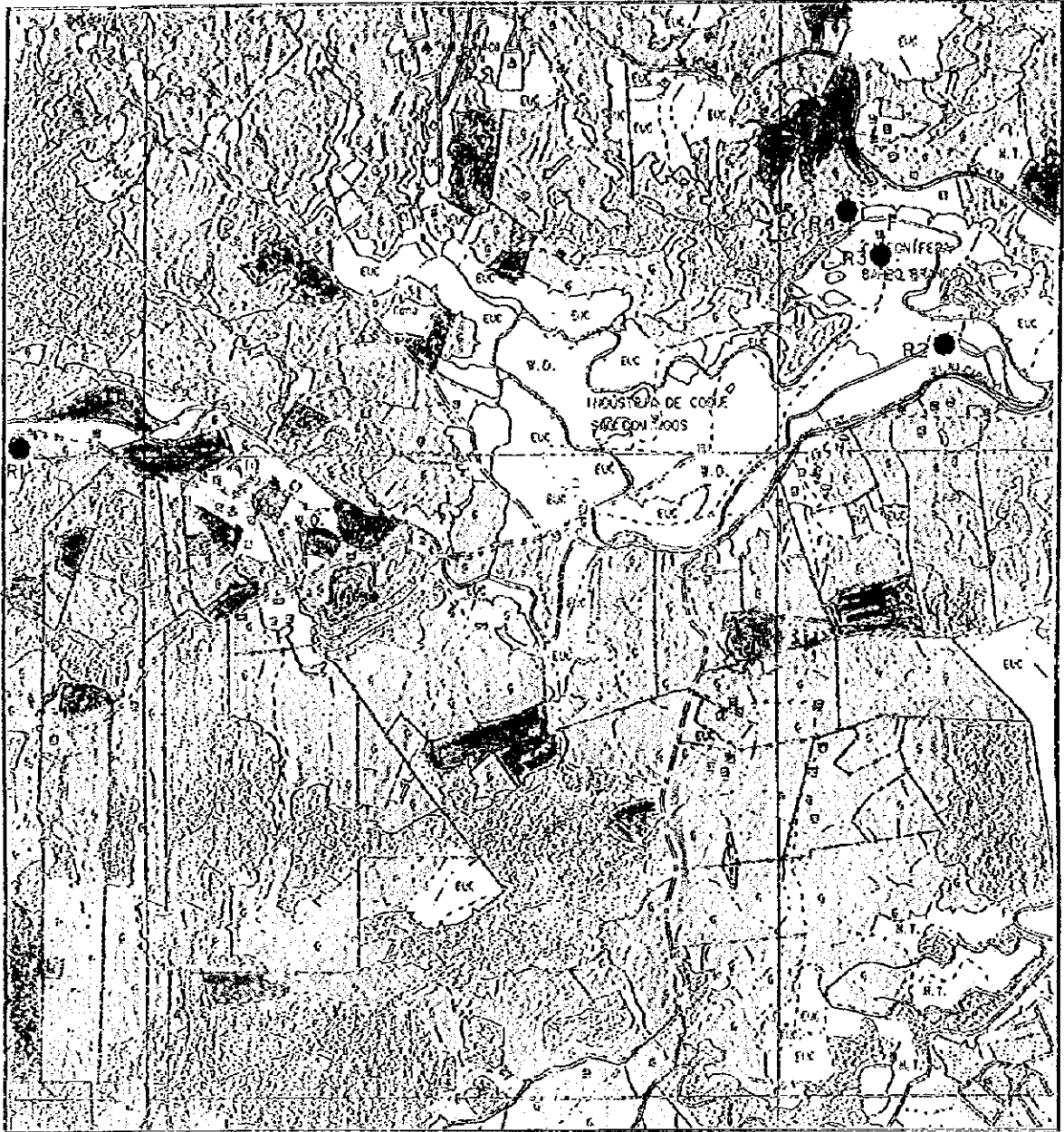


図 G-1(2/4)

Carvao FS サイトにおける現存植生図



SCALE:1/20000

LEGEND

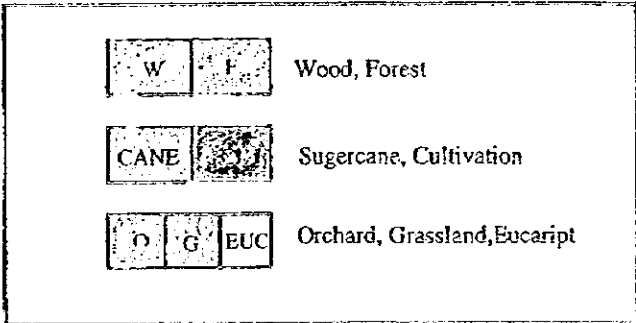
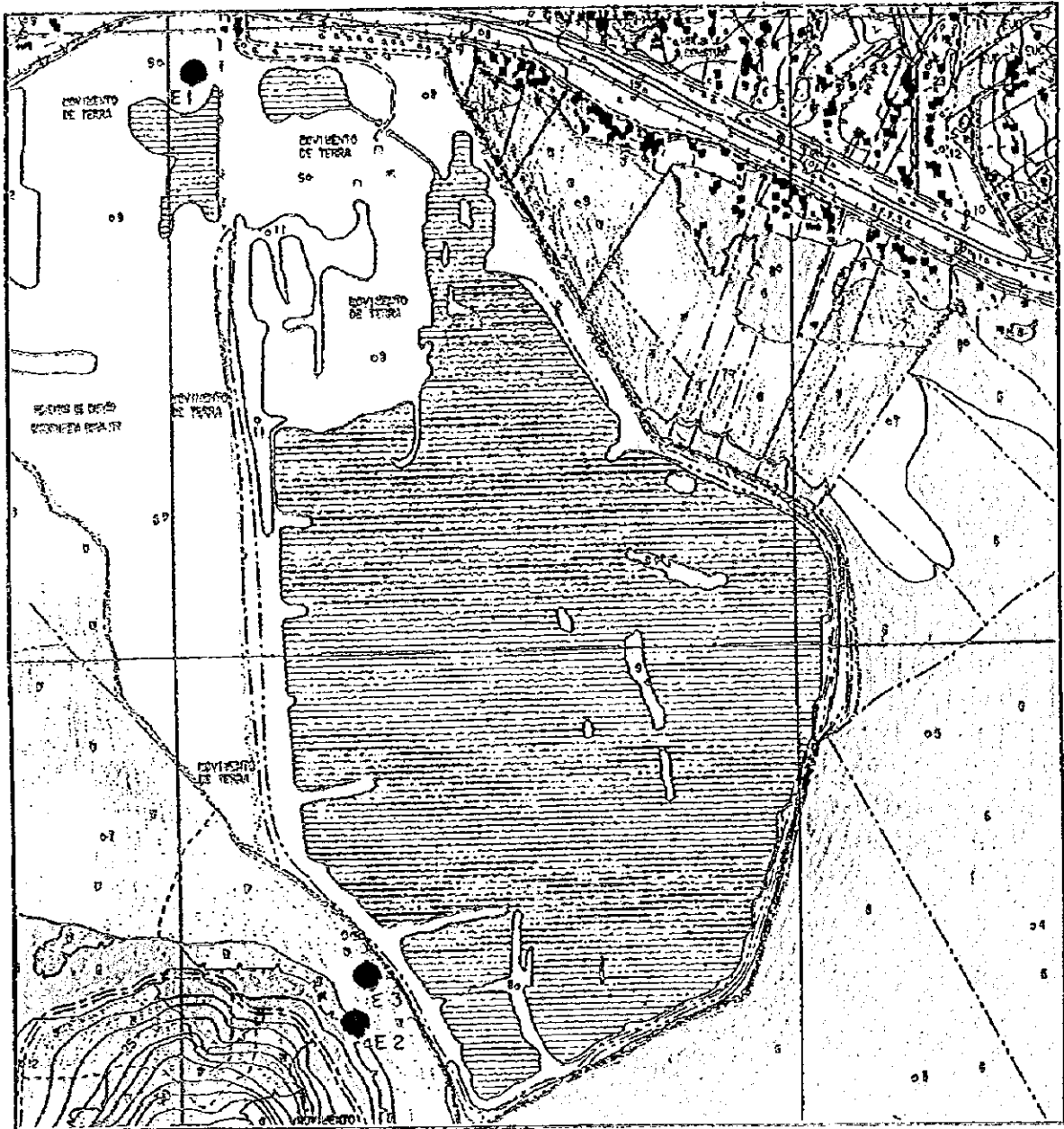


図 G-1(3/4) Fiorita FS サイトにおける現存植生図



SCALE:1/20000

LEGEND

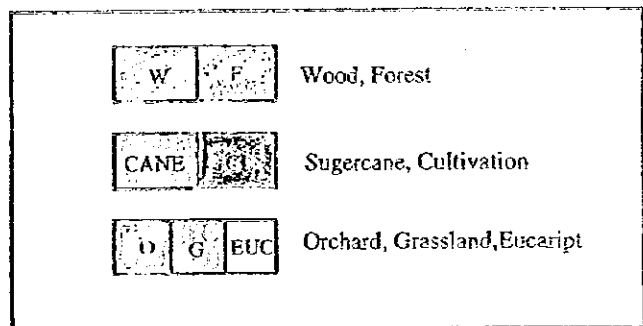


図 G-1(4/4) Capivari FS サイトにおける現存植生図

表 G-1

遷移の初期段階における侵入種 (バイオニアプラント)

No.	Family	Scientific name	Common name
1	Asteraceae	<i>Baccharis dracunculifolia</i>	Vassoura (broom)
2		<i>Eupatorium bupleurifolium</i>	Vassoura -do-campo
3		<i>Eupatorium intermedium</i>	eupatorio
4		<i>Eupatorium tremulum</i>	vassourao-do-brejo
5		<i>Vernonia Scorpioides</i>	erva-de-sao simao
6		<i>Vernonia tweediana</i>	assapeixe, chamarrita
7	Clethraceae	<i>Clethra scabra</i>	cajuja, carne-de-vaca
8	Cyperaceae	<i>Scirpus giganteus</i>	palha
9	Euphorbiaceae	<i>Alchomea triplinervia</i>	tanheiro, tapia-guacu
10		<i>Croton celtidifolius</i>	sangue-de-drago
11	Juncaceae	<i>Juncus sellowianus</i>	junco
12	Leguminosae	<i>Acacia meamsii</i>	acacia-negra, black wattle
13		<i>Mimosa Bimucronata</i>	marica, espinheiro, silva
14		<i>Mimosa scabrella</i>	bracatinga
15		<i>Senna multijuga</i>	aleluia
16	Melastomataceae	<i>Tibouchina sellowiana</i>	quaresmeira
17	Myrsinaceae	<i>Rapanea farruginea</i>	capororoca
18	Myrtaceae	<i>Psidium cattleianum</i>	araca-amarelo, aracazeiro
19	Poaceae (Gramineae)	<i>Andropogon bicornis</i>	rabo-de-burro
20		<i>Andropogon leucostachyus</i>	capim-colchao
21		<i>Axonopus fissifolius</i>	grama-missioneira
22		<i>Axonopus obtusifolius</i>	grama-de-folha-larga
23		<i>Axonopus sp. (1)</i>	-
24		<i>Axonopus sp. (2)</i>	-
25		<i>Brachiaria sp.</i>	-
26		<i>Melinis minutiflora</i>	capim-gordura
27		<i>Panicum hians</i>	pastinho tenro
28		<i>Paspalum pumilum</i>	grama-kikuio
29		<i>Rhynchelytrum repens</i>	capim-grafanhoto
30	Pteridaceae	<i>Pityrogramma calomelanos</i>	pitirograma-lindo-negra
31		<i>Pteridium aquilinum</i>	samambaia-das-taperas
32		<i>Trema micrantha</i>	grandiuva

07. Project M、Project Itancma 等の環境修復試験においては、主にユーカリ類 (Eucalipus saligna、Eucalipus viminalis、Eucalipus citriodora)、マツ類 (Pinus Tacda、Pinus eliotis) 等の有用種が供試植物として植えられていた。また、Mimosa scabrella (Bracatinga)、Inga sessilis (Inga macaco)、Inga marginata (Inga feijao) 等の豆科植物についても再植栽種としての有効性が試験されていた。

08. 民間業者による環境修復事例では、主に Brachiaria decumbens、Lolium multiflorum、Melinis minutiflora、Eragrostis curvula、Axnopus affinis、Axonopus obtusifolius 等の芝類が植栽されていた。また、有用植物としてユーカリ類やマツ類も植えられていた。一般的な植生種類について表 G-2 に示す。但し、ユーカリ類は根茎の発達が著しく、土壌の不透水層の破壊を招く可能性があることから、環境修復のための植栽種として不適切であると考えられる。

1.6 植物種の検討

09. 収集資料、既存事例及びヒアリング調査結果に基づき、FS サイトに植栽が考えられる植物種を抽出した。植栽可能種の抽出は、以下のような観点を考慮して行った。

- ・生育条件への適合性 (特に pH 耐性)
- ・入手の容易さ
- ・環境改善効果 (浸食防止、洪水防止、地滑り防止等の効果を含む)
- ・土地利用目的への適合性
- ・植物の商品的価値
- ・生態学的な重要性

10. 一般的に植生回復に使用されている植物種について表 G-3 に示した。これらの植物は経済的価値は高いが、自然植生の回復という観点からは見るとあまり適しているとは言えない。特に Eucalipus (ユーカリ類) は根茎が発達し、FS サイト修復のための不透水層を破壊する恐れもあるため使用は好ましくないと思われる。表 G-4 には地域の生態を考慮した上で適していると思われる種を示した。これらの種は土壌改良能力に優れ、様々に利用することが可能である。特に Mimosa bimocronat、Mimosa scabrella 等のマメ科植物は、窒素固定により土地の肥沃化を促進する上で有用である。FS サイト修復のため不透水層で覆った地域の植栽には根系の発達する木本類は使用できない。そのため植栽には表 G-4 に示す草本類の使用が適していると思われる。

表 G-2

一般的に植栽に利用されている代表種

Scientific name	Common name	Hight (m)	Use	Price (US\$)	Spacing*	Discription
<i>Acacia meamsii</i>	acacia-negra (black wattle)	8	Industrial (leather tannery) Timber Firewood	33 (kg Seeds)	2×2	Native of Southeast Australia. Widely used for homogenous reforestation in the south of Brazil. It is used as a reforestation species due to its proved ability to adapt to mine disturbed areas.
<i>Pinus taeda</i> <i>Pinus elliottii</i>	Pinus	20-30	Timber	0.15-0.2 (/seedling)	2×2	Widely used for reforestation species because its not very demanding on soil nutrients and humidity.
<i>Eucalipus saligna</i>						Widely used for reforestation species due to
<i>Eucalipus viminalis</i>	Eucalliputo	20-30	Timber Firewood	0.15-0.2 (/seedling)	2×2	its proved ability to adapt to mine disturbed areas. But Eucaliput is not suitable as a
<i>Eucalipus citriodora</i>						revegetation plant because it sterilize the soil.

2×1.5m : 3,020 seedlings /ha

2×2m : 3,000 seedlings /ha

* The number of planted seedlings include 25% of dying individualts.

- : No commercial seeds available

表 G-3

再植林に適した種 (木本性)

Scientific name	Common name	Hight (m)	Use	Price (US\$)	Spacing (m)	Description
<i>Mimosa Bimucronata</i>	marica (espinheiro, silva)	3-8	Timber Medicinal Apicule Plant Forage Plant Protective Planting	17 (/kg Seeds)	2×1.5	Suitable for soil improvement and in the erosion and flooding damages prevention due to its easy adaptability to wet and rocky grounds. In the studied area, it was found on humid soil and directly on coal mine sterile materials.
<i>Mimosa scabrella</i>	bracatinga	20	Timber Ornamental Apicule Plant Forage Plant Environmental Reforestation.	33 (/kg Seeds)	2×2	Suitable for soil preservation and for the reclaiming of disturbed grounds due to its capability to fertilize the soil by replenishing the biomass and the soil nutrients. Bracatinga occurs in low chemically fertile soils usually with pH from 3.5 to 5.5.
<i>Senna multijuga</i>	aleluia	3-5	Timber Ornamental Firewood industrial (resin, tannery)	32 (/kg Seeds)	2×2	Though it is not a very frequent and abundant specie, it has adapted itself very well to the coal mines region. Appropriate for the reclaiming of bauxite mined areas and/or shale mine disturbed grounds.
<i>Croton celtidifolius</i>	sangue-de-drago	6	Firewood Other general uses.	15 (/kg Seeds)	2×2	It grows mainly in secondary formations belonging to initial and medium stages on natural revegetation. Used for reforestation at disturbed areas
<i>Rapanea farruginea</i>	capororoca	5-10	Timber Food Ornamental Firewood	-	No Data	Suitable for the reclaiming of disturbed ecosystems. Very important to achieve the succession reforestation by means of native species of the Atlantic Forest
<i>Trema micrantha</i>	grandiuva	4-15	Timber, Medicinal Apicule Plant Forage Plant Firewood Charcoal	23 (/kg Seeds)	2×2	Due to its great ecological versatility, it is recommended for environmental reforestation, reclamation of coal-mine-eroded areas, for soil conservation and stabilization of sand dunes.
<i>Psidium cattleianum</i>	araca-amarelo (aracazeiro)	3-10	Timber, Food Firewood Charcoal	23 (/kg Seeds)	2×2	Heliophyte specie which endures initial shading stage. This specie is essential to associated groves aimed at the reclaiming of disturbed areas for permanent preservation.
<i>Alchomea triplinervia</i>	tanheiro (tapia-guacu)	25	Charcoal and firewood. Apicule plant.	30 (/kg Seeds)	2×2	It is a fast developing specie which adapts itself to various soil types. Its fruit is suitable for Animal feeding.

2×1.5m : 3,020 seedlings /ha

2×2m : 3,000 seedlings /ha

* The number of planted seedlings include 25% of dying individualts.

- : No commercial seeds available

表 G-4
再植林に適した種 (草本性)

Scientific name	Common name	Hight (cm)	Use	Price of Seeds (US\$/kg)	Spacing	Discription
<i>Brachiaria decumbens</i>	-	-	Forage Plant	1.7-2.0	40kg/ha	It has been used for reclaiming coal mine disturbed areas of Project Itanema.
<i>Brachiaria sp. (Brachiaria humidicola?)</i>	-	-	Forage Plant	8.5	32kg/ha	It has been used for reclaiming coal mine disturbed areas of Carbonifera Urussanga at Santana. It was found expressively growing on clayish soil which covers coal reject piles.
<i>Lolium Multiflorum</i>	azesein	40-80	Forage Plant	No Data	30-40kg/ha	It has been used for reclaiming coal mine disturbed areas of Carbonifera Itanema and Project M (reclamation project at Fiolita)
<i>Eragrostis curvula</i>	capin-choruas	20-50	Forage Plant	No Data	No Data	It is well adapted to the critical and depleted areas of the coal mine region.
<i>Axonopus affinis</i>	grama-missioneira	20-50	Forage Plant	No Data	No Data	It is well adapted to the critical and depleted areas of the coal mine region.
<i>Axonopus obtusifolius</i>	grama-de-folha-larga	20-50	Forage Plant Ornamental	No Data	No Data	A. obtusifolius has been used for reclaiming coal mine disturbed areas of Carbonifera Urussanga at Santana.
<i>Paspalum pumilum</i>	grama-kikuio	15-60	Forage Plant	-	No Data	It is very useful regarding its potential to consolidate erosion prone terrain and to settle sand dunes.
<i>Melinis minutiflora</i>	capin-gordura	50-100	No Data	No Data	No Data	Native to Africa. It is largely distributed in practically all State of Santa Catarina. It is not very disseminated in the coal mines region. No records on its use in reforestation available
<i>Andropogon leucostachyus</i>	capin-colchao	40-80	mattress (stuffing in the country-side)	2.5	30kg/ha	No records on its use in reforestation.
<i>Andropogon bicornis</i>	rabo-de-burro	100-200	Medicinal Properties	-	No Data	It is well adapted to the critical and depleted areas of the coal mine region. No records on its use in reforestation available.
<i>Rhynchelytrum repens</i>	capim-grafanhoto	50-100	No Data	-	No Data	No records on its use in reforestation available.
<i>Axonopus fissifolius</i>	grama-missioneira	15-120	Ornamental	-	No Data	No records on its use in reforestation available. It would avoid soil erosion and provide constant grazing fields.

2. 微生物

2.1 環境微生物数調査

11. サンタカタリーナ州南部の石炭鉱害の特徴の一つは、酸性水による汚染である。酸性水は炭層に含まれる黄鉄鉱（硫化鉄）の酸化により生成されるが、この反応には鉄硫黄細菌（鉄酸化細菌類；*Thiobacillus ferrooxidans* および硫黄酸化細菌類；*Thiobacillus thiooxidans* の総称）が関与していることが知られている。これに対して硫酸還元菌類（*Desulfovibrio* 属および *Desulfotomaculum* 属）は酸性廃水の浄化作用を持つとされている。これらの微生物の分布を把握することは、水系の汚染及び浄化のプロセスを検討する上で有用な情報となるため、環境水中の微生物数について調査を行った。また、微生物類の培養・分析法について現地への技術供与を行った。調査対象とした微生物種は以下の通りである。

- ・鉄酸化細菌類（*Thiobacillus ferrooxidans*）
- ・硫黄酸化細菌類（*Thiobacillus thiooxidans*）
- ・硫酸還元菌類（*Desulfovibrio* 属および *Desulfotomaculum* 属）

2.2 調査方法

12. 環境水中の微生物調査は96年11月（春季）と97年2月（夏季）に実施した。調査地点として対象3河川（Araranguá、Urussanga、Tubarão）12ヶ所、FSサイト（Fiorita、Carvão、Rocinha）9ヶ所、洗炭場（Treviso）1ヶ所と全体で22ヶ所のサンプリング地点を選定し採水を行った。環境水中の微生物数はMPN法により求めた。採水点の位置を図G-2に、各地点の概要について表G-5に示す。なお、各微生物の培養は下記の方法により実施した。

13. 鉄酸化細菌類（*Thiobacillus ferrooxidans*）

i) 培地

鉄酸化細菌類の培養にはSilverman 9K培地を使用した。鉄酸化細菌は鉄を Fe^{2+} から Fe^{3+} へ酸化し、そのエネルギーを利用して炭酸固定をする好気性の独立栄養細菌であるので、培地にはエネルギー源として硫酸第二鉄($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)を添加した。

ii) 培養方法

- ・各サンプリング地点の試料毎に、5段階に10倍希釈（例えば、1（試料原水）、0.1（1/10



図 G-2 環境微生物数調査 サンプルング地点

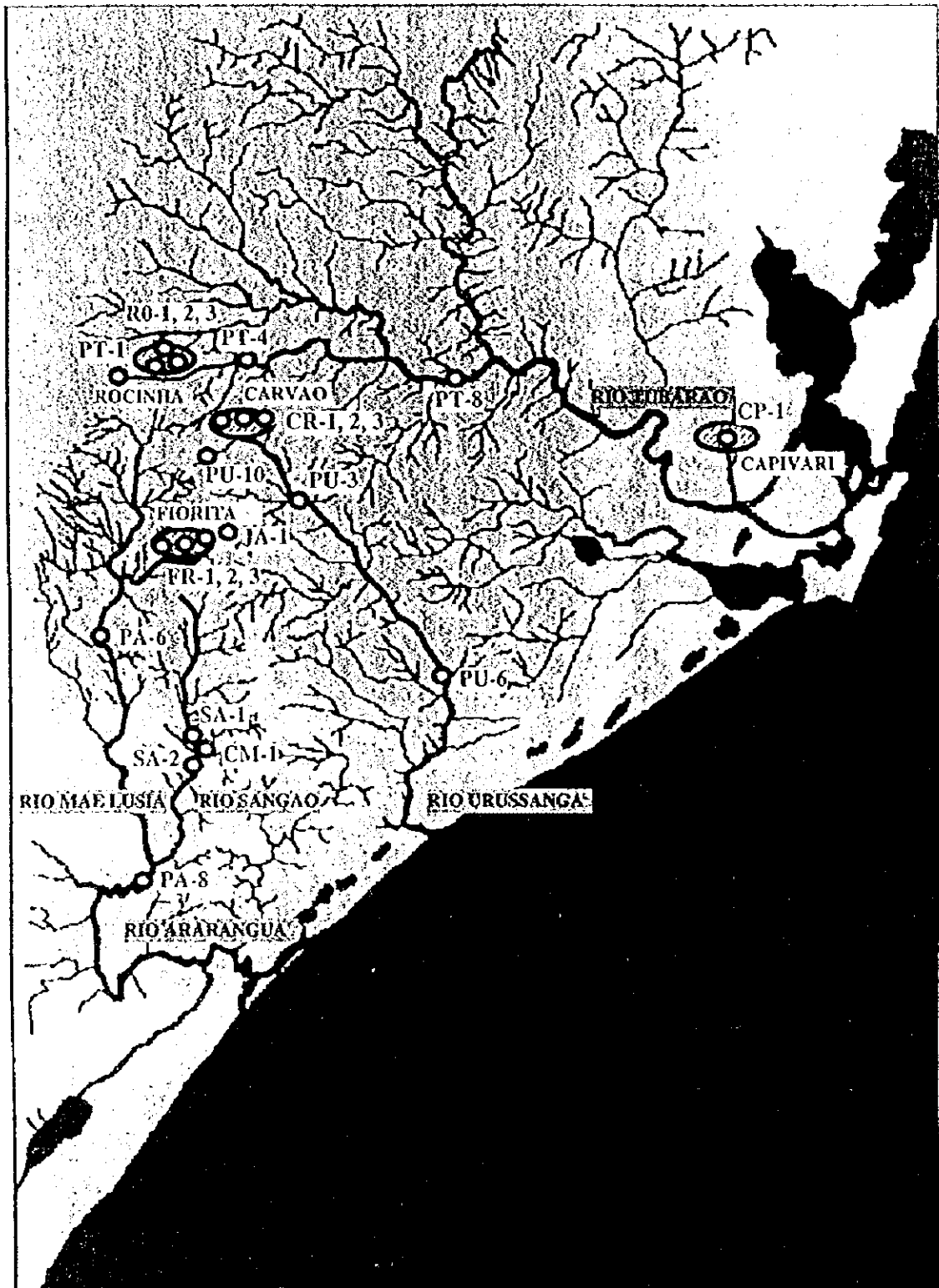


図 G-2 環境微生物数調査 サンプルング地点

表 G-5(1/2)

環境微生物数調査 サンプルング地点 (1996年11月)

Sampling Site		Kind of Bio-culturing test			Remarks
		Iron bacteria	Sulfur oxidizing bacteria	Sulfate reducing bacteria	
CARVAO	CR-1	○	○	○	Underground water
	CR-2	○	○	○	Settling pond water
	CR-3	○	○	○	Discharged water in mine waste
CAPIVARI	CP-1	○	-	-	Settling pond water
FIORITA	FR-1	○	-	-	Discharged water in mine waste
	FR-2	○	-	-	Pond water
ROCINHA	RO-1	○	-	-	Discharged water in mine waste
	RO-2	○	-	-	Settling pond water
	RO-3	○	-	-	Discharged water in mine waste
TOREVISO	TR-1	○	-	-	Settling pond water
RIO ARARANGUA	PA-1	○	○	-	Upper stream water of Rio Ararangua
	PA-6	○	○	-	Middle stream water of Rio Ararangua
	PA-8	○	○	-	Lower stream water of Rio Ararangua
RIO URUSANGA	PU-10	○	○	-	Upper stream water of Rio Urusanga
	PU-3	○	○	-	Middle stream water of Rio Urusanga
	PU-6	○	○	-	Lower stream water of Rio Urusanga
RIO TUBARAO	PT-1	○	○	-	Upper stream water of Rio Tubarao
	PT-4	○	○	-	Middle stream water of Rio Tubarao
	PT-8	○	○	-	Lower stream water of Rio Tubarao
RIO CRICIUMA	CM-1	-	-	○	River water of Rio Criciuma
&	SA-1	-	-	○	River water of Rio Sangao
RIO SANGAO	SA-2	-	-	○	River water of Rio Sangao

表 G-5(2/2)

環境微生物数調査 サンプルング地点 (1997年 2月)

Sampling Site		Kind of Bio-culturing test			Remarks
		Iron bacteria	Sulfur oxidizing bacteria	Sulfate reducing bacteria	
CARYAO	CR-1	○	○	○	Underground water
	CR-2	○	○	○	Settling pond water
	CR-3	○	○	○	Discharged water in mine waste
CAPIVARI	CP-1	○	-	○	Settling pond water
FIORITA	FR-1	○	-	○	Discharged water in mine waste
	FR-2	○	-	-	Pond water
ROCINHA	RO-1	○	-	○	Discharged water in mine waste
	RO-2	○	-	-	Settling pond water
	RO-3	○	-	-	Discharged water in mine waste
TOREVISO	TR-1	○	-	-	Settling pond water
RIO ARARANGUA	PA-1	○	○	-	Upper stream water of Rio Ararangua
	PA-6	○	○	-	Middle stream water of Rio Ararangua
	PA-8	○	○	-	Lower stream water of Rio Ararangua
RIO URUSANGA	PU-10	○	○	-	Upper stream water of Rio Urusanga
	PU-3	○	○	-	Middle stream water of Rio Urusanga
	PU-6	○	○	-	Lower stream water of Rio Urusanga
RIO TUBARAO	PT-1	○	○	-	Upper stream water of Rio Tubarao
	PT-4	○	○	-	Middle stream water of Rio Tubarao
	PT-8	○	○	-	Lower stream water of Rio Tubarao
RIO CRICIUMA	CM-1	-	-	○	River water of Rio Criciuna
&	SA-1	-	-	○	River water of Rio Sangao
RIO SANGAO	SA-2	-	-	○	River water of Rio Sangao

希釈)、 10^2 (1/100 希釈)、 10^3 (1/1,000 希釈)、 10^4 (1/10,000 希釈) とする) したものを3セット準備した。

(5段階に10倍希釈×3セット×それぞれのサンプリング地点)

- 120×15mm の試験管を発酵管として使用し、培地の量は9 mlとした。比較のため、試料水を加えないコントロールを各シリーズ毎に1つ用意した。試料水添加後、好気的条件を保つため綿栓を使用した。
- 培地は30℃で培養した。その間好気的条件を保つため試験管は1日1回程度振とうした。培養期間後、それぞれの希釈段階のサンプルについて鉄酸化細菌の有無を記録した。鉄酸化細菌が存在する試験管はコントロールと比較して褐色に変化していることで確認した。細菌の密度は希釈段階毎に鉄酸化細菌が存在した試験管の数からMPN法によって推定した。

14. 硫黄酸化細菌類 (Thiobacillus thiooxidans)

i) 培地

硫黄酸化細菌類の培養にも、鉄酸化細菌と同様 Silverman 9K 培地を使用した。硫黄酸化細菌は酸素を利用して H_2S 、 S 、 $S_2O_3^{2-}$ を SO_4^{2-} に酸化する好気性の独立栄養細菌であるので、培地にはエネルギー源としてチオ硫酸ナトリウム ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) を添加した。

ii) 培養方法

培養方法等については鉄酸化細菌と同様である。硫黄酸化細菌の存在の有無は pH が4から2程度に低下することで確認した。

15. 硫酸還元菌類 (Desulfovibrio, Desulfotomaculum)

i) 培地

硫酸還元菌類の培養には、17-1 培地を使用し、エネルギー源としてチオグリコールナトリウム ($C_2H_3NaO_2S$) を添加した。

ii) 培養方法

培養方法等については鉄酸化細菌と同様である。硫酸還元菌類は嫌気性であるため、試料水を加えた試験管はアルミ箔で栓をした。硫酸還元菌の存在の有無はコントロールと比較して培地が黒化することで確認した。

2.3 調査結果

16. 春季調査における微生物数の測定結果を表 G-6 に示す。いずれの地点からも硫黄酸化細菌は検出されなかった。鉄酸化細菌は、調査対象とした全ての地点で検出されたが、その密度は、調査地点により大きな差があった。鉄酸化細菌は、酸性水による汚染が認められない河川上流部で少なく、炭鉱区域では増加する傾向が認められた。Florita および Treviso の池水からは、特に多数の鉄酸化細菌類が検出された。硫酸還元菌は主に都市下水による汚濁の進行した Rio Criciúma の河川水中で多く検出された。また低い密度ではあるが、Carvão や Sangão 等の低い pH の試水 (pH 3~4) からも検出された。

17. 夏季調査における微生物数の測定結果を表 G-7 に示す。夏季の調査では、検出された微生物数は春季に比べて少ないものとなった。これは、夏季の多量で頻繁な降雨により、環境水中の微生物が希釈・分散されることが原因と思われる。硫黄酸化細菌類は、前回同様検出されなかった。鉄酸化細菌は FS サイトの上流側では検出されなかったのに対し、サイト内および下流側では検出された。また、FS サイトの表流水から硫酸還元菌類 (Sulfate Reducing Bacteria) が検出された。

18. 春季、夏季の結果より、硫黄酸化細菌はいずれの地点からも検出されなかったが、鉄酸化細菌は、調査対象とした全ての地点で検出された。特に FS サイトの池水からは多数の鉄酸化細菌類が検出され、採鉱跡地等の止水が鉄酸化細菌の増殖地となっていることが示唆された。硫酸還元菌は主に都市下水による汚濁の進行した河川水中で多く検出された。また、低い密度ではあるが、低い pH の試水 (pH 3~4) からも検出され、酸性環境下でも硫酸還元菌が存在する可能性が示唆された。調査は春季 (1996 年 11 月) および夏季 (1997 年 2 月) に実施されたが、今回の結果のみから微生物数の季節変動を把握することは難しいと考えられる。

2.4 炭鉱廃水処理試験

19. 鉄硫黄細菌類は、溶解性の高い Fe^{2+} から溶解性の低い Fe^{3+} への酸化を促進させる働きをするため、好気条件下 (曝気等) で酸化を十分に進行させた後に中和処理を行うことで、炭鉱廃水中の鉄分を効率よく沈澱除去することが可能である。また、嫌氣的条件下で適当な炭素エネルギー源 (主として落葉、藻類等の植物性セルロース) を与えることで、

表 G-6

環境微生物數調查結果 (1996 年 11 月)

		pH	Temp. (°C)	MPN of bacteria ($\times 10^3/100\text{ml}$)			Remarks
				Iron	Sulfur-oxd	Sulfate reducing	
CARVAO	CR-1	4.0	23	1.1	0	11	Underground water
	CR-2	3.0	28	44	0	6.1	Settling pond water
	CR-3	4.0	25	29	0	6.1	Discharged Water from the settling pond
CAPIVARI	CP-1	2.0	30	200	-	-	Settling pond water
FIORITA	FL-1	4.0	25	11,000	-	-	Discharged water in mine waste
	FL-2	4.0	25	430	-	-	Pond water
ROCINHA	RO-1	2.0	24	290	-	-	Discharged water in mine waste
	RO-2	3.0	28	290	-	-	Settling pond water
	RO-3	3.5	28	42	-	-	Discharged water in mine waste
TOREVISO	TR-1	2.0	32	>24,000	-	-	Settling pond water
RIO ARARANNGA	PA-1	6.0	18	1.1	0	-	Upper stream water
	PA-6	3.5	22	35	0	-	Middle stream water
	PA-8	4.0	24	28	0	-	Lower stream water
RIO URUSANGA	PU-10	6.0	22	7.2	0	-	Upper stream water
	PU-6	3.0	26	7.2	0	-	Middle stream water
	PU-3	4.0	26	290	0	-	Lower stream water
RIO TUBARAO	PT-1	7.0	25	1.5	0	-	Upper stream water
	PT-4	4.0	27	1.6	0	-	Middle stream water
	PT-8	5.0	25	1.1	0	-	Lower stream water
RIO CRICIUMA	CM-1	5.0	25	-	-	210	River water
&	CM-2	3.0	25	-	-	15	River water
RIO SANGAO	SA-1	3.0	25	-	-	15	River water

表 G-7

環境微生物数調査結果 (1997年 2月)

		pH	Temp. (°C)	MPN of bacteria (X 10 ³ /100ml)			Remarks
				Iron	Sulfur-oxd.	Sulfate reducing	
CARVAO	CR-1	4.0	23	0.75	0	0	Underground water
	CR-2	3.0	25	15	0	0	Settling pond water
	CR-3	4.0	25.5	0.03	0	0.03	Discharged water in mine waste
CAPIVARI	CP-1	2.0	35	1.5	-	0.03	Settling pond water
	FR-1	4.0	25	1.5	-	0.03	Discharged water in mine waste
FIORITA	FR-2	4.0	25	20	-	-	Pond water
	RO-1	3.0	27	0.03	-	0.11	Discharged water in mine waste
ROCINHA	RO-2	2.0	32	0.11	-	-	Settling pond water
	RO-3	3.0	27	0.03	-	-	Discharged water in mine waste
TOREVISO	TR-1	3.0	27	11	-	-	Settling pond water
RIO ARARANNGA	PA-1	7.0	23	0.03	0	-	Upper stream water of Rio Ararangua
	PA-6	3.5	27	0.11	0	-	Middle stream water of Rio Ararangua
	PA-8	4.0	27.5	0.11	0	-	Lower stream water of Rio Ararangua
RIO URUSANGA	PU-10	7.0	23	0	0	-	Upper stream water of Rio Urusanga
	PU-3	3.0	26	0.2	0	-	Middle stream water of Rio Urusanga
	PU-6	4.0	29	0.2	0	-	Lower stream water of Rio Urusanga
RIO TUBARAO	PT-1	7.0	28	0	0	-	Upper stream water of Rio Tubarao
	PT-4	3.5	29.5	0.3	0	-	Middle stream water of Rio Tubarao
	PT-8	5.0	27	0.11	0	-	Lower stream water of Rio Tubarao
RIO CRICIUMA	CM-1	4.0	29	-	-	24	River water of Rio Criciuma
&	SA-1	3.0	29	-	-	0	River water of Rio Sangao
RIO SANGAO	SA-2	3.0	29	-	-	0	River water of Rio Sangao

Fe³⁺をFe²⁺に還元し、不溶性のFeSとして沈殿させることで水中から除去する他、pHを上昇させる働きがある。これは実際に炭鉱廃水の処理法の一つとして使用されている。このように炭鉱水環境中の微生物は、炭鉱廃水の処理に利用することが可能であり、適切な利用により大規模な廃水処理を安価に実施できる可能性がある。これらの微生物の酸性廃水処理への適用性を検討するため、炭鉱廃水中に鉄酸化細菌および硫酸還元菌を接種し、水質の変化を経時的に測定する基礎実験を行った。

2.5 調査方法

20. 鉄酸化細菌は独立栄養細菌であり、好気的な環境下において活発な代謝を行うことが知られている。一方、硫酸還元菌は従属栄養細菌であるため、エネルギー源として乳酸等の有機物を必要とする。また、菌体の活性化のためには4~7程度のpHと嫌気的環境の形成が必要である。本実験では、硫酸還元菌活性化のための条件設定とエネルギー源として現地で大量に入手可能で安価な有機物資源（Criciúma川の底泥、牛糞）を有機酸の代替品として利用可能であるか等について検討を行った。また、各ケースについてpHを4程度に調整した区を設けて水処理効果を比較した。水処理効果の指標として、試験水中のSO₄濃度およびT-Fe濃度を測定するものとした。また、pH、ORP、電気伝導率、DOについて経時的な測定を行った。SO₄濃度およびT-Fe濃度の分析はFUCRIに依頼した。実施試験の内容について図G-3に示す。具体的な実験ケースについて以下に示す。

2.6 テストケース

21. 鉄酸化細菌、硫酸還元菌の2種類の試験を行った。

i) 鉄酸化細菌（1ケース）

炭鉱廃水（pH調整なし）

ii) 硫酸還元菌（6ケース）

Case 1 : 炭鉱廃水+土壌*¹ (pH調整)*²

Case 2 : 炭鉱廃水+土壌 (pH調整なし)

Case 3 : 炭鉱廃水+乾燥牛糞 (pH調整)

Case 4 : 炭鉱廃水+乾燥牛糞 (pH調整なし)

Case 5 : 炭鉱廃水+河川底泥 (pH調整)

Case 6 : 炭鉱廃水+河川底泥*³ (pH調整なし)

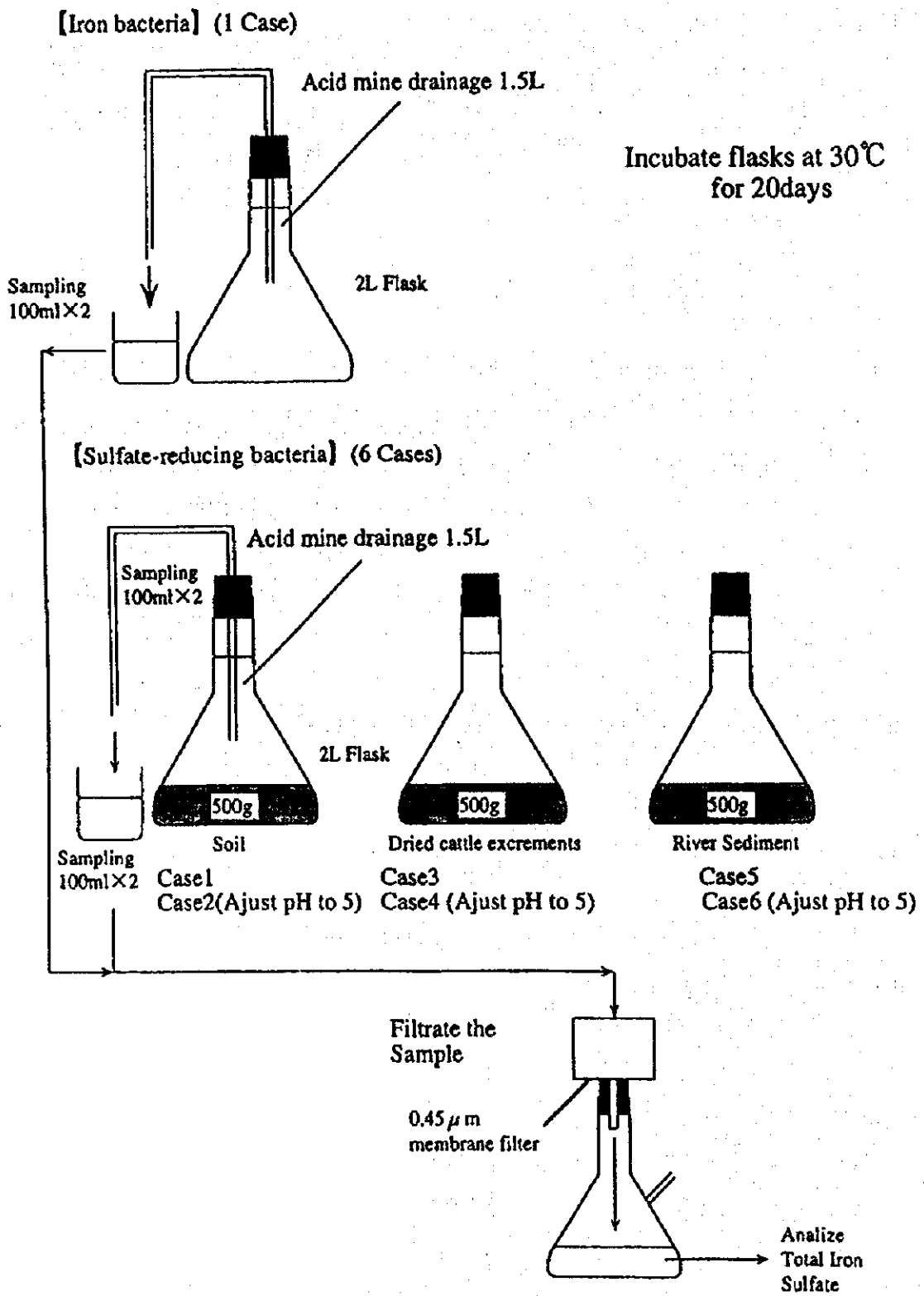


図 G-3 鉱山廃水処理試験 試験方法

土壌は炭鉱廃水による汚染が認められない地域より採取し、加熱滅菌して使用した。

- *1 有機物資源を加えていないコントロールとして準備した。
- *2 pH調整には 1N-NaOH を使用し、pH 程度に調整した。
- *3 底泥は Criciuma 川のものを使用した。

2.7 測定項目

22. 測定項目および頻度を以下に示す。

測定項目	方 法	測定頻度
pH	pH メーター	
ORP	ORP メーター	2～3 日毎に測定
DO	DO メーター	
電気伝導率	電気伝導度計	
全鉄濃度	オルトフェナントロリン法	各ケース 3 回
硫酸イオン	比濁法 (開始時、中間時、終了時)	

23. 実験手順

i) 鉄酸化細菌を利用した炭鉱廃水処理実験

- ・ 試験原水として Capivari の沈殿池より採水した酸性水を使用した。
- ・ 炭鉱廃水 1.5l および有機物約 300g を 2l フラスコに入れた。
- ・ 事前に 1 週間培養した鉄酸化細菌種菌培地約 30ml を接種した。
- ・ フラスコに綿栓をし、恒温・好気条件下 (30℃) で菌を培養した。
- ・ pH、ORP、DO、電気伝導率を 2～3 日毎に測定した。
- ・ 実験開始後、0 日目、10 日目および 20 日目に 100ml のサンプルを 2 検体採取し、炭酸カルシウムの投入により Fe^{3+} イオンを沈降させた。0.45 μm のメンブレンフィルターで吸引濾過して Fe 濃度および SO_4 濃度を測定した。

ii) 硫酸還元菌を利用した炭鉱廃水処理実験

- ・ 鉱山廃水 1.5l および有機物約 300g を 2l フラスコに入れた。
- ・ pH 調整区については 1N-NaOH により pH を 4 に調整した。
- ・ 硫酸還元菌の種菌培地約 30ml をフラスコに接種した。
- ・ 嫌気条件を保つために、フラスコはアルミフィルムで密栓した。

- ・ フラスコを全暗・嫌気条件下に置き、30℃の恒温下で菌を培養した。
- ・ pH、ORP、DO、電気伝導度を2～3日毎に測定した。
- ・ 実験開始後、0日目、10日目および20日目に100mlのサンプルを2検体採取し、0.45 μ mのメンブレンフィルターで吸引濾過し、Fe濃度およびSO₄濃度を測定した。

2.8 実験結果

24. 鉄細菌を接種したケースではpHが低下し、試水の酸性化が進行する傾向が見られた。これに対し、硫酸還元菌を接種したケースでは、Criciúma川の底泥、牛糞を加えたケースで、時間経過に伴いORP、DOが低下し、pHが上昇する傾向が認められた(図G-4)。また、酸化鉄の沈殿が促され、試水が透明化する傾向が認められた。これらの傾向は、pHを調整したケースにおいて特に顕著であった。Fe、SO₄に関しては、鉄細菌、硫酸還元菌とも時間経過に伴い濃度が低下する傾向が見られた。したがって、底泥、牛糞等の安価な炭素源が、硫酸還元菌による酸性水の処理に有効であることが示唆された。

25. 以上の結果により、硫酸還元菌類の増殖しやすい環境(嫌気性環境)を整え、底泥、牛糞等の炭素源を添加することで、酸性水の処理にこれらの微生物を利用することも可能であると考えられる。

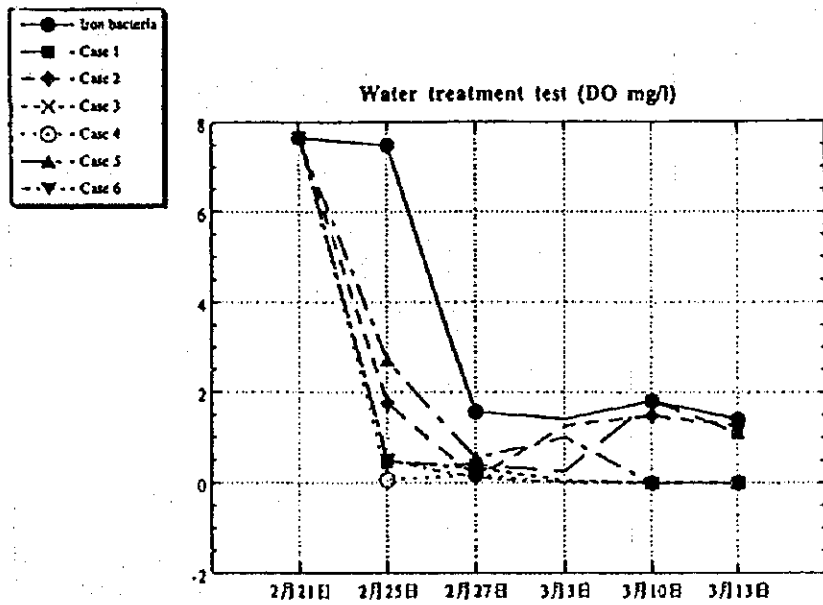
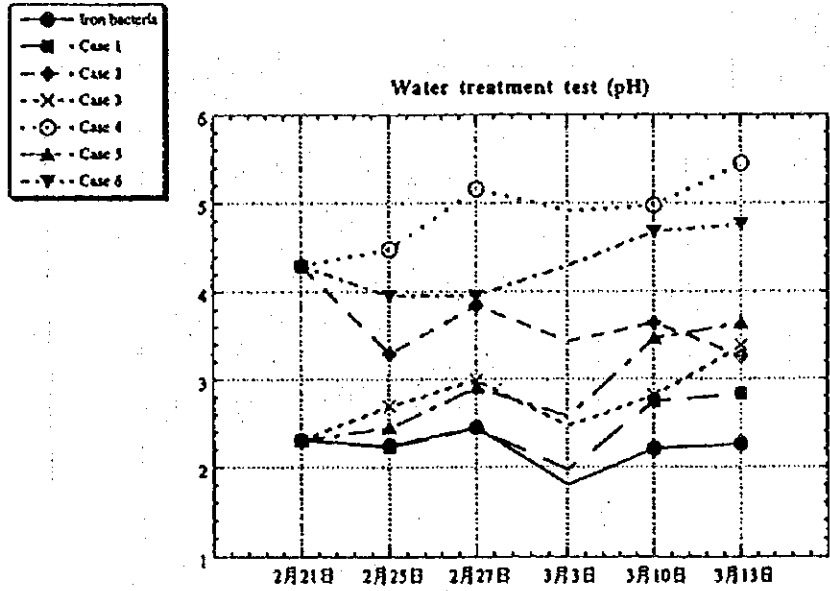


図 G-4 (1/3) 鉍山廢水處理試驗結果 (pH, DO)

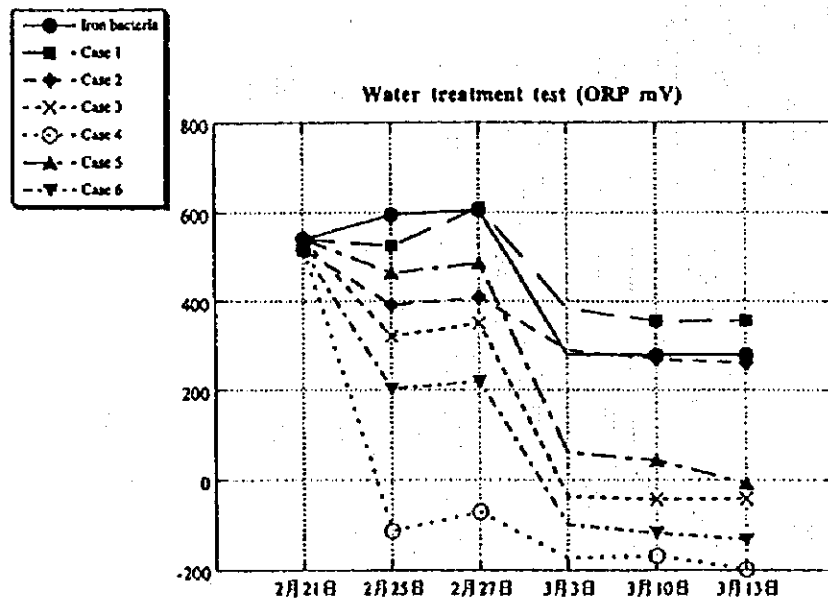
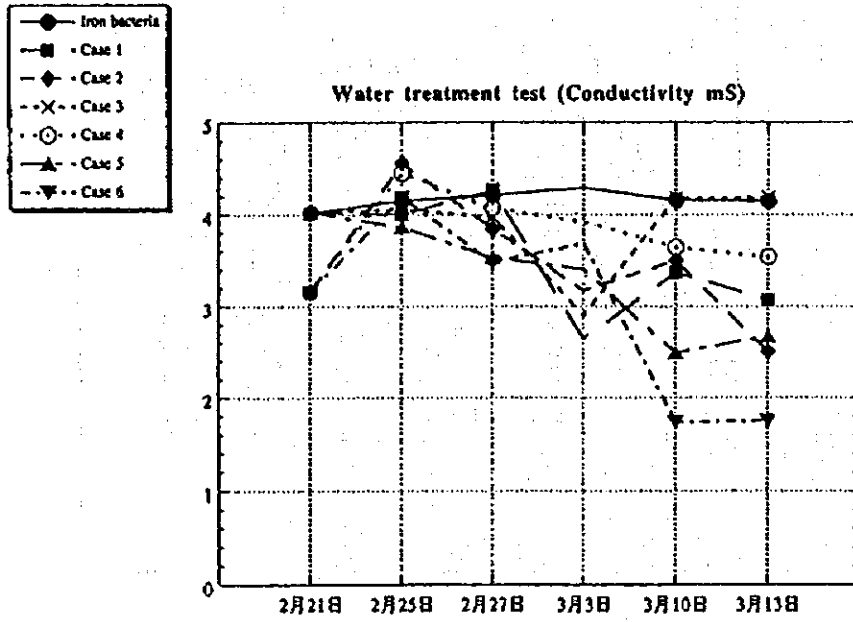


図 G-4 (2/3) 鉾山廃水処理試験結果 (Conductivity, ORP)

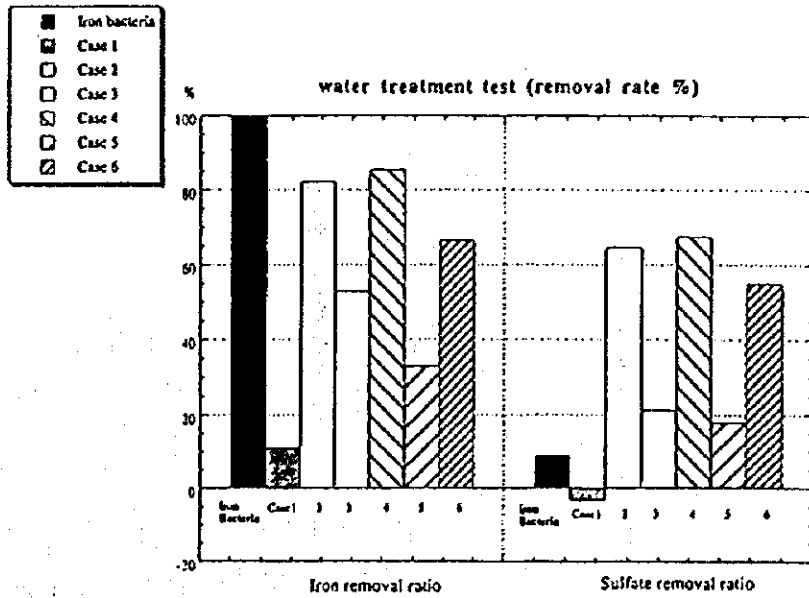
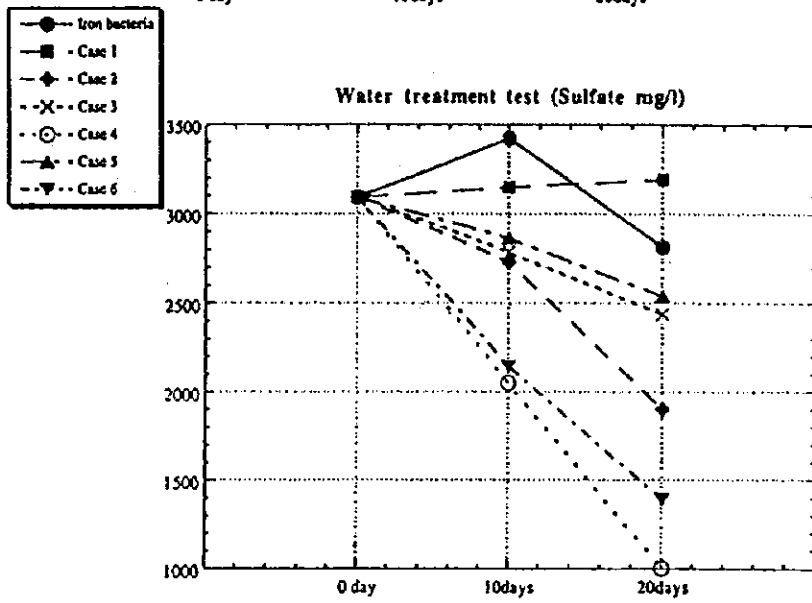
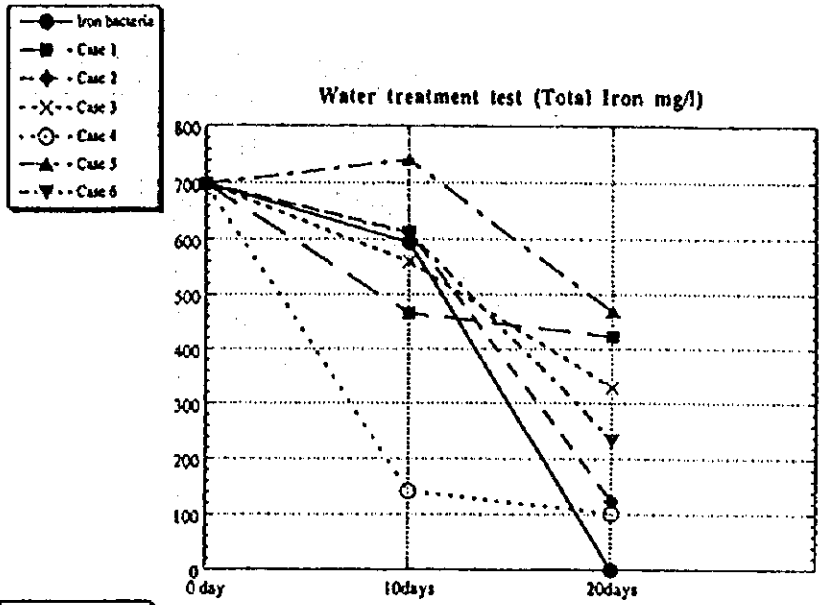


図 G-4 (3/3) 鉾山廃水処理試験結果 (Total Iron, Sulfate)

