



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
CIVIL
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

KLEBER ROBERTO MATOS DA SILVA

**A IMPLANTAÇÃO DE OBRAS CIVIS
E DE SANEAMENTO NA BACIA DO
UNA, EM BELÉM DO PARÁ, E AS
CONDICIONANTES
RELACIONADAS ÀS
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS
E GEOTÉCNICAS**

Belém
2004



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
CIVIL
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

KLEBER ROBERTO MATOS DA SILVA

**A IMPLANTAÇÃO DE OBRAS CIVIS E DE
SANEAMENTO NA BACIA DO UNA, EM
BELÉM DO PARÁ, E AS
CONDICIONANTES RELACIONADAS ÀS
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E
GEOTÉCNICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, orientada.

Orientador: Profº Dr. Júlio Augusto de Alencar Júnior

**Belém
2004**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO CT – UFPA

Silva, Kleber Roberto Matos da

A implantação de obras civis e de saneamento na Bacia do Una, em Belém do Pará, e as condicionantes relacionadas às características geológicas e geotécnicas. / Kleber Roberto Matos da Silva. – Belém, PARÁ: [s.n], 2004.

Orientador: Júlio Augusto de Alencar Júnior
Dissertação – Universidade Federal do Pará.

1. Macrodrenagem. 2. Bacia do Una. 3. Projeto Una. I. Alencar Jr., Júlio Augusto de. II. Universidade Federal do Pará. Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. III. Dissertação.



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
CIVIL
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

KLEBER ROBERTO MATOS DA SILVA

**A IMPLANTAÇÃO DE OBRAS CIVIS E DE
SANEAMENTO NA BACIA DO UNA, EM
BELÉM DO PARÁ, E AS
CONDICIONANTES RELACIONADAS ÀS
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E
GEOTÉCNICAS**

Aprovado em 26 de fevereiro de 2004
BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr.(Nome e Sobrenome)
Presidente e Orientador/Instituição

Profª. Dra.(Nome e Sobrenome)
Instituição

Prof. Dr.(Nome e Sobrenome)
Instituição

Belém

2004

À minha esposa e filhos,
minha eterna gratidão.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Pará

À Prof^a Dr^a. Ana Rosa Baganha Barp, Coordenadora do Curso de Mestrado em Engenharia Civil, pelo desempenho incansável no decorrer do Curso.

Ao Prof^o Dr. Júlio Augusto de Alencar Jr., pela orientação competente, conhecimento transmitido, conselhos, críticas, enfim pela sua presença marcante.

Aos companheiros da 1^a turma de Mestrado em Engenharia Civil, pela cumplicidade e agradáveis momentos passados juntos, que nos fizeram recordar os bons tempos da graduação.

Aos companheiros da Leme Engenharia, empresa consultora do Projeto Una, na pessoa dos Engenheiros Luiz Carlos Souza Rodrigues, Leonardo Cassimiro Ribeiro, Fileto Fantini, Jairo Saliba, Luiz Baganha, Jardes Correa, Emanuel Francisco, Artur Yokoyama e Técnica Ana Karla Ferreira, pela ajuda nas pesquisas.

Aos Engenheiros Manoel Martins Dias e Amadeu Macias Frade, Lucivaldo Ribeiro, companheiros de direção do Projeto Una, por todo o apoio dispensado.

Aos companheiros do Projeto Una, que dedicaram todo o seu amor e empenho para que esse Projeto se concretizasse.

“Todo caminho, por mais longo que seja, começa sempre com o primeiro passo.”

Lao Tse

RESUMO

Silva, Kleber Roberto Matos da Silva. A implantação de obras civis e de saneamento na Bacia do Una, em Belém do Pará, e as condicionantes relacionadas às características geológicas e geotécnicas. Belém, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, 2004. 130 p. Dissertação.

Apresenta a implantação de obras de civis e de saneamento no Projeto de Recuperação das Baixadas de Belém – Bacia do Una, na cidade de Belém, no estado do Pará, que envolve obras de macrodrenagem, microdrenagem, redes de água, redes de esgoto e sistema viário. Também chamado de Projeto Una ou simplesmente de Projeto de Macrodrenagem, alcança uma área de 3.644 ha, correspondente a, aproximadamente, 21% da área continental e 7,20% da área total do município de Belém, desenvolve-se na Bacia do Una, situada em área de baixada, com grande parte de suas terras abaixo da cota de alagamento, isto é, até 3,60 m acima do nível do mar, apresenta uma camada espessa de argila orgânica, na maioria das vezes, superficial, atingindo em alguns lugares a grandes profundidades, inadequada, portanto para o suporte de fundações, estando as camadas de solos mais resistentes a profundidades variáveis, atingindo, em certas áreas, até 60 metros.

Além das dificuldades de construção em solos dessa natureza, esta obra apresenta inúmeros condicionantes, como o remanejamento de famílias de áreas de risco, isto é, famílias que residem sobre o leito de canais, dificultando o escoamento das águas servidas e pluviais; as indenizações de residências abaladas pelas obras; a falta de espaço físico para a implantação das obras; a ruptura dos taludes das marginais de canais; as dificuldades de gerenciamento face a extensa abrangência da área; as relações com a comunidade, tumultuadas em alguns momentos e, principalmente, a priorização de algumas áreas, em detrimento de outras, para a execução das obras, face os recursos disponíveis.

Fundamentado em relatórios técnicos, projetos, pesquisa de campo e experiências pessoais do autor, a dissertação faz uma descrição do projeto em seus diversos aspectos, bem como promove revisão crítica do mesmo sob a ótica da engenharia civil, envolvendo aspectos de planejamento e execução de obras, com o objetivo de construir e divulgar ensinamentos que promovam a otimização, no desenvolvimento de obras semelhantes.

Palavras-Chave: Macrodrenagem, bacia do Una, projeto Una, projeto de macrodrenagem

ABSTRACT

Silva, Kleber Roberto Matos da Silva. A implantação de obras civis e de saneamento na Bacia do Una, em Belém do Pará, e as condicionantes relacionadas às características geológicas e geotécnicas. Belém, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, 2004. 130 p. Dissertação.

This Thesis presents the civil engineering works for implementation of drainage and sanitation facilities in the area of influence of the Una canal, in the city of Belém, in the State of Pará, Brazil, involving the installation of drainage, water and sewer nets as well as road construction. This project, known as Project Una, involves an area of 3.644 ha, corresponding to approximately 21% of the continental area of city, with great part of its surface below flood level, that is, up to 3,60 m above sea level. The stratigraphy of the project area is composed basically of a thick superficial layer of very soft organic clay, that in some cases may reach over 60 m deep, overlying intercalation of medium to compact sand layers and medium to hard silty clay layers. Besides the construction difficulties in soils of this nature, this work presents the many problems to resolved, as the resettlement of families of risk areas, that is, families that are living on the bed of channels, hindering the draining of the served waters and pluvial waters; the compensations of shaky residences for the works; the lack of physical space for the setting up of the works; the instability of the slopes of the marginal road of channels; the difficulties of management in the of face the extensive encircle of the area; the relationships with the community, tumultuated in some moments and, mainly, the priority of some areas, in detriment of other, for the execution of the works, in the face of available resources. Based in technical reports, projects and the author's personal experiences the thesis makes a description of the project in its several aspects, as well, makes a critical review of it, under the civil engineering's point of view, involving planning and executions aspects of the works, with the purpose of building and setting up of the knowledge, that promote the improvement in future development in the similar projects.

Palavras-Chave: Project Una, sanitation, soft.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
1 Introdução.....	2
CAPÍTULO II – A BACIA DO UNA	5
2 A Bacia do Una	6
2.1 A ocupação da Bacia do Una.....	9
2.2 Diagnóstico da área de intervenção das obras	10
CAPÍTULO III – O PROJETO DE MACRODRENAGEM DA BACIA DO UNA	13
3 O Projeto de Macrodrenagem.....	14
3.1 O Remanejamento e Relocação de Famílias	15
3.1.1 Pesquisa físico-territorial.....	15
3.1.2 Avaliação de imóveis	15
3.1.3 Negociação das indenizações	17
3.1.3.1 Indenização total da unidade habitacional.....	17
3.1.3.2 Unidade habitacional assentada em terreno próprio.....	17
3.1.3.3 Casas alugada	18
3.1.3.4 Casas de comércio	18
3.1.3.5 Instituições.....	18
3.1.3.6 Famílias conviventes	18
3.1.3.7 Casas cedidas.....	18
3.1.3.8 Vila de quartos.....	18
3.1.3.9 Outros benefícios.....	18
3.2 O Sistema de macrodrenagem da Bacia do Una.....	22
3.2.1 O controle de enchentes.....	27
3.3 O Sistema Viário	29
3.4 SISTEMA DE SANEAMENTO	32
3.4.1 Sistema de Microdrenagem	32
3.4.2 Sistema de Esgoto Sanitário	36
3.4.2.1 Diagnóstico da Área	36
3.4.2.2 Concepção do Projeto.....	36
3.4.2.3 Sistema de Esgoto do Projeto Una	37
3.4.2.4 Parâmetros de projeto	46
3.4.2.5 Resumo das obras de Esgoto Sanitário.....	47
3.4.3 Sistema de Água Potável	47
3.4.3.1 Parâmetros empregados.....	47
3.4.3.2 Área de projeto e zoneamento	49
3.4.3.3 Traçado da rede	49
3.4.3.4 Desenho da Rede	50
3.4.3.5 Cálculo das Malhas Principais.....	50
3.4.3.6 Redes Secundárias	50
3.4.3.7 Resumo das Obras de Água Potável.....	50
CAPÍTULO IV – AS CONDICIONANTES RELACIONADAS ÀS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS	51
4 Construção de aterros sobre solos moles.....	52

4.1	Construção de aterros sobre solos moles na Bacia do Una	59
4.1.1	Caracterização geotécnica	59
4.1.2	Aterro das vias marginais dos canais da Bacia do Una	63
4.2	Aterro estaqueado (agulhamento).....	68
4.3	Pavimentação de vias marginais de canais	76
4.4	Revestimento dos taludes	79
4.4.1	Revestimento em concreto	79
4.4.2	Revestimento natural	80
4.5	Drenagem de interior de quadra	82
4.6	Programa Aterro de Quintais	85
4.7	O abalo de residências	87
4.8	Inexistência de espaço físico	88
CAPÍTULO V - ANÁLISE DE ALGUMAS SOLUÇÕES ADOTADAS		90
5	Análise de algumas soluções adotadas	91
5.1	Construção de aterro lançado diretamente sobre solo mole	91
5.1.1	Método executivo	91
5.2	Estabilização de vias.....	94
5.2.1	Ruptura da Marginal Esquerda do Canal São Joaquim	94
5.3	Proteção de taludes de canais	95
5.4	Estudos hidrológicos	96
5.4.1	Dados pluviométricos	96
5.4.2	Dados fluviométricos.....	98
5.4.3	Níveis de maré	98
5.5	Verificação da capacidade de cargas dos canais	98
5.6	Amortecimento de cheia.....	103
5.7	Áreas de infiltração.....	104
5.8	Recalque nas redes de drenagem.....	107
5.9	Melhoria de qualidade de vida.....	110
CAPÍTULO VI - CONCLUSÃO		118
6	CONCLUSÃO.....	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		122

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa do estado do Pará (sem escala) -----	6
Figura 2: Mapa dos bairros de Belém (sem escala)-----	7
Figura 3: Mapa das Bacias Hidrográficas de Belém (sem escala) -----	8
Figura 4: Mapa dos bairros integrantes da Bacia do Una (sem escala)-----	12
Figura 5: Mapa dos canais da Bacia do Una (sem escala) -----	26
Figura 6: Situação anterior da Comporta do Una-----	27
Figura 7: Situação atual da Comporta do Una -----	28
Figura 8: Mapa Geral das vias com Sistema Viário Implantado -----	31
Figura 9: Corte esquemático da implantação da Galeria Visconde de Inhaúma-----	34
Figura 10: Mapa geral das vias com sistema de microdrenagem implantado (sem escala) --	35
Figura 11: Área atendida pelo Sistema de Esgoto Convencional (sem escala) -----	38
Figura 12: Planta baixa de sistema com tratamento individual (sem escala)-----	40
Figura 13: Seção transversal de uma fossa séptica unitária -----	41
Figura 14: Planta baixa de sistema com tratamento coletivo (sem escala)-----	43
Figura 15: Corte esquemático da fossa coletiva (sem escala) -----	44
Figura 16: Vista da Passagem Cocadinha durante a execução de fossa coletiva -----	45
Figura 17: Vista da passagem cocadinha após a execução de fossa coletiva -----	45
Figura 18: Aterro leve-----	52
Figura 19: Berma de equilíbrio -----	53
Figura 20: Aterro construído por etapas -----	53
Figura 21: Aterro construído combinando geodreno com sobrecarga temporária-----	54
Figura 22: Aterro combinando geodreno com sucção a vácuo -----	54
Figura 23: Aterro estaqueado (agulhamento) -----	56
Figura 24: Aterro reforçado com geossintético -----	57
Figura 25: Perfil de sondagem SPT -----	60
Figura 26: Perfil de sondagem SPT -----	61
Figura 27: Perfil de sondagem SPT-----	62
Figura 28: Resultados de Ensaios de Palheta -----	63
Figura 29: Classes de ruptura de aterros sobre solos moles -----	64
Figura 30: Lançamento de manta geotextil sobre solo natural -----	66
Figura 31: Início de substituição de material no Canal Antonio Baena -----	67
Figura 32: Substituição de material no Canal Antonio Baena em andamento -----	67

Figura 33: Planta do Agulhamento na Marginal Esquerda do Canal São Joaquim -----	71
Figura 34: Ruptura na Marginal Esquerda do Canal São Joaquim (sem escala) -----	72
Figura 35: Ruptura na Marginal Direita do Canal do Galo (sem escala) -----	74
Figura 36: Detalhe da ruptura da Marginal Direita do Canal do Galo (2003) -----	75
Figura 37: Vista lateral da ruptura na Marginal Direita no Canal do Galo (2003) -----	75
Figura 38: Seção típica das vias marginais de canais (sem escala)-----	78
Figura 39: Proteção de talude com revestimento vegetal-----	81
Figura 40: Detalhe esquemático de drenagem de interior de quadra (sem escala) -----	84
Figura 41: Início de aterro de quintais executado pela comunidade-----	86
Figura 42: Aterro de quintais executado pela comunidade-----	86
Figura 43: Via estreita (Passagem Ceci)-----	89
Figura 44: Vista da Passagem Ceci-----	89
Figura 45: Detalhe da penetração do aterro em solo mole -----	93
Figura 46: Escoramento metálico de valas em área de solo mole -----	107
Figura 47: Canal da Visconde de Inhaúma antes das obras (1992) -----	111
Figura 48: Canal da Visconde de Inhaúma depois das obras (2003)-----	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Áreas alagadas ou alagáveis por sub-bacia -----	9
Tabela 2: População por sub-bacias do Projeto-----	10
Tabela 3: Densidade populacional dos diversos bairros da Bacia do Una -----	49
Tabela 4: Comparativo de aterro lançado em vias marginais de canais -----	92
Tabela 5: Resumo de quantidades de trechos agulhados -----	94
Tabela 6: Custo de execução de aterro estaqueado (agulhamento) – base junho/2002. -----	95
Tabela 7: Estimativa de custo de manutenção de taludes de canais com revestimento natural	96
Tabela 8: Volume de assoreamento nos canais -----	101
Tabela 9: Amortecimento de cheia -----	104
Tabela 10: Custo de implantação de rede de drenagem na Passagem Santo Antonio (base agosto/2.000) -----	109
Tabela 11: Custo de implantação de rede de drenagem na Passagem Santo Antonio (base fevereiro/2.003) -----	109

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Número de remanejamentos em função dos canais e sistema viário -----	19
Quadro 2: Resumo da quantidade de desapropriações previstas -----	20
Quadro 3: Situação das áreas de assentamento -----	21
Quadro 4: Extensão de canais da Bacia do Una -----	24
Quadro 5: Extensão de galerias da Bacia do Una -----	25
Quadro 6: Comparativo de Obras Viárias -----	30
Quadro 7: Principais serviços de esgoto -----	47
Quadro 8: Principais características dos métodos utilizados para controle de recalques.(Almeida, 1996, adaptado de Magnan, 1994)-----	58
Quadro 9: Vazões máximas nos canais nas sub-bacias -----	99
Quadro 10: Coeficientes de rugosidade n de Manning adotados -----	100
Quadro 11: Seções de extravasamento de canais -----	102
Quadro 12: Áreas verdes institucionais existentes -----	106

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Gráfico pluviométrico-----	97
Gráfico 2: Comportamento da rede de drenagem da Passagem Santo Antônio -----	108
Gráfico 3: Moradias segundo o sistema viário – Antes das obras -----	112
Gráfico 4: Moradias segundo o sistema viário – Depois das obras -----	113
Gráfico 5: Moradias segundo o tipo de material de construção – Antes das obras-----	113
Gráfico 6: Moradias segundo o tipo de material de construção –Depois das obras-----	114
Gráfico 7: Moradias segundo o número de cômodos – Antes das obras -----	114
Gráfico 8: Moradias segundo o número de cômodos – Depois das obras-----	115
Gráfico 9: Casos de doenças – Antes das obras -----	116
Gráfico 10: Casos de doenças – Depois das obras -----	116

LISTA DE SIGLAS

BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
m	Metro
Pa	Pascal
PMB	Prefeitura Municipal de Belém

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1 Introdução

A cidade de Belém, conforme Prefeitura Municipal de Belém (1988), possui uma topografia quase uniforme, com a cota hipsométrica mais alta não ultrapassando 30 m, apresentando três compartimentos distintos representados pelas várzeas, terraços e tabuleiros.

A várzea corresponde às áreas marginais aos rios e igarapés e áreas inundáveis que, mesmo relativamente afastadas das margens, sofrem inundações por ocasião do período de chuvas intensas, apresentando solos de baixa consistência. Abrange uma área de, aproximadamente, 7.182,30 ha.

O terraço é representado por áreas situadas em cotas acima de 4,30 m, em relação ao zero hidrográfico. Possui área de, aproximadamente, 28.675 ha.

O tabuleiro compreende as áreas situadas em cotas entre 15 m e 30 m, correspondente a uma área de, aproximadamente, 14.725 ha.

Integrante da bacia sedimentar da Amazônia, estes sedimentos são recentes e da era cenozóica do período quaternário, os quais apresentam-se soltos ou com pouca ligação, talvez, em certas áreas, ainda em processo de consolidação.

Grande parte da cidade está situada em zonas de “baixadas”, assim chamadas por situarem-se abaixo da cota de 3,60 m em relação ao zero hidrográfico, o que contribui para a ocorrência de alagamentos durante os períodos de chuvas intensas, principalmente quando há coincidência com as marés altas.

A partir de 1986 a Prefeitura Municipal de Belém passou a desenvolver estudos, os quais integraram o denominado “Projeto para a Recuperação das Baixadas de Belém”, que previa a intervenção nas bacias hidrográficas do Una, Estrada Nova e Tucunduba. Em função do elevado custo destas obras, houve a necessidade de priorizar uma destas bacias, tendo sido escolhida a Bacia do Una, por ser esta a maior bacia hidrográfica de Belém e apresentar alto grau de insalubridade, com a freqüente ocorrência de doenças de veiculação hídrica dada a falta de saneamento e condições de habitabilidade para a população, originando o “Projeto

para a Recuperação das Baixadas de Belém – Bacia do Una”, conhecido pela população como “Projeto de Macrodrenagem”, que influencia, diretamente, a vida de mais de 600.000 pessoas.

A obra é realizada pelo Governo do Estado do Pará, em convênio com a Prefeitura Municipal de Belém, através de contrato de financiamento, assinado em janeiro de 1992, com o Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID.

Em função das complexas características geológicas e geotécnicas da Bacia do Una, as obras implantadas representam um verdadeiro laboratório de experiências tanto no campo da Engenharia Civil, quanto no campo social, pois as diversas condicionantes para a implantação de obras desse porte apresentam-se no dia-a-dia, obrigando a soluções rápidas para que as tensões provocadas pelo andamento das obras não inviabilizem a sua conclusão, condicionantes estas que são objeto desse trabalho.

A execução de obras do porte da macrodrenagem da Bacia do Una, por sua complexidade e características diferenciadas, que visam dotar a cidade de uma nova infraestrutura, solucionando os problemas críticos de saneamento, e por ser uma obra ímpar na região, deve ter seu desenvolvimento divulgado e analisado de forma crítica.

Esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de extrair conhecimento a partir da análise das ações, executadas na área da Bacia do Una, de implantação de obras civis e de saneamento sobre uma plataforma estável, bem como divulgar conhecimentos que promovam a otimização no desenvolvimento de obras semelhantes.

O propósito desta dissertação é contribuir para o registro dessa obra, além de extrair conhecimento das experiências realizadas. Para isso foram coletados dados nos arquivos do Projeto Una envolvendo relatórios, fotografias e projetos, com o objetivo de relatar o histórico da obra referente aos diversos problemas ocorridos durante a sua execução, tais como: o recalque de pavimentos e tubulações de drenagem, desmoronamento de canais e rupturas de taludes, bem como as soluções adotadas e seus graus de eficiência.

Destacam-se os diversos problemas ocorridos e as soluções adotadas, inclusive com desenhos, envolvendo a instabilidade das bordas por erosão, rupturas por cisalhamento e deslocamento de estruturas.

O presente trabalho foi estruturado de forma a proporcionar o melhor entendimento no tocante às obras do Projeto Una, iniciando com um breve histórico sobre a Bacia do Una. Em seguida são detalhadas as intervenções do Projeto tal qual foi concebido, culminando com um quadro resumo comparativo entre os principais itens previstos quando da concepção do projeto e os efetivamente executados, mostrando os avanços conseguidos, com a obra.

No capítulo seguinte são analisadas as condicionantes relacionadas às características geológicas e geotécnicas para a implantação das obras civis e de saneamento, função da estratigrafia do solo da Bacia do Una.

Posteriormente são apresentados, de forma comparativa, alguns parâmetros adotados na execução das obras. São dados relacionados a parâmetros geotécnicos, estabilização de vias, proteção de taludes de canais, estudos hidrológicos, verificação da capacidade de carga dos canais, amortecimento das cheias e ruptura nas vias marginais dos canais, amortecimento de cheias, áreas de infiltração e a melhoria da qualidade de vida da população beneficiada pelas obras.

Finalizando, são tecidas algumas sugestões de pesquisas futuras, no intuito de uma constante avaliação do empreendimento, de forma que o laboratório de ricas experiências proporcionadas pelo Projeto de Macrodrenagem da Bacia do Una, cumpra o seu papel de fomentador da busca de soluções técnicas para a implantação de obras em áreas de características geológicas e geotécnicas tão complexas.

CAPÍTULO II – A BACIA DO UNA

2 A Bacia do Una

A cidade de Belém, capital do estado do Pará, mostrado na figura 1, situada a 01° 32' 20" de latitude sul e 48° 30' 15" de longitude oeste, possui área territorial de 50.582,30 ha., dividida em 17.378,63 ha. de área continental e 33.203,67 de área insular.

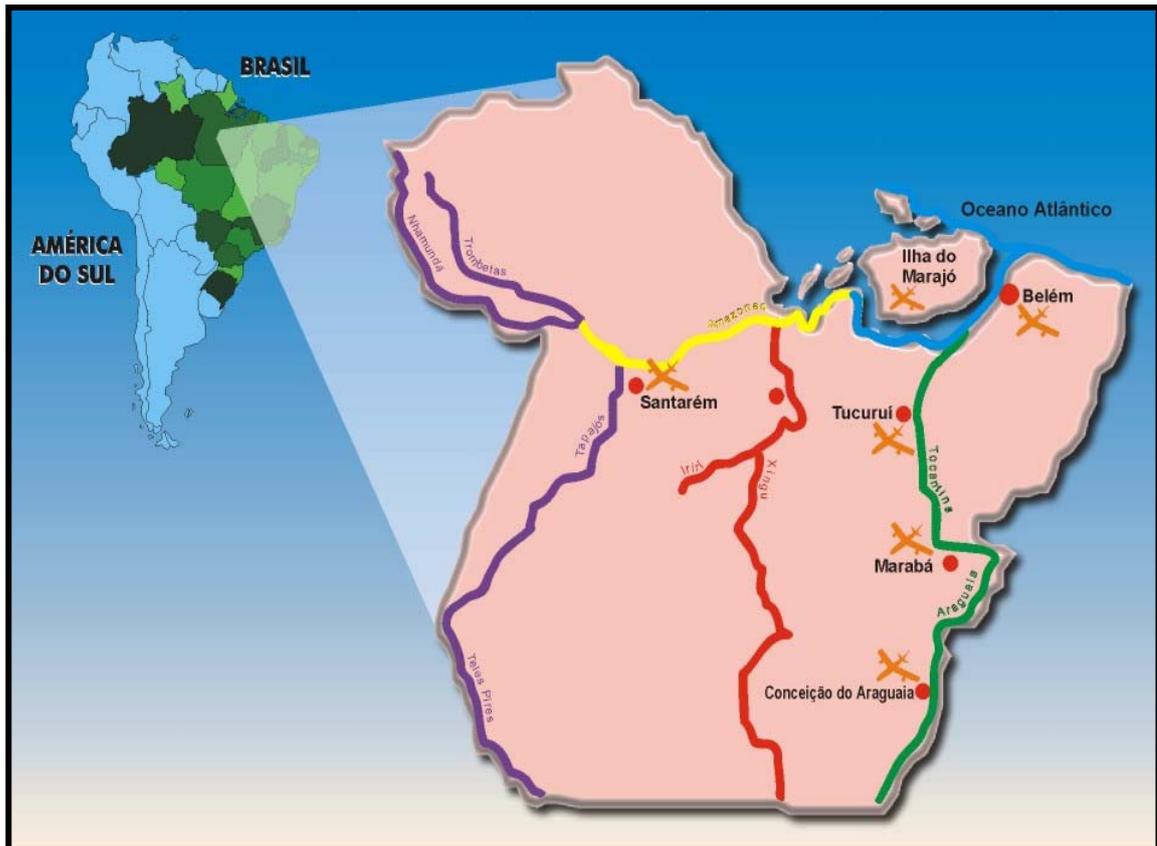


Figura 1: Mapa do estado do Pará (sem escala)

Fonte: Projeto Una

A figura 2 mostra o mapa da cidade de Belém, com seus 71 bairros e 43 ilhas.

A cidade de Belém é formada por 14 bacias hidrográficas, conforme mostrado na Figura 3. A maior destas bacias é a Bacia do Una, com uma área de, aproximadamente, 3.644 ha, correspondente à cerca de 21% da área continental e 7,20% da área territorial do município, apresentando uma camada superficial de argila orgânica, de consistência muito mole e elevada compressibilidade, estando as camadas de solos mais resistentes a profundidades variáveis, atingindo, em certas áreas, até cerca de 60 metros.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM
SECRETARIA MUNICIPAL DE COORDENAÇÃO GERAL
DO PLANEJAMENTO E GESTÃO - SEGEP

DIVISÃO POLITICO-ADMINISTRATIVA
BAIRROS DO MUNICÍPIO DE BELÉM

Conforme Lei nº 7.806, publicado no
Diário Oficial do Município, em 30 de julho de 1996.

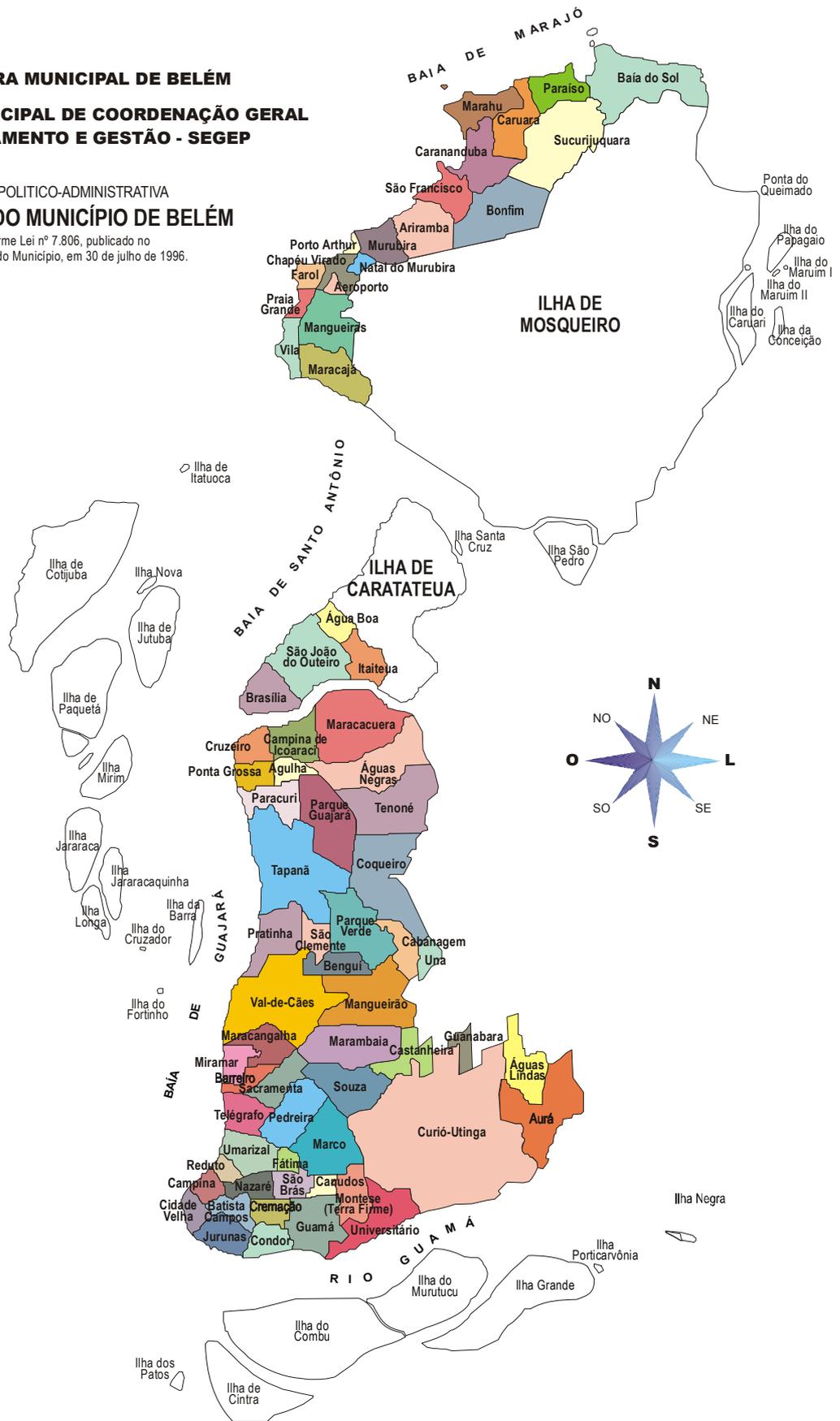


Figura 2: Mapa dos bairros de Belém (sem escala)

Fonte: Prefeitura Municipal de Belém, 2002

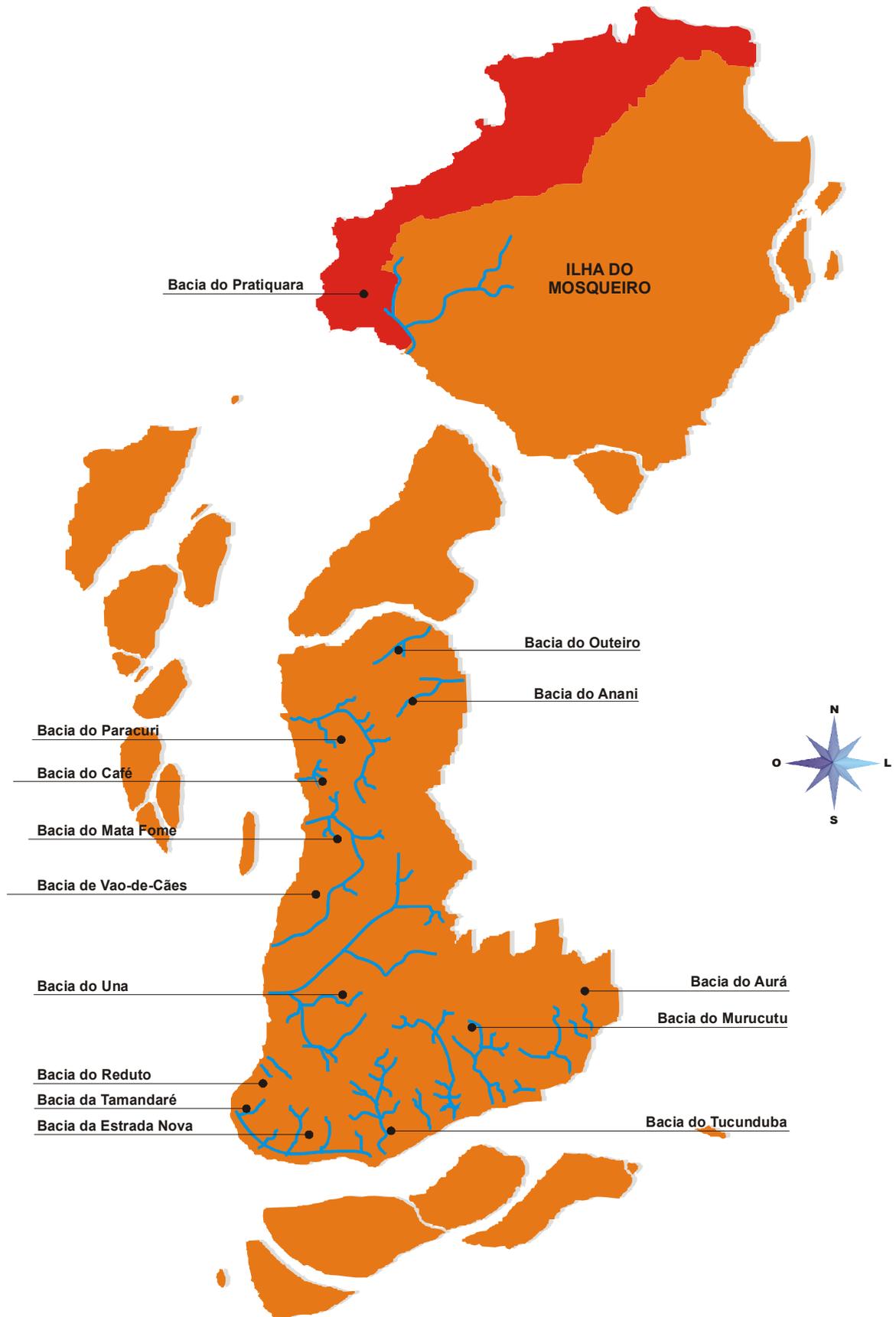


Figura 3: Mapa das Bacias Hidrográficas de Belém (sem escala)

Fonte: Secretaria Municipal de Gestão e Planejamento

A Bacia do Una foi dividida em 7 sub-áreas ou sub-bacias, conforme estudos da Prefeitura Municipal de Belém (1988). Estas sub-bacias estão relacionadas aos canais que as compõem.

A tabela 1 mostra a composição de cada uma, apresentando a quantidade de áreas alagadas ou alagáveis.

Tabela 1: Áreas alagadas ou alagáveis por sub-bacia

SUB-BACIA	CANAIS	ÁREA TOTAL (ha)	ÁREA ALAGADA OU ALAGÁVEL	
			ha	%
1	Antonia Nunes, Honorato Filgueiras e 3 de Maio	308,13	76,5	24,8
2	Visconde de Inhaúma	412,22	43,8	10,6
3	Pirajá	285,52	97,7	34,2
4	Galo e Una	409,24	245,1	59,9
5	São Joaquim	419,55	245,2	58,4
6	Água Cristal	727,82	89,5	12,3
7	Bengui, Nova Marambaia e São Joaquim	1.101,62	-	-
TOTAL		3.664,10	797,8	21,8

Fonte: Governo do Estado do Pará; Prefeitura Municipal de Belém. 1993.

2.1 A ocupação da Bacia do Una

Outrora formada por vários igarapés, que, em sua maioria, não existem mais, a Bacia do Una passou a ser ocupada de forma irregular, com muitas famílias situando-se sobre o leito dos córregos, iniciando um processo, que anos depois traria graves problemas à população da bacia, calculada hoje em, aproximadamente, 600.000 pessoas. A obstrução desses córregos, dificulta o lançamento das águas servidas e pluviais para a Baía do Guajará, provocando alagamentos, doenças e prejuízos econômicos.

A tabela 2 mostra a população residente em cada uma das sub-áreas, no início do Projeto Una, indicando, inclusive, o número de pessoas que moravam em áreas alagadas e/ou alagáveis.

Tabela 2: População por sub-bacias do Projeto

SUB-BACIAS	TOTAL (hab.)	ÁREA ALAGADA E/OU ALAGÁVEL	
		Nº DE HAB.	%
1	71.168	22.127	31,10
2	69.293	11.599	16,70
3	55.725	29.366	52,70
4	83.042	51.556	62,10
5	46.199	28.956	62,70
6	97.110	16.900	17,40
7	42.983	-	-
TOTAL	465.520	160.504	34,50

Fonte: Governo do Estado do Pará; Prefeitura Municipal de Belém. 1993.

Segundo Trindade Jr. (1997), “apesar de serem comumente considerados espaços onde vive principalmente uma população de baixo poder aquisitivo, há de se destacar que a ocupação das baixadas por essa camada da população ocorreu principalmente a partir da década de 60, devido ao grande fluxo populacional, em especial ao êxodo rural, que se fez notar com mais intensidade a partir daquela década.”

2.2 Diagnóstico da área de intervenção das obras

Segundo Prefeitura Municipal de Belém apud Trindade Jr. (1997), as Baixadas de Belém caracterizam-se por:

1. apresentarem grandes áreas de habitação subnormal, desordenadamente distribuídas e que obstruem, não raro, o escoamento hídrico, em face do deficiente sistema de macrodrenagem existente;
2. possuírem um sistema viário deficiente, o que impossibilita o desenvolvimento do tráfego normal da cidade e prejudica os serviços de transporte coletivo destinado ao atendimento dessas populações;

3. problemas para a circulação interna de pedestres, que se faz de forma precária, em geral através de estivas de madeira quase sempre em péssimo estado de conservação;
4. o atendimento do transporte coletivo se limita a circular, dada à falta de condições de tráfego interno, em sua periferia obrigando os moradores de tais áreas a realizar, por vezes, grandes deslocamentos diários, a pé, até os pontos de ônibus;
5. pela impossibilidade de implantação de sistema de água potável, de esgotos sanitários e de coleta de lixo;
6. pela impossibilidade de distribuição de energia elétrica através de redes de alta tensão, e por fim;
7. serem carentes de equipamentos urbanos de educação e saúde, o que obriga o deslocamento da população que deles necessita, para áreas de cotas mais altas.

Constata-se pelo exposto, um quadro geral de grande carência e de precariedade das condições de vida da população residente nas áreas de baixadas.”

Estes fatores, aliados à constatação de que os moradores da Bacia do Una apresentavam alto índice de doenças de veiculação hídrica, consequência da inexistência de saneamento básico, levou o poder público, junto com a comunidade, a desenvolver um projeto que solucionasse o problema, projeto esse, conhecido, hoje, simplesmente como Projeto de Macrodrenagem .

A figura 4 mostra os bairros que integram a Bacia do Una.

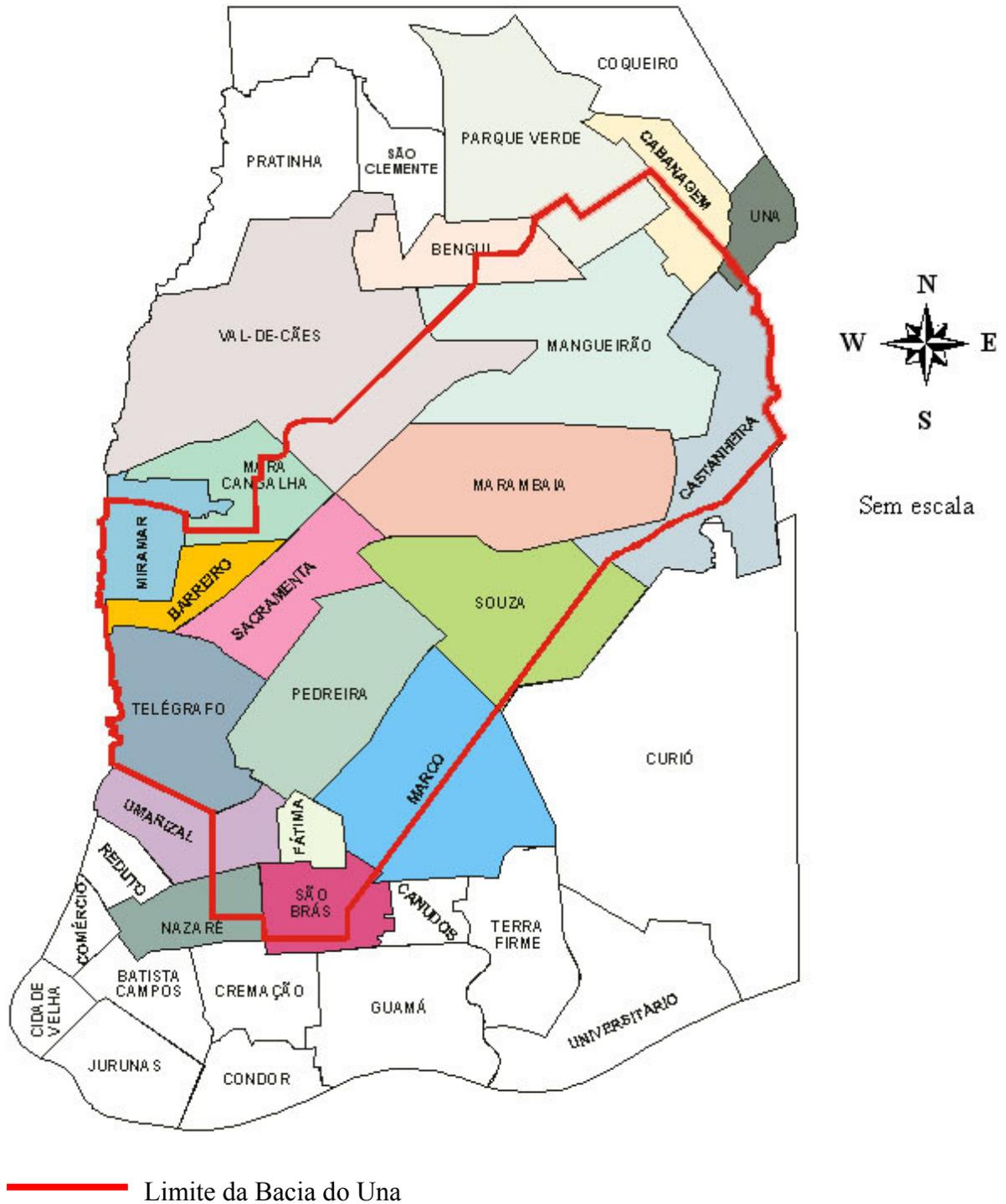


Figura 4: Mapa dos bairros integrantes da Bacia do Una (sem escala)

Fonte: Projeto Una

CAPÍTULO III – O PROJETO DE MACRODRENAGEM DA BACIA DO UNA

3 O Projeto de Macrodrenagem

O Projeto de Macrodrenagem é o maior projeto de saneamento básico em execução na América Latina. Prevê a implantação de obras de macrodrenagem na Bacia do Una. As intervenções previstas são:

a) O Remanejamento e Relocação de Famílias

b) Sistema de Macrodrenagem: execução de obras de abertura, retificação e melhoramentos de canais, revestindo alguns e outros mantendo o talude natural, de forma a garantir capacidade de armazenamento e escoamento das águas.

c) Sistema Viário: execução de vias asfaltadas, execução de vias com revestimento primário, execução de vias com revestimento blocos intertravados de concreto, construção de pontes de concreto, construção de pontes de madeira, construção de passarelas metálicas, construção de passarelas em concreto.

d) Sistema de Saneamento

d.1) Sistema de Microdrenagem: execução de coletores de águas servidas e pluviais em galerias tubulares de concreto armado e dispositivos de coleta, execução de galerias celulares de concreto armado.

d.2) Sistema de Esgoto Sanitário: construção de coletores de esgotos em tubulação de PVC e dispositivos para manutenção, construção de fossas sépticas unitárias, construção de fossas sépticas coletivas.

d.3) Sistema de Água Potável: construção de redes distribuidoras de água potável, ligações domiciliares de água.

e) Programa Aterro de Quintais: com o avanço das obras, observou-se que a construção de vias criava um novo problema, o represamento de águas no interior das quadras, que, por estarem em cotas muito abaixo das vias, transformaram-se em grandes “bolsões” de alagamento. Na impossibilidade de drenar essas águas para as

redes implantadas, definiu-se pela solução do aterro dessas quadras, originando o “Programa de Aterro de Quintais”. O Programa compreende o fornecimento de material arenoso para os moradores aterrarem os “bolsões” sob suas casas e execução de redes de drenagem e esgoto sanitário.

f) Equipamentos para manutenção

O projeto prevê ainda, a aquisição de equipamentos para a manutenção dos sistemas implantados de drenagem e sistema viário a serem repassados à PMB, assim como equipamentos para a manutenção dos sistemas implantados de água e esgoto, a serem repassados à COSANPA.

3.1 O Remanejamento e Relocação de Famílias

Com a ocupação desordenada da Bacia do Una, para que as obras de drenagem e pavimentação fossem iniciadas, era necessário realizar o remanejamento das famílias que ocupavam as faixas de domínio dos canais¹ e das vias. Para tanto, teve que ser efetuado o trabalho de desapropriação, cujas diretrizes são definidas no Plano de Reassentamento (1993), constando de :

3.1.1 Pesquisa físico-territorial

Levantamento feito “in loco”, com o objetivo de cadastrar o imóvel e as condições sócio-econômicas da família a ser remanejada.

3.1.2 Avaliação de imóveis

A Bacia do Una apresenta como característica a existência de áreas particulares ou de propriedade municipal ocupadas irregularmente, o que dificulta a avaliação da propriedade. Como solução adotou-se o critério de separar a avaliação das benfeitorias e do terreno, em função da impossibilidade, em muitos casos, de identificar-se a propriedade da área.

¹ De acordo com o Plano Diretor Urbano do Município de Belém considera-se faixa de domínio de canais a largura projetada do Canal mais as vias marginais de manutenção.

As benfeitorias são avaliadas através do Método de Custo, isto é, através de orçamento de construção, adotando-se os fatores de depreciação física, os quais são determinados pelo uso e a consequente deteriorização advinda da conservação.

Os terrenos são avaliados segundo a Fórmula de Jarret, conforme Governo do Estado do Pará (1997):

$$V_t = V_o \cdot T_f \quad , \text{ equação n}^\circ 1$$

sendo,

$$T_f = \frac{2AT}{A + PT} \quad , \text{ equação n}^\circ 2$$

onde:

V_t – Valor do terreno, em moeda corrente;

V_o – coeficiente médio territorial de valorização de um logradouro no trecho de logradouro, expresso em moeda corrente e traduzindo o valor de um metro de testada de terreno retangular com profundidade padrão de P metros²;

T_f – testada fictícia de terreno traduzida pela testada real em função da área do terreno avaliado ou sua propriedade efetiva, em metros;

T – testada efetiva do terreno, em metros;

P – profundidade padrão, considerada de 36 metros para os terrenos situados em zonas residenciais ou comerciais e 80 metros para os terrenos situados em zonas industriais;

A – área do terreno, em m²

² Este coeficiente é definido pela Companhia de Desenvolvimento do Município de Belém – CODEM.

3.1.3 Negociação das indenizações

O Plano de Reassentamento prevê as seguintes formas de indenizações:

3.1.3.1 Indenização total da unidade habitacional

- a) Indenização – ocorre geralmente quando o proprietário opta por adquirir um imóvel em outro bairro ou município, recebendo a indenização correspondente ao valor da benfeitoria e do terreno.³
- b) Indenização com a concessão de um lote de terras – é efetuada com a concessão de um lote de terra em uma das áreas destinadas ao reassentamento de famílias.
- c) Indenização parcial da unidade habitacional – corresponde ao custo da área a ser desapropriada.
- d) Indenização com reconstrução – este caso refere-se à situação em que o valor da avaliação do imóvel, por encontrar-se bastante degradado, não é o suficiente para a construção de um novo, sendo impossível o reaproveitamento do material de construção, ou ainda, o proprietário tem idade avançada ou é portador de deficiência física, recebendo, também, auxílio em materiais de construção e mão de obra.

3.1.3.2 Unidade habitacional assentada em terreno próprio

Análogo ao item 3.1.3.1, com a ressalva de que se o proprietário optar pelo lote de terra será feita uma permuta de áreas.

³ A indenização do valor do terreno será concedida se o remanejado for o legítimo proprietário da terra.

3.1.3.3 Casas alugada

A indenização é efetuada ao proprietário da benfeitoria, recebendo o locatário um lote de terra e o material da benfeitoria a ser demolida.

3.1.3.4 Casas de comércio

É indenizado o fundo de comércio acrescido do valor correspondente à avaliação da estrutura. Quando o comerciante reside no local do comércio, este recebe um lote de terra localizado em esquina na área de reassentamento.

3.1.3.5 Instituições

É adotado o mesmo procedimento aos demais proprietários

3.1.3.6 Famílias conviventes

Não são contempladas no Projeto.

3.1.3.7 Casas cedidas

Segue o mesmo procedimento adotado para os inquilinos.

3.1.3.8 Vila de quartos

O proprietário é indenizado pela benfeitoria, sendo destinado aos inquilinos lotes de terra, bem como o material de construção da benfeitoria a ser demolida.

3.1.3.9 Outros benefícios

Com o objetivo de agilizar o processo de remanejamento e diminuir os custos de construção de um novo imóvel, são concedidos os seguintes benefícios:

- a) o material da benfeitoria demolida é de propriedade do morador;
- b) o Projeto Una fornece a mão de obra para a demolição da benfeitoria;
- c) o Projeto Una fornece transporte do material e pertences do morador até o novo domicílio;
- d) caso haja necessidade de remanejamento imediato, o Projeto Una paga o aluguel de um imóvel por 30 (trinta) dias;

Os problemas de alagamento na Bacia do Una ocorriam, em grande parte, devido ao grande número de famílias ocuparem o leito dos canais, impedindo, dessa forma, o perfeito escoamento das águas pluviais, sendo imperioso o remanejamento dessas famílias.

A recuperação da faixa de domínio de algumas vias, assim como a abertura de novas vias, exigiu o remanejamento de famílias para possibilitar uma maior integração viária e facilitar o deslocamento dentro da Bacia do Una.

Os quadros 1 e 2 mostram as quantidades de remanejamentos previstos.

Quadro 1: Número de remanejamentos em função dos canais e sistema viário

SUB-ÁREAS	REMANEJAMENTO TOTAL		REMANEJAMENTO PARCIAL	
	C A N A I S	SISTEMA VIÁRIO	C A N A I S	SISTEMA VIÁRIO
1	115	64	131	186
2	403	76	42	86
3	337	107	29	392
4	336	175	113	302
5	541	168	85	331
6	334	43	40	143
7	54	27	-	164
TOTAL	2.120	660	440	1.604

Fonte: Governo do Estado do Pará; Prefeitura Municipal de Belém, 1993

Quadro 2: Resumo da quantidade de desapropriações previstas

SUB-ÁREAS	DESAPROPRIAÇÃO TOTAL	DESAPROPRIAÇÃO PARCIAL	T O T A L
1	179	317	496
2	479	128	607
3	444	421	865
4	511	415	926
5	709	415	1.125
6	377	183	560
7	81	164	245
TOTAL	2.780	2.044	4.824

Fonte: Governo do Estado do Pará; Prefeitura Municipal de Belém.,1993

A Bacia do Una passou por um processo de alteração na sua demografia, causado, principalmente, pelo atraso na implantação das obras, com o surgimento de novas ocupações, além do fato de que antigos moradores venderam os seus imóveis para residir em outros locais.

Este fato provocou a necessidade de um novo levantamento, a partir de 1997, a fim de determinar as novas prioridades e quantitativos de remanejamentos, pois os dados apresentados acima, estavam em desacordo com a realidade.

O quadro 3 mostra a quantidade de remanejamentos efetivados até novembro/2002 para as áreas de assentamento, informando o canal que ocupavam.

Quadro 3: Situação das áreas de assentamento

Loteamento		Número de Lotes	Lotes Sorteados	Lotes em Construção	Lotes com Morador	Lotes sem Construção	Lotes Concluídos s/ Morador	Construção Paralisadas	Lotes Disponíveis	Origem das Famílias
03	Av. Pedro Miranda	24	24	-	24	-	-	-	-	Canal Antonio Baena / Canal Visconde de Inhaúma
04	Tv. Diogo Moia/ Antonio Barreto	51	51	-	51	-	-	-	-	Canal Boaventura da Silva / Canal 03 de Maio / Canal Soares Carneiro / Canal Antonio Baena
05	Tv. Vileta	17	17	-	17	-	-	-	-	Canal Visconde de Inhaúma
07	Tv. Chaco	16	16	-	16	-	-	-	-	Canal Visconde de Inhaúma
08	Tv. Chaco	14	14	-	14	-	-	-	-	Canal Visconde de Inhaúma
09	Tv. Perebebuí	14	14	-	14	-	-	-	-	Canal Visconde de Inhaúma
11	Tv. Chaco	10	10	-	10	-	-	-	-	Canal Visconde de Inhaúma
13	Tv. Pedro Álvares Cabral	17	17	-	15	2	-	-	-	Canal Soares Carneiro
14/ 15	Av. Sen. Lemos/ Tv. Lomas Valentinas	137	137	-	133	2	-	2	-	Canal Pirajá
17	Tv. Timbó	61	61	-	59	-	1	1	-	Canal Visconde de Inhaúma
18	Av. Sen. Lemos/ Al. São Jorge	19	19	-	18	-	-	1	-	Canal Pirajá
19	Tv. Alferes Costa/ Perebebuí	88	88	-	87	-	-	1	-	Canal Pirajá
25	Conj. Resid. Paraíso dos Pássaros	2.073	1.780	3	1.414	293	23	47	293	Canal Jacaré / Canal do Una / Canal São Joaquim / Canal Pirajá / Canal Benguí / Canal Visconde de Inhaúma / Canal Água Cristal / Pro sanear
TOTAL		2.541	2.248	3	1.872	297	24	52	293	

Fonte: Projeto Una, 2003

3.2 O Sistema de macrodrenagem da Bacia do Una

O sistema de macrodrenagem da Bacia do Una é constituído por um conjunto de canais e galerias, que foram dragados, retificados, alguns recebendo revestimento em concreto e outros mantendo o talude natural, revestido com gramíneas e dois conjuntos de comportas situados à jusante dos canais do Una e Jacaré.

Segundo a Prefeitura Municipal de Belém (1988), o Projeto de Macrodrenagem foi concebido para alcançar três grandes benefícios:

- a) Controle de cheias, evitando os alagamentos constantes;
- b) Término das endemias, que, constatadas como de veiculação hídrica, não teriam como se propagar considerando que a Bacia estaria drenada;
- c) Combate à erosão, fato muito presente na Bacia do Una.

As soluções adotadas levaram em conta o critério da técnica mais econômica para atingir os benefícios previstos, tais como:

- a) Redução dos níveis de cheias, com a execução de obras, como;
 - Ampliação da capacidade das comportas situadas na foz do Igarapé do Una;
 - Dragagem dos leitos dos canais para dar passagem às vazões de projeto e participar do amortecimento das cheias excepcionais;
 - Elevação da cota das margens para aumento da capacidade de vazão das seções e acumulação do leito;
 - Revestimento dos taludes nos trechos onde a implantação de seção dragada e/ou com as cotas das vias marginais elevadas, não oferece vantagens, o que proporciona maior velocidade de escoamento.
- b) Distribuição da água nas cheias por meio de desvio, sendo proposta a construção de uma bateria de comportas em um talvegue existente, conhecido

como Igarapé do Jacaré, para minimizar a influência das marés. Este Igarapé foi usado como desvio durante a construção das comportas do Una.

Os canais da Bacia do Una foram dimensionados para o escoamento de vazões com tempo de recorrência de 20 anos (TR = 20 anos).

Para o dimensionamento das comportas dos canais do Una e do Jacaré, foi considerado o tempo de recorrência de 50 anos (TR = 50 anos).

A definição das seções definitivas dos canais levou em conta as características do curso, tais como:

- O perfil de fundo;
- A inclinação dos taludes naturais;
- A topografia das margens;
- O tipo de ocupação da área;
- As vias e logradouros marginais.

Os canais da Bacia do Una foram dimensionados para atender os seguintes aspectos:

- a) Dotá-los de capacidade de armazenamento de águas enquanto as comportas estiverem fechadas;
- b) Velocidades máximas compatíveis com o tipo de revestimento da seção;
- c) Escavações que permitissem reduzir custos;
- d) Nível de água abaixo das cotas marginais, assegurando bordo livre satisfatório para o escoamento das galerias;
- e) Largura da boca compatível com a faixa disponível, sendo adotada aquela que permitisse reduzir as desapropriações e minimizasse interferir no tráfego de veículos.

Para implantar o sistema de macrodrenagem foi necessário dragar e retificar os diversos igarapés existentes na Bacia do Una, para que o escoamento das águas se desse de maneira uniforme, reduzindo-se as perdas de carga.

O quadro 4 mostra a relação dos canais que compõem a Bacia do Una, com suas respectivas extensões e o tipo de revestimento.

Quadro 4: Extensão de canais da Bacia do Una

ÍTEM	CANAL	EXTENSÃO (m)/REVESTIMENTO		
		TALUDE NATURAL	GABIÃO	CONCRETO
1	Canal do Una	1.040,00		
2	Barragem do Una	42,00		
3	Canal do Jacaré		480,00	
4	Barragem do Jacaré	16,00		
5	Canal do Galo	2.040,00		
6	Canal Soares Carneiro			420,00
7	Canal Pirajá			2.680,00
8	Canal 3 de Maio	760,00		380,00 ⁴
9	Canal Antonia Nunes ⁵			395,00
10	Canal Antonio Baena			351,00
11	Canal Visconde de Inhaúma			1.111,00
12	Canal São Joaquim I	2.480,00		
13	Canal São Joaquim II	3.040,00		
14	Canal Água Cristal	2.320,00		1.780,00
15	Canal Nova Marambaia	1.640,00		
16	Canal do Bengui	180,00		1.080,00
TOTAL		13.558,00	480,00	8.297,00

Fonte: Projeto Una (adaptado pelo autor)

⁴ O Canal 3 de Maio entre a Rua Antonio Barreto e Rua Boaventura já encontrava-se revestido em concreto.

⁵ O canal Antonia Nunes já encontrava-se revestido em concreto.

Os estudos hidrológicos da Bacia do Una permitiram a substituição de alguns canais por galerias, entre estes o Canal Rosa Lemos, que foi substituído por uma rede dupla de tubos de concreto Ø 1,20 m. Outros canais foram substituídos por galerias de concreto e galerias em tubo metálico, como mostra o quadro 5.

Quadro 5: Extensão de galerias da Bacia do Una

ÍTEM	GALERIA	EXTENSÃO (m) /REVESTIMENTO	
		CONCRETO	TUBO METÁLICO
1	Avenida Visconde de Inhaúma	483,00	
2	Rua Honorato Filgueiras	263,00	
3	Travessa Antônio Baena	403,00	
4	Passagem Camará	386,00	
5	Rua Boaventura da Silva		520,00
6	Galeria Soares Carneiro	60,00	
7	Galeria Pirajá	120,00	
TOTAL		1.715,00	520,00

Fonte: Projeto Una (adaptado pelo autor)

A figura 5 mostra o Mapa dos canais da Bacia do Una e os diversos bairros de Belém que compõem a Bacia.

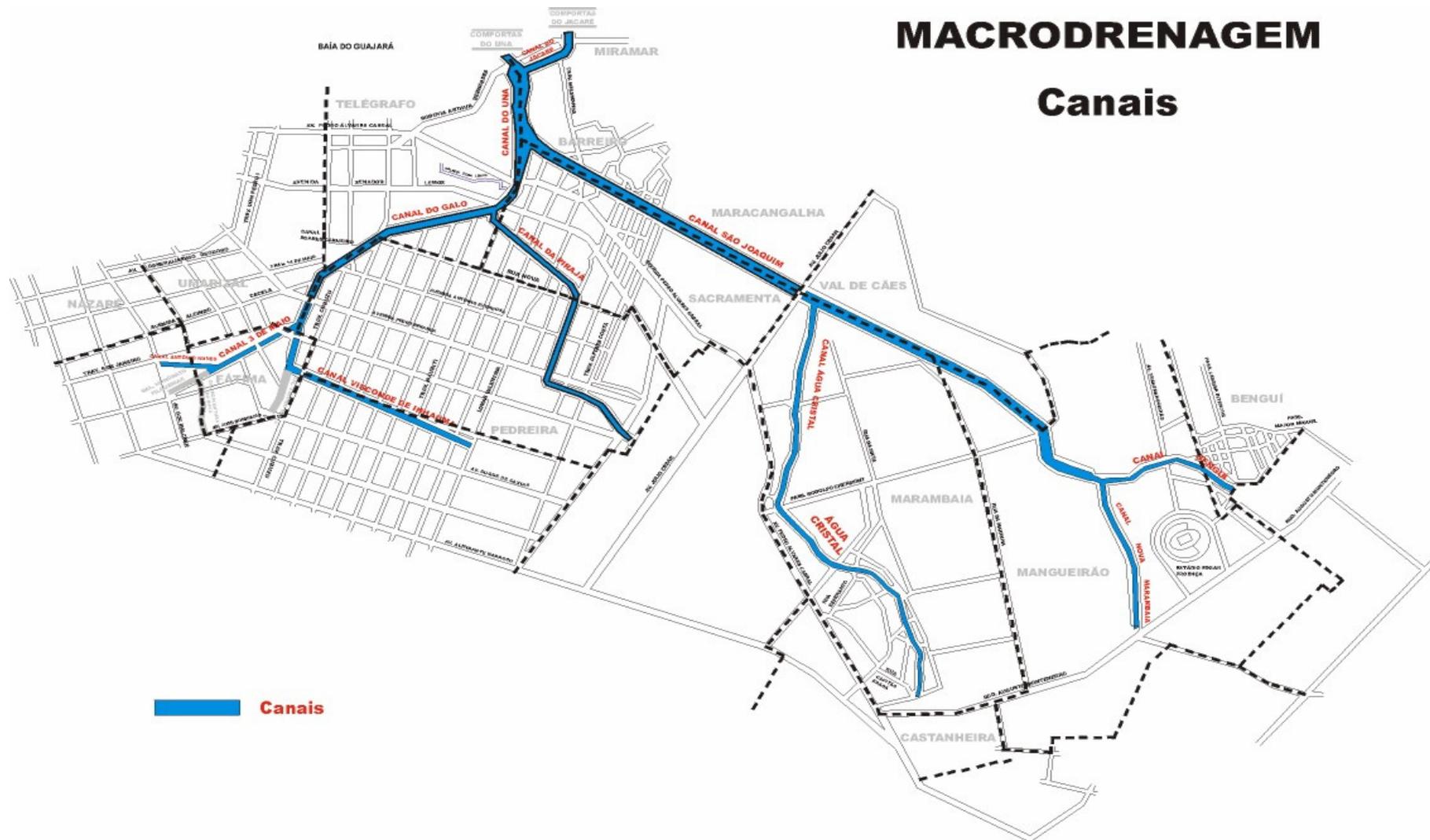


Figura 5: Mapa dos canais da Bacia do Una (sem escala)

Fonte: Projeto Una, 2003

3.2.1 O controle de enchentes

Segundo Rede (1987) o Igarapé do Una possuía desde 1970 uma bateria de comportas do tipo “Flap Gate”, mostrada na Figura 6, destinadas a limitar a influência das marés, composta por 36 aberturas, incapazes de evacuar a vazão estimada para 50 anos.



Figura 6: Situação anterior da Comporta do Una

Fonte: Projeto Una, 1995

O Canal do Jacaré foi previsto com a finalidade de possibilitar a construção da comporta do Canal do Una. Após a conclusão desta, passou a ser um canal auxiliar, na impossibilidade da vazão ser totalmente escoada pelas comportas do Canal do Una.

Para possibilitar o controle de enchentes foram construídas as comportas nos canais do Una e do Jacaré, cujo princípio de funcionamento é quando houver elevação da maré, estas são imediatamente fechadas, ficando as contribuições dos canais retidas, assumindo, dessa forma, a sua função de bacias de acumulação.

Ao baixar a maré, as comportas são abertas, sendo liberadas as águas represadas.

A operação das comportas, recomendada nos estudos hidráulicos e hidrológicos, é que o fechamento seja feito sempre na baixa-mar e a abertura ocorra a partir do momento em que o nível descendente de maré seja inferior àquele no interior dos canais.

A vazão de dimensionamento das comportas foi definida para as condições mais desfavoráveis, cujo valor de projeto é de 96,00 m³/s.

O Projeto Una construiu um novo sistema de comportas, visto que o existente à época da concepção do Projeto encontrava-se bastante deteriorado pelo tempo.

O novo sistema, mostrado na Figura 7, é composto por um conjunto de 18 comportas no Canal do Una, complementado por um conjunto de 7 comportas no Canal do Jacaré.



Figura 7: Situação atual da Comporta do Una

Fonte: Projeto Una, 2000

Todo esse sistema é controlado por equipamentos eletrônicos, de forma a obter-se um elevado grau de confiabilidade na operação.

3.3 O Sistema Viário

Neste sistema estão inseridas a abertura e pavimentação de vias novas e/ou existentes, bem como a construção de pontes para veículos e passarelas para pedestres. A concepção inicial estava condicionada à existência de ruas já implantadas e ao elevado número de casas existentes na área de intervenção das obras.

Com a desvalorização do Real em relação ao dólar, visto que o financiamento do BID é em dólar, foi possível ampliar as metas físicas do Projeto, com a substituição de revestimento primário por revestimento asfáltico em algumas vias e a inclusão de revestimentos em blocos de concreto intertravado e concreto em vias com largura inferior a 3,00 m. Esta última opção é em função da inviabilidade técnica de executar-se revestimento primário ou asfáltico, devido a:

- a) indisponibilidade de espaço físico para a movimentação de máquinas e equipamentos;
- b) efeitos negativos decorrentes das vibrações, produzidas pelos equipamentos de maior porte, nos imóveis, construídos, em grande parte, sobre fundações superficiais assentes sobre a argila orgânica muito mole;

O quadro 6 mostra um comparativo entre os quantitativos de obras viárias previstas à época da concepção do Projeto e o previsto até o final das obras.

Quadro 6: Comparativo de Obras Viárias

ÍTEM	SERVIÇOS	UN	QUANTIDADES PREVISTAS	
			1992	2002
1	Sistema Viário			
1.1	Revestimento Primário	Km	148,62	83,70
1.2	Revestimento Asfáltico	Km	14,21	73,50
1.3	Pavimentação com blocos de concreto	m ²		13.149,00
2	Obras de Arte			
2.1	Ponte de Concreto	Un	33,00	41,00
2.2	Ponte de Madeira	Un	14,00	2,00
2.3	Pasarelas	Un	23,00	35,00

Fonte: Leme Engenharia (adaptado pelo autor)

Observa-se que com a ampliação dos recursos foi possível melhorar a qualidade do pavimento das vias, incorporar novos tipos de pavimentação, bem como aumentar o número de obras de arte, possibilitando maior integração viária, comodidade e segurança aos pedestres na transposição de canais.

Para a elaboração dos projetos viários a PMB definiu como critério básico que a implantação das vias provocasse o menor número de desapropriações possível e a manutenção do alinhamento dos bordos das pistas.

A figura 8 mostra o mapa geral das vias com sistema viário implantado pelo Projeto Una.

3.4 SISTEMA DE SANEAMENTO

3.4.1 Sistema de Microdrenagem

O sistema de microdrenagem é um conjunto formado por galerias de concreto, redes tubulares de concreto, canaletas, meio-fio e dispositivos de coleta que têm por função drenar as quadras da Bacia do Una, para possibilitar a implantação dos aterros necessários a construção de vias.

Os objetivos do sistema definidos pela Prefeitura Municipal de Belém (1988) são:

- a) escoar as águas precipitantes sobre a área, encaminhando os deflúvios através de um conjunto, racionalmente planejado, de dispositivos e instalações;
- b) Evitar a erosão dos taludes e dos terrenos ao mesmo tempo em que dentro de critérios adequados, impede o assoreamento das calhas pluviais;
- c) Impedir a retenção destes deflúvios, por períodos prolongados, evitando-se o comprometimento sanitário em razão da estagnação das águas;
- d) Permitir a recuperação de áreas atualmente comprometidas por retenção de águas que, drenadas, favorecerão o seu aproveitamento.

O sistema implantado caracteriza-se pelo prolongamento e/ou adequação de sistemas existentes.

As variáveis adotadas para o dimensionamento foram:

- a) Redes tubulares de concreto
 - Período de recorrência: $T = 10$ anos
 - Duração mínima de precipitação: $t = 10$ min
 - Coeficiente de escoamento superficial: $c = 0.60$

- b) Galerias de concreto
 - Período de recorrência: $T = 10$ anos
 - Duração mínima de precipitação: $t = 5$ min
 - Coeficiente de escoamento superficial: $c = 0.60$

A chuva de projeto é a adotada pela PMB, obtida pela Eng^a Rosemary Sarmanho de Souza (PMB,1988), definida pela expressão:

$$i = \frac{2.300T^{0,20}}{(t + 20)^{0,91}}, \text{ equação n}^\circ 3$$

onde,

i = intensidade de pluviométrica em mm/h

T = período de recorrência em anos

t = duração em minutos

A Figura 9 mostra um corte esquemático da galeria de concreto construída na Avenida Visconde de Inhaúma, no trecho compreendido entre a Travessa Mauriti e a Travessa Iomas Valentinas.

A Figura 10 mostra o mapa geral das vias que receberam obras de microdrenagem.

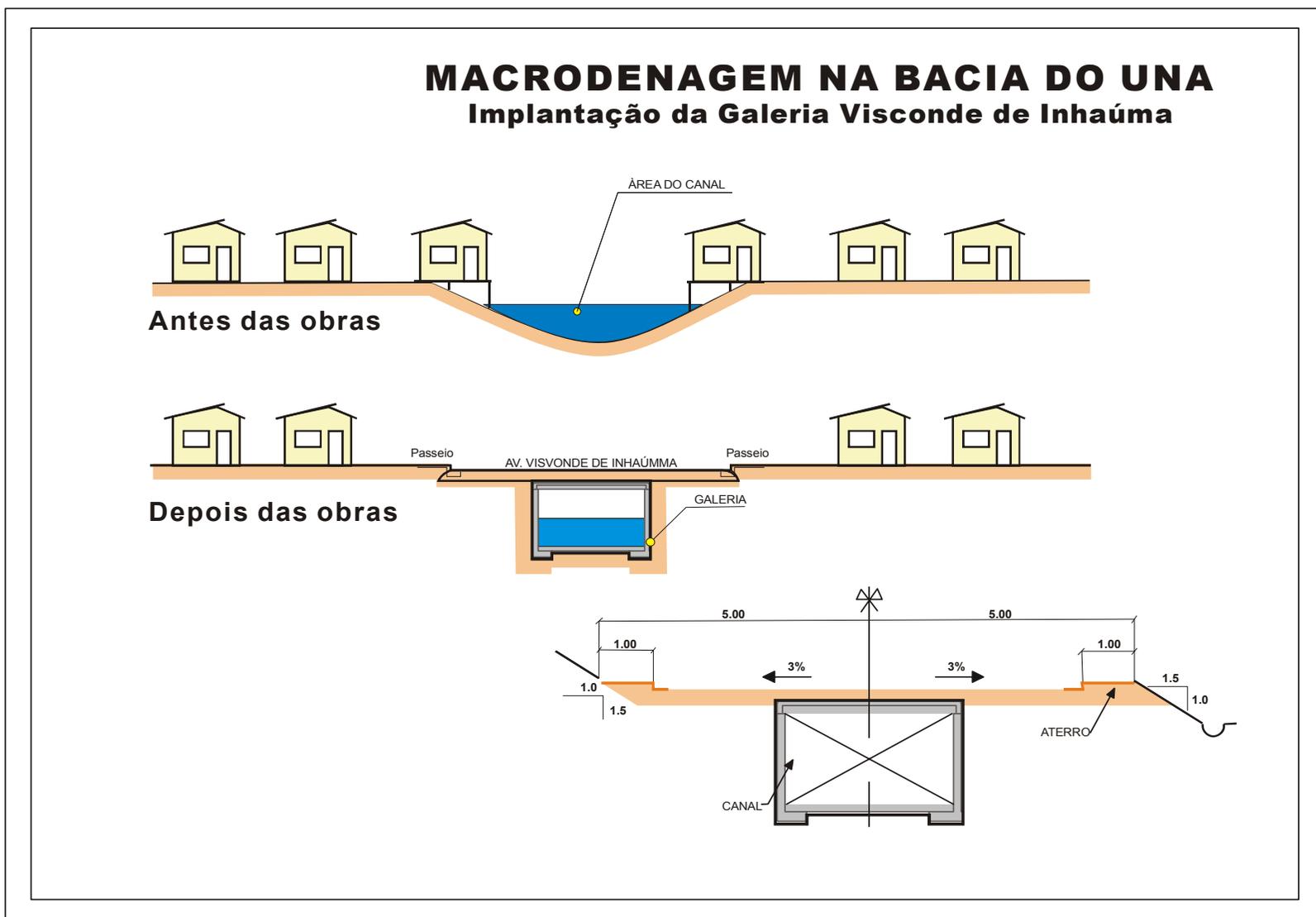


Figura 9: Corte esquemático da implantação da Galeria Visconde de Inhaúma

Fonte: Projeto Una, 2003

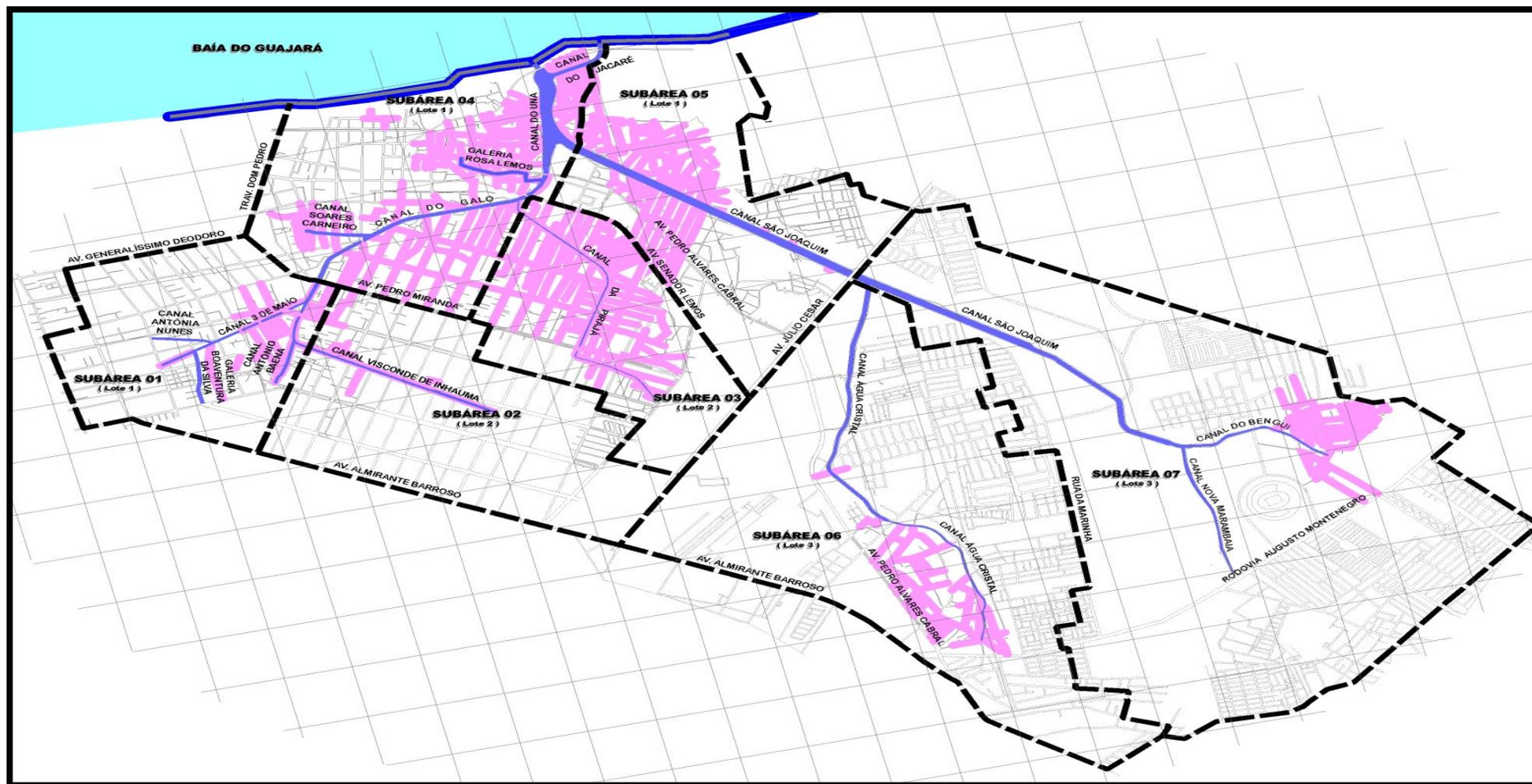


Figura 10: Mapa geral das vias com sistema de microdrenagem implantado (sem escala)

Fonte: Projeto Una, 2003

3.4.2 Sistema de Esgoto Sanitário

3.4.2.1 Diagnóstico da Área

A Bacia do Una, antes da intervenção do projeto de macrodrenagem, era uma área com grandes extensões de terras alagadas e, as demais, alagáveis. As residências caracterizavam-se por serem do tipo palafitas, com os dejetos sendo lançados “in natura” sob as mesmas.

Uma pequena quantidade de casas, construídas em “terra firme”, possuía fossas sépticas, entretanto os efluentes destas eram lançados diretamente no terreno.

As áreas alagáveis, pelo fato de sofrerem influências das marés a cada 12 horas, tinham estes dejetos lançados na Baía do Guajará, amenizando a situação sanitária dos moradores, pois havia uma renovação das águas sob as residências, diminuindo o risco de doenças. Entretanto, as áreas alagadas, denominadas de “bolsões” em razão de possuírem águas estagnadas, não dispunham desta “lavagem”, ficando os dejetos presos, causando doenças e com um odor desagradável.

3.4.2.2 Concepção do Projeto

A definição do sistema de esgoto implantado na Bacia do Una deu-se após a análise de algumas alternativas propostas pelo Eng^o S. E. Cynamon, da Organização Panamericana da Saúde, em 1984.

O primeiro sistema proposto previa a colocação de um tanque séptico em cada moradia, com leito de secagem de lodo coberto, anexo, com o objetivo de reduzir o custo de remoção do lodo, o que seria executado duas vezes por ano, sendo o efluente tratado por um filtro biológico em leito de pedra, seguido de leito de areia, acoplado imediatamente após a fossa. Face o alto custo, em torno de US\$ 166/ pessoa, a alternativa foi descartada.

Cynamon apresentou, ainda, outra alternativa em que as fossas sépticas teriam seus afluentes coletados por micro-redes de esgoto e levados a uma estação de tratamento setorial, com filtro biológico. Esta solução era inviável economicamente, pois teria que ser adicionada

ao custo estimado de US\$ 149/pessoa, os custos de manutenção e operação das unidades de tratamento secundário.

Macintyre (1982) define os sistemas públicos de esgoto em:

- a) Sistema unitário – é o sistema no qual as águas pluviais e as águas residuárias e de infiltração são conduzidas em uma única rede. É conhecido sob a denominação francesa de *tout-à l'égout*.
- b) Sistema separador absoluto – é o sistema no qual há duas redes públicas independentes, uma para águas pluviais e outra para águas residuárias e de infiltração. No Brasil é o sistema adotado, devido às vantagens que apresenta em relação ao sistema unitário, entre as quais a exigência de menores diâmetros para as redes e menor custo das estações elevatórias e de tratamento.
- c) Sistema misto ou separador combinado – é o sistema no qual as águas de esgoto têm redes próprias, mas estes condutos são instalados dentro das galerias de águas pluviais. Também se designa com o nome de sistema misto, sistema parcial ou inglês, aquele em que a rede de esgotos recebe uma parte das águas pluviais provenientes de telhados e pátios. Não é usado no Brasil.

Na definição do sistema usado na Bacia do Una, foram observadas as peculiaridades da bacia, formada por áreas de baixadas, alagadas ou semi-alagadas, bem como a escolha de um sistema eficaz e econômico.

3.4.2.3 Sistema de Esgoto do Projeto Una

Os sistemas adotados para a Bacia do Una foram:

- a) Sistema Convencional

É um sistema do tipo separador absoluto, implantada em uma área de 180 ha, delimitada pela marginal esquerda do Canal do Una, Avenida Pedro Álvares Cabral e

b) Sistema com Tratamento Individual

É um sistema com a utilização de uma fossa séptica com capacidade para 6 pessoas, onde os efluentes são lançados em micro-redes, sem tratamento secundário. Implantado em áreas onde não foi possível usar o sistema convencional, sempre com a perspectiva de implantação futura de interceptores ao longo das vias marginais.

A eficiência esperada para o sistema, é, em percentual de remoção:

- Óleos e graxas – 70%
- Fósforo – 15%
- DBO – 50% a 65%
- MS – 70% a 80%

As figuras 12 e 13 mostram detalhes do sistema.

MACRODENAGEM NA BACIA DO UNA Ligação Predial c/ Fossa Individual

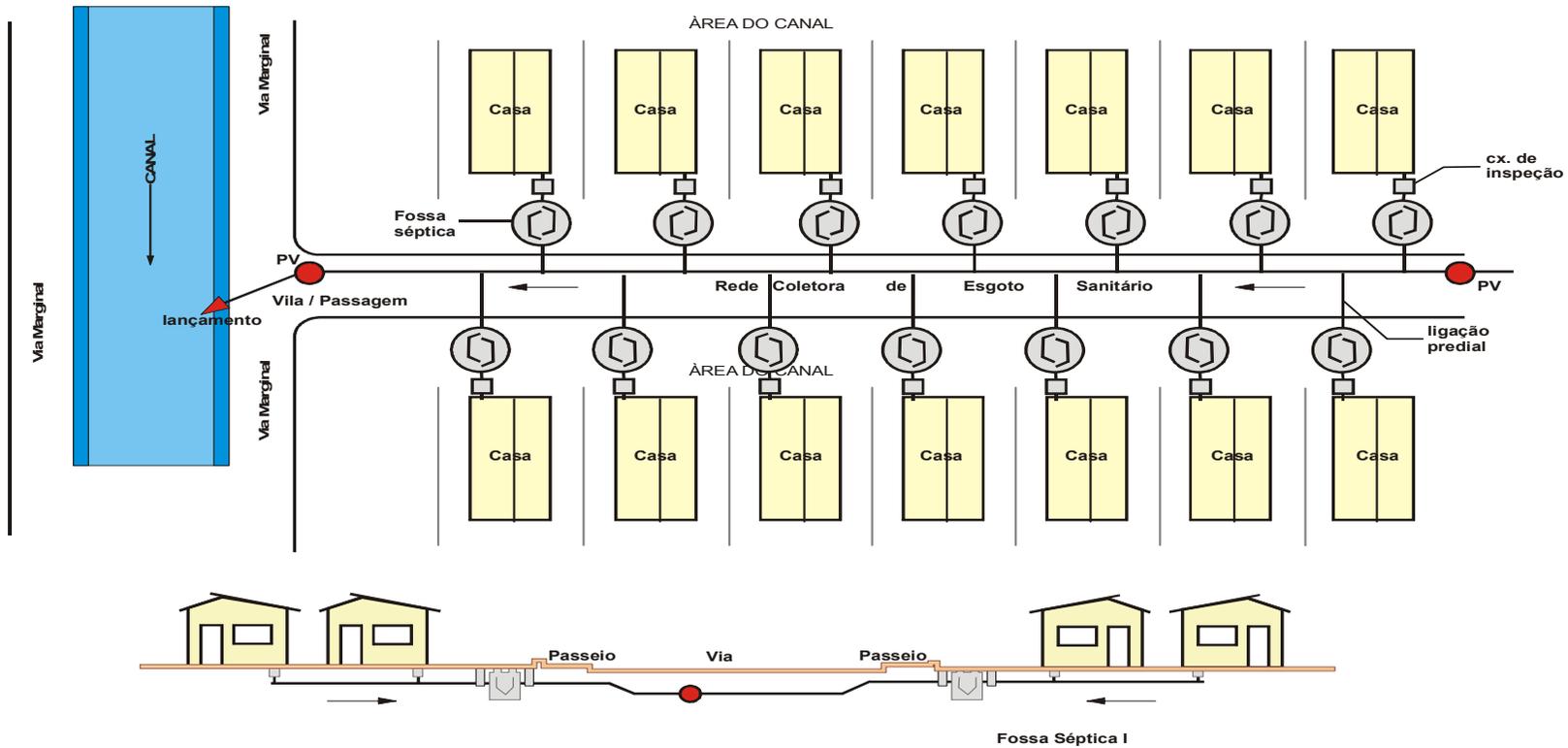


Figura 12: Planta baixa de sistema com tratamento individual (sem escala)

Fonte: Projeto Una

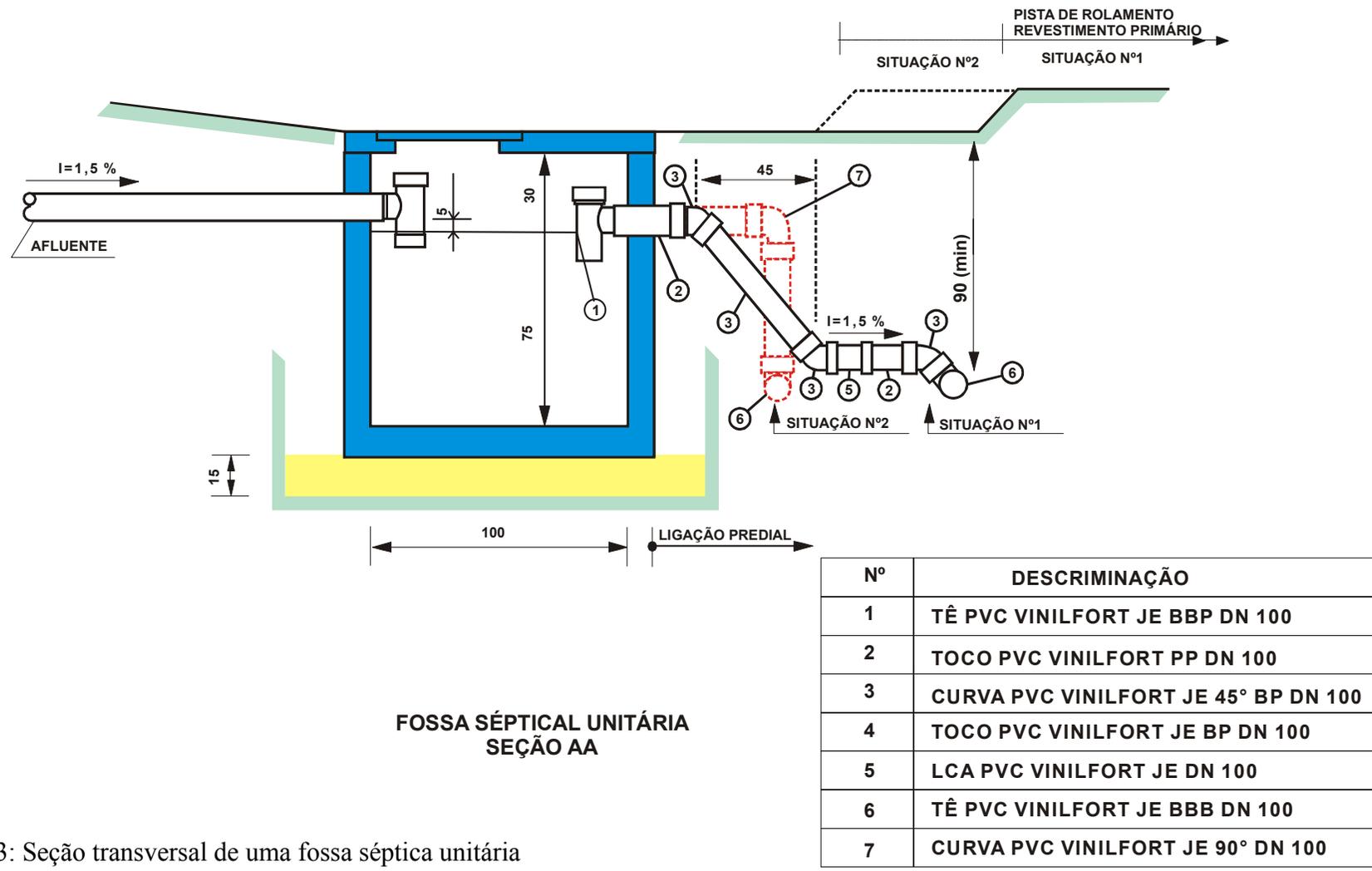


Figura 13: Seção transversal de uma fossa séptica unitária

Fonte: Projeto Una

c) Sistema com Tratamento Coletivo

Esta alternativa é aplicada onde não é possível instalar-se a fossa séptica unitária em razão da inexistência de espaço físico necessário. Os esgotos são lançados em fossas sépticas coletivas, limitado o seu atendimento a até 30 residências, a fim de evitar-se grandes dimensões. Os efluentes são lançados na rede de drenagem.

As figuras 14, 15, 16 e 17 mostram detalhes do sistema.

MACRODENAGEM NA BACIA DO UNA Ligação Predial c/ Fossa Coletiva.

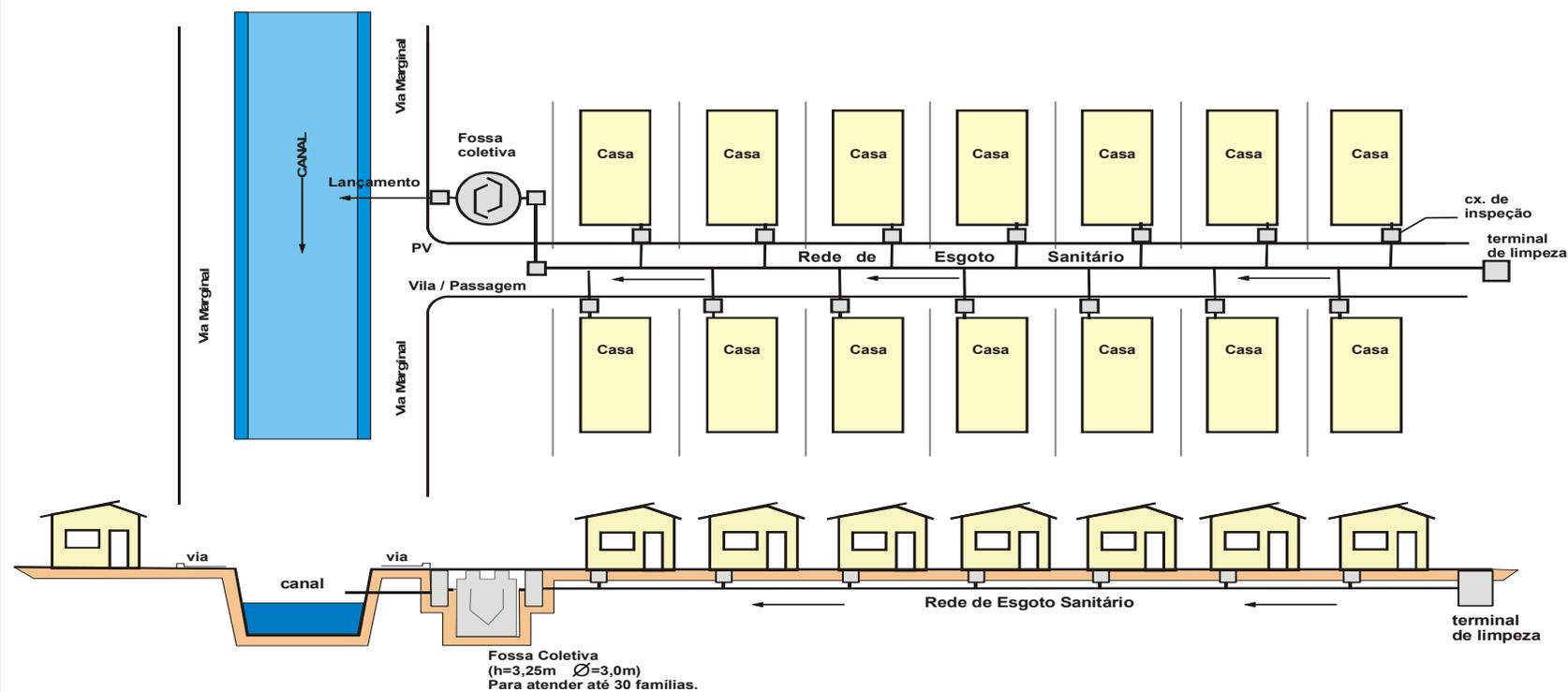
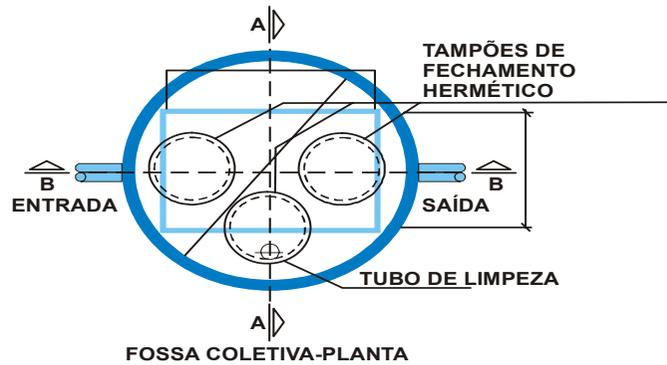


Figura 14: Planta baixa de sistema com tratamento coletivo (sem escala)

Fonte: Projeto Una



DIMENSIONAMENTO DE FOSSA COLETIVA CILÍNDRICA COM CÂMARA IMHOFF DE ACORDO COM O P-NB-41 DA ABNT

N	d=2500MM		d=3000MM					
	a= 1500	b= 1900	a= 1500	b= 1900				
NÚMERO DE CASAS CONTRIBUÍNTES	n= 620		n= 620					
	s= 400		s= 400					
	r	t	h	H				
10	100	780	1500	1800	100	730	1450	1750
15	100	1130	1850	2150	100	980	1700	2000
20	100	1680	1850	2700	100	1480	2200	2500
30	-	-	-	-	220	2110	2950	3250

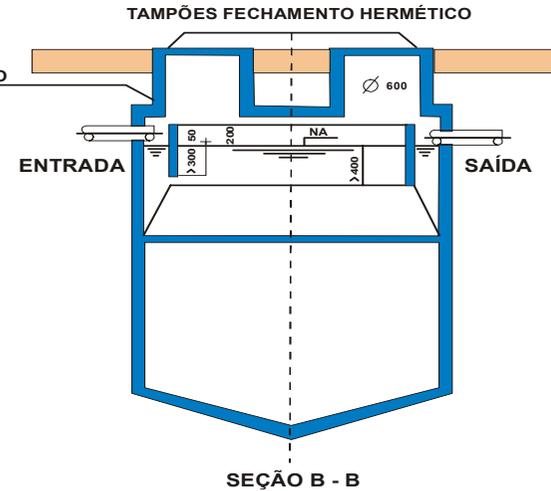
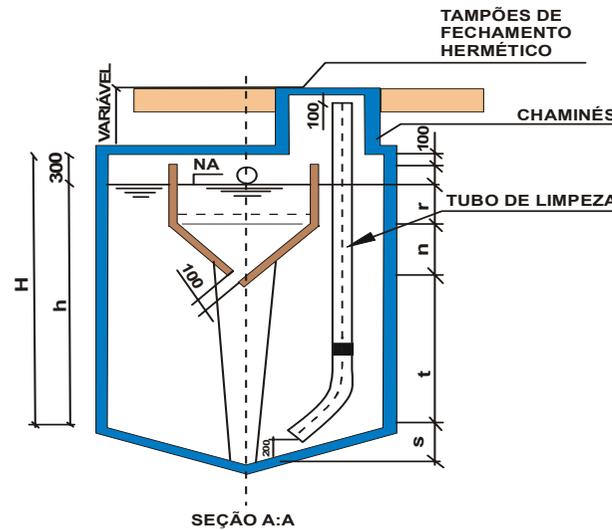


Figura 15: Corte esquemático da fossa coletiva (sem escala)

Fonte: Projeto Una



Figura 16: Vista da Passagem Cocadinha durante a execução de fossa coletiva

Fonte: Projeto Una



Figura 17: Vista da passagem cocadinha após a execução de fossa coletiva

Fonte: Projeto Una

3.4.2.4 Parâmetros de projeto

Foram adotados os seguintes parâmetros e considerações de projeto:

- Consumo “per capita” de água, $q_f = 150 \text{ l/habxdia}$
- Testada média dos lotes: 5 metros
- Taxa de ocupação dos lotes : 5 hab/lote
- Taxa de infiltração (rede de PVC) = 0
- Coeficiente de retorno : $Cr = 0,80$
- Coeficiente do dia de maior consumo : $K1 = 1,20$
- Coeficiente da hora de maior consumo : $K2 = 1,50$
- Coeficiente da hora de menor consumo : $K3 = 0,50$
- Recobrimento mínimo da tubulação:
 - Rede pública no passeio : 0,40 m
 - Rede pública em ruas de tráfego leve : 0,50 m
 - Rede pública em ruas de tráfego pesado : 0,90 m
 - Rede predial em ruas de tráfego pesado : 0,80 m
 - Rede predial em ruas de tráfego leve: 0,80 m
- Ligação predial em ruas de tráfego pesado: 0,80 m
- Diâmetro mínimo da rede pública: 100 mm
- Diâmetro mínimo da ligação predial: 100 mm
- Distância máxima entre os PV's $\cong 100 \text{ m}$
- Poços de visita :
 - Balão $\varnothing 1000 \text{ mm}$
 - Chaminé $\varnothing 800 \text{ mm}$
- Caixas de inspeção:
 - Diâmetro $\varnothing 40 \text{ cm}$ para $40 \text{ cm} < h < 60 \text{ cm}$
 - Diâmetro $\varnothing 55 \text{ cm}$ para $60 \text{ cm} < h < 90 \text{ cm}$
- Taxa de contribuição

Taxa de contribuição linear final para rede alimentada pelos dois lados da rua.

$$T_{xf} = \frac{Cr \times q_f \times K1 \times K2 \times P}{86.400 \times L}, \text{ equação nº 4}$$

$$T_{xf} = \frac{0,80 \times 150 \times 1,2 \times 1,5 \times (5 \times 2)}{86.400 \times 4,00}$$

$$T_{xf} = 0,00625 \text{ l/s} \times \text{m} = 6,25 \text{ l/s} \times \text{Km}$$

- Dimensionamento hidráulico

Fórmula de Manning, a saber:

- Vazão = 1,5 l/s
- Lâmina d'água máxima = 75% do diâmetro
- Tensão trativa = 1 Pa

3.4.2.5 Resumo das obras de Esgoto Sanitário

O quadro 7 mostra um comparativo entre as ações previstas à época da concepção do Projeto e os quantitativos atuais, em implantação, observando-se um avanço considerável nas intervenções no campo do esgoto sanitário.

Quadro 7: Principais serviços de esgoto

ÍTEM	SERVIÇOS	UN	QUANTIDADES PREVISTAS	
			1992	2002
1	Diâmetro da rede coletora (m)	mm	50 e 75	100
2	Extensão de rede	m	165.229	305.136
3	Quantidade de fossas unitárias	Un	13.268	26.656
4	Quantidade de fossas coletivas	Un	24	86
5	Ramais domiciliares	mm	40	100
6	População atendida	hab	125.980	157.607

Fonte: Projeto Una (adaptado pelo autor)

3.4.3 Sistema de Água Potável

3.4.3.1 Parâmetros empregados

- a) Consumo “per capita”

O sistema de água potável da Bacia do Una consiste na ampliação e manutenção da rede existente, notadamente com a substituição de tubos danificados, razão pela qual foi mantido o consumo “per capita” padrão, adotado pela COSANPA que é de 250 litros diários por habitante para os bairros da Marambaia, Bengui e bairros periféricos e 350 litros diários por habitante para os demais bairros da Bacia. A justificativa para essas taxas elevadas é em função de determinados hábitos da população como:

- tomar de 3 a 5 banhos diários em função da elevada temperatura;
- lavar as ruas não pavimentadas para assentar a poeira.

Para as áreas alagadas, o consumo “per capita” adotado foi de 175 litros diários por habitante, considerando que:

- não haverá poeira em vielas aterradas que não possibilitem a passagem de carros;
- o fato de que estas áreas são consideradas como “dormitórios”, pois a quase totalidade dos membros das famílias que as habitam trabalham e alimentam-se fora de seus lares, reduzindo o consumo de água.

Esta redução é baseada em um estudo da SESPÁ apud PMB (1988) sobre dejetos humanos, em que “foi observado que a contribuição diária “per capita” de matéria sólida fecal nessas áreas é apenas uma pequena fração da verificada nas áreas centrais”.

Nesse estudo foram empregadas “fossas camburão”, feitas com tambores de aço de 200 litros, previstas para encherem em 3 meses. Ao final de um ano de estudos apresentavam-se quase vazias. Uma redução semelhante deve ser observada na demanda “per capita” de água dado que, grande parte da população de áreas baixas, alimenta-se próximo ou no próprio local de trabalho devendo, portanto, fazer uso das instalações sanitárias desses locais.

b) Coeficiente de pico

- Diário: $K1 = 1,20$
- Horário: $K2 = 1,50$

c) Percentual de atendimento

- 90% da população

3.4.3.2 Área de projeto e zoneamento

A área de Projeto é toda a Bacia do Una, sendo seguido o mesmo zoneamento definido pela COSANPA, por bairros, com as densidades populacionais conforme Tabela 3.

Tabela 3: Densidade populacional dos diversos bairros da Bacia do Una

<i>BAIRRO</i>	DENSIDADE	
	Hab/km ²	
	1988	1996
Umarizal	3,75	11,87
Matinha	4,16	23,03
Marco	2,60	13,61
Pedreira	4,60	18,31
Sacramenta	4,40	18,85
Telégrafo	4,60	17,28
Una	3,60	6,97
Souza	1,10	2,98
Marambaia	3,20	10,10
Bengui	1,40	12,49

Fonte: Prefeitura Municipal de Belém, 1988

3.4.3.3 Traçado da rede

A rede principal do projeto da COSANPA obedece a um traçado malhado setorizado em 9 setores de abastecimento.

3.4.3.4 Desenho da Rede

A apresentação da rede obedece aos critérios de divisão por sub-áreas de intervenção.

3.4.3.5 Cálculo das Malhas Principais

Foram mantidas as malhas da COSANPA, sendo alterados apenas os trechos de tubulação muito afetados pelo traçado dos canais, além de substituídas as tubulações de fibrocimento identificadas por tubulações em PVC e as redes de PVC danificadas.

3.4.3.6 Redes Secundárias

Foram adotados os seguintes critérios:

- Nas áreas altas foram mantidos os mesmos diâmetros e traçados previstos pela COSANPA e substituídas as tubulações de fibrocimento identificadas por tubulações em PVC e as redes de PVC danificadas.

- Nas áreas baixas, foi adotada a rede dupla no espaço destinado às calçadas, para evitar interferências com os projetos de drenagem pluvial.

3.4.3.7 Resumo das Obras de Água Potável

O sistema em implantação é constituído de 148.300 m de rede de água potável, que beneficiará 74.150 habitantes.

**CAPÍTULO IV – AS CONDICIONANTES
RELACIONADAS ÀS CARACTERÍSTICAS
GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS**

4 Construção de aterros sobre solos moles

A construção sobre solos moles, é um desafio para Engenheiros. No caso da Bacia do Una, está relacionada à urbanização de áreas ocupadas irregularmente, as quais o poder público não pode deixar de intervir com o objetivo de dotá-las de infra-estrutura.

“Ao planejar a construção de um aterro sobre solo mole, várias são as alternativas. A primeira delas consiste em evitar o problema, removendo a camada mole, alternativa esta utilizada quando a camada é de espessura relativamente pequena, em geral até 4m. Não sendo esta alternativa viável, constrói-se o aterro sobre a camada mole. Esta construção pode se dar em uma única etapa, caso o fator de segurança quanto à ruptura seja aceitável, ou em várias etapas, caso seja desejável permitir o contínuo ganho de resistência da camada de argila mole durante cada etapa. O aterro pode ser construído em seção trapezoidal simples ou com bermas laterais para aumentar o fator de segurança”(Almeida,1996).

Segundo a norma rodoviária do DNER-PRO 381/98, que regula os procedimentos de projeto de aterros sobre solos moles para obras viárias, as alternativas de solução para estabilização desses aterros são:

- a) **aterros leves** – utiliza-se aterros de materiais de construção leve como: rejeitos de termelétricas, chamados de cinza volante, blocos de poliestireno expandido, ou tubos de concreto ou metálicos no interior do corpo do aterro, mais conhecidos como drenos ou bueiros. (Figura 18).

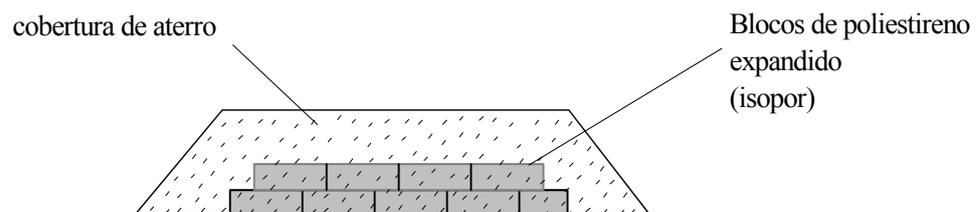


Figura 18: Aterro leve

- b) **substituição total da camada mole** - admissível quando a camada a ser substituída é pouco espessa, implicando na remoção total da mesma.
- c) **bermas de equilíbrio** - tem o objetivo de combater os momentos criados pelo corpo de aterro, estabilizando-o e suavizando a inclinação do talude, levando a um aumento do fator de segurança contra a ruptura. (Figura 19).

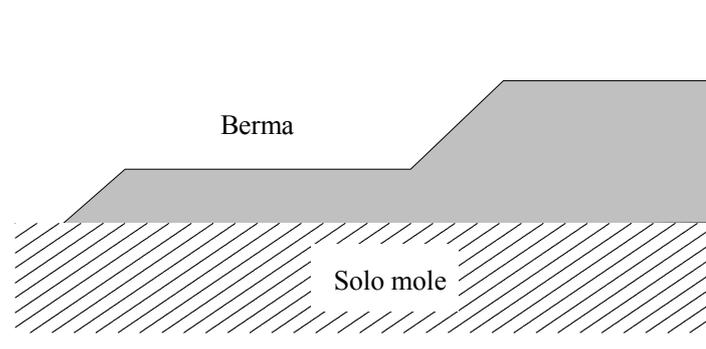


Figura 19: Berma de equilíbrio

- d) construção por etapas** – consiste em dividir a altura do aterro em duas ou três etapas, sendo que a primeira é construída abaixo da altura crítica, para estabilizá-la, paralisando-se os serviços para que esta camada entre em um período de repouso para que o processo de consolidação dissipe as poropressões e o solo mole ganhe resistência (DNER-PRO 381/98). (Figura 20).

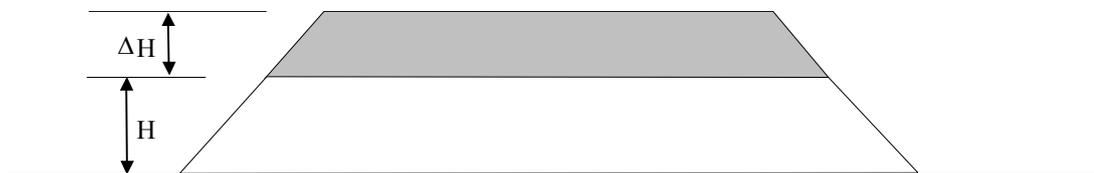


Figura 20: Aterro construído por etapas

- e) pré-carregamento ou sobrecarga temporária** – é utilizado quando pretende-se acelerar os recalques, aplicando-se de 25 a 30% do peso do aterro. É eficaz em solos silto-arenosos.
- f) geodrenos e sobrecarga temporária** – a sobrecarga temporária apresenta-se pouco eficaz em solos argilosos em função da sua baixa permeabilidade, porém, associada ao uso de geodrenos, os resultados são satisfatórios. Os geodrenos são elementos drenantes constituídos de materiais sintéticos, cravados verticalmente no solo em forma de malha, com a função de permitir a passagem das águas até a superfície do terreno, onde deverá ser construída uma camada drenante, normalmente um colchão de areia, que drenará estas águas até um corpo receptor.

A seqüência executiva, mostrada na Figura 21, consiste em:

- cravação dos geodrenos
- construção do colchão drenante
- construção do corpo do aterro projetado
- construção da sobrecarga temporária

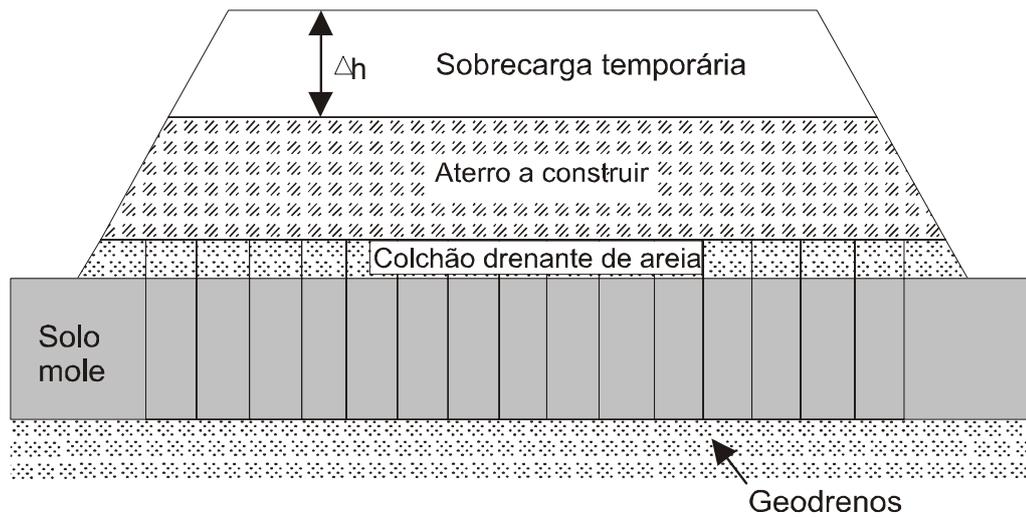


Figura 21: Aterro construído combinando geodreno com sobrecarga temporária

- g) geodrenos e sucção por vácuo** – alternativa utilizada em aterros com altura máxima de 4 m, quando a camada de argila estiver superficial e em conjunto com os geodrenos e um colchão drenante. (Figura 22).

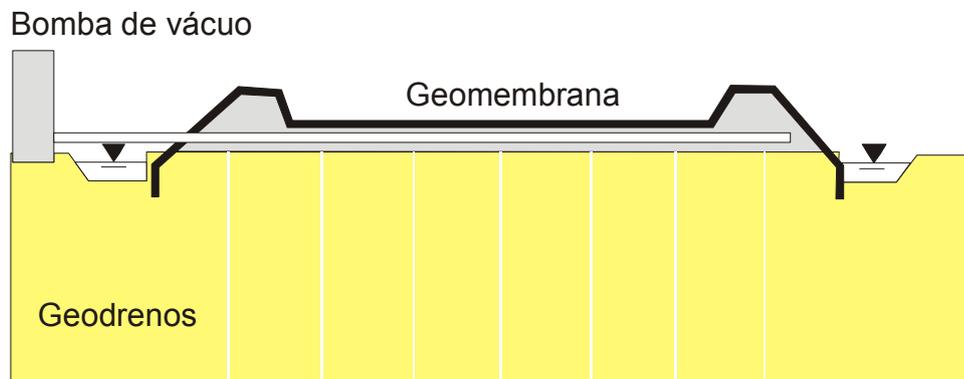


Figura 22: Aterro combinando geodreno com sucção a vácuo

- h) aterro estaqueado** – também conhecido como “agulhamento”, este processo permite a transferência das cargas do corpo do aterro e, posteriormente das cargas de tráfego, para camadas mais profundas, através de atrito lateral, aliviando, por conseguinte, as solicitações da camada de argila mole. (Figura 23).

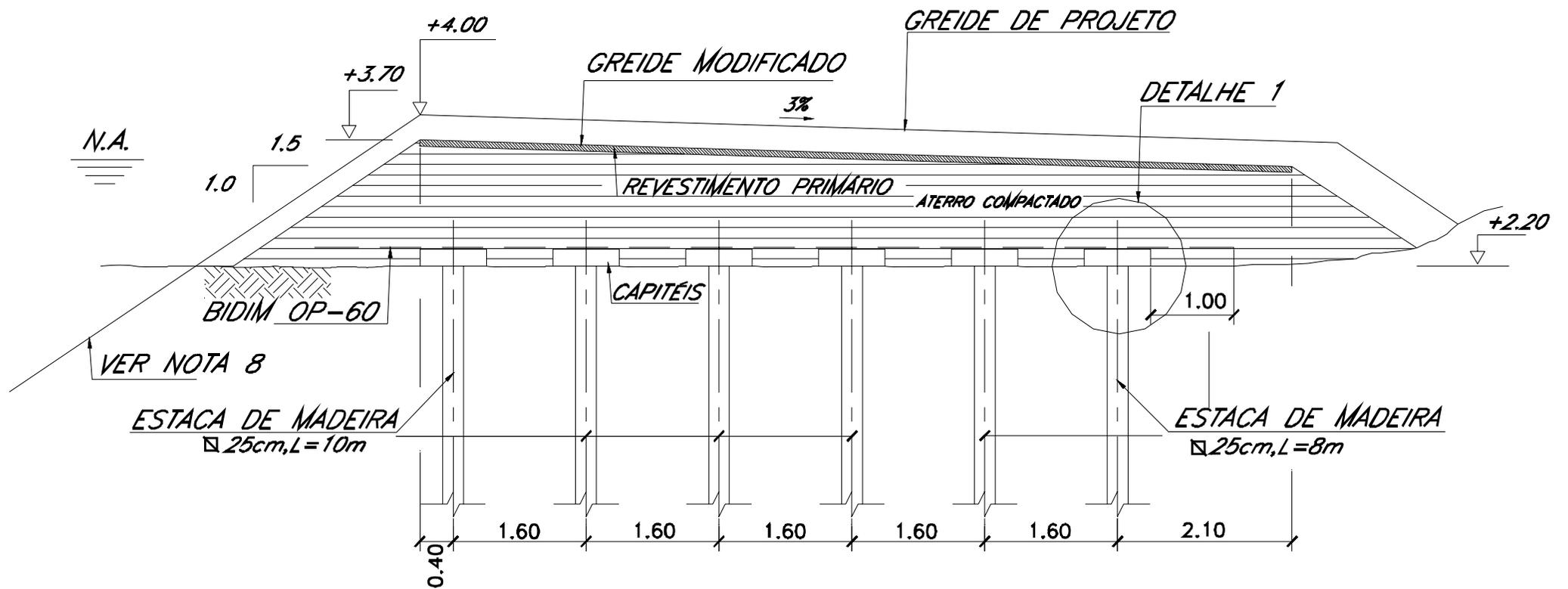


Figura 23: Aterro estaqueado (agulhamento)

Fonte: Projeto Una

- i) **aterro reforçado com geossintéticos** – sobre a camada de solo mole é lançado o geossintético que, combinado com os corpos de aterro, proporciona um aumento da capacidade deste suportar maiores esforços, que passam a ser distribuídos de forma uniforme. (Figura 24).

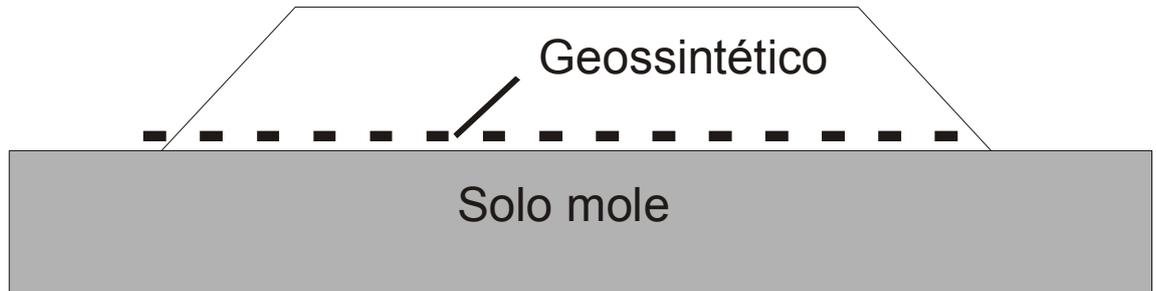


Figura 24: Aterro reforçado com geossintético

Almeida (1996), apresenta as técnicas utilizadas para aceleração ou diminuição de recalques de aterros sobre solos moles, conforme Quadro 8.

Quadro 8: Principais características dos métodos utilizados para controle de recalques. (Almeida, 1996, adaptado de Magnan, 1994)

MÉTODO	DADOS NECESSÁRIOS	DESVANTAGENS	CONFIABILIDADE	COMENTÁRIOS
Pré-carregamento	Compressibilidade, permeabilidade	Tempo necessário	Baixa, se recalques desejados são pequenos	Lento e barato
Pré-carregamento com drenos verticais	Compressibilidade, permeabilidade horizontal e vertical	Menor tempo necessário que carregamento simples	Mais confiável	Rápido e relativamente caro
Substituição da argila	Espessura da camada	Local para disposição do solo extraído	Boa em casos de total substituição	Rápido e caro
Colunas granulares	Resistência do solo e módulos	Equipamento, testes de campo preliminares	Boa análise dos testes de campo	Rápido e caro
Lajes estaqueadas	Resistência do solo	—	Boa	Muito caro
Letro-osmose	Propriedades físico-químicas, compressibilidade, permeabilidade	Destruição de eletrodos, eletricidade necessária	Incerta	Muito caro
Aterro com materiais leves	compressibilidade, permeabilidade	Proteção do material leve	Baixa se recalques esperados são pequenos	caro
Aterros estaqueados	Resistência do solo e módulos	—	Boa	Rápido e caro
Colunas de argamassa injetada	Resistência do solo e módulos	—	Boa	Rápido e caro

As características do solo trazem problemas também para os demais serviços, pois para assentar-se as redes de drenagem, água e esgoto, há necessidade de após o lançamento do aterro, esperar pela consolidação deste, sob o risco de ter-se essas redes recalçadas, provocando o resserviço.

Em função destas condicionantes em implantar obras civis é que as obras de macrodrenagem tornam-se uma oportunidade ímpar para quem está no projeto, bem como para quem precisa de referências para a execução de obras similares.

4.1 Construção de aterros sobre solos moles na Bacia do Una

4.1.1 Caracterização geotécnica

Os solos da bacia do Una integram a grande bacia sedimentar da Amazônia, apresentando-se, talvez, ainda em fase de consolidação.

A execução de obras de implantação de canais e suas vias marginais envolvem escavações e aterros em depósitos aluvionares de argilas orgânicas muito moles, sendo comum encontrar-se grandes camadas de argila orgânica de cor cinza escura, de consistência muito mole a mole, de alta compressibilidade e baixa resistência ao cisalhamento. Estas características dificultam a estabilização de taludes de canais, bem como de pavimentos, tendo sido registradas várias ocorrências de ruptura.

Com o objetivo de evitar alagamentos, as vias foram elevadas para a cota 4,00 m, sendo necessária a construção de aterros sobre solo mole. Para a avaliação dos perfis típicos e das características geotécnicas dos materiais envolvidos, foram executados dezenas de sondagens tipo SPT e Ensaio de Palheta.

As figuras 25, 26 e 27 mostram o perfil de sondagem do solo na Tv. Barão do Triunfo com o Canal Pirajá.

A figura 28 mostra alguns resultados de ensaios de palheta.

SOLOS E ROCHAS Ltda		Cliente: LEME ENGENHARIA LTDA.		Eng. Resp:		Fls: 1/3							
Local: BARÃO DO TRIUNFO C/ CANAL DO PIRAJÁ				PERFIL INDIVIDUAL DE FURO DE SONDAGEM TIPO SPT									
Inic: 22/12/97		Fim: 24/12/97		Cota em rel. R.N. :		Sondagem N° SP01							
Relatório: 91/97													
Prof. do teste (m)	Prof. da camada (m)	Penetração (golpes/penetração em cm)		Prof. do Nível d'água (m)		Classificação							
		#--# - primeira e segunda penetração		Inic: 1,92 Fin: 1,80									
		-- - segunda e terceira penetração											
N° de Golpes		GRAFICO											
15 / 30		30 / 45		5 10 15 20 25 30 35 40 45 50									
1	2,65	6/30	5/30							Argila arenosa c/ pedregulho em tons vermelho e amarelo média a mole.			
2		2/30	2/30							-----n'água			
3		2/45	-										
4		2/60	-										
5		2/88	-									Argila siltosa c/ areia de cor cinza, muito mole.	
6		1/45	-										
7		0/110	-										
9		0/145	-									Idem, orgânica.	
11		1/80	-										
12		0/110	-										
14		0/160	-										
16		0/75	-										
17		0/125	-										
19		2/50	-										
20		0/45	-										
21		0/130	-										
23		1/50	-										
24		1/45	-										
25		2/45	-										
26		2/30	2/30									Idem, consistência muito mole a mole.	

Figura 25: Perfil de sondagem SPT

Fonte: Projeto Una

SOLOS E ROCHAS Ltda		Cliente: LEME ENGENHARIA LTDA.		Eng. Resp: 	Fls: 2/3	
Local: BARÃO DO TRIUNFO C/CANAL DO PIRAJÁ			PERFIL INDIVIDUAL DE FURO DE SONDAGEM TIPO SPT			
Inic: 22/12/97	Fim: 24/12/97	Cota em rel. R.N. :		Sondagem N° SP01	Relatório: 91/97	
Prof. do teste (m)	Prof. da camada (m)	Penetração (golpes/penetração em cm)		Prof. do Nível d'água (m)		Classificação
		# - # - primeira e segunda penetração		Inic: 1,92 Fin: 1,80		
		* - * - segunda e terceira penetração				
N° de Golpes		GRAFICO				
15 / 30 30 / 45		5 10 15 20 25 30 35 40 45 50				
27		2/30	2/30			Argila siltosa. consistência muito mole a mole
28		2/30	3/30			
29		2/45	-			
30		2/30	2/30			
31		2/45	--			Idem, consistência mole a média.
32		2/60	--			
33		3/30	4/30			
34		3/30	5/30			
35	35,70	4/30	4/30			Argila arenosa de cor cinza clara, rija a muito rija.
36		7/30	9/30			
37		13/30	15/30			Idem, consistência média a rija
38		7/30	8/30			
39		8/30	11/30			
40		7/30	7/30			
41		6/30	8/30			Areia fina a média de cor cinza, medianamente compacta.
42		13/30	10/30			
43		12/30	11/30			
44	44,85	7/30	9/30			
45		13/30	12/30			
46		22/30	19/30			

Figura 26: Perfil de sondagem SPT

Fonte: Projeto Una.

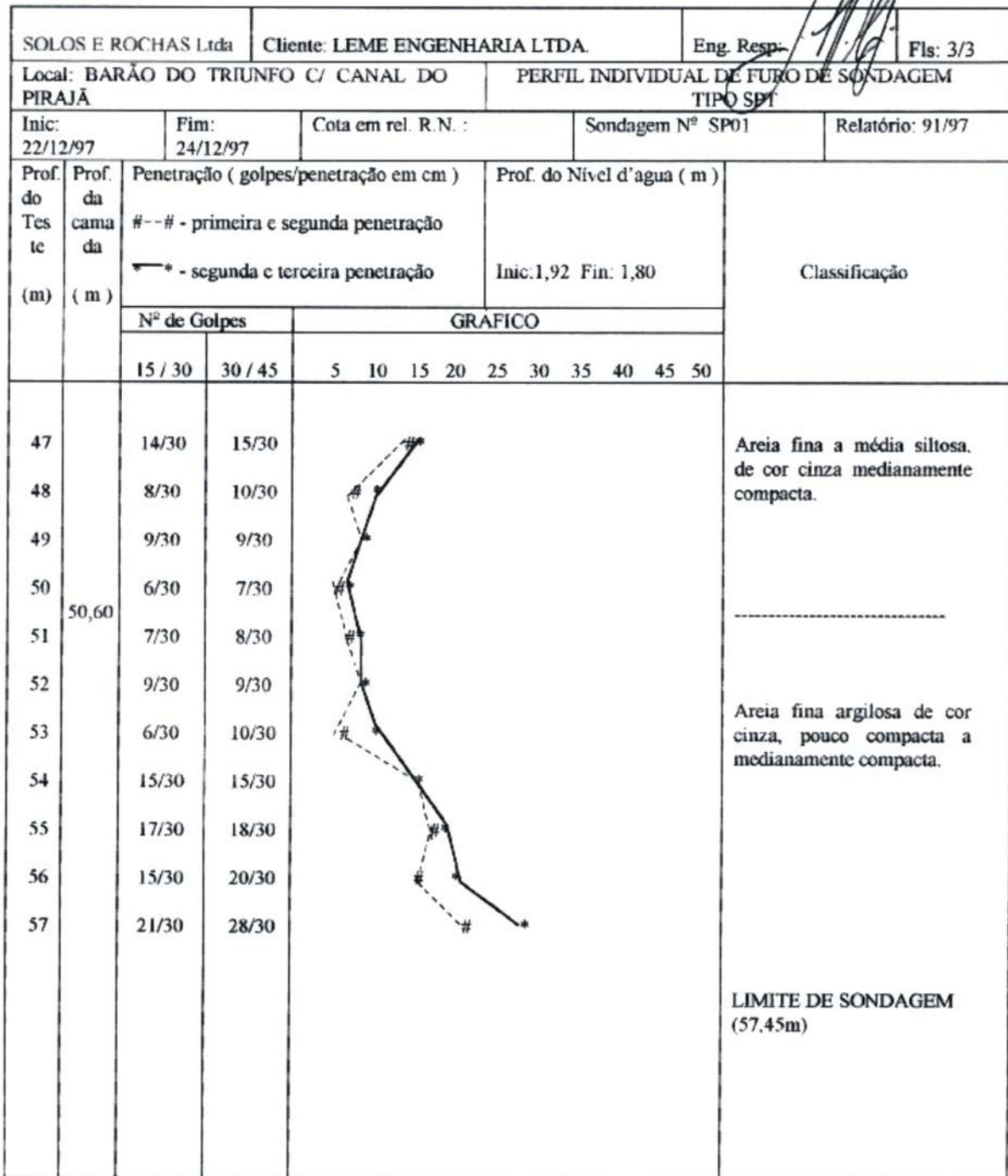


Figura 27: Perfil de sondagem SPT

Fonte: Projeto Una.

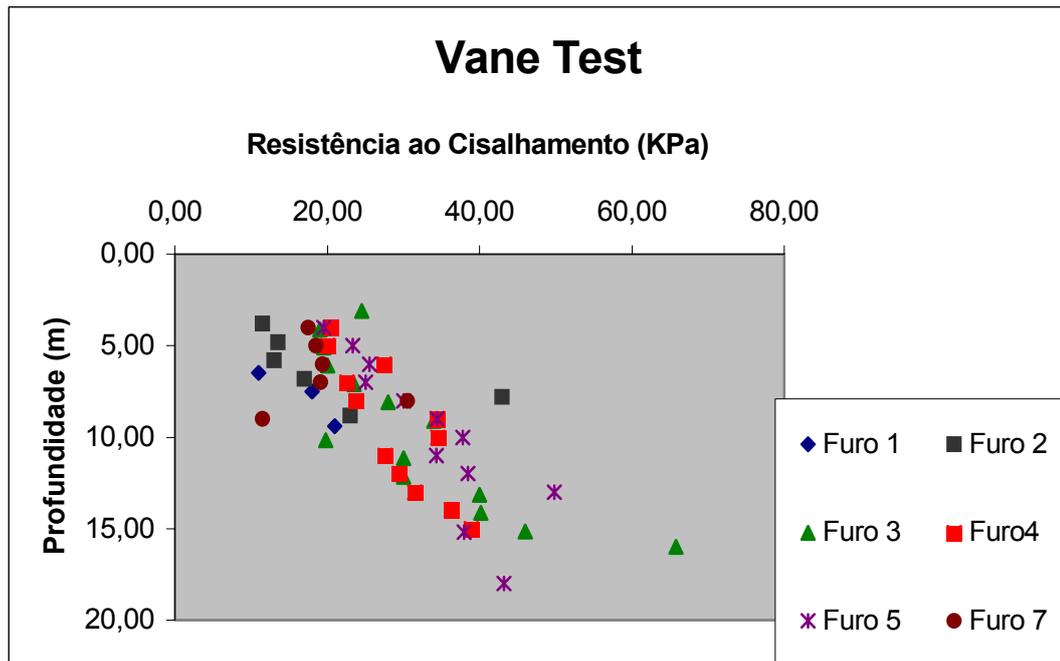


Figura 28: Resultados de Ensaio de Palheta

Fonte: Projeto Una.

4.1.2 Aterro das vias marginais dos canais da Bacia do Una

Almeida (1996), baseado nos trabalhos de Jewell (1982) e Bonaparte e Christopher (1987), relata que são três as classes de rupturas usualmente consideradas em aterro sobre solos moles:

- a) Instabilidade interna – ruptura apenas com deslocamento lateral do aterro;
- b) Instabilidade de fundação – ruptura (ou extrusão) da fundação sob o aterro intacto;
- c) Instabilidade global – ruptura do conjunto aterro-fundação em superfície de ruptura bem definida.

A Figura 29 mostra detalhes das classes citadas.

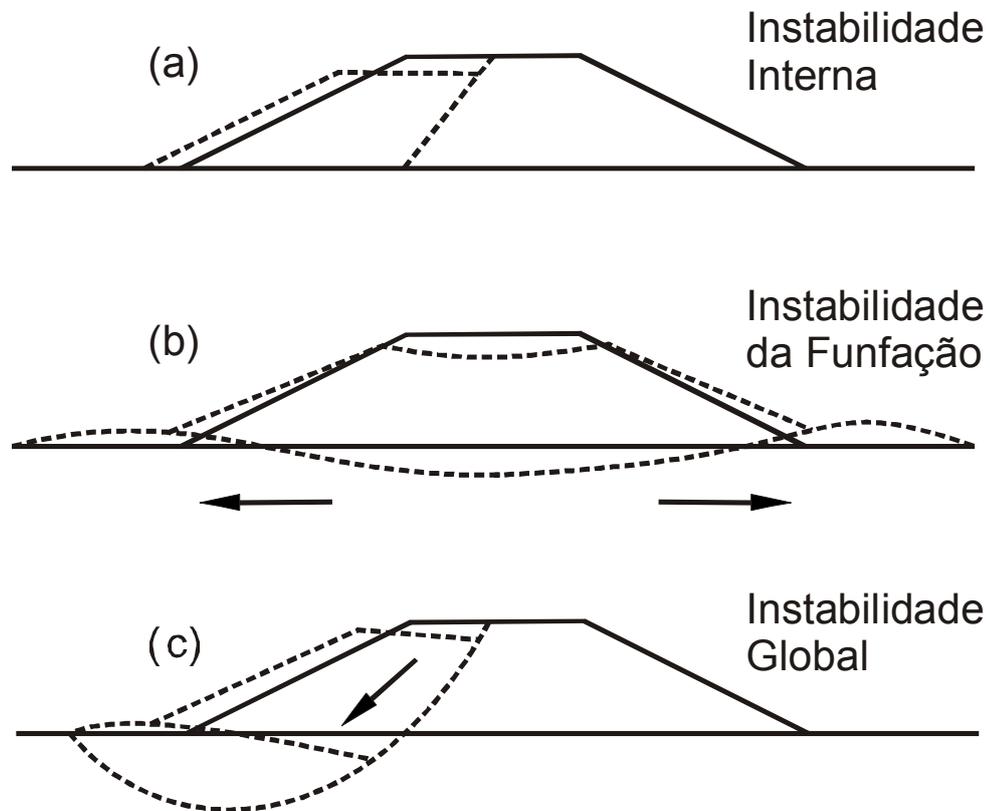


Figura 29: Classes de ruptura de aterros sobre solos moles

Fonte: ALMEIDA,1996

A estabilização das vias marginais de canais dá-se através dos seguintes processos:

a) Lançamento direto do aterro

O procedimento padrão usado na maior parte dos aterros é o destocamento e remoção do excesso de matéria orgânica, seguido do lançamento do aterro diretamente sobre o solo mole.

Isto promove a substituição parcial do material, na medida que o lançamento de sucessivas camadas de aterro produz uma sucessão de rupturas e deslocamento do material mole, que gradualmente vai sendo substituído pelo aterro.

Em algum momento, eventualmente chega-se a um ponto de estabilização e consegue-se iniciar a elevação do greide.

Este procedimento, apesar de eficaz, apresenta uma grande desvantagem, pois o lançamento indiscriminado de aterro eleva, em certos casos, consideravelmente o custo de uma obra, visto que, em geral, a remuneração é de acordo com o volume lançado.

b) Reforço com geotêxtil

Em trechos de vias marginais de canais em que aconteceram situações onde o volume de aterro superava em muito o volume previsto, adotou-se o uso de uma manta geotêxtil sobre a superfície destocada e, em seguida, lançava-se uma camada de material arenoso. Observou-se que os volumes de aterro foram substancialmente reduzidos nestes casos.

Como exemplo pode-se citar a ocorrência no Canal Pirajá, no trecho compreendido entre Av. Pedro Miranda e Av. Antonio Everdosa, quando da conformação do leito estradal, verificou-se um consumo excessivo de aterro para dar trafegabilidade aos equipamentos, atingindo patamares da ordem de 300% acima da quantidade de material prevista. Com a adoção do geotêxtil, o acréscimo de material arenoso reduziu para 20% acima do previsto.

A Figura 30 mostra o lançamento de manta de geotêxtil.



Figura 30: Lançamento de manta geotextil sobre solo natural

c) Substituição de material

Em alguns casos foi possível, e necessário, executar a substituição de material, com a retirada de solo mole e posterior lançamento de material de primeira qualidade, como mostram as figuras 31 e 32. Para construir as marginais do Canal Antonio Baena, no trecho compreendido entre Avenida Marquês de Herval e Avenida Visconde de Inhaúma, os estudos realizados apontavam para a viabilidade desta técnica, considerando-se as condicionantes envolvidas como:

- pequena espessura da camada a ser substituída;
- agilidade na execução desses serviços;
- custo-benefício.



Figura 31: Início de substituição de material no Canal Antonio Baena



Figura 32: Substituição de material no Canal Antonio Baena em andamento

4.2 Aterro estaqueado (agulhamento)

A utilização do aterro estaqueado, mais conhecido como “agulhamento”, foi uma medida corretiva, adotada em casos onde aconteceram rupturas que atingiram a pista de rolamento, rupturas estas de três categorias:

- Ruptura de bordos;
- Ruptura por cisalhamento;
- Ruptura por deslocamento horizontal.

Na Bacia do Una o “agulhamento” é constituído por estacas de madeira de 10 m de comprimento típico e seção 0,25 x 0,25 m, encimada por capitéis de concreto de seção 0,80 x 0,80 m, sobre os quais é lançada a manta geotêxtil, seguida por uma camada de 0,30 m de material arenoso, culminando com o corpo de aterro até a cota máxima da via acabada, em torno de 4,00 m.

Entretanto os procedimentos acima não foram suficientes para evitar rupturas pontuais em alguns canais, como veremos a seguir:

a) Ruptura do Canal São Joaquim

A marginal esquerda do canal São Joaquim apresentou uma grande ruptura no trecho entre a Av. Júlio César e a Passagem Salvador. Estando a cota inicial do terreno situada entre +3,00 m e + 3,50 m, após a ocorrência verificou-se que o ponto mais profundo da depressão estava na cota + 1,60 m.

Segundo Mello (1997), o terreno superficial se encontrava bastante desagregado e a análise de estabilidade efetuada, indicava coeficiente de segurança do talude de 0,94, isto é, bastante impróprio, pelo que foi proposto a remoção do terreno natural até a cota de 1,80 m, e a execução de agulhamento do solo, com estacas de madeira (de maçaranduba natural, sem tratamento) de seção 25x25cm e comprimento variável, espaçadas alternadamente a cada 1,63m com capitéis superiores de 80x80x20cm, para transferir parte da carga do aterro e do tráfego, diretamente às camadas inferiores.

A recuperação do trecho iniciou com a retirada de todo o material situado acima da cota + 1,80 m, considerado como bastante desagregado e sua substituição por material arenoso, que tem como função complementar servir como dreno horizontal.

Com o objetivo de melhor envolver as regiões adjacentes, a solução foi estendida a, aproximadamente, 20 m para cada lado. Para este caso, tendo por base o perfil do subsolo da área afetada pela ruptura, foram dimensionadas 500 estacas de madeira, sendo 54 estacas com 4 m de comprimento e 446 estacas com 6 m de comprimento. Estas estacas são chamadas de flutuantes por posicionarem-se inteiramente na camada de solo compressível, sem estar engastada em material com elevada capacidade de suporte.

Durante a execução das obras novos rompimentos ocorreram na mesma área, como na Marginal Esquerda do Canal São Joaquim no trecho entre a Av. Júlio César e a Passagem Salvador.

Este trecho encontrava-se com serviços de terraplenagem em execução. Em vistoria ao local, constatou-se ruptura generalizada com grandes trincas; abatimento da plataforma da pista, atingindo em seu ponto máximo, em torno de 1 m e o aparecimento de grande massa de solo mole em frente ao trecho rompido, no interior do canal.

As possíveis causas da ruptura foram:

- a) O lançamento em excesso de aterro em relação ao alinhamento previsto no projeto, visto que a empresa responsável pela obra lançou uma camada de aterro de cerca de 4m junto a margem do canal, ocasionando uma sobrecarga no talude, provocando “um aumento das tensões de cisalhamento no solo abaixo do talude. Logo que a tensão média de cisalhamento na superfície potencial do escorregamento se torna igual a resistência média correspondente, o escorregamento terá lugar” (Terzaghi).
- b) A utilização de rolos compactadores vibratórios, pois a vibração possivelmente é transmitida para as estacas, provocando um amolgamento da argila que a envolve, fazendo com que a argila instantaneamente perca a resistência, recuperando-a

gradualmente com o tempo, reduzindo a eficiência das estacas, o que influi na estabilidade da via marginal;

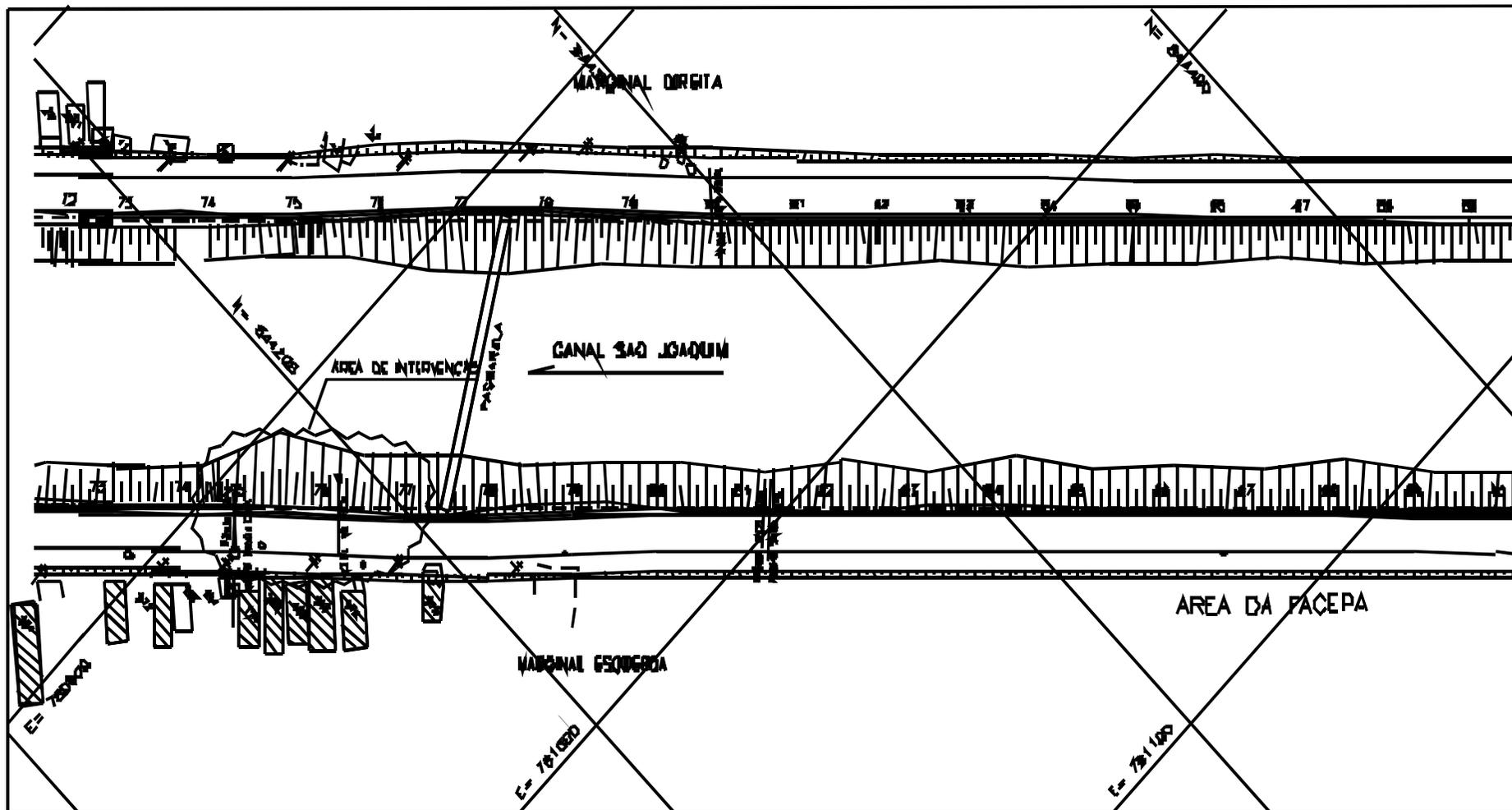
- c) A presença de água não drenada paralela à via marginal.

As providências para a recuperação do trecho rompido foram:

- a) Levantamento da deformação horizontal ocorrida na cabeça das estacas;
- b) Execução de sondagem do tipo SPT;
- c) Remoção do material lançado em excesso;
- d) Execução de novo agulhamento, com profundidade definida pela sondagem;
- e) Recomposição do greide do pavimento.

A figura 33 mostra a planta do agulhamento na Marginal Esquerda do Canal São Joaquim.

A figura 34 mostra o trecho onde ocorreu a ruptura na Marginal Esquerda do Canal São Joaquim.



OCORRÊNCIA 11

Figura 34: Ruptura na Marginal Esquerda do Canal São Joaquim (sem escala)

Fonte: Projeto Una

b) Ruptura da marginal direita do Canal do Galo

A marginal direita do Canal do Galo rompeu no trecho entre a Avenida Pedro Álvares Cabral e Avenida Senador Lemos. Deve-se observar que este intervalo não estava agulhado. A figura 35 mostra a localização do rompimento.

Na análise feita “in loco”, verificou-se que o trecho agulhado anteriormente, contíguo ao trecho rompido, estava intacto, com as estacas a prumo, os capitéis assentes conforme projeto, não mostrando sinais de deformação.

Nas figuras 36 e 37 observa-se o trecho rompido, destacando-se ao fundo, um detalhe do agulhamento encimado pelos capitéis.



Figura 36: Detalhe da ruptura da Marginal Direita do Canal do Galo (2003)



Figura 37: Vista lateral da ruptura na Marginal Direita no Canal do Galo (2003)

4.3 Pavimentação de vias marginais de canais

Os trabalhos de pavimentação também exigem métodos executivos cuidadosos, pois a água que encontra-se presa no interstício dos grãos eleva-se em direção a camada drenante devido a sobrepressão da carga aplicada pelo aterro sobre solos moles e por capilaridade, com riscos de provocar a saturação da base do pavimento.

O fato de as obras do Projeto Una serem executadas, grande parte, em área de solo mole, aliado à elevada pluviometria da região, que alcança índices anuais em torno de 2838 mm, levou a revisão do dimensionamento do pavimento das vias da Bacia do Una.

Com um total de 85 km de vias em revestimento primário e 75 km de vias em revestimento asfáltico, os custos de implantação devem ser minimizados ao longo do tempo, através de uma vida útil maior e menor custo de manutenção e conservação.

Estes objetivos somente serão alcançados com a adoção de medidas que proporcionem a drenagem das águas que atingem a sub-base e a base, evitando-se a degradação do pavimento.

O corpo do pavimento é, geralmente, construído em duas camadas : a base e a sub-base, sendo esta assente sobre um sub-leito regularizado.

Pimenta (1962) alerta que as águas tendem a deslocar-se, tanto as de capilaridade como as de infiltração, em direção à base, razão pela qual esta deve apresentar pequena sensibilidade à ação das águas, condição esta diretamente ligada à plasticidade de seus finos, isto é, quanto menos plásticos forem os finos, menos sensível será esse solo a ação das águas.

O DNER sugere que o material a ser utilizado para a base apresente $CBR \geq 80\%$, $LL \leq 25\%$, $IP \leq 6\%$ e expansão $0,5\%$. Caso o $LL > 25\%$ e o $IP \geq 6\%$, o material pode ser empregado na base, desde que o equivalente de areia seja $> 30\%$.

O sub-leito também é objeto de cuidados, pois, se é muito impermeável, não permitirá a passagem das águas por infiltração, saturando o pavimento. Fato análogo ocorre se o sub-leito está sujeito a fortes ascensões capilares.

Para que a água se desloque livremente para fora da estrutura do pavimento é necessário criar-se uma camada drenante, caracterizada pelo alto índice de permeabilidade, principalmente nas vias marginais dos canais, pois nas áreas de cotas mais elevadas o solo apresenta um baixo índice de permeabilidade, sendo adotada a seção convencional para a execução do pavimento.

A camada drenante é constituída pela sub-base e base granulares, executadas com seixo britado. A água ao chegar nesta camada é drenada por buzinetes, pequenos tubos de PVC, que a transportam para as bocas de lobo ao longo da pista, para na seqüência serem lançadas nos canais. A figura 38 mostra a seção típica do pavimento das vias marginais dos canais.

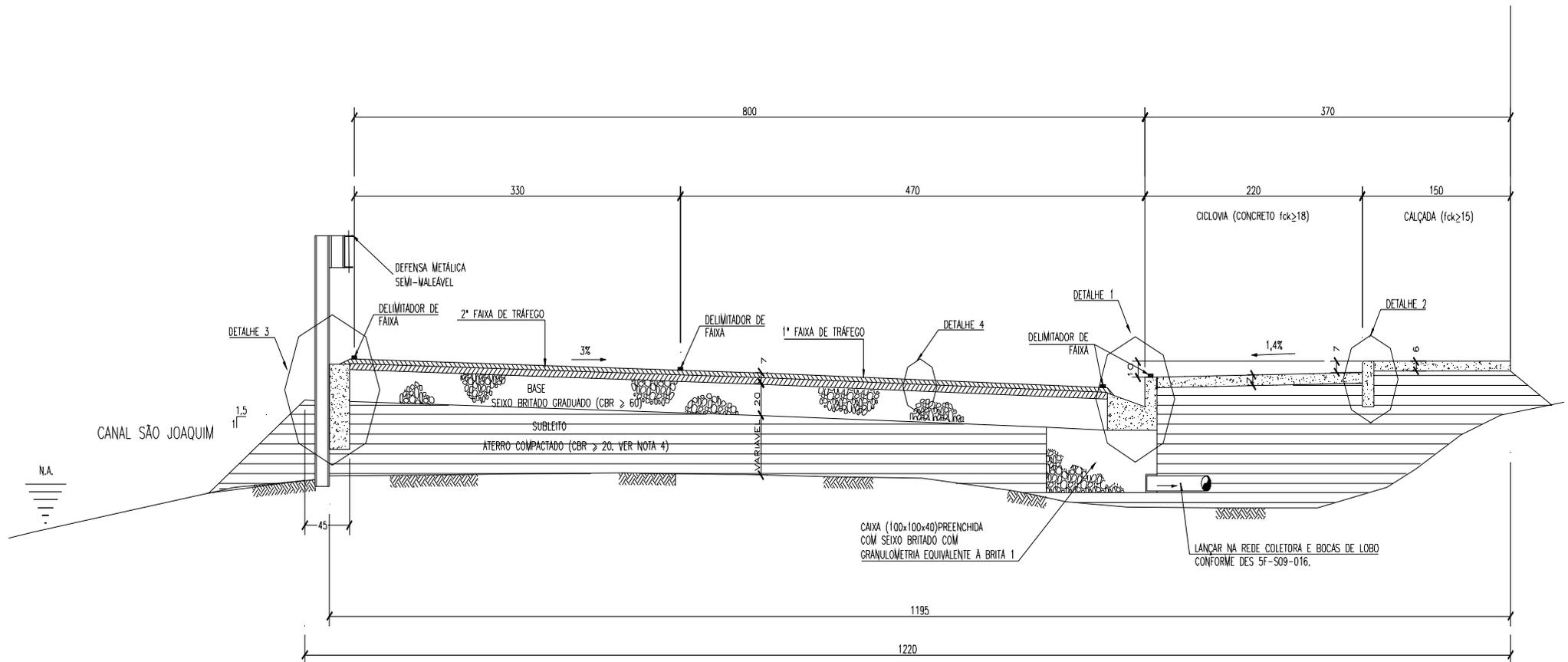


Figura 38: Seção típica das vias marginais de canais (sem escala)

Fonte: Projeto Una

A compactação dá-se pelo processo de adensamento, executada com equipamentos estacionários, pois os equipamentos vibratórios tendem a afetar os taludes dos canais, causando o seu rompimento.

4.4 Revestimento dos taludes

4.4.1 Revestimento em concreto

Alguns canais da Bacia do Una, conforme Quadro 4, pg. 24, foram revestidos em concreto, em função de :

- a) elevada velocidade das águas, que constitui-se em fator de erosão;
- b) grande densidade demográfica no seu entorno, visto que o remanejamento de moradias para a execução de talude inclinado, implicaria em um volume maior de investimentos;
- c) redução da área de infiltração.

Vantagens do revestimento em concreto:

- a) grande durabilidade;
- b) possibilita um melhor escoamento das águas, em função do menor coeficiente de rugosidade;
- c) melhor estabilização dos taludes.

Desvantagens do revestimento em concreto;

- a) alto custo de construção;
- b) fator contribuinte para a elevação da temperatura ambiente.

4.4.2 Revestimento natural

Os canais não revestidos em concreto na Bacia do Una, recebem proteção natural com a utilização de revestimento vegetal.

A escolha da vegetação adequada deve observar alguns critérios como:

- a) boa resistência às condições de variação de nível d'água;
- b) adaptabilidade ao clima e solo;
- c) rusticidade (capacidade de se expandir com pouca manutenção);
- d) facilidade de manutenção (requer pouco tempo para o roçado);
- e) disponibilidade de mudas para a plantação.

As gramíneas, por possuírem raízes em forma de cabeleira, com profundidade de aproximadamente 20 cm, atendem esses critérios.

A vegetação escolhida para a proteção de taludes na Bacia do Una foi o capim quicuío da Amazônia (*Brachiaria Humidicola*) e o capim gengibre (*Paspalum Maritimum*), os quais “têm sido empregados com bastante frequência na última década, visto que ambos apresentam crescimento rápido, vigoroso e serem perfeitamente aclimatados às condições tropicais, resistem bem ao uso do fogo e cortes frequentes, devido apresentarem sistema radicular, rizomas e estolões (caule) que promovem mais agregação do solo, dificultando a erosão do mesmo”.⁶

Para a arborização podemos usar palmeiras, em áreas espaçosas, pois possuem desenvolvimento radicular horizontal, porém como as vias marginais dos canais em Belém não possuem a sua faixa de domínio preservada, são indicadas as árvores de raízes axiais ou pivotantes, que atuam no solo semelhante às estacas.

A escolha recaiu sobre as palmeiras, em especial o açai (*Euterpe Oleracea*), que possui raiz axial ou pivotante, atuando no solo como estaca, auxiliando na prevenção da ruptura do talude.

⁶ Parecer técnico da Professora Maria Amélia Marinho da Mota Silva, responsável pelo Setor de Forragicultura da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará (FCAP).

Ressalte-se que esta opção destaca uma palmeira que tem grande participação na economia de Belém, bem como na alimentação do povo paraense, sendo um dos grandes símbolos do Estado do Pará.

A figura 39 mostra a execução de revestimento natural, com capim gengibre, no canal Nova Marambaia.



Figura 39: Proteção de talude com revestimento vegetal

A vantagem destas raízes é que permitem o travamento do solo, com a formação de uma malha integrada. Entretanto, esta proteção dá-se de forma superficial, necessitando de complementação com vegetação arbórea.

O revestimento natural apresenta como vantagens:

- a) combate à erosão;
- b) custo de manutenção reduzido;
- c) melhoria na qualidade ambiental, pois através da fotossíntese auxilia na renovação do ar com a produção de oxigênio;
- d) contribui para a infiltração da água no solo;

As desvantagens são:

- a) necessidade de poda trimenstral, pois o crescimento médio desse tipo de vegetação é de 60 cm a cada 3 meses;
- b) necessidade de monitoramento ambiental constante, no sentido de conscientizar a população a não jogar lixo nos canais.
- c) grande capacidade de retenção de lixo lançado pela população;

4.5 Drenagem de interior de quadra

De um total de 5.017 ha. de área de baixadas em Belém, cerca de 2.008 ha. são submetidos a alagamentos periódicos, correspondendo destes números a 1.733 ha. de terrenos alagáveis nas Bacias do Una, Tucunduba e Estrada Nova, as três maiores de Belém, tornando necessária a implantação de soluções que proporcionem a operacionalidade do sistema de micro-drenagem (PMB, 1988), de forma a atender:

- a drenagem do sistema urbano convencional onde os lotes têm possibilidade de esgotamento para o sistema público instalado ou a ser instalado no leito dos logradouros;
- drenagem do sistema urbano informal onde lotes se encontram abaixo do greide das vias, sem possibilidade de escoamento para direto para sistemas públicos.

O estabelecimento da cota de greide para as vias em 3,60 m, em função de esta ser a cota mínima para evitar-se alagamentos, ocasionou a formação de inúmeros bolsões de alagamento que têm que ser drenados de acordo com as suas especificidades.

O Projeto Una elaborou projetos de microdrenagem que caracterizam-se pela execução de canaletas nos pés dos taludes dos aterros de vias, tendo por função a captação e a condução dos deflúvios formados no interior dessas áreas que exigem a sua remoção (PMB,1988), lançando-os nas sistemas convencionais a serem construídos e/ou existentes.

Entretanto, com a revisão ocorrida em 1997, as canaletas foram implantadas de forma generalizada, tornando-se ao invés de uma solução, um problema, pois :

- oferece riscos aos transeuntes, notadamente idosos, crianças e portadores de necessidades especiais, pelo fato de não serem recobertas, dificultando a acessibilidade;
- favorecem o acúmulo de resíduos sólidos, impedindo o escoamento das águas servidas e pluviais;
- dificultam o revestimento das vias pelo fato de ser uma estrutura frágil, não permitindo a compactação do pavimento às suas proximidades, pois ocorrerá a quebra;
- apresenta um aspecto agressivo, anti-estético;

A figura 40 mostra um exemplo de drenagem de interior de quadra, que objetiva drenar as águas de bolsões de alagamento.

MACRODRENAGEM NA BACIA DO UNA

Drenagem no Interior da Quadra.

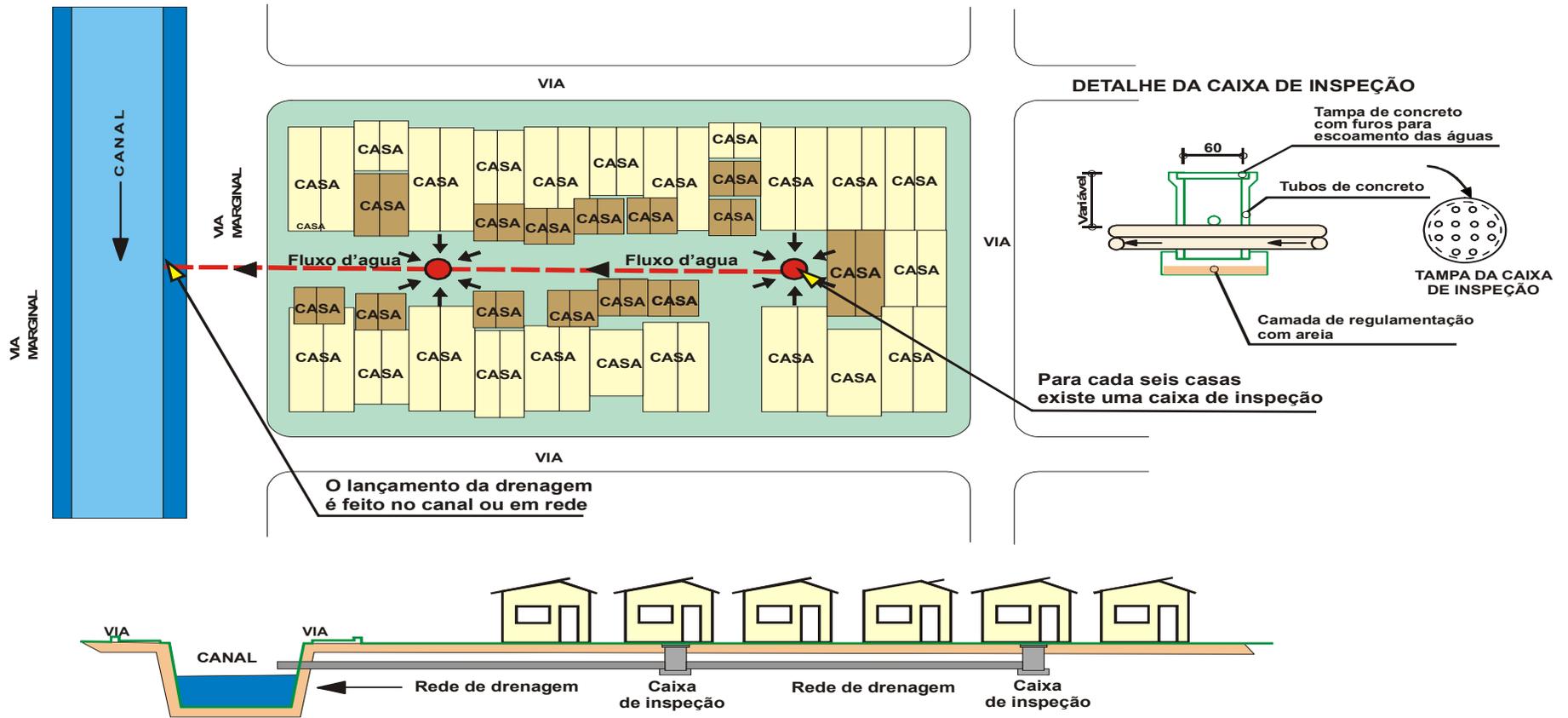


Figura 40: Detalhe esquemático de drenagem de interior de quadra (sem escala)
 Fonte: Projeto Una

4.6 Programa Aterro de Quintais

Com o avanço das obras observou-se que muitas áreas não teriam os seus problemas de drenagem de interior de quadras resolvidos com a captação das águas pluviais e servidas por canaletas, sendo necessário aterrar e executar redes de drenagem convencionais, além de obras de esgoto, como a implantação de redes e a instalação de fossas coletivas ou individuais surgindo, então o “Programa Aterro de Quintais”.

Em função do saldo de recursos oriundos da variação cambial, visto que o financiamento da obra é em dólar e, em função da desvalorização do Real ocorrida no ano de 2.000, o Projeto Una conseguiu junto ao BID a inclusão deste Programa no escopo de obras.

Desta forma foi possível contratar o fornecimento de 540.000 m³ de aterro arenoso, juntamente com as obras complementares. Este volume é insuficiente para atender a demanda, porém contribui para a solução do problema dos moradores residentes às margens das vias de canais, eleitos como beneficiários prioritários, em função da possibilidade real de ocorrência de alagamentos pela impossibilidade de drenar estas quadras represadas pela elevação do greide das vias, ou até mesmo, pelo retorno das águas dos canais.

A área a ser beneficiada pelo Programa foi estimada em, aproximadamente, 108 ha, entretanto, pelo fato de alguns bolsões apresentarem desníveis elevados, em alguns casos atingindo a 2,00 m de profundidade, esta área inicial foi diminuída consideravelmente, não se tendo ainda um número final de meta alcançada, pois a obra encontra-se em andamento.

As figura 41 e 42 mostram detalhes do Programa Aterro de Quintais sendo executado pela comunidade.



Figura 41: Início de aterro de quintais executado pela comunidade

Fonte: Projeto Una



Figura 42: Aterro de quintais executado pela comunidade

Fonte: Projeto Una

4.7 O abalo de residências

A cidade de Belém apresenta um problema comum aos grandes centros urbanos que é o fato de muitos imóveis serem construídos sem a devida fiscalização por parte do poder público ou dos órgãos de classe.

Isto leva a que muitos imóveis sejam construídos de forma inadequada, principalmente nas áreas de baixada, pois são realizados sem o conhecimento do terreno, baseado apenas em informações de terceiros quanto à profundidade de solo resistente.

Os estudos de sondagem na Bacia do Una mostram que, na maioria dos casos, há uma camada de aterro pouco espessa sobre uma camada de solo mole de grande espessura. Entretanto os leigos constroem seus imóveis com fundações, normalmente superficiais.

Com o passar do tempo ocorre o recalque, problema esse, muitas vezes, imputado às obras, em função de:

- a) elevação do greide, gerando carregamento sobre o solo mole;
- b) aumento da trafegabilidade das vias, ocorrendo a compactação do pavimento e as vibrações são transmitidas ao imóvel;
- c) drenagem da área objeto de intervenção, provocando o adensamento do solo;

A comunidade ao sentir-se prejudicada pelas obras, até por orientação do Projeto Una, registra a ocorrência para que seja feita uma avaliação da situação. Constatado o dano no imóvel, se houver risco para os seus ocupantes, estes são imediatamente remanejados para outro imóvel locado, sendo as despesas referentes à ação, de inteira responsabilidade do Projeto.

Após a vistoria técnica é emitido um laudo que, constatada a responsabilidade do Projeto Una, os proprietários são indenizados no valor monetário de suas perdas, caso contrário, a questão é dada por encerrada, sob pena de os recursos disponíveis para a execução de obras serem consumidos em indenização de imóveis.

Durante o período de execução das obras foram registrados 2.277 casos de solicitação de indenização de imóveis por abalos em consequência das obras, tendo sido indeferidos 748 casos, indenizados 1.184 casos e estando em análise 748 ocorrências.

O custo atual destas indenizações, base novembro/2002, é da ordem de R\$1.145.101,42, correspondente a US\$320,254.34, resultando em um custo médio de R\$967,15, correspondente a US\$270.49 por imóvel.

4.8 Inexistência de espaço físico

Algumas vias apresentam espaço físico insuficiente para a execução de obras, ocasionando:

- a) baixa produtividade;
- b) dificuldade de operação;
- c) risco de abalo nos imóveis.

As figuras 43 e 44 mostram uma situação característica, observando-se o uso de escoramento na escavação de vala para o assentamento da rede de drenagem, bem como a proximidade dos imóveis.

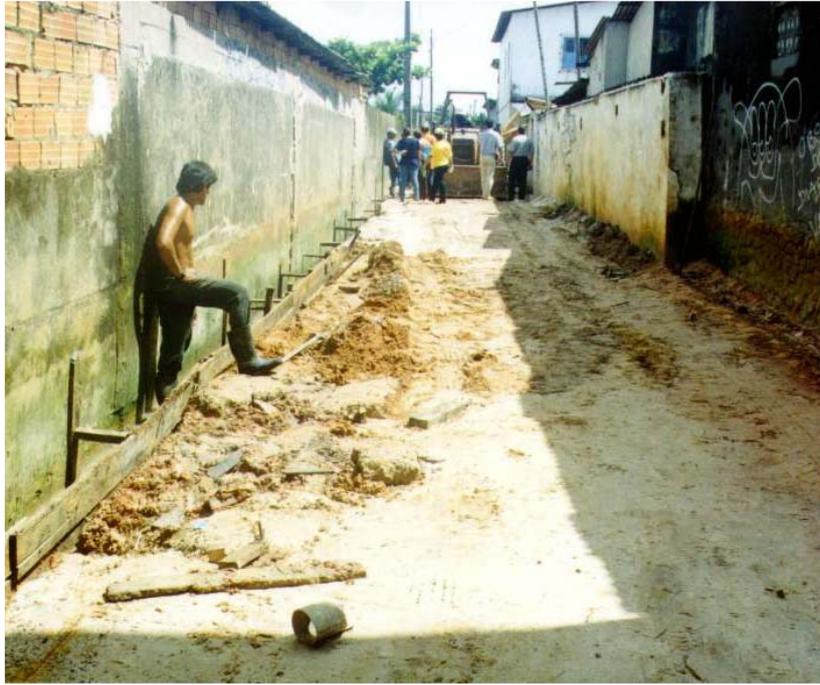


Figura 43: Via estreita (Passagem Ceci)



Figura 44: Vista da Passagem Ceci

CAPÍTULO V - ANÁLISE DE ALGUMAS SOLUÇÕES ADOTADAS

5 Análise de algumas soluções adotadas

5.1 Construção de aterro lançado diretamente sobre solo mole

5.1.1 Método executivo

Os serviços constam de:

- a) Limpeza do terreno: contempla a retirada, espessura média de 40 cm, de todo o material inservível existente nos leitos dos terrenos que receberão as vias a serem implantadas, tais como vegetação rasteira, lixo, restos de construção, etc., que venham a prejudicar os serviços de aterro para as referidas vias;
- b) Medição topográfica do nível do terreno (primitivo);
- c) Colocação de manta geotêxtil;
- d) Lançamento de aterro.

A medição para efeito de compactação é feita através do volume de aterro compactado expresso em m³ de acordo com as seções topográficas primitivas efetuadas "in loco", limitadas às dimensões estabelecidas em projeto.

Entretanto, ao executar-se a construção do corpo de aterro sobre solo mole, ocorre a penetração do material de primeira categoria, sendo observado o seguinte:

- a) ocorre a penetração vertical em função da baixa resistência do solo natural e a elevada compressibilidade. A fuga lateral caracteriza-se pelo avanço horizontal.
- b) ocorre excesso lateral acima do terreno primitivo em função de utilizar-se o material arenoso, sem coesão e que somente se estabiliza com um determinado ângulo para o talude.

Para aferir a quantidade de material lançado, foram adotados os seguintes procedimentos:

- a) levantamento topográfico das seções transversais das vias, conforme definido em projeto;
- b) sondagem do corpo de aterro até a profundidade da manta geotêxtil;

A tabela 4 mostra as medições de volume de material lançado.

Tabela 4: Comparativo de aterro lançado em vias marginais de canais

Canal	Estaca	Volume Medido			Acréscimo %
		Sondagem	Topografia	Total	
São Joaquim II	139 a 202	22.320,67	24.449,10	46.769,77	91,29
Água Cristal	2 a 22	4.111,34	9.395,74	13.507,08	43,76
Visconde de Inhaúma	2 a 33	10.287,78	11.914,09	22.201,87	86,35
Nova Marambaia	27 a 70	3.124,45	4.258,94	7.383,39	73,36
Bengui	33 a 62	873,88	3.475,56	4.349,44	25,14
TOTAL		40.718,12	53.493,43	82.478,72	76,12

Fonte: Projeto Una (adaptado pelo autor)

Observa-se que os acréscimos percentuais de material variam de um canal para outro, proporcionalmente à espessura da camada de solo mole, a qual quanto maior, maior a penetração.

Isto implica em um acréscimo de custo na execução dos serviços na mesma proporção. A figura 45 mostra detalhes da penetração do aterro em solo mole.

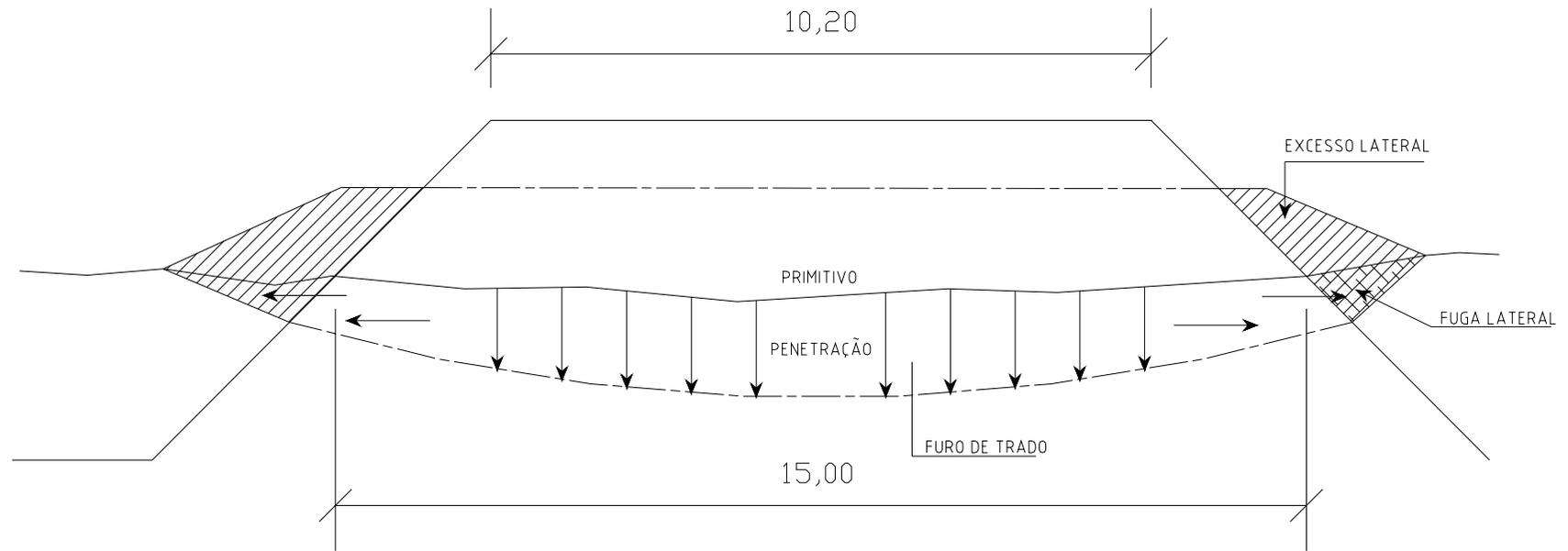


Figura 45: Detalhe da penetração do aterro em solo mole

5.2 Estabilização de vias

A solução de aterro estaqueado foi utilizada em todos os casos onde ocorreu ruptura de pavimento por ser confiável e de rápida execução.

5.2.1 Ruptura da Marginal Esquerda do Canal São Joaquim

A tabela 5 mostra a quantidade de agulhamento executada, considerando-se a somatória de estacas cravadas, a área de vias que receberam este tipo de tratamento, obtendo-se o percentual por canal e total de trecho agulhado.

Tabela 5: Resumo de quantidades de trechos agulhados

ÍTEM	CANAL	EXTENSÃO DE VIAS MARGINAIS (m)	EXTENSÃO DE VIAS AGULHADAS (m)	ÁREA AGULHADA (m ²)	PERCENTUAL AGULHADO (%)
1	Canal do Una	2.080,00	109,78	640,20	5,28
2	Canal do Jacaré	960,00	165,75	497,25	17,27
3	Canal do Galo	4.080,00	1.173,93	7.043,58	28,77
4	Canal Pirajá	5.360,00	394,80	2.368,80	7,37
5	Canal 3 de Maio	2.280,00	213,40	640,20	9,36
6	Canal Antonio Baena	752,00	20,00	60,00	2,66
7	Canal São Joaquim I	4.960,00	3.571,18	24.998,26	7,20
8	Canal Água Cristal	8.200,00	124,75	748,50	1,52
9	Canal São Joaquim II	6.080,00	1.190,45	5.952,25	19,58
	TOTAL	34.752,00	6.964,04	42.967,52	20,03

Fonte: Projeto Una (adaptado pelo autor)

Observa-se que de um total de 34.752,00 m de vias marginais de canais, 20,03% destas foram estabilizadas com o agulhamento.

A tabela 6 apresenta os custos de execução do aterro estaqueado nas vias marginais dos canais da Bacia do Una.

Tabela 6: Custo de execução de aterro estaqueado (agulhamento) – base junho/2002.

ÍTEM	DISCRIMINAÇÃO	Quant.	Un	P.Unit.	Total
1	Fornecimento de estaca de madeira seção 25x25 cm	111.226,11	m	31,53	3.506.959,25
2	Cravação de estaca de madeira seção 25x25 cm	111.226,11	m	21,10	2.346.870,92
	CUSTO TOTAL				5.853.830,17

Fonte: Projeto Una (adaptado pelo autor)

Este processo de estabilização é extremamente caro. Nas áreas agulhadas foram cravadas 111.226,11 m de estacas de madeira, a um custo médio de R\$52,63, correspondente a US\$19.40 por metro de estaca cravada (base junho/2002). A execução do agulhamento acarretou uma despesa não prevista no custo inicial do Projeto, da ordem de R\$5.853.830,17 (cinco milhões, oitocentos e cinquenta e três mil, oitocentos e trinta reais e dezessete centavos), correspondente a US\$2,157,537.29 (dois milhões, cento e cinquenta e sete mil, quinhentos e trinta e sete dólares e vinte e nove cents), o que representa 5,45 % do custo previsto para a execução de vias e 0,76 % do valor global de investimentos na Bacia do Una.

5.3 Proteção de taludes de canais

A tabela 7 mostra uma estimativa de custo de manutenção de talude de canal com revestimento natural (base novembro/2002).

Considerando-se os insumos mínimos necessários para manutenção, obtém-se um custo por manutenção periódica no valor de R\$63.419,20 (sessenta e três mil, quatrocentos e dezenove reais e vinte centavos), correspondente a US\$17,736.66 (dezessete mil, setecentos e trinta e seis dólares e sessenta e seis cents).

A manutenção anual requer uma recorrência trimestral, o que implica em um custo anual no valor de R\$240.947,20 (duzentos e quarenta mil, novecentos e quarenta e sete reais e vinte centavos), correspondente a US\$67,386.51 (sessenta e sete mil, trezentos e oitenta e seis dólares e cinquenta e um cents).

Tabela 7: Estimativa de custo de manutenção de taludes de canais com revestimento natural

ÍTEM	DISCRIMINAÇÃO	UN	QUANT.	P. UNIT.	P. TOTAL
1	Mão de Obra				
1.1	Capinação	H/dia	160,00	17,92	2.867,20
1.2	Podagem mecânica	H/dia	40,00	17,92	716,80
	TOTAL DO ÍTEM 1				3.584,00
2	Equipamentos				
2.1	Máquina de podagem	dia	160,00	20,00	3.200,00
2.2	Veículos de apoio	dia	80,00	45,00	3.600,00
2.3	Carro pipa	dia	40,00	30,00	1.200,00
	TOTAL DO ÍTEM 2				8.000,00
	CUSTO TOTAL				11.584,00
	BDI (30%)				3.475,20
	TOTAL DO ORÇAMENTO				15.059,20

Fonte: Projeto Una (adaptado pelo autor)

5.4 Estudos hidrológicos

5.4.1 Dados pluviométricos

À época da concepção do Projeto foram analisados os registros anotados no pluviômetro da estação meteorológica da Aeronáutica, em Val-de-Cans, cobrindo o período de 1964 a 1982, onde constatou-se que o período de maior intensidade de chuva ocorre nos meses de janeiro a maio.

Os valores das precipitações médias nesse período indicavam precipitações anuais de 2.830 mm, sendo 1.787 mm distribuídos ao longo desses meses.

O gráfico 01 mostra as precipitações médias mensais nos períodos de 1931-1960, 1961-1990, 2000 e 2001. Observa-se que os valores são bastante aproximados, sendo que no ano de 2000 ocorreram as maiores precipitações, totalizando 3.351,40 mm anuais e 2.268,20 mm no período de janeiro a maio.

No ano de 2001, no período de janeiro a maio, a precipitação acumulada foi de 1.948,00 mm. O gráfico mostra, ainda, que, nesse ano, os meses de junho e julho apresentaram precipitações acima das médias históricas.

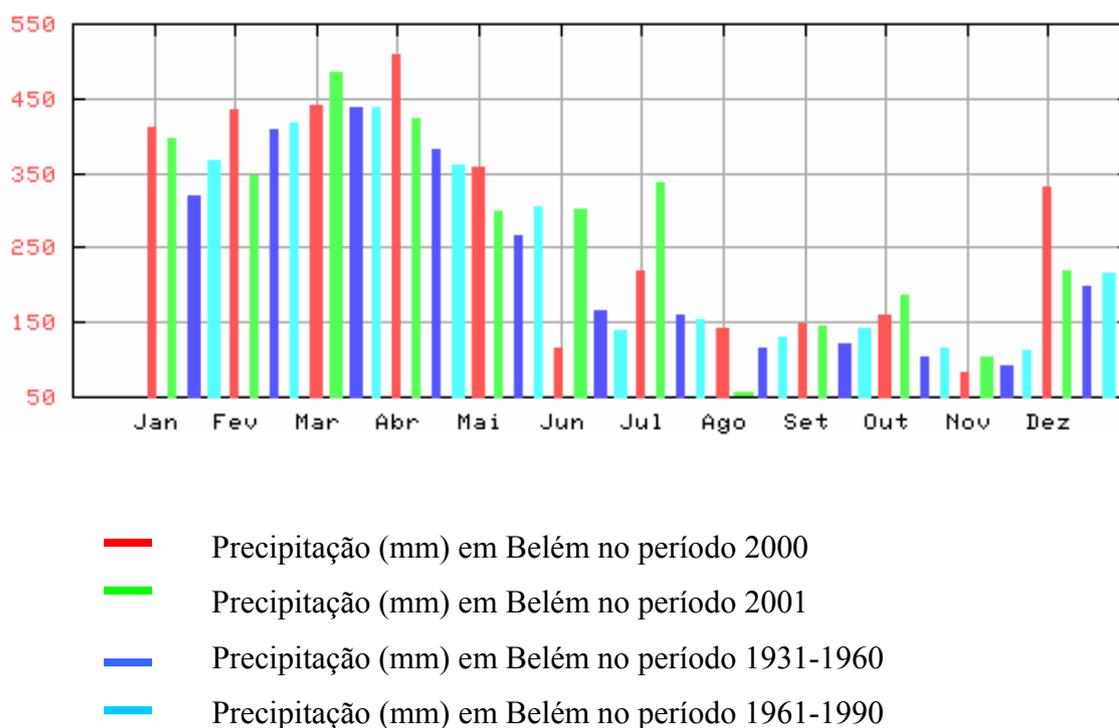


Gráfico 1: Gráfico pluviométrico

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia, 2001

5.4.2 Dados fluviométricos

À época da concepção do Projeto, apesar de previsto a instalação de diversas seções de medição, isto não se concretizou e, até o momento, inexistiu qualquer previsão de instalá-las.

Há de se ressaltar a importância dessas estações, pois com os dados coletados será possível aferir, com rigor, os parâmetros adotados no projeto.

5.4.3 Níveis de maré

Segundo a CDP apud PMB (1987), os níveis de maré em Belém sempre foram medidos no marégrafo instalado no porto de Belém. As medições sistemáticas indicam que a altura média das águas atinge 3,22 m, e a altura máxima registrada foi de 4,21 m, em 18 de março de 1980, enquanto que a altura mínima registrada foi de 0,37 m, em 16 de julho de 1920.

Com a consolidação dos RRNN de Belém, relacionados ao marco da CODEM, constatou-se, através de levantamentos topográficos, que havia uma diferença de 0,62 m.

Desta forma conclui-se que a maré máxima registrada foi de 3,59 m e a mínima – 0,25 m. Daí dizer-se que a cota de alagamento de Belém é 3,60 m.

5.5 Verificação da capacidade de cargas dos canais

Foram desenvolvidos, estudos de verificação de capacidade de carga dos canais, pela Leme Engenharia, empresa consultora do Projeto Una, utilizando o modelo matemático HEC-RAS (River Analysis System).

As vazões de projeto, apresentadas no dimensionamento de CENSA (1986), foram recalculadas. Os resultados encontrados apresentaram diferenças pouco significativas em relação ao projeto inicial, razão pela qual as vazões de projeto foram mantidas.

O quadro 9 apresenta as vazões de projeto e os pontos em que ocorreram algumas das diferenças nesta verificação.

Quadro 9: Vazões máximas nos canais nas sub-bacias

CANAIS	VAZÕES (m ³ /s)		VAZÕES (m ³ /s) (recalculadas)
	TR=10	TR=20	TR=20
Bengui	31,96	36,91	
Nova Marambais	44,64	54,73	48,58
Bengui+Nova Marambaia	49,98	61,80	
São Joaquim 2	53,95	66,33	
Água Cristal	46,93	57,67	54,41
São Joaquim 2+ Água Cristal	76,06	93,69	
São Joaquim 1	79,32	97,13	91,78
Boaventura da Silva	5,63	7,01	
3 de Maio 2	29,55	34,30	34,30
Antonio Baena 2	5,93	7,38	
Visconde de Inhaúma	28,32	35,03	35,35
Vizconde de Inhaúma + Antonio Baena 2	32,00	39,51	36,33
Antonio Baena 1	32,00	39,51	36,33
3 de Maio 1	40,77	50,31	
Soares Carneiro	7,67	9,57	
Pirajá	23,93	29,35	
Galo 2	47,42	58,23	
Rosa Lemos	4,45	5,51	
Galo 1	51,20	63,03	63,64
São Joaquim 2 + Galo 1	118,55	145,50	
Una 1 (comportas)	122,11	147,85	142,91

Fonte: Projeto Una

A simulação efetuada considerou as seções dos canais conforme condição de projeto, isto é, sem assoreamento no fundo e as superfícies laterais, isentas de vegetação.

Na condição sem manutenção, foram utilizados dados coletados no ano de 2001, com os canais apresentando grandes extensões assoreadas, com a presença de lixo e entulhos e as superfícies laterais com presença de vegetação de portes diversos.

Os coeficientes de rugosidade n , de Manning, são apresentados no quadro 10, conforme a condição do canal.

Quadro 10: Coeficientes de rugosidade n de Manning adotados

Superfície	Condição	
	Projeto	Sem manutenção
Fundo em solo	0,022	0,022
Fundo em concreto	0,017	0,017
Taludes em solo com grama	0,027	0,050
Taludes em concreto	0,017	0,025
Taludes em gabião	0,030	0,030

Fonte: Prefeitura Municipal de Belém, 1988

Os canais foram projetados para acumular o volume escoado por uma cheia produzida por chuva com tempo de recorrência de 1 ano, de tal forma que o nível máximo da água esteja na cota 2,50 m, bem abaixo do nível de maré definido em projeto, que está na cota 3,22 m.

A simulação contempla uma condição mínima de assoreamento médio de 0,20 m ao longo de todos os canais, mantendo-se as mesmas condições consideradas no projeto original, isto é, as mesmas vazões e nível de maré na cota 3,22 m.

Justifica-se esta análise como busca de uma margem de segurança caso o desassoreamento dos canais não aconteça por uma razão qualquer e, ainda, como forma de garantir a estabilidade dos canais no instante da execução dos serviços de dragagem, considerando-se a hipótese de estes encontrarem-se em fase de estabilização.

A tabela 8 mostra o volume de assoreamento nos canais. Ressalte-se que estes dados são resultados do acúmulo de material por um período de 4 anos, período este em que os canais não receberam qualquer tipo de manutenção após a sua implantação.

Tabela 8: Volume de assoreamento nos canais

CANAL	ESTACAS		EXTENSÃO (m)	VOLUME (m3)	m3/m	LARGURA MÉDIA (m)	ALTURA MÉDIA (cm)
Jacaré (região da comporta)			16	350	21,9	24,0	91
Jacaré	1	25	460	920	2,0	20,0	10
Una (região da comporta)			42	1.470	35,0	35,0	100
Una / Galo (parte) A. Bernardes - P.A. Cabral	12	33	1.040	53.315	51,3	82,0	63
	0	15					
	15	31					
São Joaquim 1	15	138	2.460	87.670	35,6	46,0	77
São Joaquim 2	138	290	3.040	66.540	21,9	30,0	73
Bengui (sem revestimento)	0	9	180	1.580	8,8	25,0	35
Bengui (com revestimento)	9	63	1.080	1.190	1,1	6,2	18
Nova Marambaia	1	78	1.540	16.468	4,2	19,0	22
Água Cristal (com revestimento)	0	116	2.320	23.175	10,0	21,0	48
Pirajá (Galo – Dr. Freitas)	2	132	2.600	7.820	3,0	7,2	42
Galo (P. A. Cabral – P. Miranda)	31	133	2.040	49.260	24,1	26,0	93
Soares Carneiro	3	26	460	1.340	2,9	3,0	96
3 de Maio (P. Miranda – A. Barreto)	0	38	760	12.050	15,8	22,0	72
3 de Maio (A. Barreto – B.Silva)			380	570	1,5	3,0	50
Boaventura da Silva	0	26	520	1.040	2,0	3,3	60
Antonio Baena (3 de Maio – V. Inhaúma)	0	21	420	1.160	2,8	15,0	19
Visconde de Inhaúma (A. Baena – Mauriti)	3	58	1.100	4.730	4,3	16,5	26
TOTAL			22.238	323.143	14,5	23,3	62

Fonte: Projeto Una

O quadro 11 mostra os resultados da simulação para tempos de recorrência de 10 e 20 anos, com as seguintes considerações:

- Condição 1 = seção de canais de acordo com o projeto
- Condição 2 = considerado assoreamento de 0,20 m ao longo dos canais
- Condição 3 = canais sem manutenção

Quadro 11: Seções de extravasamento de canais

Canal	Estaca	Cota Margem (m)	NA (m)						Borda Livre – DH (m)					
			TR = 10 anos			TR = 20 anos			TR = 10 anos			TR = 20 anos		
			CONDIÇÃO			CONDIÇÃO			CONDIÇÃO			CONDIÇÃO		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Água Cristal	172	13,63	12,66	12,86	13,58	13,56	13,62	13,69	0,97	0,77	0,05	0,07	0,01	-0,06
Pirajá	107,14	5,33	4,37	4,57	4,87	4,55	5,19	5,36	0,96	0,76	0,46	0,78	0,14	-0,03
Pirajá	87	4,05	3,61	3,67	3,98	3,71	3,80	4,22	0,44	0,38	0,07	0,34	0,25	-0,17
Pirajá	75	3,97	3,59	3,64	3,93	3,68	3,77	4,16	0,38	0,33	0,04	0,29	0,20	-0,19
Pirajá	70	3,97	3,58	3,63	3,90	3,67	3,76	4,14	0,39	0,34	0,07	0,30	0,21	-0,17
Pirajá	69	3,86	3,58	3,63	3,90	3,67	3,75	4,13	0,28	0,23	-0,04	0,19	0,11	-0,27
Pirajá	59	3,85	3,55	3,60	3,84	3,63	3,71	4,06	0,30	0,25	0,01	0,22	0,14	-0,21
Pirajá	53	3,85	3,54	3,58	3,81	3,62	3,69	4,03	0,31	0,27	0,04	0,23	0,16	-0,18
Pirajá	42	3,85	3,51	3,55	3,75	3,58	3,65	3,95	0,34	0,30	0,10	0,27	0,20	-0,10
Pirajá	36	3,89	3,50	3,53	3,71	3,56	3,62	3,91	0,39	0,36	0,18	0,33	0,27	-0,02
Pirajá	30	3,85	3,48	3,51	3,68	3,54	3,60	3,86	0,37	0,34	0,17	0,31	0,25	-0,01
Soares Carneiro	6,05	3,85	3,52	3,54	3,65	3,60	3,64	3,87	0,33	0,31	0,20	0,25	0,21	-0,02
3 de Maio 1	13	3,78	3,51	3,55	3,72	3,59	3,64	3,91	0,27	0,23	0,06	0,19	0,14	-0,13
Visconde de Inhaúma	83	7,80	7,35	7,55	7,68	7,57	7,77	7,81	0,45	0,25	0,12	0,23	0,03	-0,01

Fonte: Projeto Una

Os resultados das simulações permitem determinar os pontos passíveis de transbordamento dos canais na condição sem manutenção.

Na condição considerada de assoreamento médio de 0,20 m, conclui-se que é aceitável, pois a simulação não indica transbordamento dos canais.

Estes resultados confirmam, ainda, que a decisão de executar as vias, objeto de intervenção do Projeto Una, na cota mínima de 3,60 m está correta.

Analisando os dados do quadro 11, verifica-se que o nível da água está acima do nível da pista apenas nas condições de assoreamento, conforme mostrado na tabela 8. Isto se dá para um período de recorrência de 20 anos e em um caso para um período de recorrência de 10 anos.

5.6 Amortecimento de cheia

Na simulação foram analisados os níveis de maré. O objetivo era determinar o nível d'água que seria alcançado a montante das comportas, para acumular o volume escoado por uma cheia, produzida por uma chuva com tempo de recorrência de 1 ano.

As variáveis adotadas, considerados a montante da foram:

- Tempo de recorrência = 1 ano
- Vazão de pico = 56,99 m³/s
- Nível d'água, definido em projeto = 2,50 m.

Os resultados são mostrados, de forma resumida, na tabela 9.

Tabela 9: Amortecimento de cheia

PARÂMETROS	UN	CONDIÇÃO DOS CANAIS		
		SEM ASSOREAMENTO	COM ASSOREAMENTO DE 0,20 M	SEM MANUTENÇÃO
N.A. (abertura da comporta)	m	2,88	3,01	3,43
VOLUME TOTAL (ESTÁTICO)	m ³	1.105.381	1.106.021	1.154.616
Volume no fechamento da comporta (dinâmico)	m ³	288.955	289.595	338.190
Volume útil	m ³	816.426	816.426	816.426
Volume a amortecer	m ³	816.426	816.426	816.426

Fonte: Projeto Una

Os resultados confirmam que o volume disponível nos canais é capaz de armazenar o volume da cheia com tempo de recorrência de 1 ano.

Os níveis 2,88 m e 3,01 m, apesar de estarem acima do nível definido em projeto, são plenamente aceitáveis, ao contrário do nível 3,43 m que está acima do nível de maré máxima de projeto. Esta última elevação foi provocada pela diminuição da seção dos canais pelo assoreamento, reduzindo, assim, a sua capacidade de armazenamento.

5.7 Áreas de infiltração

No dimensionamento de um sistema de macrodrenagem há um parâmetro de grande complexidade denominado de curva de deflúvio, também chamada de cuja definição foi estabelecida pelo “Soil Conservation Service” do Department of Interior dos Estados Unidos, sendo determinada por:

$$CN = \frac{1000}{10 + S}, \text{ equação nº 4}$$

onde,

CN – curva característica (curva-número)

CN = 80, quando 50% da bacia encontra-se ocupada com edificações e vias impermeáveis;

CN = 85, quando 70% da bacia encontra-se ocupada com edificações e vias impermeáveis;

S = diferença potencial-máxima entre precipitação efetiva do nível da chuva, expresso em polegadas.

Na concepção do projeto foi adotado CN=85, em função de:

- A bacia do Una estar densamente ocupada;
- A natureza geotécnica do solo, constituída, em sua maior parte, por camadas argilosas, de pouca permeabilidade.

Considerando que a Bacia do Una possui área aproximada de 3.644 ha, então deverá estar disponível para infiltração 1.093,20 ha.

O quadro 12 mostra as áreas públicas institucionais, isto é, as áreas verdes existentes na Bacia do Una, as quais totalizam 676.817,56 m², o que corresponde a 67,68 ha. Observa-se que a quantidade de áreas de infiltração existentes está muito aquém das reais necessidades.

Quadro 12: Áreas verdes institucionais existentes

ÍTEM	LOGRADOUROS	BAIRRO	ÁREAS (M ²)	
			TOTAL	INFILTRAÇÃO
1	PRAÇA BRASIL	TELÉGRAFO	9.856,00	5.197,50
2	PRAÇA DO JAÚ	SACRAMENTA	2.750,00	1.546,88
3	PRAÇA ENEIDA DE MORAES	PEDREIRA	3.082,50	1.733,90
4	PRAÇA INDEPEDÊNCIA	UMARIZAL	410,82	410,82
5	PRAÇA EDUARDO ANGELIN	SACRAMENTA	3.480,00	1.967,50
6	PRAÇA DA BÍBLIA	SOUZA	4.888,00	3.110,00
7	PRAÇA D. MÁRIO VILAS BOAS	MAREX	23.733,00	9.200,00
8	PRAÇA PAULA FRANCINETE	FÁTIMA	210,00	118,13
9	PRAÇA 03 DE MAIO	FÁTIMA	370,00	200,12
10	PRAÇA SANTUÁRIO DE FÁTIMA	FÁTIMA	7.257,65	1.554,05
11	PRAÇA S/ NOME (ANTÔNIO BARRETO)	FÁTIMA	359,13	222,26
12	PRAÇA 14 DE ABRIL	FÁTIMA	441,00	246,06
13	PRAÇA SÃO BENEDITO	SACRAMENTA	888,00	499,50
14	PRAÇA DO CRUZEIRO	TELÉGRAFO	480,00	257,93
15	PRAÇA CENTENÁRIO	TELÉGRAFO	448,00	228,19
16	PRAÇA TANCREDO NEVES I	MARAMBAIA	2.898,63	1.775,55
17	PRAÇA TANCREDO NEVES II	MARAMBAIA	926,30	331,14
18	PRAÇA HAVAI	MARAMBAIA	3.560,20	3.108,96
19	PRAÇA JOHN LENON	MARAMBAIA	3.664,20	3.004,40
20	PRAÇA LIBERDADE	MARAMBAIA	1.143,75	1.040,00
21	PRAÇA SÃO CRISTOVÃO	MARAMBAIA	950,00	534,38
22	PRAÇA SÃO SEBASTIÃO	SACRAMENTA	820,00	546,25
23	PRAÇA D. ALBERTO RAMOS	MARAMBAIA	1.148,00	502,00
24	PRAÇA VILA DA BARCA	TELÉGRAFO	1.500,80	310,00
25	PRAÇA SÔNIA FRAZÃO	MARAMBAIA	3.205,86	2.217,61
26	PRAÇAS DA COHAB (GLEBA I) 12	MARAMBAIA	37.577,62	33.173,62
27	PRAÇAS DA COHAB (GLEBA II) 01	MARAMBAIA	3.131,47	2.764,47
28	PRAÇAS DA COHAB (GLEBA III) 01	MARAMBAIA	3.131,47	2.764,47
29	PRAÇA SÓ VENDENDO	FÁTIMA	1.312,50	320,00
30	PRAÇA ALAN KARDEC	MARAMBAIA	79,11	49,53
31	PRAÇA IPUÃ	MARAMBAIA	2.472,80	1.352,00
32	PRAÇA DO IPTU	MARAMBAIA	2.352,20	1.854,59
33	PRAÇA MEMORIAL DA CABANAGEM	SOUZA	1.695,00	960,50
34	PRAÇA CONJ. COSTA E SILVA	SOUZA	395,32	251,89
35	PRAÇA CONJ. IMPÉRIO AMAZÔNICO	SOUZA	1.027,07	536,97
36	BOSQUE RODRIGUES ALVES	SOUZA	152.376,39	152.326,39
37	PARQUE AMBIENTAL DE BELÉM	MARAMBAIA	440.600,00	440.600,00
TOTAL GERAL			724.622,79	676.817,56

Fonte: Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 2003

A criação de novas áreas implica ainda, na qualidade de vida da população, pois o aumento dessas áreas proporcionará um ambiente com temperaturas mais amenas.

Esta quantidade de área obtém-se com:

- a implantação de áreas verdes como parques e praças;
- o estímulo para que os moradores não impermeabilizem os seus quintais.

5.8 Recalque nas redes de drenagem

A execução de redes de drenagem em áreas de solo mole, requer cuidados que vão desde a escavação até o recobrimento da rede.

Durante o processo de escavação o terreno deverá ser adequadamente escorado, pois a falta de consistência do solo natural levará a desmoronamentos. Em muitos casos, na Bacia do Una, utilizou-se escoramento metálico, por ser mais resistente e proporcionar um maior reaproveitamento. A figura 46 mostra a utilização de escoramento metálico durante a execução de escavação em área de solo mole.



Figura 46: Escoramento metálico de valas em área de solo mole

Fonte: Projeto Una

O material escavado deve ser retirado do local e substituído por material arenoso, o qual, após lançado, deverá ser convenientemente compactado, em camadas não superiores a 0,20 m.

Apesar de todos os cuidados, o recalque ocorre. A seguir será analisado o caso ocorrido na Passagem Santo Antônio, entre a Avenida Marquês de Herval e a Marginal Direita do Canal Pirajá. O gráfico 2 mostra o comportamento da rede de drenagem.

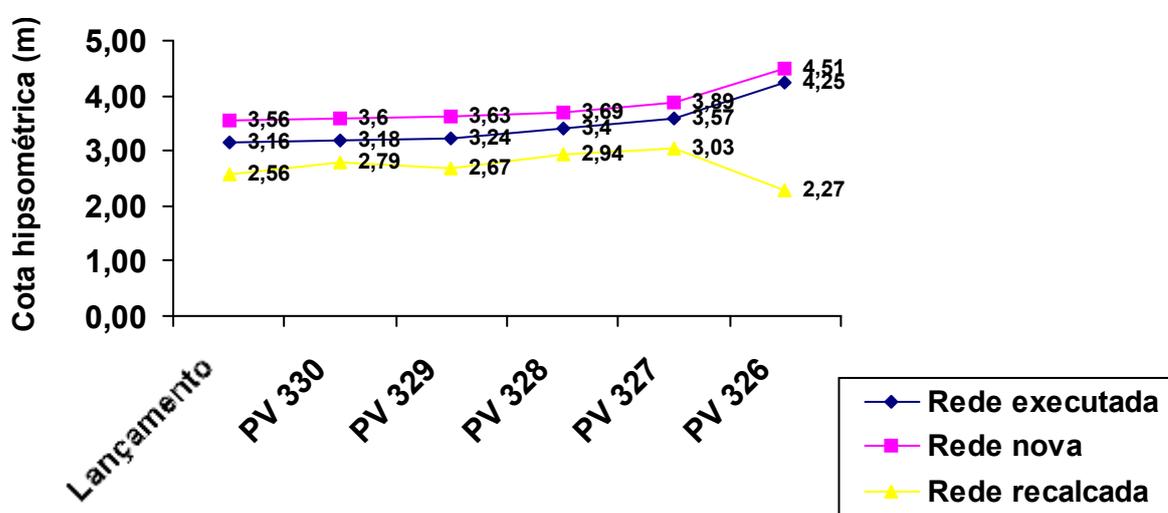


Gráfico 2: Comportamento da rede de drenagem da Passagem Santo Antônio

Esta rede foi executada, aproximadamente, em novembro de 2000, tendo sido detectado o recalque em julho de 2002, portanto 20 meses após.

Observa-se que a rede recalcou, em torno de 50 cm, em toda a sua extensão, desde o lançamento no Canal Pirajá até o PV 326, o qual apresentou um maior recalque. Este recalque deve-se aos seguintes fatores:

- a) adensamento natural do solo;
- b) drenagem da área.

A solução do problema foi retirar toda a rede executada e construir uma nova rede de drenagem, conforme as cotas mostradas no gráfico 2.

As tabelas 10 e 11 mostram, respectivamente, os custos de execução e manutenção de uma rede de drenagem da Passagem Santo Antonio.

Tabela 10: Custo de implantação de rede de drenagem na Passagem Santo Antonio (base agosto/2.000)

ÍTEM	DISCRIMINAÇÃO	UN	QUANT.	P.UNIT.	P.TOTAL
1	Locação e demarcação de eixos	km	0,06	688,00	39,90
2	Escavação de valas	m3	150,24	5,01	752,70
3	Transporte de material escavado para bota-fora	m3	150,24	3,47	521,33
4	Regularização e compactação de fundo de vala	m2	92,80	0,89	82,59
5	Execução de berço de areia	m3	18,56	28,32	525,62
6	Escoramento descontínuo de vala	m2	89,60	11,90	1.066,24
7	Reaterro de valas	m3	91,08	6,33	576,54
8	Assentamento de tubo CA d=0,80 m	m	58,00	64,44	3.737,52
9	Escavação e carga de material arenoso em área de empréstimo	m3	72,38	5,37	388,68
10	Transporte de material escavado de área de empréstimo DMT > 3 km	m3xkm	1.447,60	1,33	1.925,31
	TOTAL				9.616,44

Fonte: Projeto Una (adaptado pelo autor)

Tabela 11: Custo de implantação de rede de drenagem na Passagem Santo Antonio (base fevereiro/2.003)

ÍTEM	DISCRIMINAÇÃO	UN	QUANT.	P.UNIT.	P.TOTAL
1	Escavação mecânica de valas	m3	145,61	5,77	840,17
2	Transporte de material escavado para bota-fora	m3	145,61	8,35	1.215,84
3	Regularização e compactação de fundo de vala	m2	92,80	0,89	82,59
4	Execução de berço de areia	m3	54,96	25,10	1.379,50
5	Escoramento descontínuo de vala	m2	92,10	16,12	1.484,65
6	Reaterro manual de valas	m3	25,86	25,10	649,09
7	Reaterro mecânico de valas	m3	26,99	17,53	473,13
8	Assentamento de tubo CA d=0,80 m	m	54,00	101,71	5.492,34
9	Escavação e carga de material arenoso em área de empréstimo	m3	72,38	5,37	388,68
10	Transporte de material escavado de área de empréstimo DMT > 3 km	m3xkm	1.447,60	1,33	1.925,31
11	Demolição de concreto armado	m3	0,59	146,56	86,76
	TOTAL				14.018,07

Fonte: Projeto Una (adaptado pelo autor)

Para executar a rede, em valores calculados em agosto de 2001, foi aplicado o valor de R\$9.616,44 (nove mil, seiscentos e dezesseis reais e quarenta e quatro centavos), correspondente a US\$5,317.65 (cinco mil, trezentos e dezessete dólares e sessenta e cinco cents).

Para a recomposição da rede foram aplicados R\$14.018,07 (quatorze mil,dezoito reais e sete centavos), correspondente a US\$3,904.75 (três mil, novecentos e quatro dólares e setenta e cinco cents), relativos a base de cálculo de fevereiro de 2003.

Observa-se que neste período houve uma desvalorização do Real em relação ao dólar, da ordem de 98,52%. Entretanto o desembolso, em dólar, do custo de reconstrução da rede de drenagem é de, aproximadamente, 73,43%.

Por tratar-se de execução de obras em áreas de solo mole, podemos afirmar que o processo de recalque, provavelmente, continuará por um longo tempo, o que implica em custos não previstos, pois ao elaborarem proposta de preços para a execução dos serviços, as empresas não consideram os custos de manutenção, o que, em projetos desse porte, é aconselhável prever-se.

5.9 Melhoria de qualidade de vida

As mudanças na Bacia do Una após a implantação do Projeto Una, são constatadas visualmente com o surgimento de novas vias, interligando bairros, a diminuição de ocorrências de alagamento, além da sensível melhora na qualidade de vida dos habitantes. As figuras 47 e 48 mostram o contraste entre o passado e o presente.

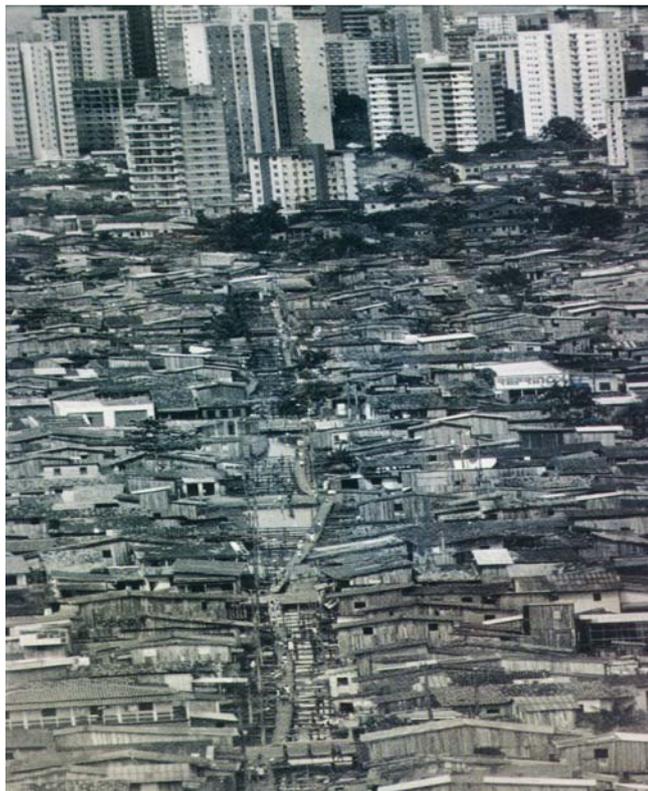


Figura 47: Canal da Visconde de Inhaúma antes das obras (1992)

Fonte: Projeto Una

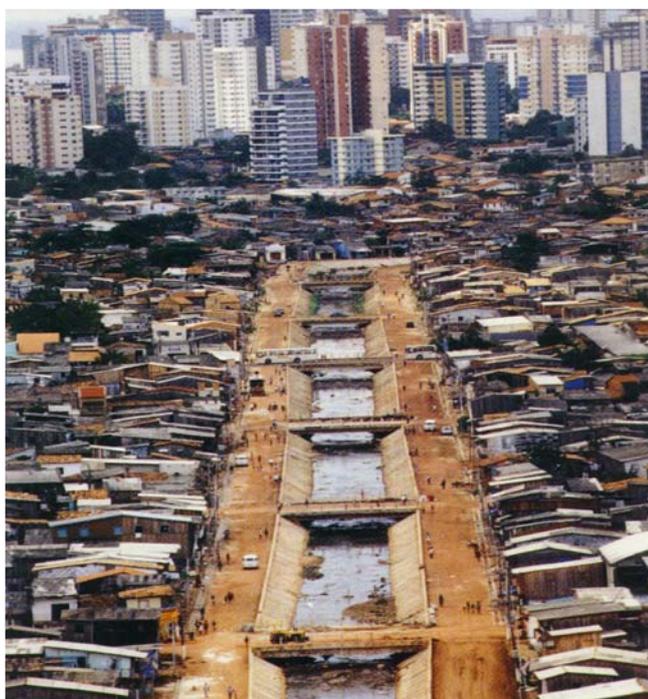


Figura 48: Canal da Visconde de Inhaúma depois das obras (2003)

Fonte: Projeto Una

A Assessoria de Estudos Longitudinais do Projeto Una tem a função de acompanhar os impactos provocados pelo Projeto na vida dos habitantes da Bacia. Através de pesquisa de campo são obtidos indicadores que atestam essas mudanças.

Utilizando um espaço amostral de 311 famílias, foram analisados diversos casos, sendo os resultados da pesquisa mostrados a seguir.

a) Moradias segundo o sistema viário;

O gráfico 3 mostra que antes das obras 46% dos imóveis encontravam-se em ruas de estivas; 31% em ruas sem revestimento; 20% em ruas revestidas com piçarra e 3% em vias com revestimento asfáltico.

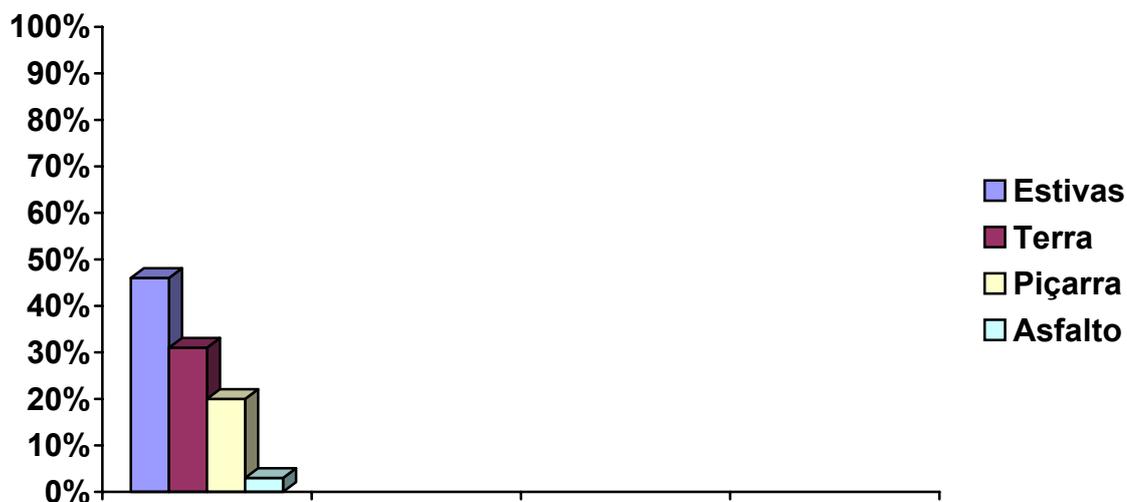


Gráfico 3: Moradias segundo o sistema viário – Antes das obras

Fonte: Projeto Una

Após as obras, conforme mostra o gráfico 4, 4% dos imóveis encontram-se em ruas de estivas; 13% em ruas sem revestimento; 31% em ruas revestidas com piçarra e 52% em vias com revestimento asfáltico.

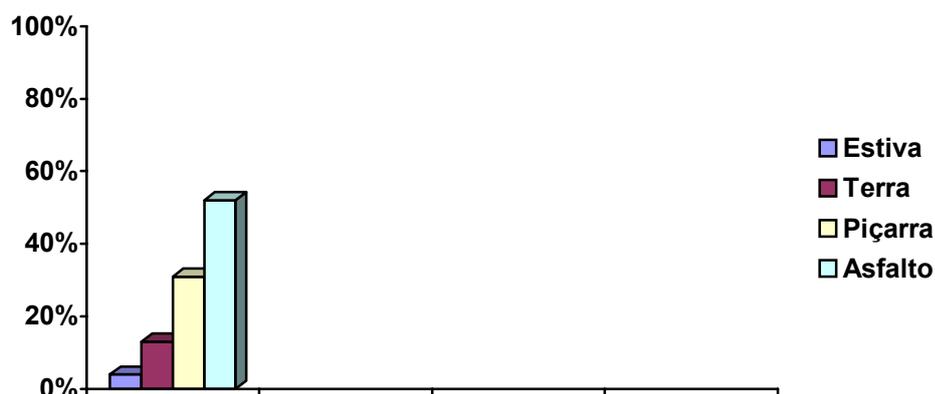


Gráfico 4: Moradias segundo o sistema viário – Depois das obras

Fonte: Projeto Una

b) Moradias segundo o tipo de material de construção;

O gráfico 5 mostra que antes das obras 84% dos imóveis eram construídos em madeira; 9% dos imóveis eram construídos em alvenaria e 7% eram construídos no sistema misto madeira-alvenaria.



Gráfico 5: Moradias segundo o tipo de material de construção – Antes das obras

Fonte: Projeto Una

Após as obras, conforme mostra o gráfico 6, 32% dos imóveis eram construídos em madeira; 64% dos imóveis eram construídos em alvenaria e 4% eram construídos no sistema misto madeira-alvenaria.

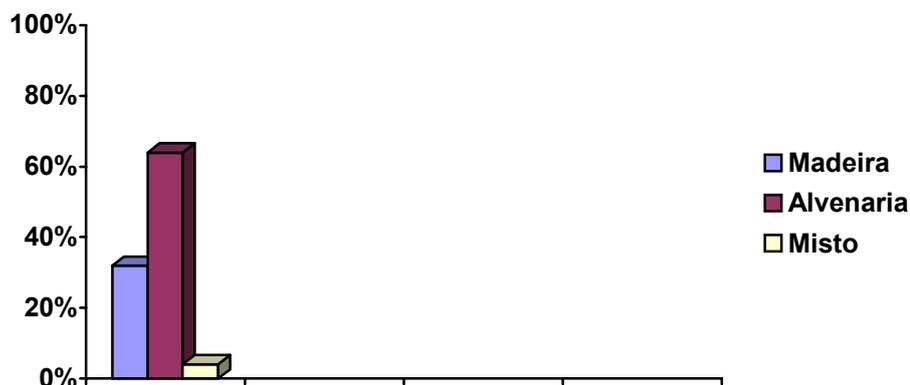


Gráfico 6: Moradias segundo o tipo de material de construção –Depois das obras
Fonte: Projeto Una

c) Moradias segundo o número de cômodos;

O gráfico 7 mostra que antes das obras 19% dos imóveis possuíam 1 cômodo; 17% dos imóveis eram construídos possuíam 2 cômodos; 27% dos imóveis eram construídos possuíam 3 cômodos; 22% dos imóveis eram construídos possuíam 4 cômodos e 15% dos imóveis eram construídos possuíam 5 cômodos ou mais.

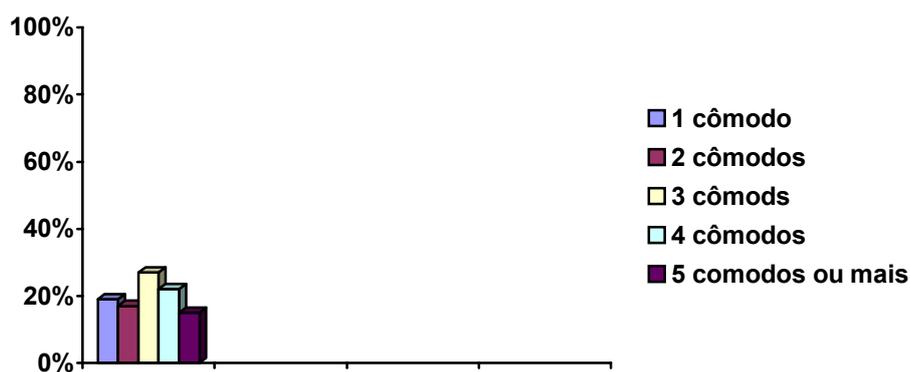


Gráfico 7: Moradias segundo o número de cômodos – Antes das obras
Fonte: Projeto Una

Após as obras, conforme mostra o gráfico 8, 5% dos imóveis possuíam 1 cômodo; 10% dos imóveis eram construídos possuíam 2 cômodos; 21% dos imóveis eram construídos possuíam 3 cômodos; 41% dos imóveis eram construídos possuíam 4 cômodos e 23% dos imóveis eram construídos possuíam 5 cômodos ou mais.

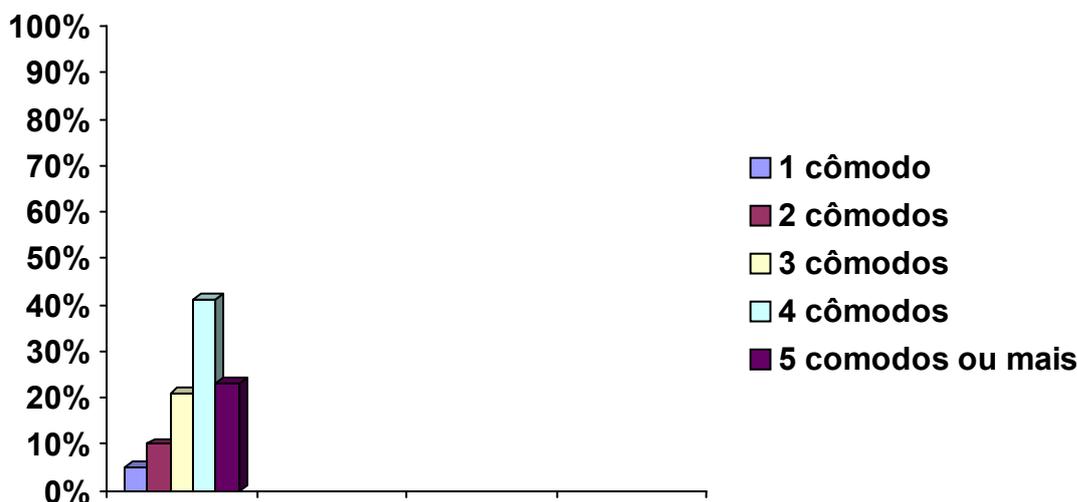


Gráfico 8: Moradias segundo o número de cômodos – Depois das obras

Fonte: Projeto Una

d) Casos de doenças;

As pesquisas relacionadas a doenças na Bacia do Una revelam que antes das obras, com um total de 1382 pessoas, 93% adoeceram, sendo que 37% de doenças relacionadas a falta de saneamento⁷ e 56% relacionadas a outras doenças, conforme mostra o gráfico 9.

⁷ As doenças relacionadas a falta de saneamento, muito comuns em áreas de baixadas são: diarreia, leptospirose, hepatite, micoses (coceiras), verminose, difteria, febre tifóide, esquistossomose, filariose, tuberculose, hanseníase, pneumonia, meningite, etc.



Gráfico 9: Casos de doenças – Antes das obras

Fonte: Projeto Una

Após as obras, tendo as 311 famílias aumentado para 1611 pessoas, verificou-se que apenas 56% adoeceram, sendo que 12% por doenças relacionadas a falta de saneamento e 44% relacionadas a outras doenças, conforme mostra o gráfico 10.



Gráfico 10: Casos de doenças – Depois das obras

Fonte: Projeto Una

Estudos da Organização Mundial de Saúde, que tornaram-se referência com indicadores de investimentos na área de saneamento, preconizam que “para cada dólar aplicado em saneamento, economiza-se quatro dólares em saúde”.

Partindo-se dessa premissa e, considerando-se que os investimentos no Projeto Una são US\$283,602,027.00 (duzentos e oitenta e três milhões, seiscentos e dois mil, vinte e sete dólares), a economia em investimentos em saúde corresponderia a US\$1,134,408,108.00 (um bilhão, cento e trinta e quatro milhões, quatrocentos e oito mil, cento e oito dólares).

A redução de 25 pontos percentuais nos casos de doenças provenientes da falta de saneamento, implica, teoricamente, em uma economia de US\$70,900,500.00 (setenta milhões, novecentos mil e quinhentos dólares), visto que, com uma população de, aproximadamente, 600.000 pessoas, o investimento “per capita” do Projeto Una é de US\$472,67 (quatrocentos e setenta e dois dólares e sessenta e sete cents).

CAPÍTULO VI - CONCLUSÃO

6 CONCLUSÃO

A implantação de obras civis e de saneamento em áreas de características geológicas e geotécnicas tão complexas requer um profundo conhecimento da região através de estudos geotécnicos, estudos hidrológicos, planejamento urbano e população a ser beneficiada, para subsidiar a adoção de técnicas adequadas de execução.

Uma série de condicionantes têm que ser consideradas, tais como:

- As interferências com imóveis, o que implica em remanejamento ou relocação de famílias, as quais no habitat original tem as suas relações sociais estabelecidas e que, ao serem relocadas, há a quebra de um elo estabelecido há anos, o que poderá dificultar o seu estabelecimento no novo habitat;
- Na construção de aterros sobre solos moles, as características geotécnicas da área a ser beneficiada devem ser consideradas com todas as suas especificidades, pois áreas similares a Bacia do Una, que está assente sobre uma camada de argila mole muito espessa, de consistência muito mole a mole, alta compressibilidade e baixa resistência ao cisalhamento, as soluções para estabilização podem inviabilizar o investimento;
- A utilização de aterro estaqueado (agulhamento) encimado por capitéis de concreto mostrou ser a solução ideal para os casos de ruptura de aterro, apesar do alto custo. No Projeto Una 0,76% do custo das obras foi gasto com este tipo de reforço, logo, em projetos similares, este dado deve ser previsto no custo;
- Os taludes de canais não revestidos em concreto devem receber vegetação natural, o que permite a formação de uma malha integrada pelas raízes, protegendo superficialmente o solo. No caso da Bacia do Una a utilização de capim do tipo gengibre e quicuío, corresponderam a essa expectativa;
- A manutenção do revestimento natural deve ser constante para evitar-se a formação de pontos de lançamento clandestino de lixo nos canais, dificultando o escoamento das águas pluviais;

- A verificação da capacidade de cargas dos canais mostrou que o dimensionamento dos canais está adequado às contribuições pluviométricas e às contribuições residenciais;
- Os canais devem ser mantidos limpos e dragados, admitindo-se um nível de assoreamento até 0,20 m acima da cota de projeto;
- O assoreamento dos canais, acima das cotas de segurança, implica em transbordamento;
- A observação do comportamento dos canais ao longo dos últimos seis anos, comprovou que as cotas adotadas para as vias marginais são adequadas e acima da cota de alagamento;
- A melhoria da qualidade de vida da população é considerável, sendo resultante da implantação das obras, considerando-se a economia com os gastos em saúde pública;
- Deverá ser previsto no custo das obras, verba para indenização de imóveis abalados pela construção das obras. No Projeto Una, foi aplicado 0,68% do valor destinado ao Plano de Reassentamento para cobrir esses custos;
- Devem ser implantadas áreas de infiltração, constituídas de praças e jardins, para permitirem a infiltração de parte das precipitações, bem como a melhoria ambiental, visto que as áreas existentes na Bacia do Una estão aquém das necessidades;
- Implantação de ampla campanha de educação ambiental, com o objetivo de conscientizar a população de que todo resíduo sólido tem de ser acondicionado adequadamente para posterior recolhimento, ao invés de ser lançado nos canais ou vias públicas;
- Manutenção de coleta regular de resíduos sólidos é fundamental para reduzir o lançamento destes nos canais;

- O processo executivo de obras similares a macrodrenagem da Bacia do Una deve ser estudado e avaliado constantemente, para que seja evitada a formação de bolsões de alagamento durante a execução das obras;
- O recalque das redes de drenagem e esgoto implantadas, deve ser valorado e previsto no custo de projetos similares, pois áreas de solo mole, em processo de consolidação, apresentam este problema

Como sugestões de pesquisas futuras, tem-se:

- Medição “in loco” das velocidades dos canais, com o objetivo de refinar a verificação da capacidade de cargas dos mesmos;
- Análise do comportamento do aterro estaqueado ao longo dos anos;
- Análise do comportamento do recalque das redes de drenagem e esgoto implantadas;
- Análise do nível de assoreamento dos canais;
- Durabilidade das estruturas de concreto dos canais em meio extremamente insalubre como os canais;
- Estudos da eficiência dos sistemas de esgotos implantados, para analisar-se se estão atendendo as condições de redução de contaminação dos igarapés.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Márcio de Souza S. de. Aterros sobre solos moles: Da concepção à avaliação do desempenho. Rio de Janeiro: Editora UFRJ,1996.

CENSA CONSULTORA DE ENGENHARIA. Sistema de drenagem pluvial de Belém. Belém – Bacia do Una. Estudos Hidrológicos. Belém,1986

DELTA GEO LTDA. Relatório Geotécnico nº GP. 98/ 01.30.03D – Ensaio geotécnicos de palheta. Belém, PA, 1998.

DNER-PRO 381/98 Projeto de aterros sobre solos moles para obras viárias

GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ; PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM. Projeto de Saneamento para recuperação das Baixadas de Belém – Bacia do Una. Plano de Reassentamento – Parte I. v.I/1 – Relatório Técnico.

_____. Projeto de drenagem, vias, água e esgoto das zonas baixas de Belém – Projeto Una. Plano de Reassentamento. Atualização,1997.

LEME ENGENHARIA. Verificação da capacidade de descarga dos canais implantados. Relatório de consolidação, v.I e II, mar. 2002.

MACINTYRE, Archibald Joseph. Instalações Hidráulicas. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1982.

MELLO, Luiz Guilherme F. Soares de. Estaqueamento para recuperação da ruptura do Canal do Jacaré – Memória de Cálculo. Belém, PA: Vecttor Projetos S/C Ltda,1997.

_____. Estaqueamento para recuperação da ruptura do Canal São Joaquim – Memória de Cálculo. Belém, PA: Vecttor Projetos S/C Ltda,1997.

_____. Estaqueamento para recuperação da ruptura do Canal do Galo – Memória de Cálculo. Belém, PA: Vecttor Projetos S/C Ltda,1997.

OLIVEIRA FILHO, Ubirajara Marques de. Fundações profundas – estudos. Belém, PA: Falangola, 1981.

ORTIGÃO, J.A.R. Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1995.

PIMENTA, Antonio. Solo estabilizado granulometricamente – solos lateríticos. In: PIMENTA, Antonio. MELO, Antônio Luis de; BARBOSA, Mário Arzua Alves. Curso de Pavimentação: Solo estabilizado – solos lateríticos. Argamassas asfálticas – concreto asfáltico. Associação Brasileira de Pavimentação, 1962.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM. Projeto de Saneamento para recuperação das Baixadas de Belém – Bacia do Una.v. 3, Memória justificativa. Belém, PA, 1988.

_____. Projeto de Saneamento para recuperação das Baixadas de Belém – Bacia do Una.v. 3B, Estudos geotécnicos. Belém, PA, 1988.

_____. ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO MUNICÍPIO DE BELÉM, v. 07, 2000 – Belém: Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão, 2002.

REDE ENGENHARIA EMPREENDIMENTOS E PARTICIPAÇÕES LTDA. Relatório de concepção de macrodrenagem. Belém, 1987.

SILVA, ANTONIO Rafael Leite. Estabilidade de Aterros Sobre Solos Moles Reforçados com Geossintéticos. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-030^A/96, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1996.

TERZAGHI, Karl. Mecanismo dos escorregamentos de terra. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tradução Ernesto Pichler.

TRINDADE JR., Saint-Clair Cordeiro da. Produção do espaço e uso do solo urbano em Belém. Belém: Ed. UFPA/NAEA, 1997.