CAPÍTULO III. AVALIAÇÃO TÉCNICA DA RECUPERAÇÃO DAS ÁREAS MINERADAS

A. *INTRODUÇÃO*

3.01. Para entender os problemas relacionados à poluição da Região Sul de Santa Catarina, foram feitos mapas aéro-fotogramétricos cobrindo uma área superior a 600 km2. A Equipe fez mapas na escala de 1:1000 para o Estudo de Viabilidade das Áreas de Estudo e mapas na escala de 1:20.000 para as áreas de recuperação total. Foram escolhidos mais de 100 pontos nos rios da região, nas áreas de estudo e nas áreas de recuperação total visando o monitoramento da qualidade da água, tendo sido construídas como parte do Estudo, três estações fixas automáticas para o monitoramento de qualidade da água. O monitoramento periódico de cada ponto foi realizado durante um ano .

3.02. Foram desenvolvidas três alternativas para cada uma das quatro Áreas de Estudos, criando-se três grupos de ações de recuperação que levam em conta sua eficácia em reduzir as cargas ácidas e de metais sobre as águas de superfície. A Alternativa 1 representa a opção com melhores perspectivas de melhorar a qualidade da água em cada uma das Áreas de Estudos, enquanto que a Alternativa 3 proporcionaria os resultados com menor eficiência. Estas alternativas foram avaliadas considerando-se três critérios: (i.) eficácia, (ii.) implementabilidade, e (iii.) custo.

3.03. Tendo por base os resultados obtidos no Estudo de Viabilidade das Áreas de Estudos, foram determinadas ações abrangentes de recuperação. Como a recuperação total é um estudo de pré-viabilidade, as fontes individuais de poluição e as áreas de depósitos de rejeitos em toda a área de estudo não foram totalmente identificadas. Consequentemente, o custo da recuperação total foi estimado pela extrapolação das conclusões do Estudo de Viabilidade das Áreas de Estudo, isto é, classificando-se os depósitos de rejeitos nas área de recuperação total em vários padrões de características semelhantes em termos de ações de recuperação levando-se em conta fatores tais como o tipo de rejeito e da topografia e da condição de existência ou não de rio.

3.04. Finalmente, para poder avaliar um plano de recuperação total, foram testados três quadros de simulação de qualidade da água para as três bacias hidrográficas, isto é, Tubarão, Araranguá e Urussanga :

⇒ Simulação I. Esta ilustra a extensão da recuperação sob condições ideais, isto é, (a) a área total seria recuperada usando-se um sistema de camada de cobertura úmida/seca e um método de

tratamento por meio de banhados; e (b) toda as descargas de efluentes provenientes das áreas em atividade estariam dentro dos padrões brasileiros;

⇒ Simulação II. É idêntica à simulação I com exceção da qualidade do efluente que permanece baixa, fora das normas brasileiras.

⇒ Simulação III É o oposto da simulação II, isto é, as mineradoras respeitariam os padrões brasileiros mas, não seria feita nenhuma recuperação do solo.

B. CARACTERÍSTICAS DA POLUIÇÃO

1. Descrição das Áreas de Estudos

3.05. As áreas de estudos estão localizadas ao norte e oeste da cidade de Criciúma, Santa Catarina (Fig. III-1). Durante os anos 70 o carvão foi minerado extensivamente nesta área resultando na acidificação de vários corpos de água formadores das três bacias hidrográficas afetadas que compreendem os rios Tubarão, Rio Urussanga, e o rio Araranguá, cujos dois afluentes mais comprometidos são os rios Mãe Luzia e Sangão.

3.06. A JICA escolheu quatro Áreas de Estudo representativas dos diferentes tipos de condições que requerem recuperação em toda a região. São elas:

⇒ Área de Fiorita - Um exemplo de mineração a céu-aberto, hoje desativada, com exploração feita pelo método de Dragline. Situa-se na bacia do rio Araranguá, à montante, no município de Siderópolis;

⇒ Área de Rocinha - Um exemplo de um vale extensivamente preenchido com rejeitos de lavadores de carvão. Está situada na bacia do rio Tubarão, à montante, no município de Lauro Muller;

⇒ Área de Rio Carvão - Exemplo de descarga de mina de subsolo abandonada. Contribui para a bacia do rio Urussanga. Está localizada à montante no município de Urussanga; e

⇒ Área de Capivari - Um exemplo de uma grande lagoa de sedimentação de finos de um lavador abandonado, dentro da área da usina termoelétrica da Eletrosul. Está situada à jusante no município de Capivari de Baixo.

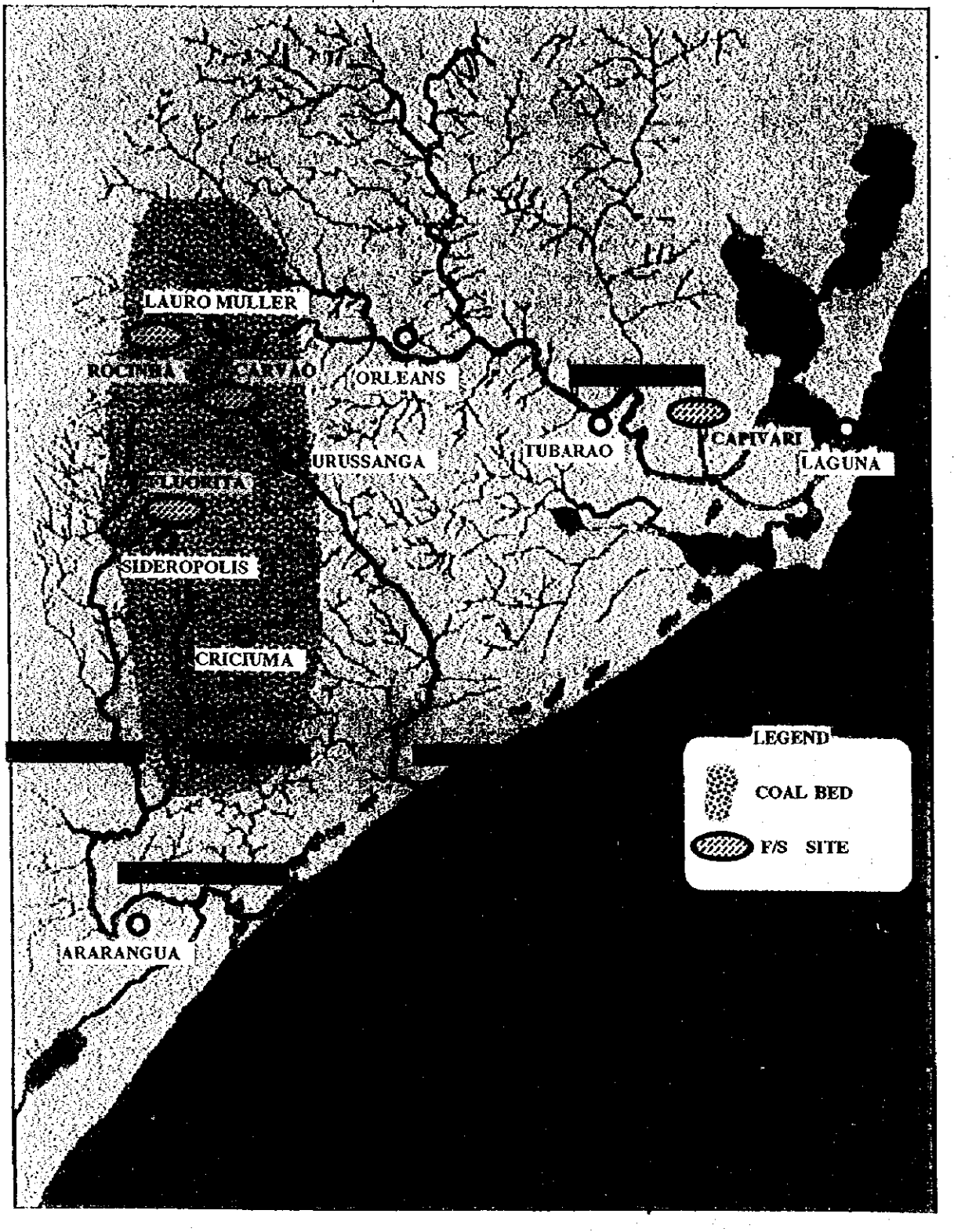


FIGURA III-1 MAPA DA LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

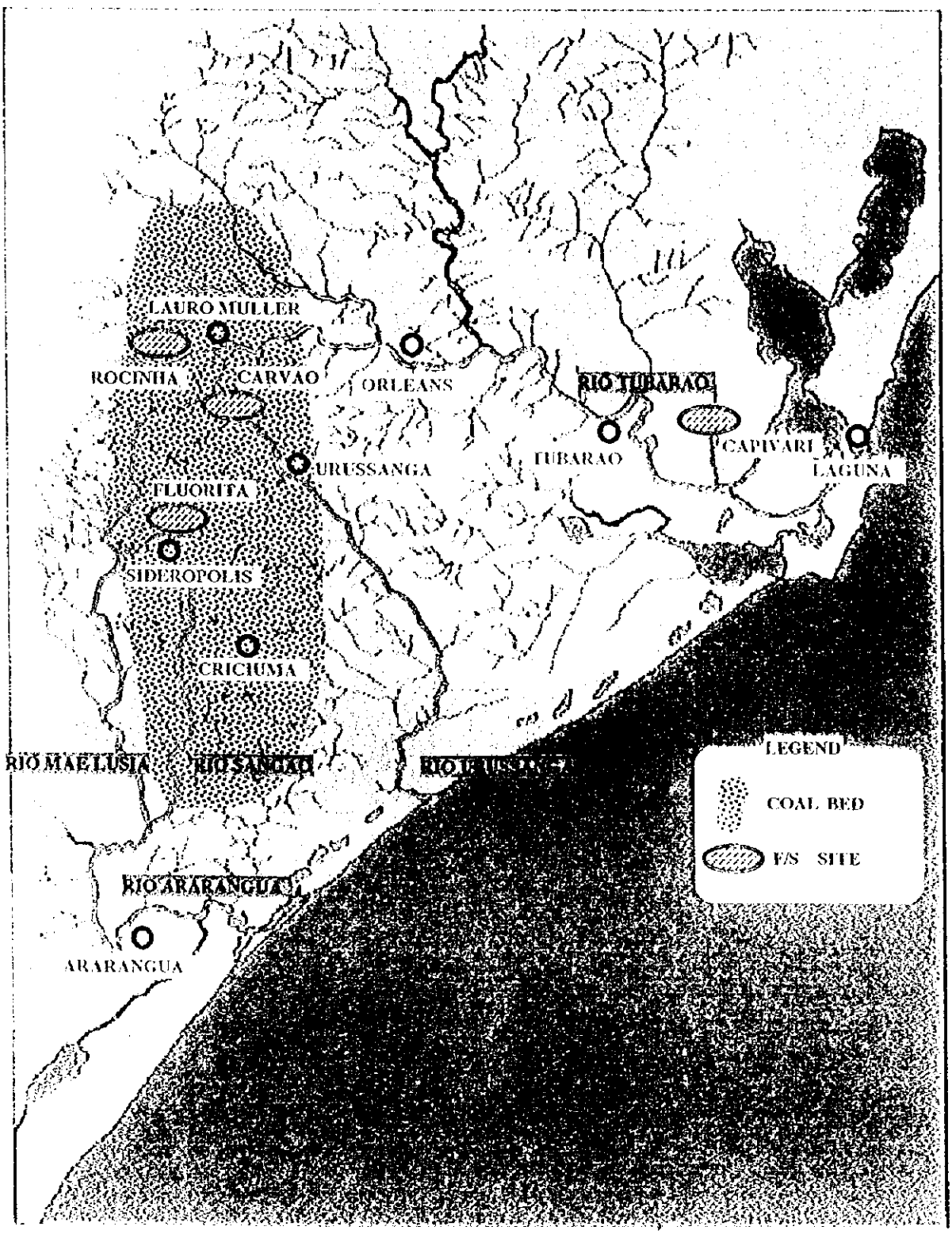


FIGURA III-1 MAPA DA LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

2. *Descrição das Áreas Totais*

(a) Pesquisa de Depósitos de Rejeitos

3.07. Para entender-se os problemas de poluição do sul de Santa Catarina foram pesquisados quase todos os depósitos de rejeitos. Todas as conclusões foram compiladas num banco de dados de parâmetros os quais foram usados para a descrição de depósitos de rejeitos. Tais parâmetros são:

⇒ Ordem (mapa , aero-fotografia e outros) indica a precisão e a fonte do material;

⇒ Tipo de rejeito (rejeito de lavador, quadração e água) indica o tipo do material do rejeito;

⇒ Tipo da topografia (plana, inclinada, pilha, em forma de serra, lagoa, estrada e margem de rio) indica a forma e condições dos depósitos de rejeitos;

⇒ Tipo da área (topo de montanha, área montanhosa, área plana e ao longo de rio) indica a situação topográfica a redor dos depósitos de rejeitos, e

⇒ Outros parâmetros incluem o nome da área, município de localização, o rio e bacia a qual pertence o depósito de rejeitos, a empresa poluidora original, atual proprietário da área, tipo de mineração (mineração, lavador e coqueria), situação operacional (em atividade, desativada ou abandonada), área depositada (ha) e volume depositado (1.000 m3).

3.08. A Tabela III-1 apresenta um resumo abrangente de depósitos de rejeitos com os parâmetros: nome do município, tipo de rejeito, tipo da topografia e situação operacional. As Figuras III-2 (1/2) e (2/2) ilustram a distribuição de rejeitos na região.

(b) Qualidade da Água

3.09. Na Tabela III-2 abaixo, resumimos as condições das três bacias hidrográficas poluídas.

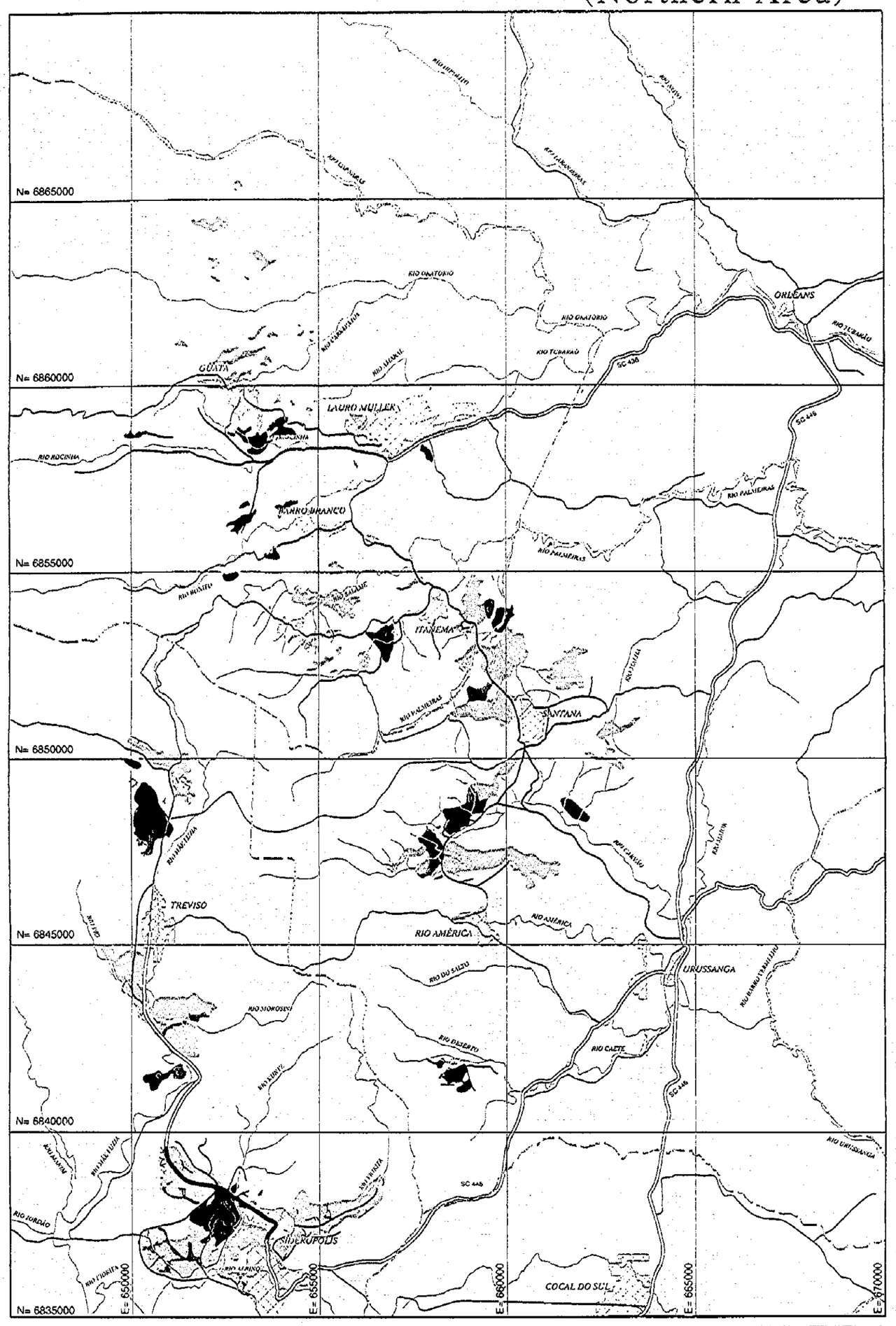
TABELA III-1

RESUMO DOS DEPÓSITOS DE REJEITOS

Area (ha)

Municiparity	Waste type	Topo type	River	Abandoned Area	Active Area	Inactive Area	Total
Capivari de Baixo	Black Shale	Flat	No river	80	-	-	80
	Water	Pond	No river	80	-	-	80
	Sub-total			160	-	-	160
Criciuma	Black Shale	Flat	No river	87	-	-	87
			River flow	582.2	163	93.9	839.1
		Slope	No river	12	-	-	12
			River flow	58	-	-	58
	White Waste	Flat	No river	39	-	-	39
			River flow	29.5	-	-	29.5
	Sub-total			807.7	163	93.9	1064.6
Forquilhinha	Black Shale	Flat	River flow	165.5	191.2	-	356.7
	Water	Pond(flatBS)	River flow	-	28	-	28
	Sub-total			165.5	219.2	-	384.7
Icara	Black Shale	Flat	River flow	36	8.8	-	44.8
Lauro Muller	Black Shale	Flat	No river	11.4	-	-	11.4
			River flow	42.7	56.8	-	99.5
		Heap	No river	8	-	-	8
			River flow	32.2	-	-	32.2
		River Bank	River flow	-	27.8	-	27.8
		Slope	No river	-	8	-	8
			River flow	-	-	16.8	16.8
	Water	Pond	River flow	-	0.5	0.8	1.3
		Pond(flatBS)	River flow	0.5	3	-	3.5
	White Waste	Flat	No river	8	-	-	8
		Heap	No river	115.1	8.8	-	123.9
			River flow	128.5	-	-	128.5
		Saw	No river	5	-	-	5
			River flow	71.8	64.4	18	154.2
	Sub-total			423.2	169.3	35.6	628.1
Sideropolis	Black Shale	Flat	No river	18	191	-	209
	Black Shale		River flow	8.5	-	-	8.5
	Water	Pond	River flow	15	-	-	15
		Pond(flatBS)	River flow	-	1	-	1
		Pond(saw)	No river	25	-	-	25
		Pond(saw)	River flow	61	-	-	61
	White Waste	Flat	River flow	10	-	-	10
		Saw	No river	113	-	-	113
			River flow	628.4	-	-	628.4
	Sub-total			878.9	192	-	1070.9
Treviso	Black Shale	Flat	No river	-	120.8	-	120.8
			River flow	28.8	-	-	28.8
	Water	Pond(flatBS)	No river	-	8	-	8
		Pond(flatBS)	River flow	6	-	-	6
		Pond(saw)	River flow	-	2	6	8
	White Waste	Saw	No river	50	-	-	50
			River flow	47	108.2	104.6	259.8
	Sub-total			131.8	239	110.6	481.4
Urussanga	Black Shale	Flat	No river	20.8	-	-	20.8
			River flow	31.5	157.2	-	188.7
		Slope	River flow	-	-	36.7	36.7
	Water	Pond(flatBS)	River flow	-	4	-	4
		Pond(saw)	No river	-	1	-	1
		Pond(saw)	River flow	3.5	-	-	3.5
		Pond(slopeBS)	River flow	-	-	1.5	1.5
	White Waste	Flat	River flow	19	-	-	19
		Heap	No river	7	-	-	7
		Saw	No river	322.8	-	-	322.8
			River flow	284.3	-	-	284.3
	Sub-total			688.9	162.2	38.2	889.3
Grand Total				3,292.0	1153.5	278.3	4723.8

(Northern Area)



Legend:

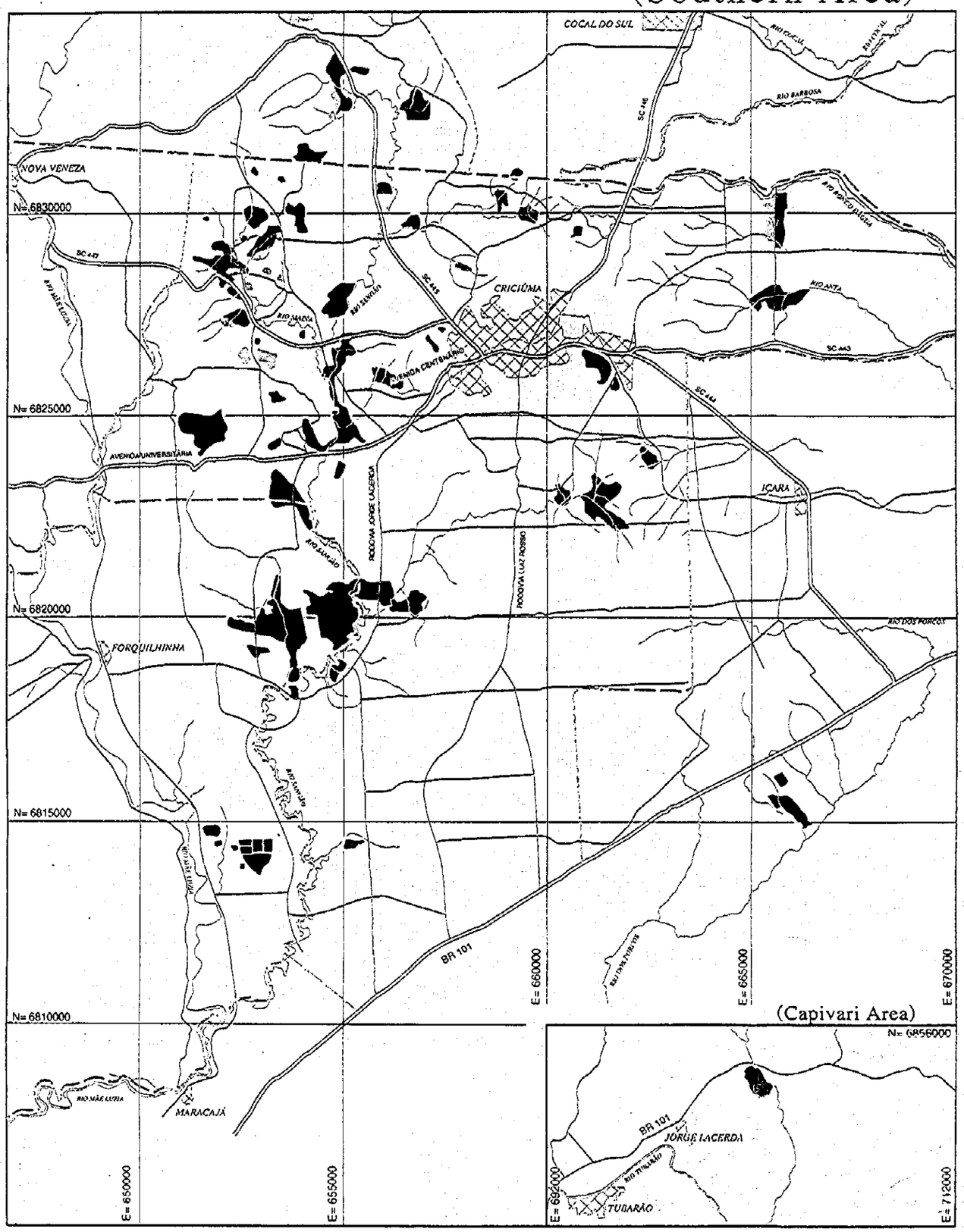
- Black Reject
- Waste Paved Road
- Overburden Waste
- Pond

FIGURA III-2(1/2) PILHAS DE REJEITOS

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

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY - JICA

(Southern Area)



Legend:

- Black Reject
- Waste Paved Road
- Overburden Waste
- Pond

FIGURA III-2(2/2) PILHAS DE REJEITOS

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

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY - JICA

TABELA III-2

CONDIÇÕES DAS TRÊS BACIAS DE RIOS POLUÍDAS

Parâmetros	Área não Degradada [a]	Área Degradada [b]	Padrões Brasileiros [c]
pH	6 a 7	2 a 4	6 a 9
Ferro (mg/l)	menos de 4	10 a 190	5
Sulfato (mg/l)	8 a 25	100 a 2.000	250
Alumínio (mg/l)	menos de 0,5	10 a 100	0,1

[a] À montante, além de áreas mineradas em atividade ou abandonadas

[b] À jusante de áreas mineradas em atividade ou abandonadas

[c] Padrões brasileiros para qualidade de água classe quatro. O estado de Santa Catarina não especifica as exigências de parâmetros para padrões ambientais.

3.10. As concentrações de chumbo, cromo e manganês, revelam o mesmo padrão com relação a sulfato, ferro e alumínio. Suas concentrações nas área degradadas (em atividade ou abandonadas), excedem os padrões brasileiros (chumbo: 0,05 mg/l, cromo: Cr3+ 0,5 mg/l, manganês: 0,5 mg/l). O Rio Sangão é o rio em piores condições. As concentrações de zinco e de cobre também aumentam próximo às áreas degradadas. Contudo, as concentrações destes dois metais são inferiores aos padrões brasileiros (zinco: 5 mg/l, cobre: 0,5 mg/l). Na maioria dos pontos de monitoramento não foi detectada a presença de arsênico, cádmio e de mercúrio. As concentrações de metais pesados no sedimento aumentam próximo à área degradada. Mas, as concentrações de tais substâncias estão dentro das variações das médias para solos .

3. Áreas em Atividade

3.11. Empresas de mineração e lavadores de carvão em atividade foram observados pela Equipe para estudar suas atividades de proteção ambiental e avaliar sua adequação ao relatório da ZETA/IESA, no qual foram apontadas diretrizes para o projeto de sistemas de prevenção de drenagem ácida estabelecidos por empresas de consultoria contratadas pelas mineradoras de Santa Catarina. As conclusões destas observações estão resumidas abaixo:

3.12. Todas as empresas mineradoras possuem lagoas de sedimentação instaladas cuja água é utilizada pelo lavador para o beneficiamento do carvão. Estas empresas chamam este sistema de reciclagem de água de circuito fechado, o que não é verdade[1] . O pH na saída da lagoa é inferior a 3 contra os padrões estabelecidos para efluentes de 6 a 9. A água do rio já está tão poluída que não há diferença entre esta e a água do lavador em termos de pH. Na Tabela III-3 abaixo, resumimos as descargas médias das áreas em atividade:

[1] **A lagoa não é usada exclusivamente para o lavador recebendo também águas de outras fontes.**

TABELA III-3

DESCARGA MÉDIA DE ÁREAS EM ATIVIDADE

Parâmetros	Descarga Média de Minas em Atividade [a]	Padrão de Descarga de Santa Catarina
pH	2,9	5 a 9
Ferro (mg/l)	473	15
Sulfato (mg/l)	3.274	1[b]
Alumínio (mg/l)	117	0,1[c]

[a] Coletado durante Janeiro, Fevereiro e Maio de 1997 em seis áreas em atividade.
[b] Padrões federais uma vez que Santa Catarina não especifica normas para sulfatos.
[c] Padrões federais uma vez que Santa Catarina não especifica normas para alumínio
A lagoa não é usada exclusivamente para o lavador recebendo também águas de outras fontes.

3.13 A Equipe considera as diretrizes apontadas pela ZETA/IESA como um exemplo de administração responsável para os rejeitos de mineração do sul de Santa catarina, e propõe especificações adicionais na Seção II-A do Anexo Técnico. No entanto, apesar da licença de operação o exigir, não há no presente momento praticamente nenhuma empresa mineradora cumprindo as orientações da ZETA/IESA

C. *Estudo de Viabilidade das Áreas de Estudo*

1. Tratamento de Águas Ácidas

(a) Avaliação Geo-Química

i) Objetivo

3.14. A caracterização geo-química dos rejeitos de mineração visa reunir dados químicos relevantes necessários ao desenvolvimento de planos efetivos para a redução dos efeitos da drenagem ácida produzida nas áreas de mineração de carvão em atividade ou abandonadas, no sul de Santa Catarina.

ii) Métodos

3.15. Foi usada uma retro-escavadeira Case 580H para a coleta de amostras de rejeitos sólidos em cada uma das quatro áreas de estudo. As escavações atingiram um máximo de 4 metros de profundidade. Em cada buraco foram registrados: tipo do material, profundidade do nível de água, pH e condutividade elétrica da água e a profundidade final da escavação. As amostras foram coletadas de acordo com os tipos de rejeitos, coloração, mineralogia e grau de saturação. Um total de 152 amostras

foi enviados à FUCRI/UNESC para ser analisado. Separou-se uma sub-amostra, a qual foi submetida à análise de metais pesados e lixiviados, usando-se o método 1312 , da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA). Foi também realizado um programa de determinação do potencial de geração de acidez dos rejeitos baseando-se nas diretrizes dos métodos 600/2-78-054 do documento da US EPA.

(iii) Características Geo-Químicas dos Rejeitos de Minas de Carvão.

3.16. Os resultados das análises de metais totais e lixiviados e do teste ABA realizados nas amostras coletadas nas áreas de estudos estão resumidos abaixo. Os rejeitos de quadração (arenito) apresentam pequena concentração de enxofre e insignificante potencial de neutralização. O teste de lixiviação destes rejeitos demonstra que os mesmos não apresentam toxidez , podendo ser usados como material de construção. A maior parte dos rejeitos de lavador continha altas concentrações de enxofre tanto oxidado quanto não oxidado. Todas as amostras com exceção de uma, apresentaram potenciais de neutralização desprezíveis. Todas amostras, excetuando-se um pequeno número, tiveram um potencial de neutralização negativo o que indicando que o material produzirá acidez quando exposto ao ar ou à água. Foram detectadas as concentrações totais de Al, Ca, Fe, Mn, Cr e Zn, as quais não foram consideradas problemáticas. As concentrações de As, Cd, Cu, Pb e Hg ficaram próximas ou nos limites de detecção. Os lixiviados do teste EPA 1312 continham concentrações detectáveis de Al, Ca, Cu, Cr, Fe, Mn e Zn. As concentrações totais de metais e de lixiviados apresentam uma correlação geralmente fraca. As concentrações de metais lixiviados tem correlação com o pH do lixiviado. A caracterização geo-química individual das Áreas de Estudos é apresentada no Estudo das Áreas de Estudo da Seção do Anexo Técnicos II-C-II.

(b) Testes de Tratabilidade

3.17. Testes de tratabilidade em laboratório, integrantes do estudo de viabilidade, foram realizados durante fevereiro e março de 1997 no Centro de Pesquisas Ambientais da FUCRI/UNESC. Eles incluem testes de neutralização de rejeitos, tratamento com biocida para rejeitos de minas, neutralização de águas ácidas, testes de precipitação e tratamento biológico passivo. Os resultados destes testes de tratabilidade estão na Seção II-C-II do Anexo Técnico.

2. *Alternativas para Recuperação das Áreas de Estudos*

(a) Alternativas para a Recuperação de Fiorita

(i) Descrição

3.18. Como não houve nenhuma recuperação durante e após o processo de mineração,o método de exploração por "Dragline" produziu grandes pilhas cônicas de rejeitos de pedras de arenitos depositadas numa área de cerca de 230 ha (Figura III-3). Pequenos lagos e lagoas foram formados esporadicamente, ao longo das paredes norte e sul e outros pela deposição de estéreis. Rejeitos de carvão e de lavadores foram depositados ao longo das estradas e de pequenos tributários desta área. Como não havia nenhum lavador de carvão dentro da área durante o processo de exploração, supõe-se que os rejeitos de carvão tenham sido irregularmente trazidos de fora e depositados no local.

3.19. O rejeito de quadração por si próprio não contém pirita e nem é fonte geradora de água ácida. Além disso, devido a dureza do arenito, este tipo de rejeito, mesmo após muitos anos de abandono continua em condições estáveis, sem erosão, a qual geralmente é causa de deslizamentos de terreno e assoreamento do leito de rios. Para a recuperação do Fiorita não seriam necessárias medidas preventivas contra problemas provocados por erosão. Os rejeitos de quadração foram considerados principalmente do ponto de vista de uso do solo ou de paisagismo. A partir daí, foram concebidas duas alternativas simples para sua recuperação, ou seja, terraplenar o terreno e cobri-lo com uma camada de argila sobre a qual plantar-se-iam gramíneas, ou deixar a área como se encontra atualmente.

3.20. Foram desenvolvidas três alternativas para cada Área de Estudos, criando-se três grupos distintos de ações para a recuperação visando o tratamento da água ácida. Contudo, uma vez que os depósitos de estéreis existem apenas na Área de Estudos de Fiorita, seria necessário fazer-se a recuperação destes, o que resultaria em seis alternativas para a referida área.

3.21. **Alternativa 1:**. As características desta são: remoção das fontes de poluição deixando as mesmas dentro da própria área, tratamento passivo e recuperação dos depósitos de quadração (Figura III-4). Os rejeitos de carvão e folhelhos piritosos expostos são considerados fontes primárias causadoras de acidez e de contaminação de metais do rio Fiorita. Tais fontes seriam escavadas e removidas, sendo colocadas ou sob um metro de água em uma das lagoas existentes na área, ou transferidas para um depósito construído localmente. Este depósito seria recoberto com um sistema de camada úmida ou barreira capilar (Figura III-5). Após a remoção dos folhelhos piritosos, as áreas escavadas seriam recobertas com um sistema de cobertura vegetal exclusor de oxigênio o qual evitaria a oxidação de quaisquer folhelhos ao pé do corte que tenham sido expostos à oxidação durante a escavação. Pequenas infiltrações ácidas e pequenos tributários que descarregam no rio Fiorita seriam tratados por meio de sistemas de tratamento biológico-passivo em banhados aeróbicos e anaeróbicos

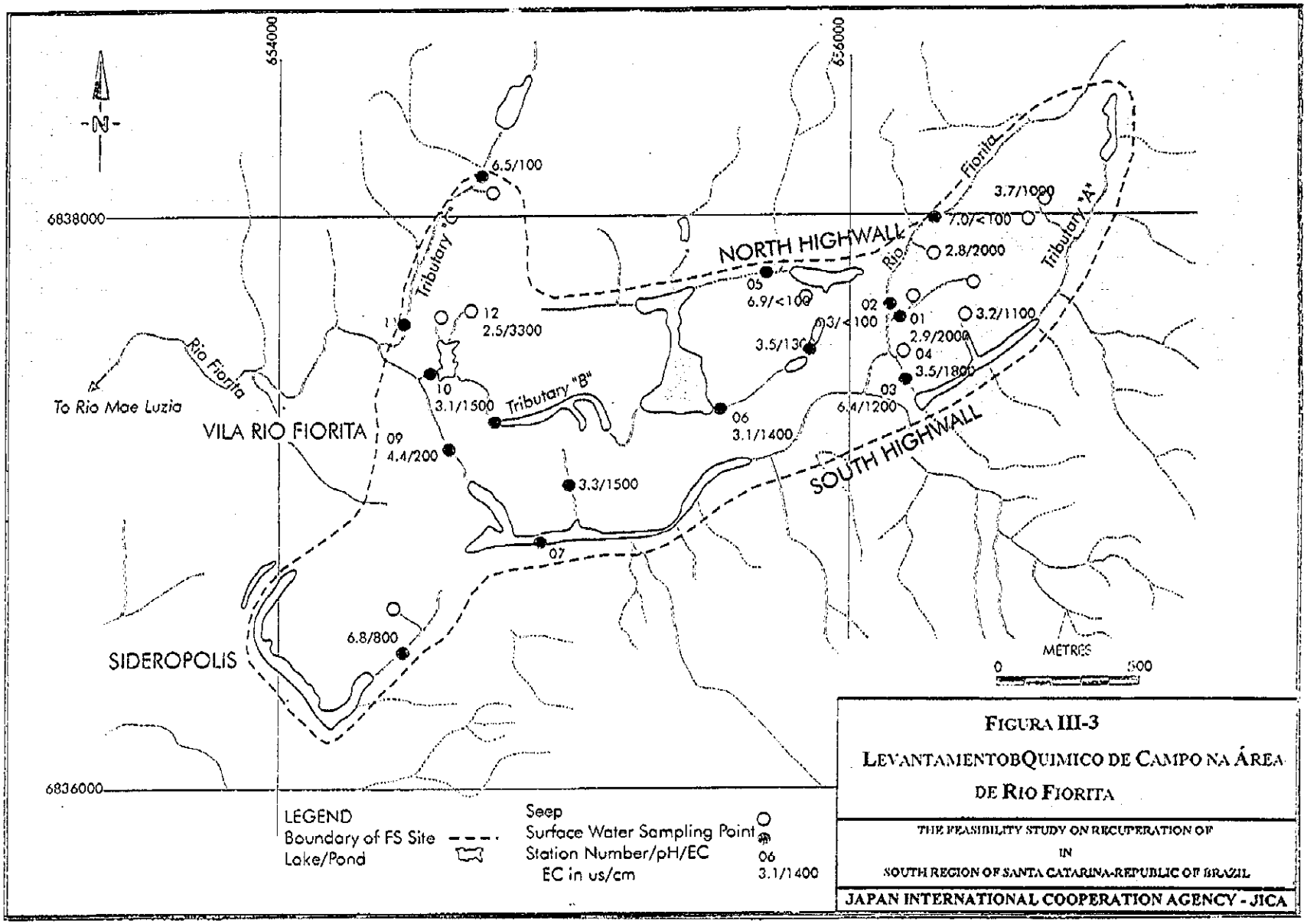


FIGURA III-3

LEVANTAMENTOBQUIMICO DE CAMPO NA ÁREA DE RIO FIORITA

THE FEASIBILITY STUDY ON RECUPERATION OF
IN
SOUTH REGION OF SANTA CATARINA-REPUBLIC OF BRAZIL

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY - JICA

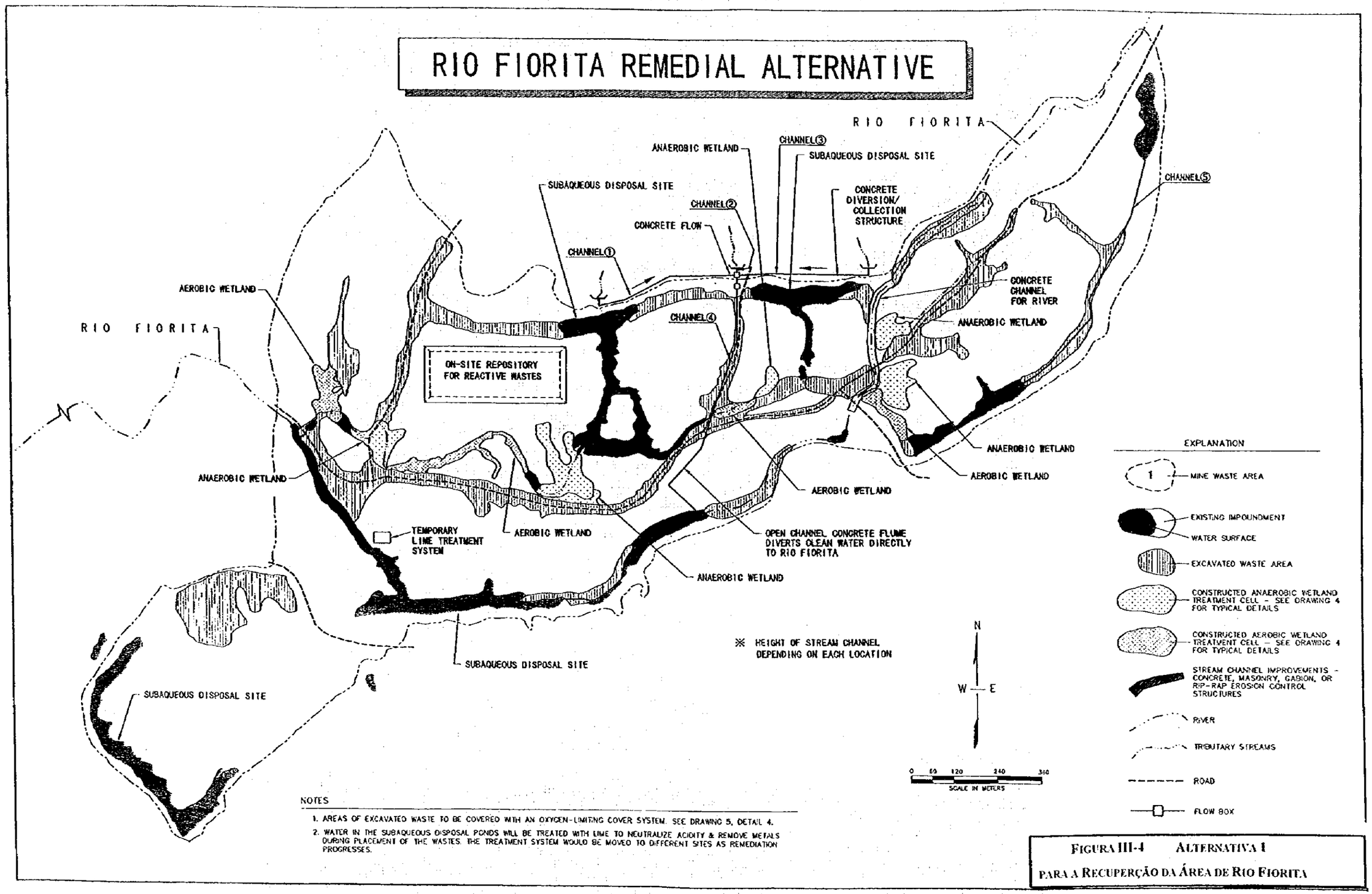
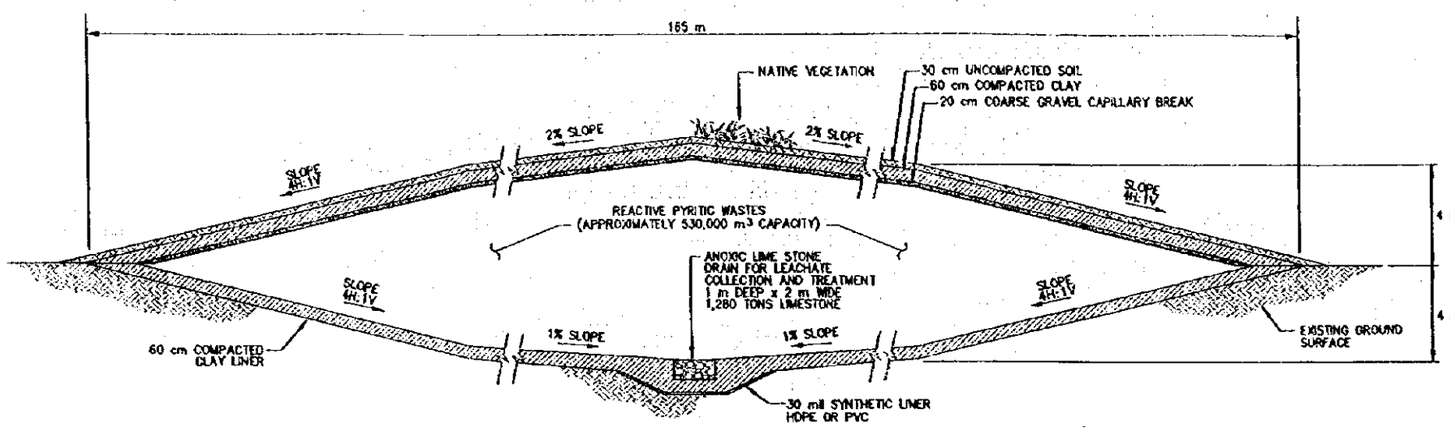
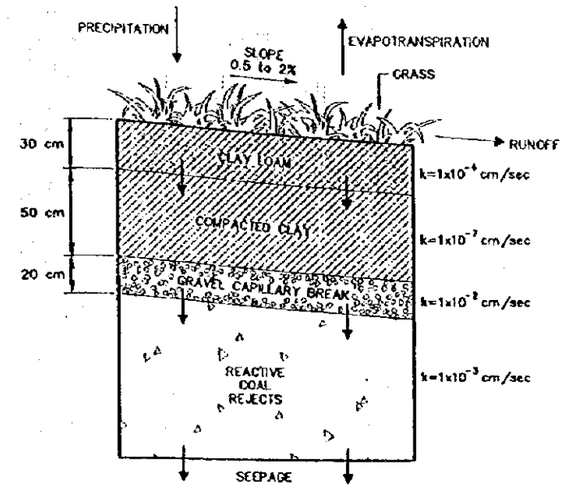


FIGURA III-4 ALTERNATIVA I

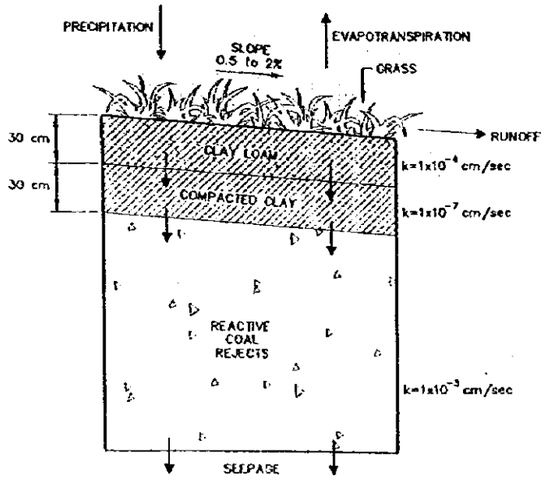
PARA A RECUPERÇÃO DA ÁREA DE RIO FIORITA



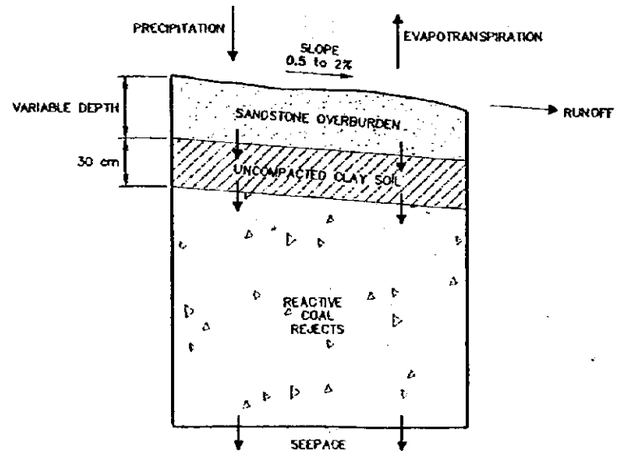
SECTION A
NOT TO SCALE



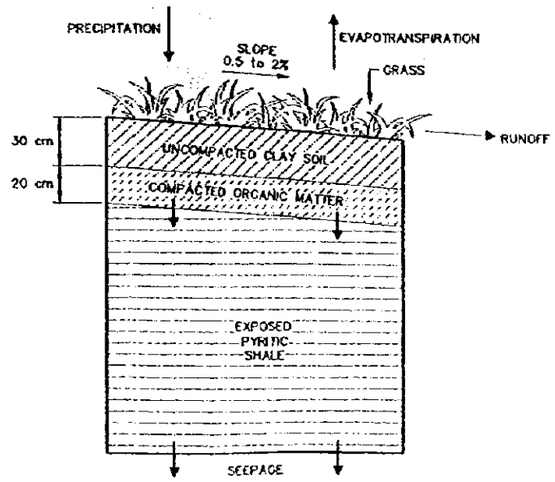
DETAIL 1
TYPICAL WET COVER SYSTEM



DETAIL 2
TYPE I DRY COVER SYSTEM



DETAIL 3
TYPE II DRY COVER SYSTEM



DETAIL 4
OXYGEN-LIMITING COVER SYSTEM

FIGURA III-5 OPCÕES DE TIPOS DE COBERTURA PARA A ÁREA DE RIO FIORITA

construídos (Figura III-6). Os depósitos de estéreis seriam reconfigurados, nivelados e cobertos com uma camada de argila vegetada com gramíneas. As ações visando a recuperação seriam:

1. Escavação e remoção local dos rejeitos reativos;
2. Remoção subaquática para lagoas existentes na área;
3. Construção na área de um depósito reordenado;
4. Construção de sistemas de banhados passivos;
5. Controle da erosão de canal e instalação de estruturas de aeração por queda;
6. Desvio da água limpa; e
7. Recuperação dos rejeitos de quadração (cobertura de camada seca única).

3.22. **Alternativa 2:** Esta caracteriza-se pela contenção das fontes de poluição sob sistemas de cobertura úmida, tratamento passivo e pela recuperação dos depósitos de rejeitos de quadração (Figura III-7). A maior diferença entre esta alternativa e a de número 1 está na remoção das fontes de poluição. Os rejeitos de carvão e os folhelhos seriam deixados no local e cobertos por um sistema de cobertura úmida. Porém há que se considerar que rejeitos limitados como os depositados nos leitos de rios ou em áreas passíveis de serem atingidas por água possam vir a prejudicar um sistema de cobertura durante uma enchente. As medidas relacionadas aos banhados passivos, canais, estruturas de aeração por queda, desvio das águas limpas e à recuperação dos depósitos de rejeitos de quadração são idênticas às da Alternativa 1. As ações para a recuperação seriam:

1. Cobertura dos rejeitos reativos com sistema de cobertura úmida;
2. Escavação limitada e remoção local dos rejeitos reativos expostos;
3. Construção de sistemas de banhados passivos;
4. Controle da erosão de canal e instalação das estruturas de aeração por queda;
5. Desvio da água limpa, e
6. Recuperação do rejeito de quadração (cobertura seca de camada única).

3.23. **Alternativa 3:** As características desta alternativa são: controle das fontes de poluição, tratamento passivo e recuperação dos depósitos de quadração (Figura III-8). A principal diferença com a Alternativa 2
está no sistema de cobertura dos rejeitos reativos. Os rejeitos de carvão e folhelhos seriam deixados no local e recobertos com uma camada seca. O procedimento de escavação limitada e a remoção local dos rejeitos reativos é idêntico ao da Alternativa 2, exceto pelo sistema de cobertura. Os banhados passivos e a recuperação dos rejeitos de quadração são iguais aos das Alternativas 1 e 2. As ações para a recuperação seriam:

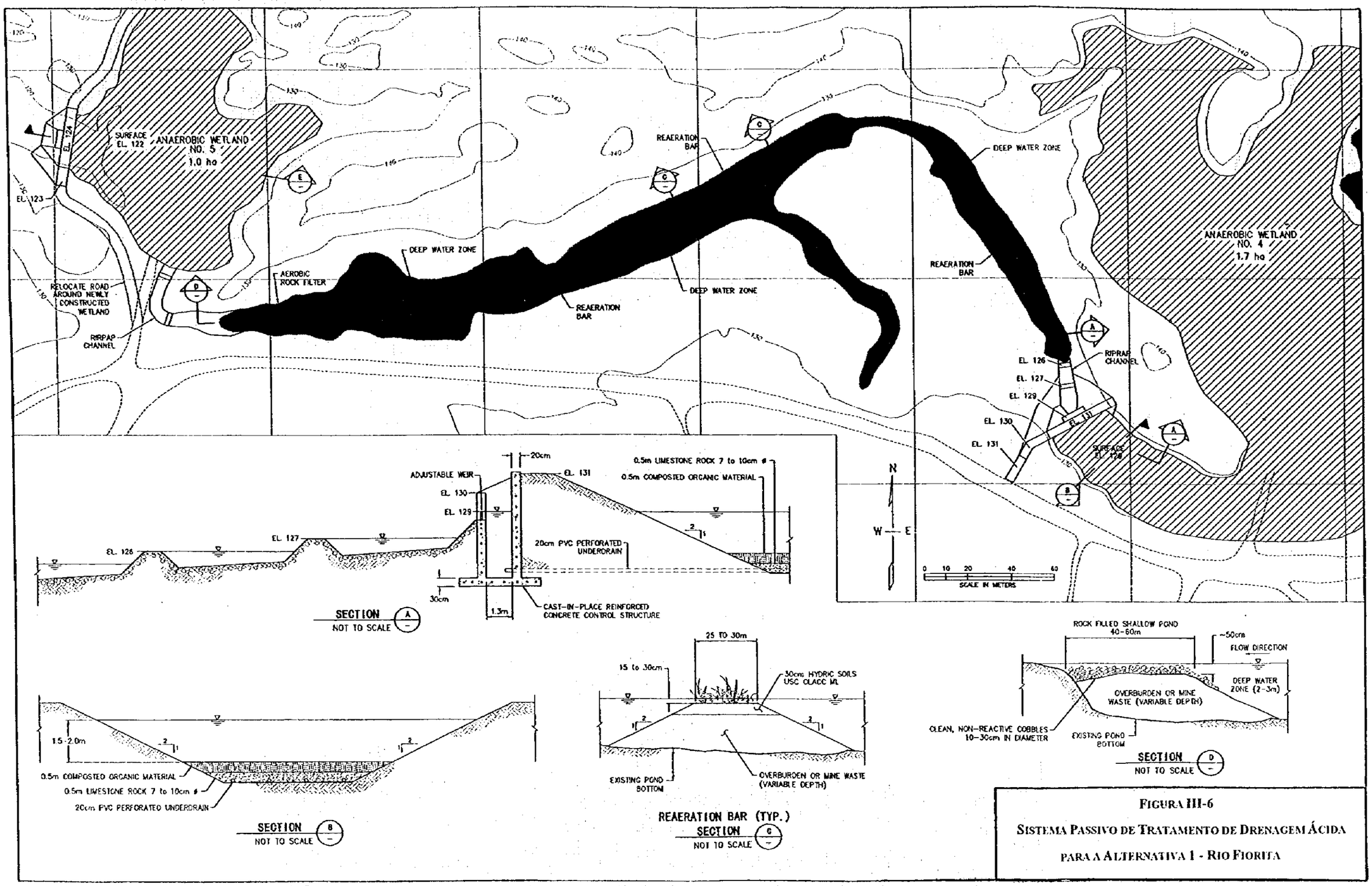


FIGURA III-6

SISTEMA PASSIVO DE TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA PARA A ALTERNATIVA 1 - RIO FIORITA

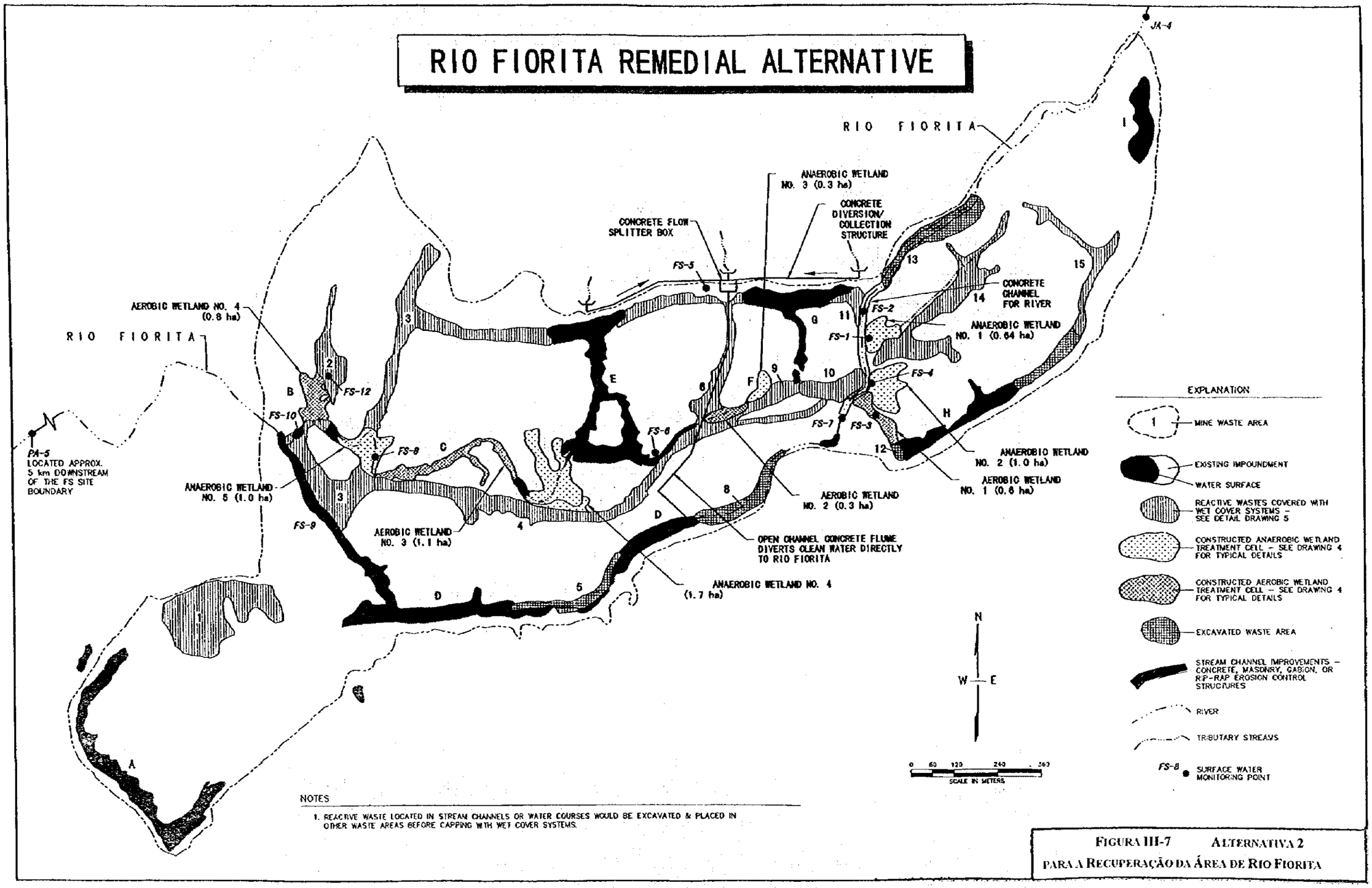


FIGURA III-7 ALTERNATIVA 2
PARA A RECUPERAÇÃO DA ÁREA DE RIO FIORITA

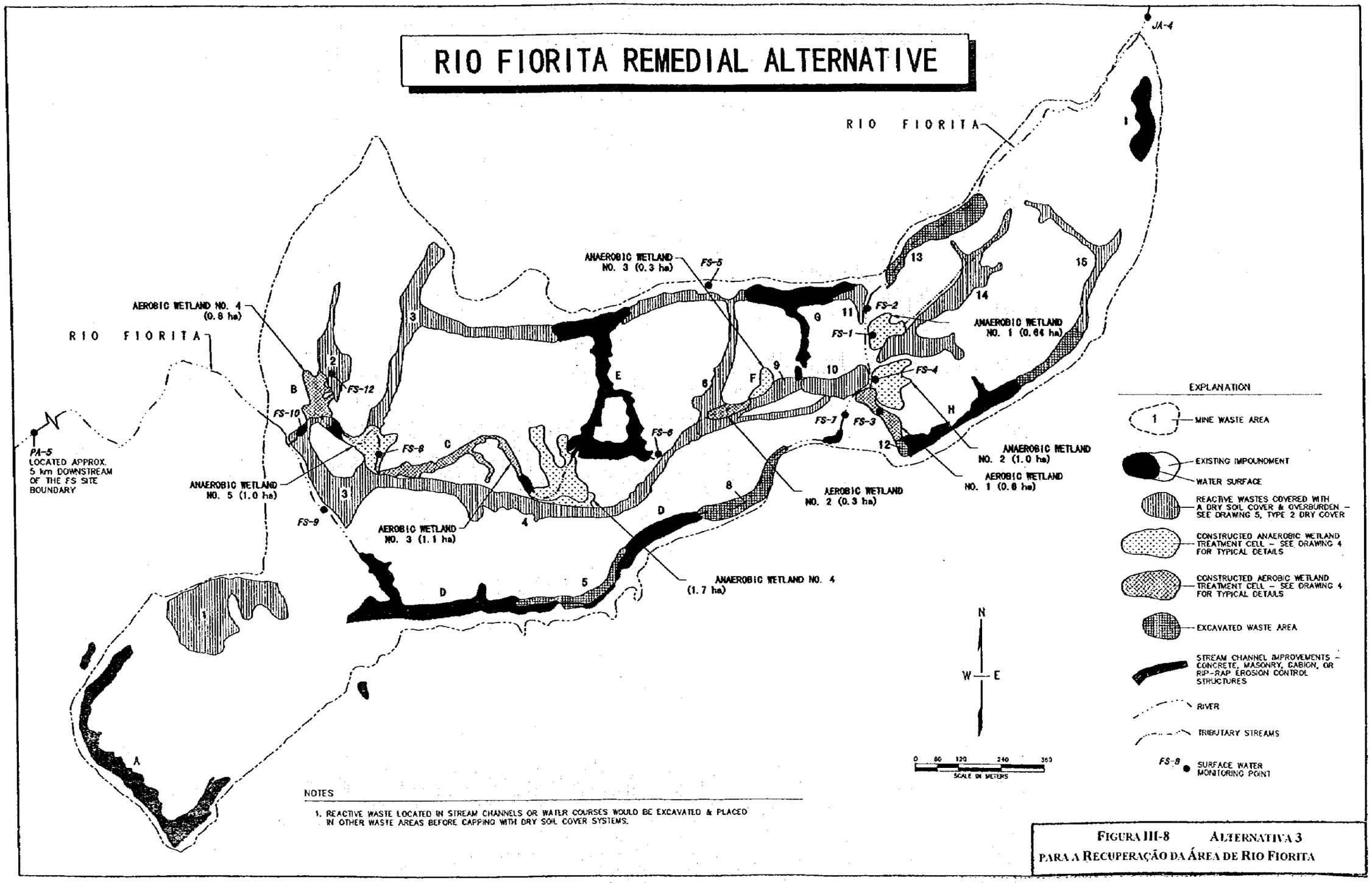


FIGURA III-8 ALTERNATIVA 3
PARA A RECUPERAÇÃO DA ÁREA DE RIO FIORITA

1. Cobertura dos rejeitos reativos com sistema de camada seca;
2. Escavação limitada deixando no local os rejeitos reativos expostos;
3. Construção de sistemas de banhados passivos;
4. Controle da erosão de canais e instalação de estruturas de aeração por queda;
5. Desvio da água limpa, e
6. Recuperação dos rejeitos de quadração (cobertura seca de camada única).

3.24. **Outras alternativas**: As alternativas 4,5 e 6 excluem a recuperação dos depósitos de quadração apresentados respectivamente nas Alternativas 1, 2 e 3. As demais ações são idênticas.

(ii) Estimativas do custo e da eficácia da recuperação de Fiorita.

3.25. Foi construído um modelo de simulação numérica para prever-se a qualidade da água após a implementação das medidas de recuperação na Área de Fiorita, como pode ser visto no Anexo Técnico II-B do Monitoramento de Qualidade da Água. As estimativas da eficácia da redução de cargas e de custos estão resumidas na tabela III-4 baixo.

TABELA III-4

CUSTO E EFICÁCIA DA RECUPERAÇÃO DE FIORITA

Alternativa	Redução de Carga Estimada(%)	pH a/	Custo (Milhões R$)
Alternativa 1	90 - 98	4,6 - 5,0	12,4
Alternativa 2	60 - 70	3,8 - 4,0	11,2
Alternativa 3	20 - 40	3,5 - 3,7	8,4
Alternativa 4	90 - 98	4,5 - 5,0	7,3
Alternativa 5	60 - 70	3,8 - 4,0	5,6
Alternativa 6	20 - 40	3,5 - 3,7	2,8

a/ Estimado à jusante, no limite da Área de Estudo (pH atual = 3,5)

3.26. Espera-se que a Alternativa 1 (a mais eficaz) cause uma redução das concentrações de metais e de ácidos de 90 a 98 por cento. Apesar da alta redução obtida, tais índices não estariam dentro das normas brasileiras para águas de superfície. Uma vez que a atual estimativa não considera o efeitos da recuperação dos rejeitos de quadração, não há diferença entre Alternativas 1, 2, 3 e as Alternativas 4, 5, 6 em termos de pH respectivamente.

(b) Alternativas para a Recuperação da Área de Rocinha

(i) Descrição

3.27. A área de Rocinha possui aproximadamente 71 ha localizados ao longo do rio de mesmo nome. Neste local funcionavam vários lavadores de carvão (Figura III-9). Rejeitos foram depositados extensivamente em cavas e taludes dos morros até tomarem a forma de terraços planos elevados, principalmente na margem norte do rio Rocinha. Também foram depositados finos de carvão em numerosas lagoas de sedimentação ou represas. Na medida em que ocorreu o aterramento das cavas naturais, o rio Passa Dez, um dos afluentes do rio Rocinha foi boqueado por rejeitos depositados sobre depósitos naturais extensivos de pedras e cascalho, sendo que um curto atalho artificial para o rio Rocinha foi então aberto. O continuo aterramento das cavas, como o que ocorreu nas áreas dos lavadores, alterou o traçado original do vale do rio Passa Dez. Atualmente os rejeitos estão sendo escavados e relavados para a recuperação do carvão.

3.28. **Alternativa 1:** Esta alternativa caracteriza-se pela contenção das fontes de poluição, tratamento passivo e pelo controle de erosão (Figura III-10). Os depósitos de rejeitos piritosos seriam deixados onde se encontram, sendo cobertos por uma camada úmida ou barreira capilar. Antes de receberem a cobertura estes depósitos seriam terraplenados e reconfigurados. Seriam abertos canais de drenagem para afastar as águas de escoamento, reduzindo assim a erosão que ocorre durante chuvas fortes (Figura III-11). Também seria aplicado calcário sobre a superficie do rejeito reativo antes deste receber a cobertura. As lagoas existentes seriam drenadas e preenchidas para prevenir-se a infiltração para dentro dos rejeitos encobertos. Várias infiltrações ácidas e córregos seriam tratados por sistemas de tratamento biológicos de banhados anaeróbicos e aeróbicos. A água limpa do rio Passa Dez, acima da Área de Estudo seria interceptada e desviada para o rio Rocinha através de um canal de concreto. Acredita-se que uma parte do Rio Passa Dez flua atualmente através dos rejeitos reativos descarregando no canal RS-9. Abaixo apresentamos as ações para a recuperação:

1. Cobertura dos rejeitos reativos com uma camada exclusora de oxigênio;
2. Escavação limitada deixando no local os rejeitos reativos;
4. Drenagem e aterramento das lagoas e represas;
5. Construção de sistemas de banhados passivos;
6. Controle de erosão de canais e instalação de estruturas de aeração;
7. Desvio da água limpa, e

8. Estabilização do canal do rio Rocinha.

3.29. **Alternativa 2:** Esta caracteriza-se pela contenção das fontes de poluição, tratamento passivo e controle de erosão (Figura III-12). As diferenças estão nos sistemas de coberturas dos rejeitos reativos

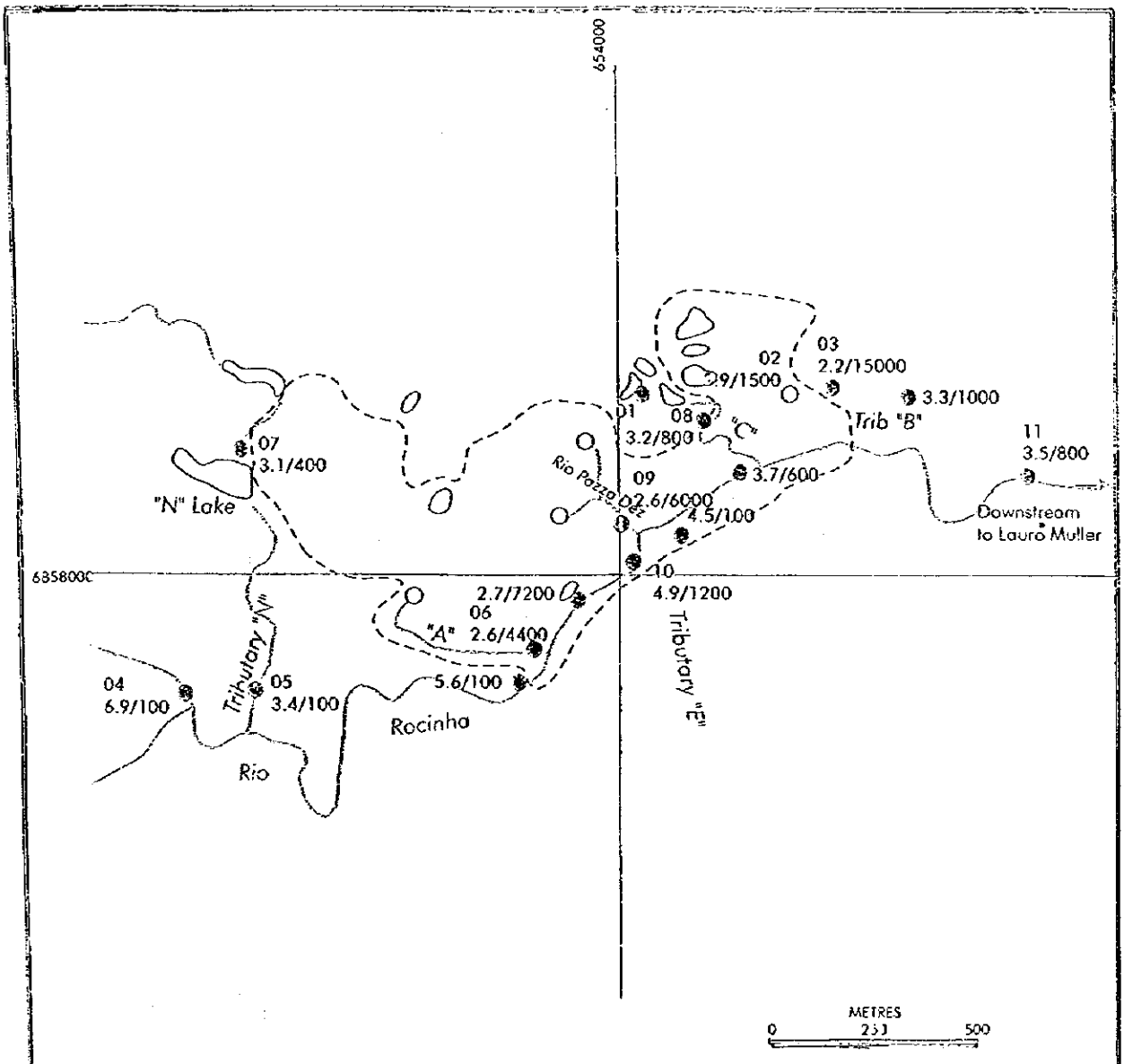


FIGURA III-9

LEVANTAMENTOBQUIMICO DE CAMPO NA ÁREA DE RIO ROCINHA

THE FEASIBILITY STUDY ON RECUPERATION OF
IN
SOUTH REGION OF SANTA CATARINA-REPUBLIC OF BRAZIL

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY - JICA

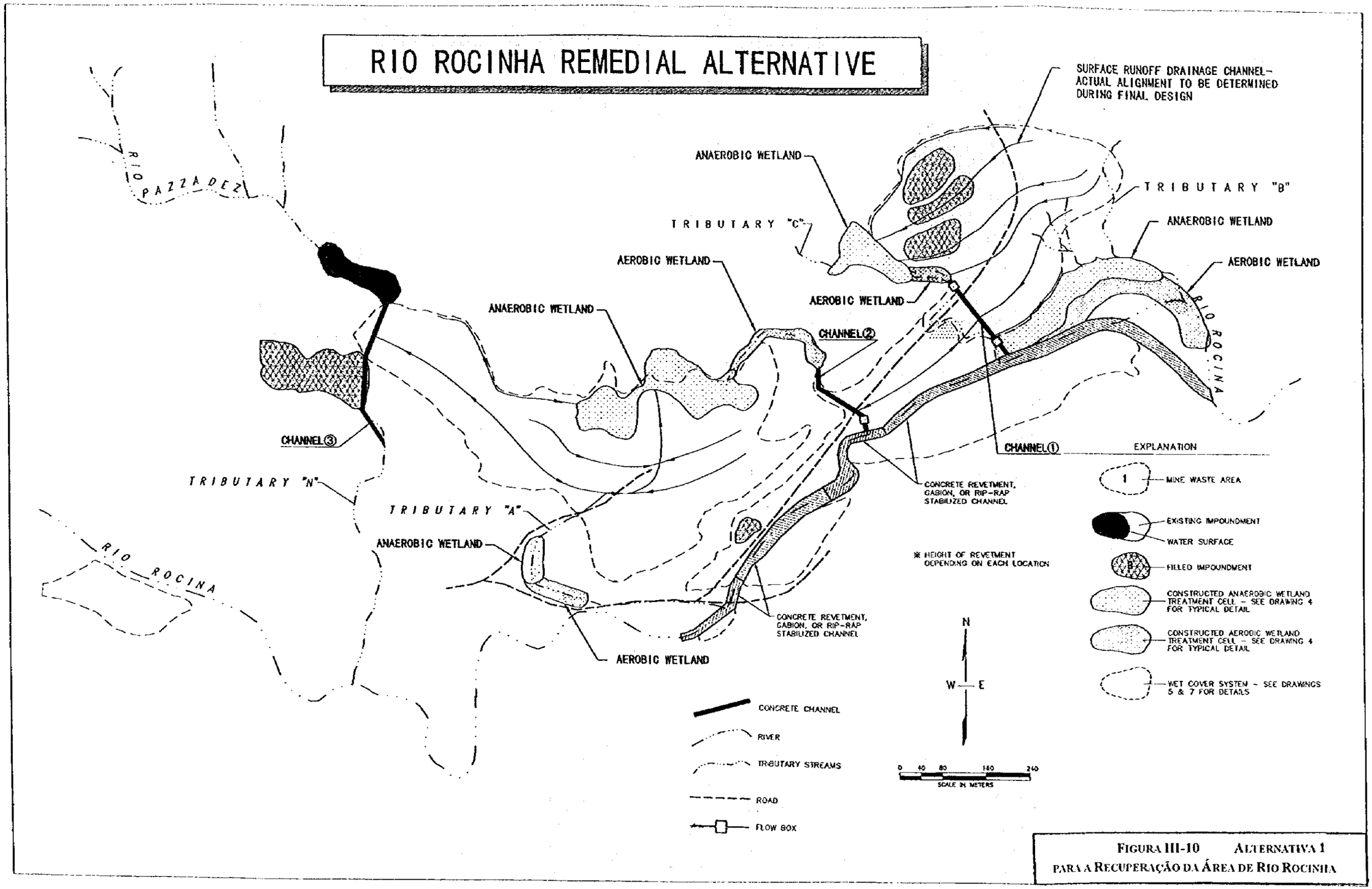
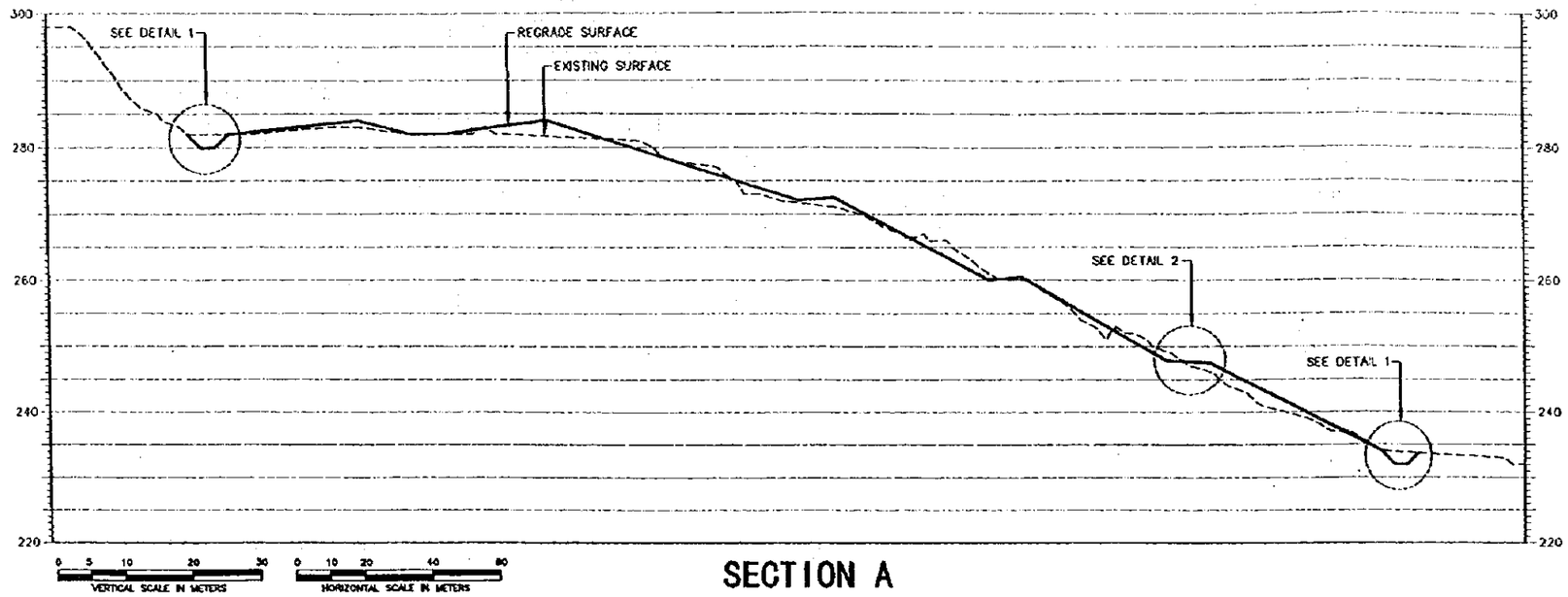
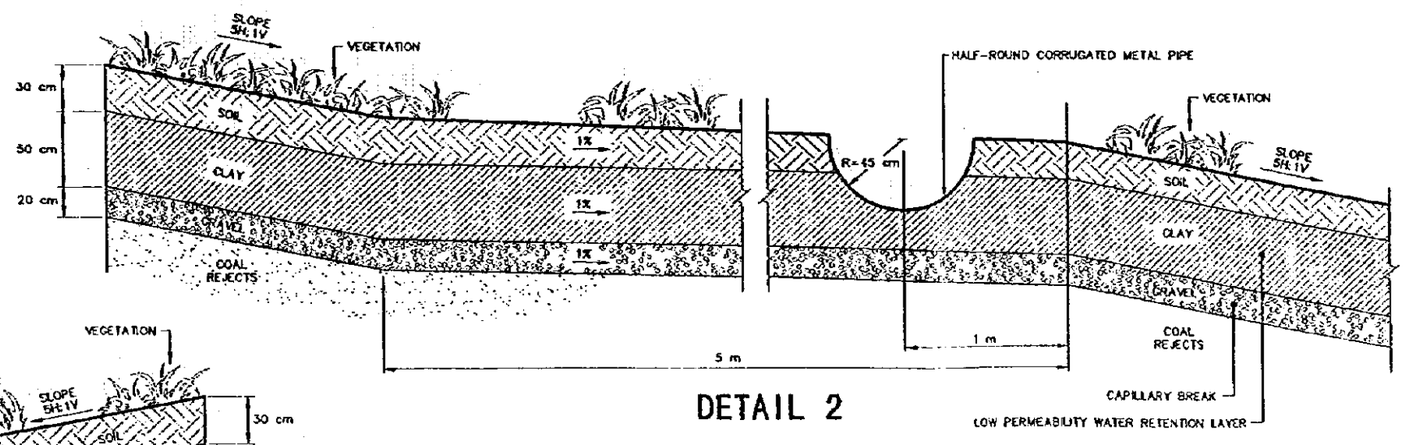


FIGURA III-10 ALTERNATIVA 1
PARA A RECUPERAÇÃO DA ÁREA DE RIO ROCINHA



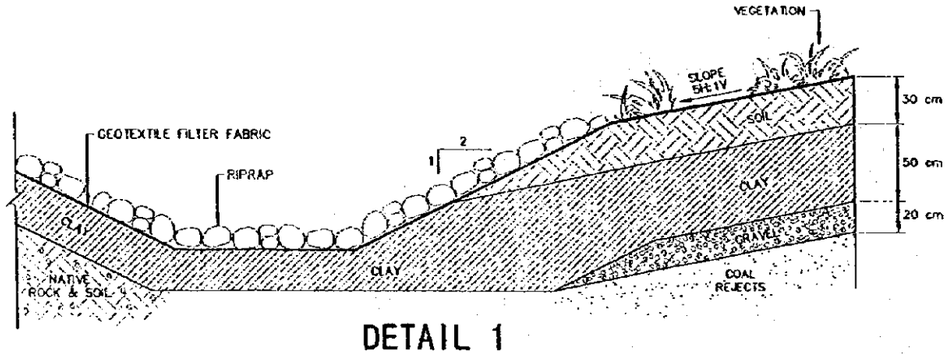
SECTION A



DETAIL 2

NOTE

1. APPLY HYDRATED LIME OR FINELY GROUND LIMESTONE TO THE SURFACE OF THE REACTIVE COAL REJECTS DURING FINAL GRADING PRIOR TO INSTALLATION OF THE WET COVER SYSTEM.



DETAIL 1

FIGURA III-11
ALTERNATIVA I PARA A RECUPERAÇÃO DA ÁREA DE RIO ROCINHA: SEÇÃO E DETALHAS

RIO ROCINHA REMEDIAL ALTERNATIVE

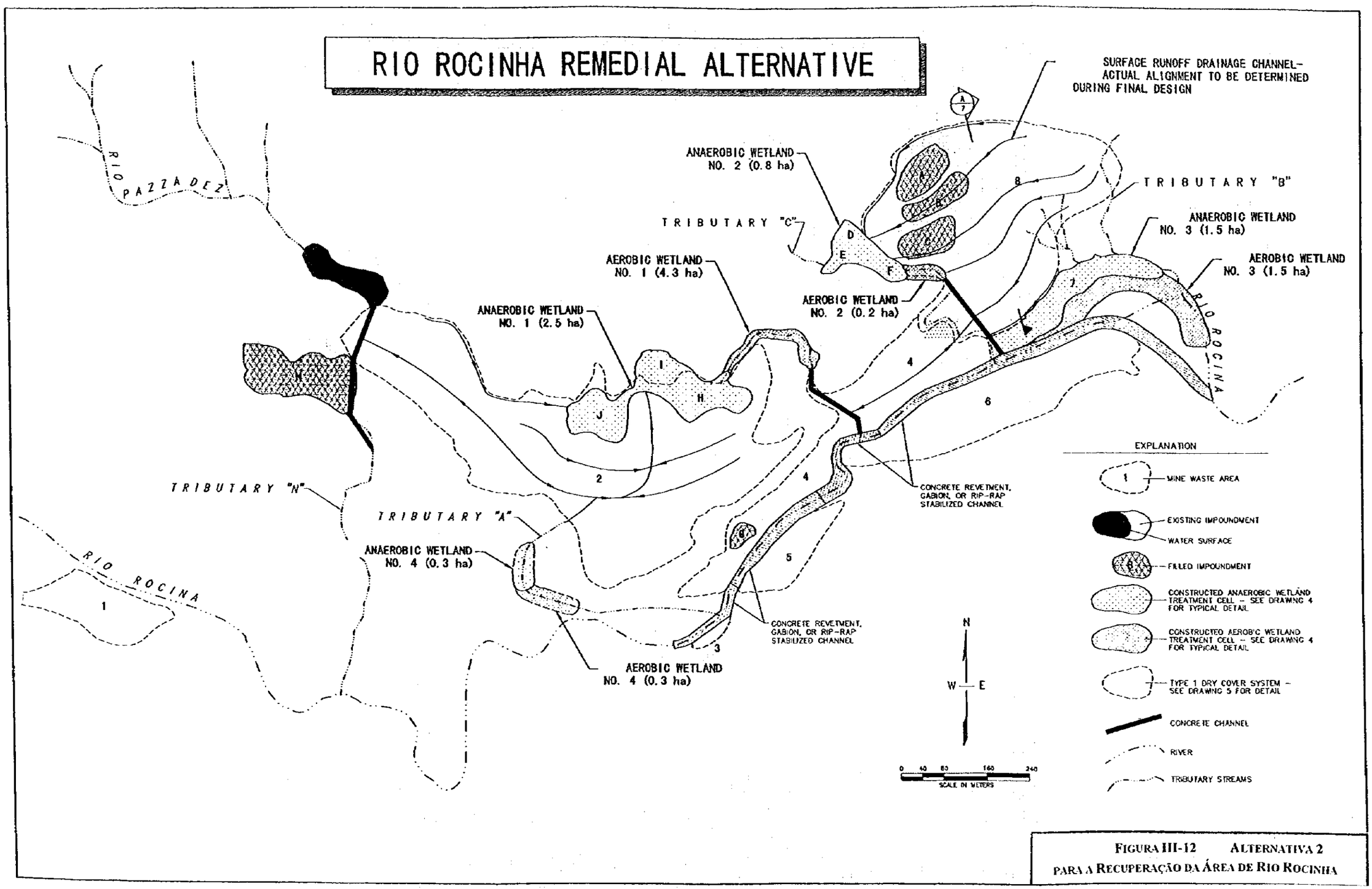


FIGURA III-12 ALTERNATIVA 2
PARA A RECUPERAÇÃO DA ÁREA DE RIO ROCINHA

que seriam de camada seca ao invés do de camada úmida usado na Alternativa 1. Na Alternativa 2 não haveria aplicação de calcário sobre a superfície do rejeito. Abaixo apresentamos as alternativas para a recuperação:

1. Cobertura dos rejeitos reativos com um sistema de camada seca;
2. Escavação limitada deixando no local os rejeitos reativos expostos;
3. Drenagem e aterramento da lagoas;
4. Construção dos sistemas de banhados passivos;
5. Controle de erosão de canais e instalação de estruturas de aeração;
6. Desvio da água limpa, e
7. Estabilização do canal do rio Rocinha.

3.30 **Alternativa 3:** Esta **alternativa** caracteriza-se pela contenção das fontes de poluição ,e pelo controle de erosão (Figura III-13). A diferença entre esta alternativa e as Alternativas 1 e 2, é que ela não emprega os sistemas de tratamento de banhados passivos. As ações de recuperação seriam:

1. Cobertura do rejeito reativo com um sistema da camada seca;
2. Escavação limitada e disposição local dos rejeitos reativos expostos;
3. Drenagem e aterramento das lagoas;
4. Controle de erosão de canais e instalação de estruturas de aeração por queda;
5. Desvio da água limpa, e
6. Estabilização do canal do rio Rocinha.

(ii) Estimativas do Custo de Recuperação e da Eficácia de Rocinha

3.31. O modelo de simulação numérica foi construído para prever a qualidade da água após a implementação das medidas de recuperação na Área de estudos de Rocinha, conforme pode ser visto na Seção II-B do Anexo Técnico. A eficácia quanto a redução de cargas e custos das alternativas de recuperação estão resumidos na Tabela III-5 abaixo. Os detalhes são apresentados na Seção II-D do Anexo Técnico.

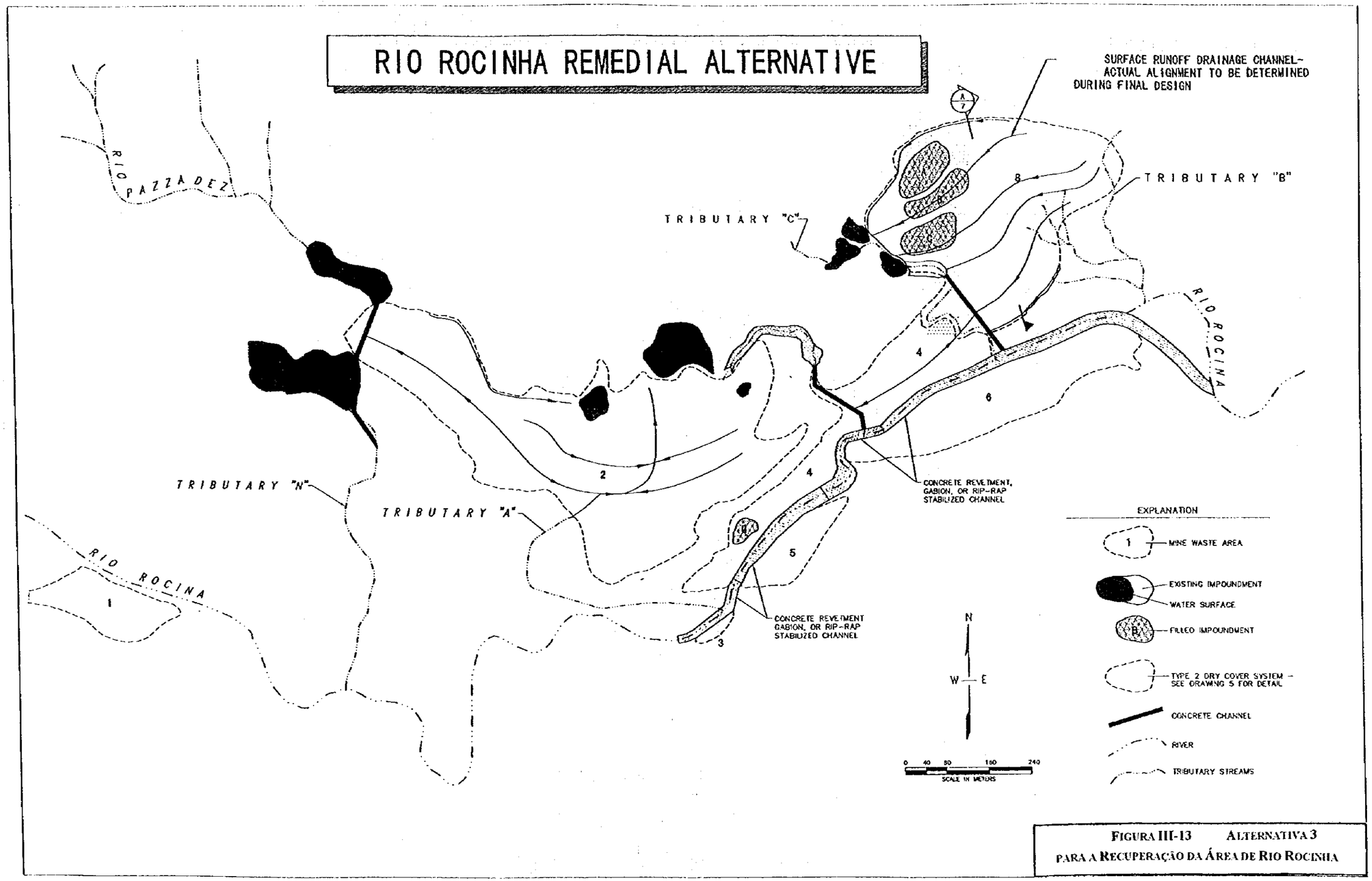


FIGURA III-13 ALTERNATIVA 3
PARA A RECUPERAÇÃO DA ÁREA DE RIO ROCINHA

TABELA III-5

CUSTO E EFICÁCIA DA RECUPERAÇÃO DE ROCINHA

	Estimativa de Redução de cargas(%)	pH a/	Custo em Milhões R$
Alternativa 1	até 95	menos de 4,5	8,1
Alternativa 2	60 - 70	3,6 - 3,8	5,1
Alternativa 3	25 - 30	menos de 3,5	3,5

a/ Estimado no ponto de monitoramento (RS-11) logo abaixo dos limites da Área de Estudo (pH atual = 3,1)

3.32. Com a aplicação da alternativa mais eficiente (Alternativa 1), espera-se que ocorra uma redução de concentrações de metais e ácidos de até 95%. Apesar da alta redução obtida, tais índices não estariam dentro das normas brasileiras para águas de superfície.

(c) Alternativas para a Recuperação de Rio Carvão

(i.) Descrição das Alternativas

3.33. A principal característica da Área de Estudo do Rio Carvão é a vazão de água através da boca da Mina Santana que abre-se para uma área com menos de 2 ha, sendo que o efluente de superfície drena sobre um canal rochoso sem nome que contribui para um dreno com 100m de extensão. Este dreno descarrega num corte que é afluente do rio Carvão. A vazão da boca de mina varia de 4,3 a 20 m3/min. O pH da água é relativamente alto, cerca de 4,5.

3.34. No entanto, a maior fonte de poluição não é a drenagem da boca da Mina Santana. A drenagem dos volumosos depósitos de rejeitos situados a montante do córrego sem nome contribui com 50% da carga de acidez, 89% da carga de alumínio, e 75% da carga de ferro no ponto logo à jusante da confluência do referido córrego com o rio Carvão porque o rejeito está sendo relavado para a recuperação do carvão residual (Figura III-14). Apesar de terem uma contribuição de carga elevada, estas pilhas de rejeitos não foram incluídas na área de estudos de Rio Carvão.

3.35. **Alternativa 1:** Esta alternativa caracteriza-se por tratamento ativo. Seria construída uma estação de tratamento de neutralização por calcário com capacidade de tratar 25 m3/min.de efluentes da boca de mina (Figura III-15). O projeto da estação de tratamento seria de acordo com o processo padrão conhecido como "Lodo de Alta Densidade" (LAD) (Figura III-16).

3.36. **Alternativa 2:** Esta alternativa caracteriza-se pelo emprego de banhados passivos. A

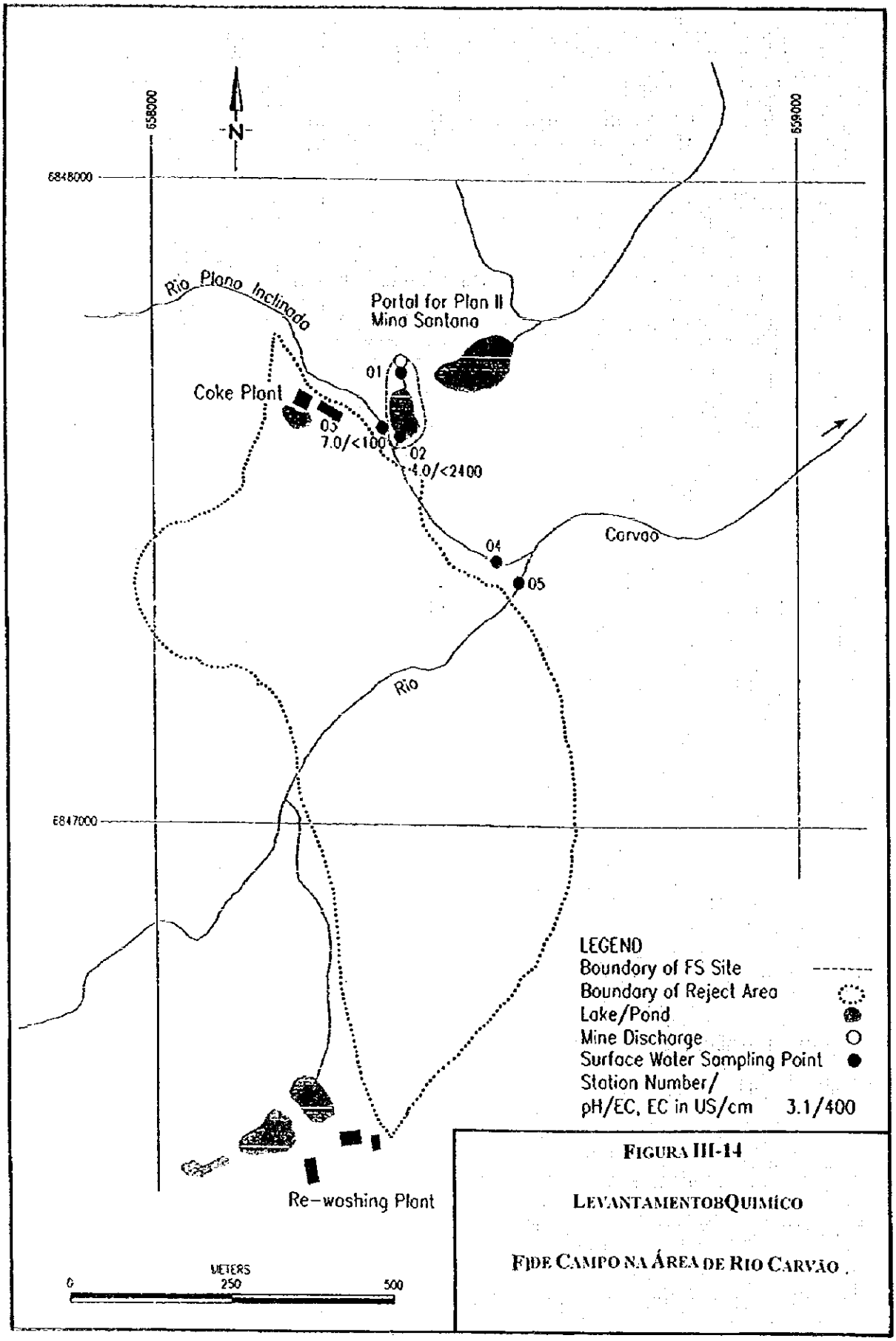


FIGURA III-14

LEVANTAMENTO QUIMICO

FIDE CAMPO NA ÁREA DE RIO CARVÃO

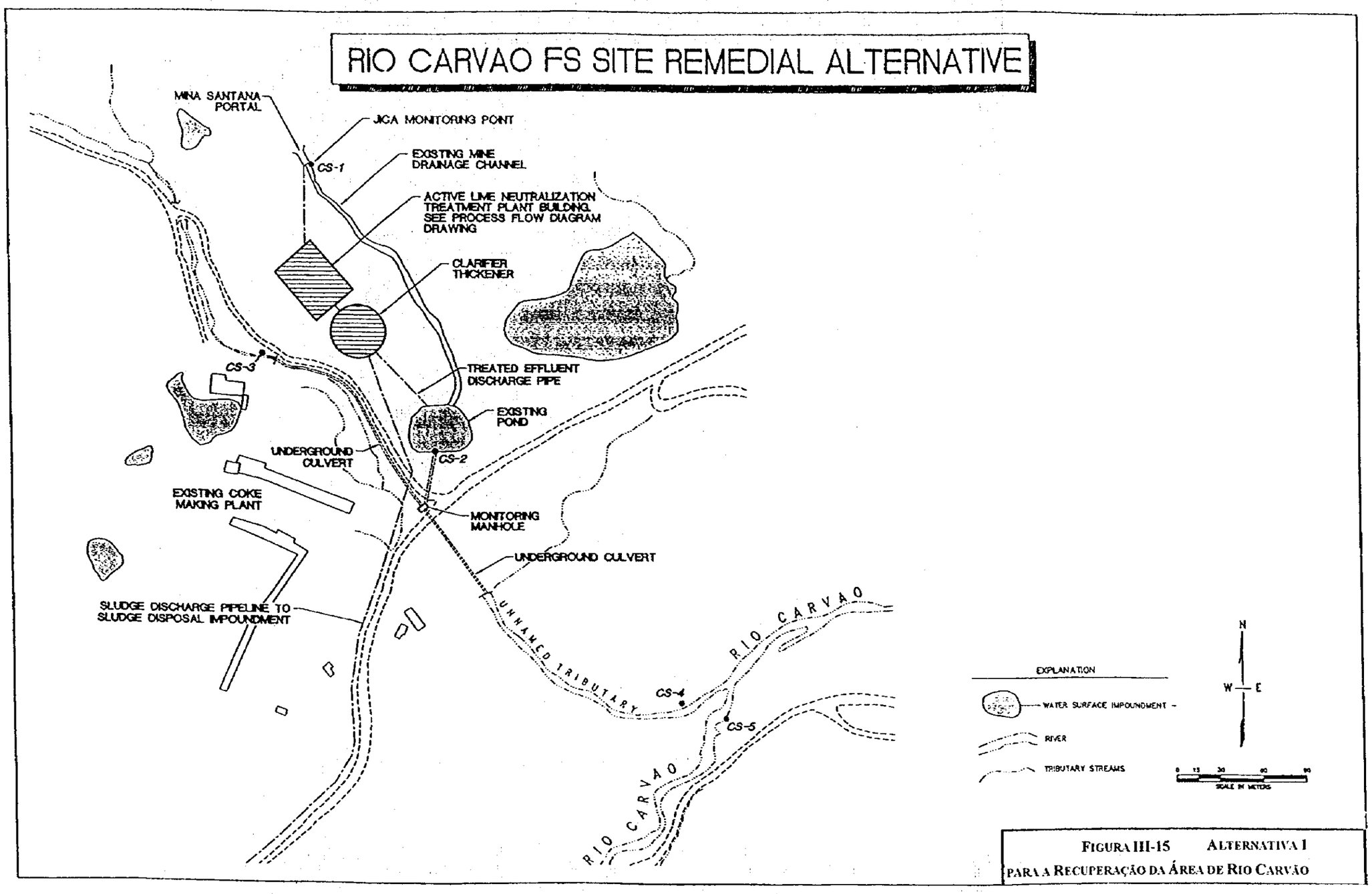
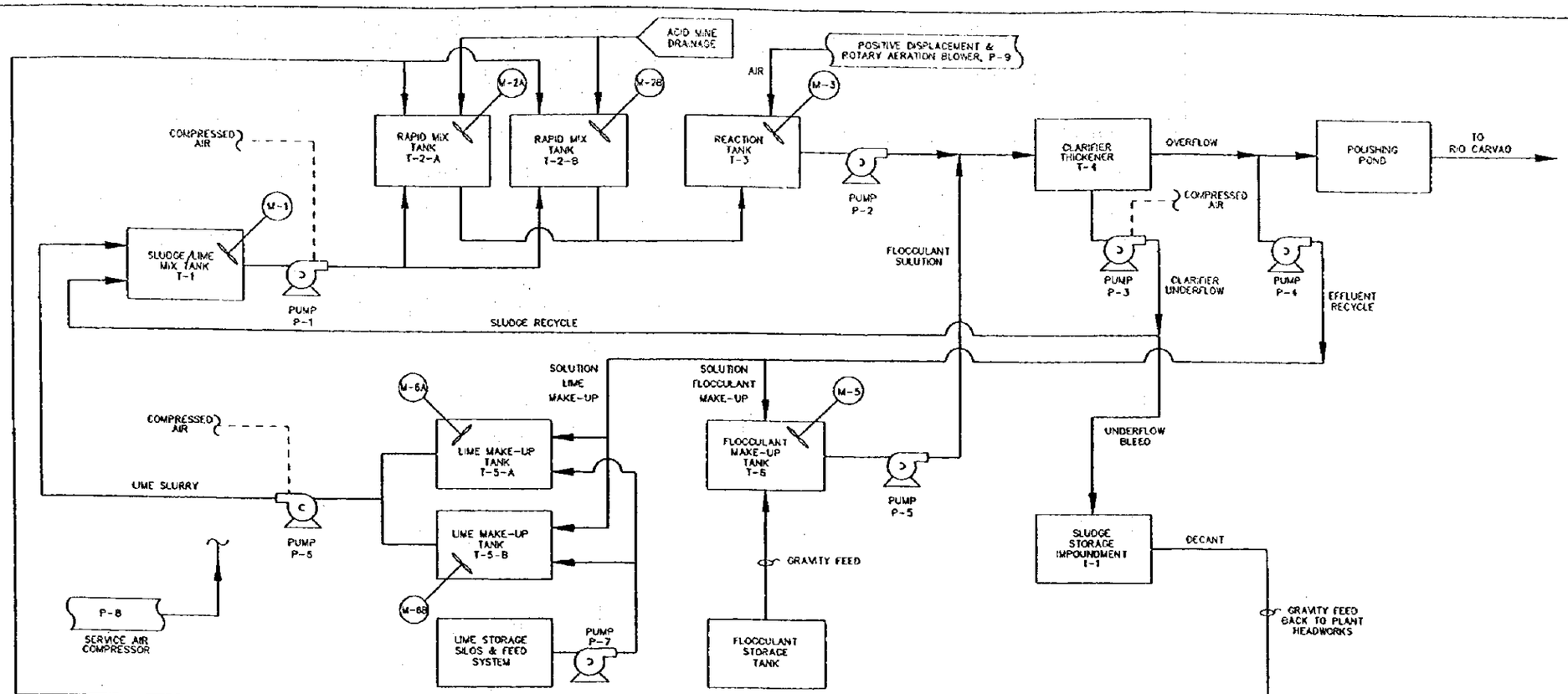


FIGURA III-15 ALTERNATIVA I
PARA A RECUPERAÇÃO DA ÁREA DE RIO CARVÃO



Equipment Number	Equipment Description	Size or Capacity	Materials of Construction	Hydraulic Retention Time	Inflow Rate	Overflow Rate	Underflow Rate	Height	Width or Diameter
T-1	Sludge and lime mix tank, 1 each	154 m3	Epoxy coated steel	30 minutes	10.3 m3/min	10.3 m3/min	0 m3/min	5 m	D = 6.3 m
T-2 A&B	Rapid mix tanks, 2 each	15 m3 ea	Epoxy coated steel	1 minute	30.7 m3/min	30.7 m3/min	0 m3/min	3 m	D = 2.5 m
T-3	Neutralization reaction tank, 1 each	307 m3	Epoxy coated steel	10 minutes	30.7 m3/min	30.7 m3/min	0 m3/min	5 m	D = 9 m
T-4	Solids contact type clarifier/thickener	14736 m3	Epoxy coated steel	8 hours	30.7 m3/min	19.1 m3/min	11.6 m3/min	10 m	D = 43 m
T-5 A&B	Lime slurry make up tanks, 2 each	24 m3 ea	Fiber Reinforced Plastic	8 hours	0.1 m3/min	0.1 m3/min	0 m3/min	3 m	D = 3 m
T-6	Flocculant make up tank	1 m3	Fiber Reinforced Plastic	24 hours	0.01 m3/min	0.01 m3/min	0 m3/min	1 m	D = 1.1 m
P-1	Reagent slurry transfer pump, 2 in parallel	12 m3/min	Dual diaphram, 316 SS	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P-2	Clarifier feed pumps, 2 in parallel	30.7 m3/min ea	Centrifugal, 304 SS	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P-3	Sludge pump	11.6 m3/min	Dual diaphram, SS	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P-4	Make up water feed pump	1 m3/min	Centrifugal, 304 SS	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P-5	Flocculant metering pump	0.1 m3/min	Piston type, plastic	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P-6	Lime slurry feed pumps, 2 in parallel	1 m3/min ea	Dual diaphram, 316 SS	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P-7	Dry lime feed system	20 kg/min	Screw auger, carbon steel	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P-8	Service air compressor, 2 in parallel	15000 L/min ea	Reciprocating type, air cooled	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P-9	Reaction tank aeration blower	21000 L/min	Positive displacement	NA	NA	NA	NA	NA	NA
M-1	Sludge/lime tank motorized mixer	NA	High speed motorized mixer	NA	NA	NA	NA	NA	NA
M-2 A&B	Rapid motorized mixers, 1 each tank	NA	High speed motorized mixer	NA	NA	NA	NA	NA	NA
M-3	Reaction tank motorized mixer	NA	Slow speed motorized mixer	NA	NA	NA	NA	NA	NA
M-5	Flocculant tank motorized mixer	NA	Laboratory type mixer	NA	NA	NA	NA	NA	NA
M-6 A&B	Lime slurry motorized mixer, 1 each tank	NA	High speed motorized mixer	NA	NA	NA	NA	NA	NA
I-1	Sludge storage impoundment	95 hectares	Earthen impoundment with capacity for 20 years sludge production, assumes 10 meter depth						

FIGURA III-16
FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE NEUTRALIZAÇÃO POR CALCARIO

drenagem da boca da mina Santana seria tratada usando-se banhados anaeróbicos e aeróbicos para a redução dascargas ácidas e de metais.

3.37. **Alternativa 3:** Esta alternativa emprega tratamento ativo com drenos abertos de calcário. O dreno de calcário consiste de um canal trapezoidal preenchido com enrocamento de calcário (Figura III-17). A água ao contatar o calcário dissolve parte do carbonato de cálcio, incrementando a alcalinidade e neutralizando parte da acidez da água. Devido ao reduzido tamanho da área, o comprimento total do dreno aberto de calcário teria aproximadamente 450 m. A largura do dreno seria variável, dependendo do gradiente, para assegurar-se a manutenção de uma vazão constante de 2 m/seg.

(ii.) Estimativas de Custo da Recuperação e da Eficácia para Rio Carvão

3.38. Considerando-se as diversas condições locais, construiu-se um modelo de simulação para prever-se a qualidade da água após a implementação das medidas de recuperação na área de estudos de Rio Carvão, conforme pode ser visto na Seção II-B do Anexo Técnico. As estimativas da eficácia e dos custos das alternativas de recuperação podem ser vistas resumidamente na Tabela III-6 abaixo. Também são apresentados detalhes na Seção II-D do Anexo Técnico.

TABELA III-6

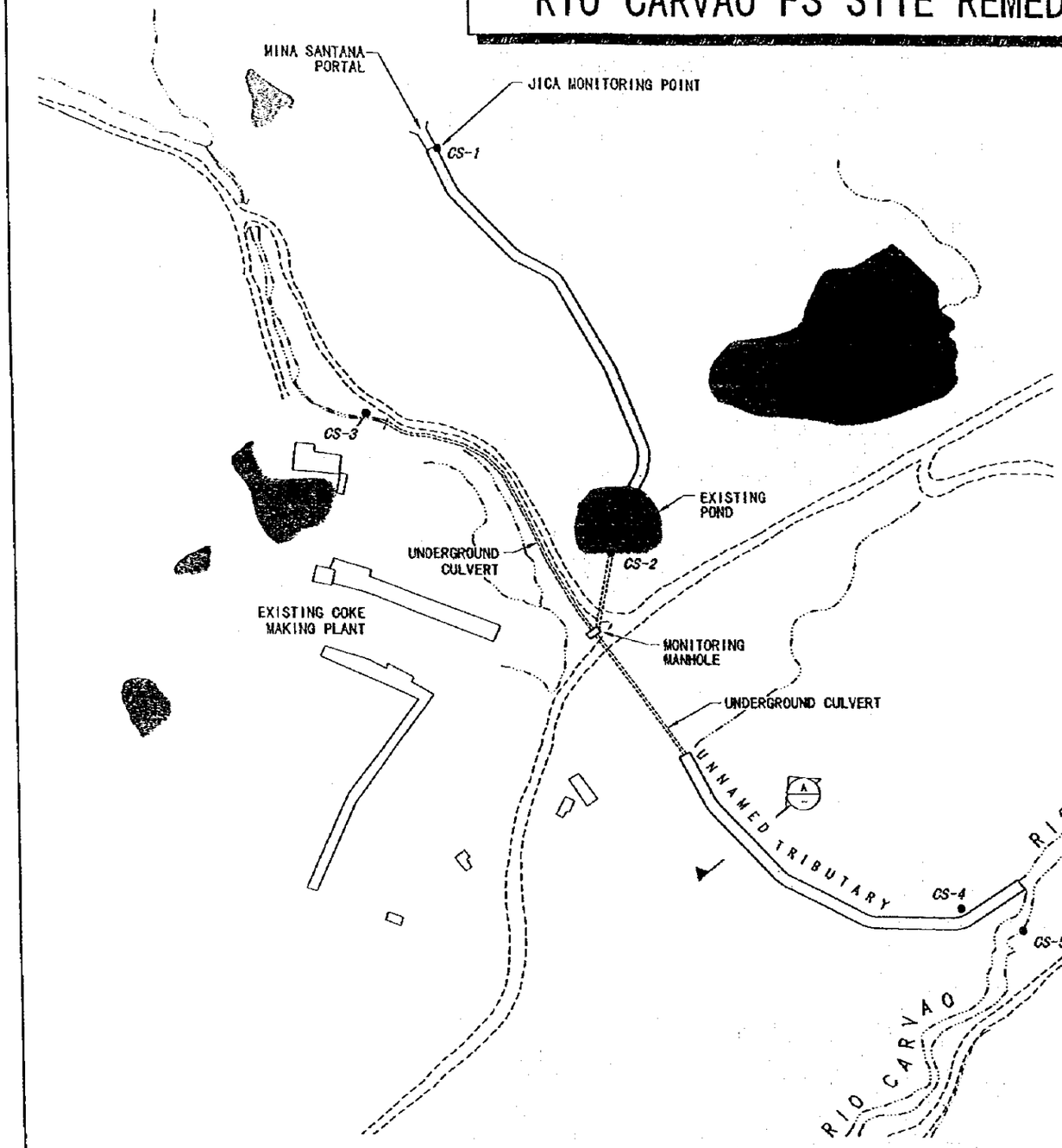
CUSTO DA RECUPERAÇÃO E EFICÁCIA DE RIO CARVÃO

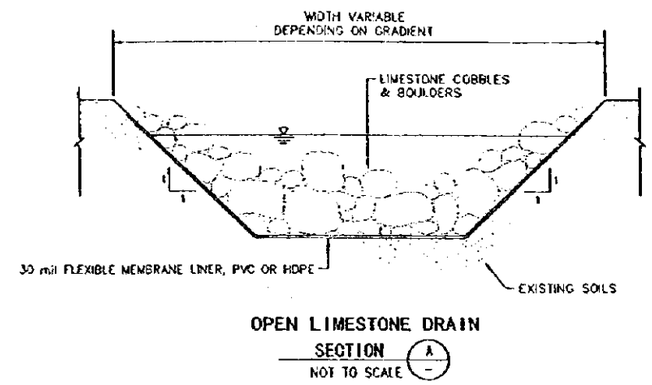
	Índices de Redução de Cargas(%)	pH a/	Custo (Milhões de R$)
Alternativa 1	100	4,6	6,1 + 0,7/ano b/
Alternativa 2	-	-	(11,0)
Alternativa 3	10	4,0	0,3

a/ Estimado no ponto de monitoramento (CS04) pouco antes da confluência com o Rio Carvão. (pH atual = inferior a 4)
b/ Custo operacional anual

3.39. Com o emprego da Alternativa 1 (a mais eficiente), espera-se obter-se a redução aproximada de 100% das concentrações de metais e de acidez. Apesar da grande redução obtida, os efluentes ainda não estariam dentro das especificações brasileiras para águas superficiais devido a uma grande fonte de cargas ácidas e de metais descarregadas por uma coqueria em atividade localizada a montante do ponto (CS04) do córrego sem nome. Estas fontes de poluição deveriam ser recuperadas primeiramente. Isto também aponta para a necessidade de avaliar-se a qualidade da água na bacia do rio Urussanga como um todo, dentro do estudo de recuperação total, considerando-se as contribuições de outros tributários à montante e à jusante. A Alternativa 2 requer 70 ha para a construção de banhados passivos, sendo que na área de

RIO CARVAO FS SITE REMEDIAL ALTERNATIVE





EXPLANATION

- WATER SURFACE IMPOUNDMENT
- RIVER
- TRIBUTARY STREAMS
- OPEN LIMESTONE DRAIN

N
W — E

0 150 300 600 900
SCALE IN METERS

FIGURA III-17 ALTERNATIVA 3
PARA A RECUPERAÇÃO DA ÁREA DE RIO CARVÃO

estudo existem disponíveis menos de 2 a 3 ha, o que torna esta alternativa fisicamente inviável. Dentro do programa de recuperação total, a Alternativa 3 seria apenas uma alternativa prática para a mitigação da bacia total do rio Urussanga.

(d) Alternativas para a Recuperação de Capivari

(i.) Descrição das Alternativas

3.40. A disposição descontrolada de rejeitos nas áreas planas dos banhados que circundam o rio Estiva dos Pregos vem ocorrendo desde os anos 40 (figura III-18). Grandes quantidades de rejeitos da usina de beneficiamento de carvão da CSN foram transportados por ferrovia para uma área plana de solos de turfa. Como estes solos são extremamente porosos e incapazes de sustentar o peso do material depositado, afundaram com os rejeitos, criando-se por gravidade um enorme lago ácido com pH 3. Mais tarde foram construídos diques para a contenção dos rejeitos dentro da área atual. A área total a ser recuperada tem 240 ha, ou seja, 80 ha de lago ácido, 80 ha de rejeito exposto, e 80 ha de terras não utilizadas mas poluídas que ficam ao sul e ao sudoeste do lago.

3.41. O rio Estiva dos Pregos foi desviado em dois valos acima da área de estudos, no sentido norte da rodovia federal Br-101, sendo que ambos entram na área. O valo ocidental passa debaixo da Br-101 sendo imediatamente desviado no lado leste por um dique ao longo do lado norte no local de deposição de rejeitos. Não ocorre drenagem de águas superficiais do lago para o rio, havendo no entanto pequena infiltração para o rio Estiva dos Pregos através dos diques ao norte e nordeste. O nível do rio parece estar levemente acima do lago ácido ao longo do lado norte, sendo que a quantidade de água que flue do lado norte para o lado sul, reduz-se significativamente, enquanto que o pH se altera gradativamente de 6 para 3,7.

3.42. **Alternativa 1:** Esta alternativa caracteriza-se pela contenção das fontes de poluição, vedação do lago e tratamento passivo. Seria construído um muro de contenção do lençol freático, o qual circundaria completamente as pilhas de rejeito e o lago (Figura III-19). O muro teria como finalidade conter as águas poluídas dentro da área e evitar a migração subterrânea de ácidos e metais para dentro e fora do local. As ações para a recuperação seriam:

1. Construção do muro de contenção do freático;
2. Aterramento do lago com material inerte;

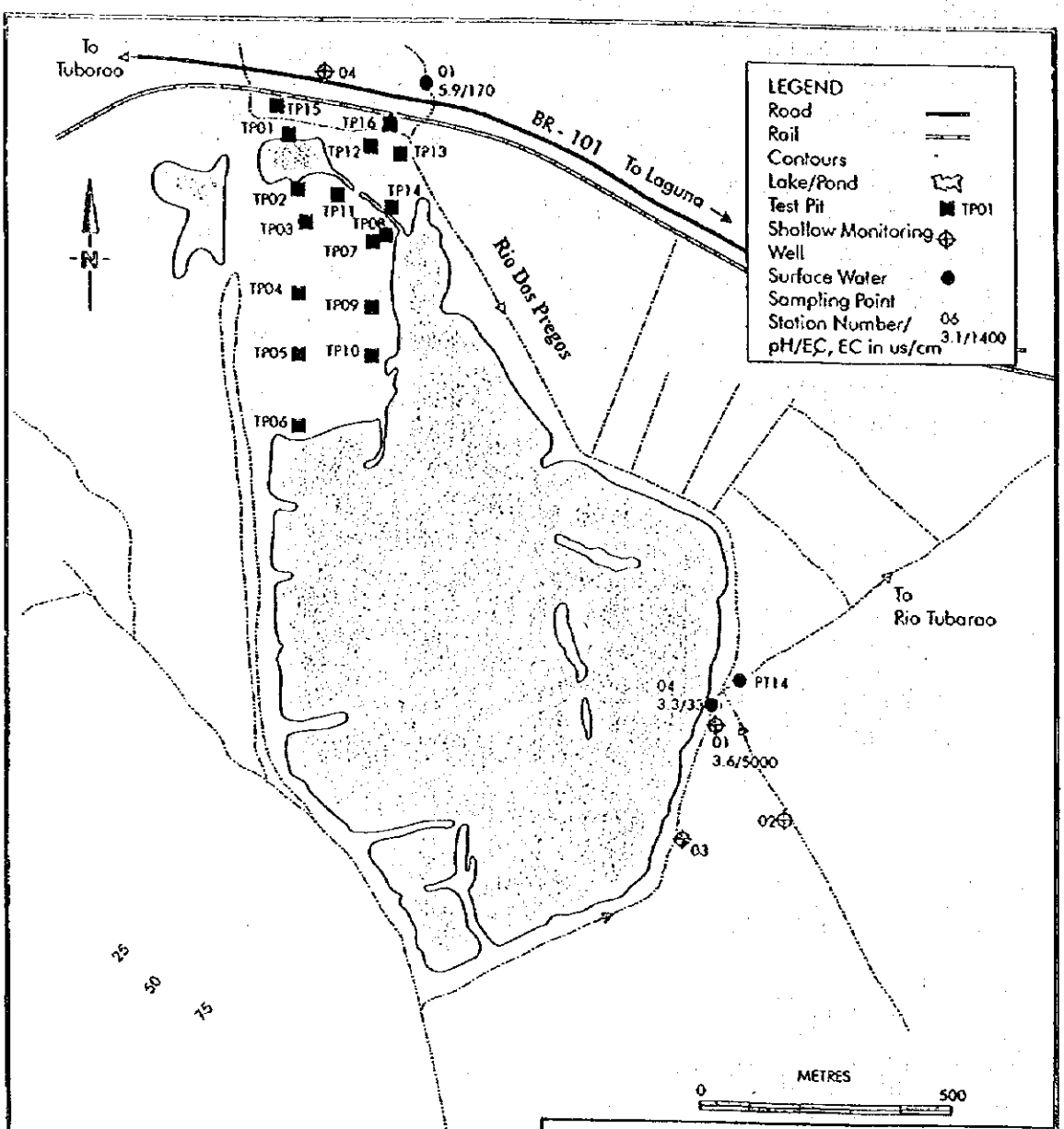


FIGURA III-18

LEVANTAMENTO QUIMICO DE CAMPO NA ÁREA DE CAPIVARI

THE FEASIBILITY STUDY ON RECUPERATION OF IN SOUTH REGION OF SANTA CATARINA REPUBLIC OF BRAZIL

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY - JICA

CAPIVARI REMEDIAL ALTERNATIVE

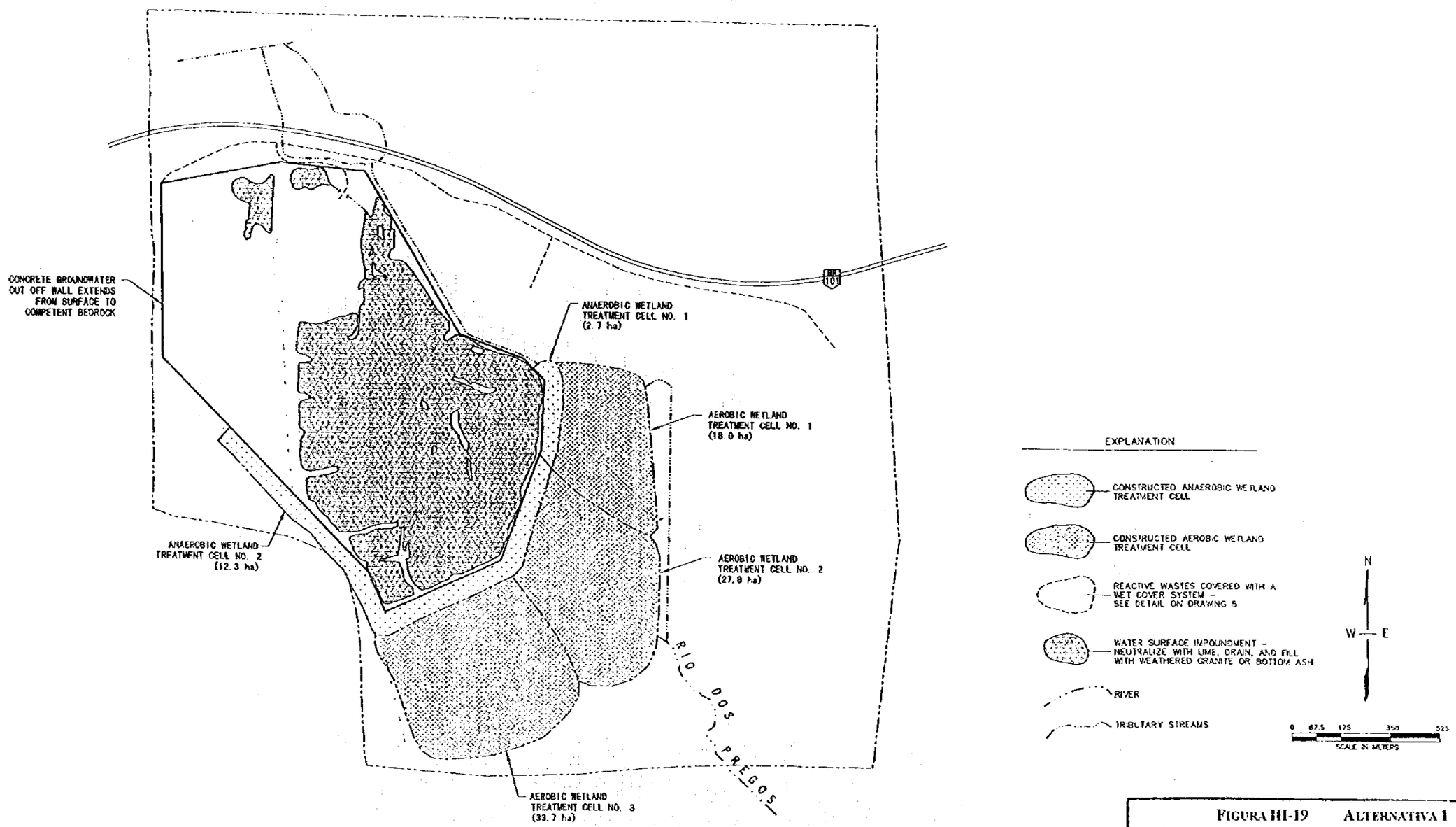


FIGURA HI-19 ALTERNATIVA 1
PARA A RECUPERAÇÃO DA ÁREA DE RIO CAPIVARI

3. Cobertura dos rejeitos reativos e do lago com um sistema de camada úmida, e
4. Construção de sistemas de banhados passivos.

3.43. **Alternativa 2:** As características desta alternativa são o desvio das águas superficiais, contenção das fontes de poluição, aterramento do lago e tratamento passivo (Figura III-20). A diferença está na substituição do muro de contenção do freático da Alternativa 1, por uma estrutura de desvio das águas superficiais. A água do rio dos Pregos seria desviada ao redor da área dentro de um canal de concreto aberto visando a redução do influxo de água para o lago que ocorre por infiltração ou por vazão superficial no extremo norte. O desvio do rio também evitaria a contaminação de suas águas por infiltração originada no lado leste do lago. As ações para a recuperação são:

1. Desvio da água limpa;
2. Aterramento do lago com material inerte;
3. Cobertura dos rejeitos reativos e do lago com um sistema de cobertura úmida, e
4. Construção de sistemas de banhados passivos.

3.44. **Alternativa 3:** As características desta alternativa são a contenção das fontes de poluição e aterramento do lago. A diferença entre esta e a Alternativa 2 está na eliminação da estrutura de desvio das águas superficiais e dos sistemas de tratamento por banhados passivos constantes na Alternativa 2 (Figura III-21). Além disso os rejeitos e o lago fechado seriam recobertos por uma camada seca de solo ao invés de um sistema de camada úmida utilizado nas Alternativas 1 e 2. As ações para a recuperação seriam:

1. Aterramento do lago com material inerte, e
2. Cobertura dos rejeitos reativos e lago com sistemas de cobertura seca.

(ii.) Estimativas de Custos e de Eficácia para a Recuperação de Capivari.

3.45. Considerando as diversas condições locais foi construído um modelo de simulação para prever-se a qualidade da água após a implementação das medidas de recuperação na área de estudos Capivari, conforme pode ser visto na Seção II-B do Anexo Técnico. As estimativas da eficácia e dos custos das alternativas de recuperação podem ser vistas na Tabela III-7 abaixo. Também são apresentados detalhes na Seção II-D do Anexo Técnico.

CAPIVARI REMEDIAL ALTERNATIVE

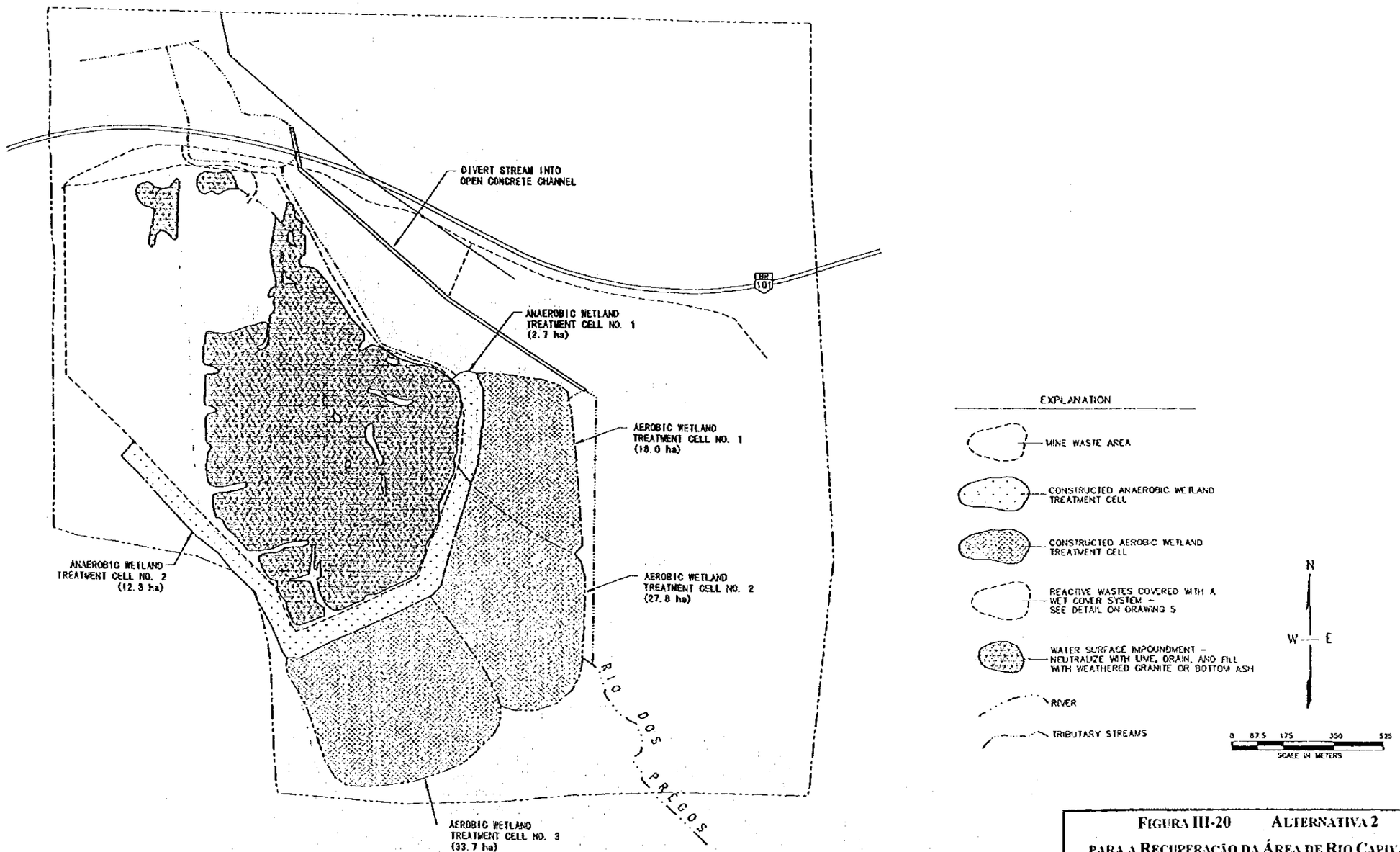


FIGURA III-20 ALTERNATIVA 2
PARA A RECUPERAÇÃO DA ÁREA DE RIO CAPIVARI

CAPIVARI REMEDIAL ALTERNATIVE

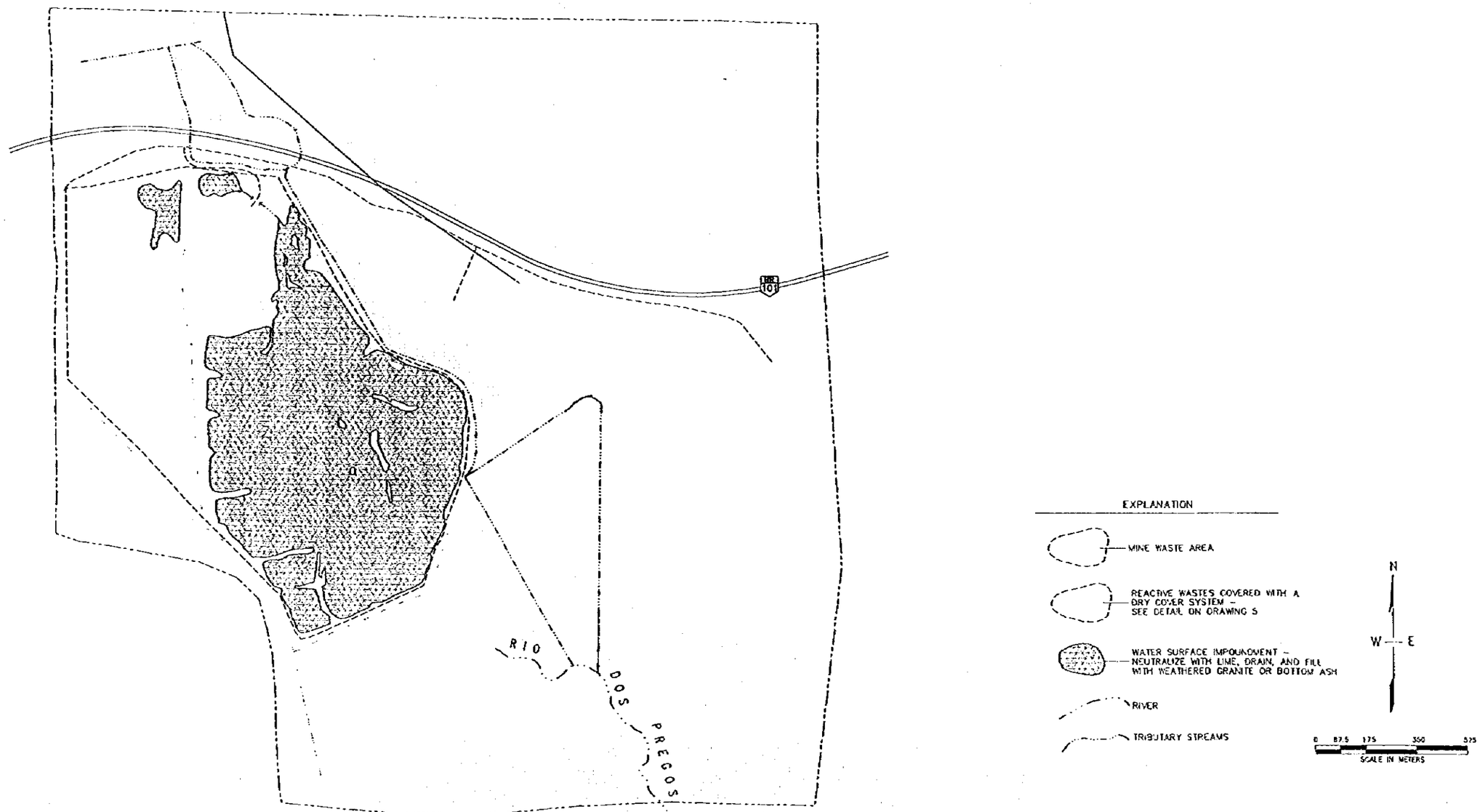


FIGURA III-21 ALTERNATIVA 3
PARA A RECUPERAÇÃO DA ÁREA DE RIO CAPIVARI