

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARCELO SEFRIN NASCIMENTO PINTO

**PROJETO BÁSICO DE REVITALIZAÇÃO DE UM TRECHO DO RIO BACACHERI
COM O USO DE TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL**

CURITIBA

2019

MARCELO SEFRIN NASCIMENTO PINTO

**PROJETO BÁSICO DE REVITALIZAÇÃO DE UM TRECHO DO RIO BACACHERI
COM O USO DE TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Elvidio Gavassoni Neto.

CURITIBA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

MARCELO SEFRIN NASCIMENTO PINTO

PROJETO BÁSICO DE REVITALIZAÇÃO DE UM TRECHO DO RIO BACACHERI
COM O USO DE TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial à conclusão do Curso de Engenharia Civil do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Elvidio Gavassoni Neto

Orientador – Departamento de Construção Civil, UFPR
(substituído na banca pelo Prof. Dr. Vítor Pereira Faro)

Profa. Dra. Nayara Soares Klein

Departamento de Construção Civil, UFPR

Prof. Dr. Vítor Pereira Faro

Departamento de Construção Civil, UFPR

Prof. Dr. Ricardo Pieralisi

Departamento de Construção Civil, UFPR

Curitiba, 11 de dezembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Este Trabalho Final de Curso marca a conclusão de um projeto de Iniciação Científica iniciado em agosto de 2017, fruto da união de dois temas de grande relevância: a disciplina de Engenharia Natural e o estudo da recuperação de rios degradados. Seu desenvolvimento, todavia, só foi possível graças ao apoio e à colaboração direta de diversas pessoas. Gostaria, portanto, de deixar registrado meus sinceros agradecimentos.

Ao meu falecido pai, Jorge Luiz do Nascimento Pinto, pelo exemplo de dedicação, seriedade e honestidade. Suas lembranças me acompanham todos os dias. À minha mãe, Rogemara, pelo amor incondicional. Aos meus irmãos, André e Nadia, e à Emily Hanay, pela companhia e por todo o apoio emocional nesses últimos anos. À minha avó, Maria Thereza, pelo carinho, e aos meus tios, pelo incentivo.

Ao Prof. Dr. Elvidio Gavassoni Neto, por todo o conhecimento transmitido como tutor do grupo PET Engenharia Civil e como orientador da Iniciação Científica e deste Trabalho Final de Curso, bem como nas disciplinas ministradas na graduação, nas quais sempre preza por metodologias ativas e inovadoras de ensino-aprendizagem. Agradeço ainda pela confiança, mesmo nos momentos de maior dificuldade. À Profa. Dra. Nayara Soares Klein, ao Prof. Dr. Vítor Pereira Faro e ao Prof. Dr. Ricardo Pieralisi, por integrarem minha banca examinadora, dando sugestões de grande valia para o aprimoramento deste trabalho.

Aos colegas de Iniciação Científica, Matheus Ferreira e Gabriel Augusto, pelos esforços conjuntos para o desenvolvimento inicial deste trabalho. Aos engenheiros Lucas Zorzan e Leandro Castelani, que me apoiaram em inúmeras situações, seja fornecendo materiais para consulta, tirando eventuais dúvidas e auxiliando em levantamentos de campo.

A todos os meus amigos e amigas, em nome de Isabella Bonatto, Matheus Ferreira, Maria Clara e Otávio Wogel, que foram os meus companheiros de grupo aos longos dos cinco anos de curso. Agradeço a companhia, as risadas e a paciência. A todos os professores e professoras da UFPR, em nome da Profa. Dra. Regina Kishi, pela sua dedicação como profissional e pela iniciativa em organizar projetos de extensão universitária.

Ao Programa de Educação Tutorial (PET), por propiciar a experiência acadêmica mais diversa e gratificante que eu vivenciei na graduação. Ao PET

Engenharia Civil da UFPR e ao CESEC, por serem minha segunda casa nos meus três primeiros anos de curso. A todos os petianos e petianas que eu tive a oportunidade de conviver e de trocar experiências.

Ao Prof. Dr. Cristóvão Scapulatempo, pelo empréstimo do micro-molinete utilizado para a medição de descarga do Rio Bacacheri, e por todas as reflexões e questionamentos levantados em suas disciplinas. Aos integrantes do Grupo de Estudos em Geotecnia (GEGEO) da UFPR, Gabriel Proença, Lucas Zorzan, e Rafael de Oliveira, pelo auxílio na realização dos ensaios geotécnicos. Ao Prof. Dr. Daniel Detzel e ao Eng. Elias Wehrmeister, pela contribuição para o desenvolvimento dos estudos hidrológicos. À Angeli, que me ajudou a me organizar na etapa de finalização do trabalho.

Aos funcionários da VLB Engenharia, que me ensinaram muito sobre Hidráulica e Hidrologia. Agradeço ainda, em especial, à dona Diva, pela simpatia única.

Ao Setor de Ciências da Terra, pelo empréstimo da estação total utilizada nos levantamentos topobatimétricos. Ao Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME) da UFPR e seus laboratoristas, pelo espaço e auxílio para a execução dos ensaios geotécnicos.

À Secretaria Municipal do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Curitiba, por autorizar a realização da pesquisa, e ao Departamento de Parques e Praças, por disponibilizar a planta do levantamento topográfico do Parque General Iberê de Mattos.

Ao Programa de Iniciação Científica da UFPR, pela oportunidade de pesquisa proporcionada, e à Fundação Araucária, pelas bolsas disponibilizadas.

À Universidade Federal do Paraná, por fim, por viabilizar a realização do meu curso de Engenharia Civil e por promover ensino, pesquisa e extensão à sociedade brasileira, sendo uma instituição pública, gratuita e de qualidade.

RESUMO

Rios, em condições naturais, são sistemas em equilíbrio dinâmico. Entretanto, o crescimento urbano desordenado, associado ao descaso do poder público e da sociedade, acarreta ao meio ambiente impactos como a redução da cobertura vegetal e a impermeabilização do solo, que implicam no aumento do escoamento superficial em bacias hidrográficas. Por consequência, há a intensificação de eventos naturais extremos como enchentes e inundações. Tais acontecimentos levam, em geral, à adoção de medidas tradicionais para majorar a capacidade de descarga dos canais, mas que resultam no seu enrijecimento, como a retificação e a canalização. Frente a isso, faz-se necessária uma nova abordagem, buscando medidas que possibilitem o restabelecimento do equilíbrio dinâmico dos cursos d'água urbanos de forma natural. Nesse contexto, destacam-se as ações baseadas na revitalização de rios. Junto a isso, podem ser incorporadas intervenções de Engenharia Natural, na qual são utilizadas plantas, associadas a materiais inertes, como elemento estrutural para a proteção e a estabilização de encostas, de taludes e de corpos hídricos. Com obras de grande simplicidade, em geral, as biotécnicas proporcionam ganhos econômicos, ecológicos e estéticos em contrapartida aos métodos convencionais da Engenharia Civil. Desse modo, o objetivo deste trabalho é a elaboração de um projeto de revitalização do trecho do Rio Bacacheri no Parque General Iberê de Mattos, no município de Curitiba, com o uso de técnicas de Engenharia Natural para a estabilização de processos erosivos, fluviais e geotécnicos. Inicialmente, elaborou-se um diagnóstico prévio das condições do corpo hídrico, que foi retificado e canalizado no parque. Constatou-se que a configuração imposta ao rio não corresponde a um estado de equilíbrio dinâmico, e que a calha de concreto já se encontra danificada em diversos pontos. Essa análise, somada a um levantamento de possíveis alternativas de tratamento e dos principais aspectos que deverão ser verificados em etapas posteriores – projetos básico e executivo, respectivamente –, contemplam o projeto conceitual de intervenção. Em seguida, foram efetuados levantamentos topobatimétricos, ensaios de caracterização geotécnica e estudos hidráulicos e hidrológicos para complementar as avaliações preliminares de campo. Com base nisso, os principais resultados obtidos são a definição de um novo traçado para o trecho de estudo, com a formação de meandros e o consequente aumento da sinuosidade do canal, além do estabelecimento de técnicas de Engenharia Natural para a estabilização da configuração proposta, incluindo o dimensionamento e a estimativa de custos dos métodos de tratamento estipulados.

Palavras-chave: Bioengenharia de solos. Sistemas fluviais. Recuperação de áreas degradadas.

ABSTRACT

Rivers, under natural conditions, are systems in dynamic equilibrium. However, the disorderly urban growth, associated with the government and society neglect, causes impacts on the environment such as the reduction of vegetation cover and the intensification of soil sealing, which increases surface runoff on watersheds. As result, extreme natural events, like floods, are intensified. Such events lead normally to the adoption of traditional methods to increase the discharge capacity of channels, but which result in their hardening, such as rectification and lining. Due to this, a new approach is needed, seeking for measures that enable the restoration of dynamic equilibrium in urban rivers in a natural way. In this context, actions based on river revitalization are highlighted. In addition, Natural Engineering interventions can be incorporated, in which plants, associated with inert materials, are used as a structural element for the protection and stabilization of slopes, embankments and water bodies. With construction procedures of great simplicity, in general, these biotechniques provide economic, ecological and aesthetic gains in contrast to conventional methods of Civil Engineering. Thereby, the aim of this study is the development of a revitalization project of the Bacacheri River's stretch placed on General Iberê de Mattos Park, in the city of Curitiba, using Natural Engineering techniques for the stabilization of erosive, fluvial and geotechnical processes. Initially, a prior diagnosis was made about the watercourse conditions in the study area, where the channel is rectified. It was noted that the configuration imposed on the river does not correspond to a state of dynamic equilibrium, and that the concrete chute is already damaged at several points. This analysis, combined with a survey of possible treatment alternatives and the main aspects to be verified in later stages – basic and executive projects, respectively –, contemplate the conceptual design of intervention. Then, topobathymetric surveys, geotechnical characterization tests and hydraulic and hydrological studies were performed to complement the preliminary field evaluations. Based on this, the main results obtained are the definition of a configuration for the study stretch, with the establishment of meanders and the consequent increase of the channel sinuosity, and the selection of Natural Engineering techniques for the stabilization of the proposed channel, including their sizing and prior budgeting.

Keywords: Soil bioengineering. Fluvial systems. Recovery of degraded areas.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – RELAÇÃO DA REABILITAÇÃO DE RIOS COM A ESTRUTURA DO ECOSISTEMA E SUA FUNÇÃO	26
FIGURA 2 – PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DE TRAÇADO PARA TRECHO RETIFICADO DO RIO GRAVATAÍ, NO RIO GRANDE DO SUL	29
FIGURA 3 – CORRELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DAS PLANTAS E AS FUNÇÕES DA ENGENHARIA NATURAL	32
FIGURA 4 – BACIA DO RIO IGUAÇU NO ESTADO DO PARANÁ, COM DESTAQUE PARA AS SUB-BACIAS DO BAIXO, MÉDIO E ALTO IGUAÇU E PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA	34
FIGURA 5 – BACIAS HIDROGRÁFICAS DE CURITIBA	34
FIGURA 6 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO BACACHERI.....	38
FIGURA 7 – GEOLOGIA DA BACIA DO RIO BACACHERI.....	39
FIGURA 8 – USO DO SOLO NA BACIA DO RIO BACACHERI.....	42
FIGURA 9 – ÁREA DE DRENAGEM CORRESPONDENTE AO EXUTÓRIO DO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS	42
FIGURA 10 – MAPA DO ZONEAMENTO DO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS	44
FIGURA 11 – CALHA DANIFICADA PRÓXIMA À ENTRADA DO RIO BACACHERI NO PARQUE	45
FIGURA 12 – MANCHA ABAIXO DE TUBULAÇÕES DE DRENAGEM INDICANDO A PRESENÇA DE FERROBACTÉRIAS	46
FIGURA 13 – EVOLUÇÃO DO CANAL DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS ENTRE JANEIRO DE 2013 E OUTUBRO DE 2019	47
FIGURA 14 – PERFIL LONGITUDINAL DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS, COM DESTAQUE PARA A DECLIVIDADE MÉDIA TOTAL E POR TRECHO	47
FIGURA 15 – DIVISÃO DE TRECHOS DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS	48
FIGURA 16 – BUEIRO DUPLO CELULAR DE CONCRETO NA ENTRADA DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS	48

FIGURA 17 – TRAVESSIA AÉREA DE TUBULAÇÃO DA SANEPAR SOBRE O RIO BACACHERI	49
FIGURA 18 – VISTA DO TERCEIRO TRECHO DO RIO BACACHERI, A MONTANTE DA PONTE.....	50
FIGURA 19 – DESAGUE DO AFLUENTE NO RIO BACACHERI E SALTO FORMADO PELO DESNÍVEL ENTRE PEÇAS DA CALHA DE CONCRETO	50
FIGURA 20 – CURVA DO RIO BACACHERI VISTA DE MONTANTE	51
FIGURA 21 – SEÇÃO EXUTÓRIA DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS	51
FIGURA 22 – CINTO BASAL COM DESNÍVEL, CONFECCIONADO COM MADEIRA ROLIÇA.....	56
FIGURA 23 – CURVA DE HJÜLSTROM	57
FIGURA 24 – EXEMPLOS DE ESPIGÃO COM DIFERENTES TIPOS DE MATERIAIS.....	58
FIGURA 25 – PAREDE KRAINER DE MADEIRA SIMPLES E DUPLA	59
FIGURA 26 – ESQUEMA DE TÉCNICA DE PLANTIO EM BANQUETAS.....	60
FIGURA 27 – ESQUEMA ILUSTRATIVO DAS TÉCNICAS DE ESTEIRA VIVA, FEIXES VIVOS E ENROCAMENTO VIVO	61
FIGURA 28 – POSSÍVEIS CONFIGURAÇÕES PARA AS CANALETAS VEGETADAS	62
FIGURA 29 – LOCAIS DAS SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS REALIZADAS.....	64
FIGURA 30 – SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS REALIZADAS NO RIO BACACHERI	65
FIGURA 31 – SEÇÃO DO EXUTÓRIO DO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS	65
FIGURA 32 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DAS AMOSTRAS GEOTÉCNICAS	66
FIGURA 33 – CURVAS GRANULOMÉTRICAS DAS AMOSTRAS	69
FIGURA 34 – LOCALIZAÇÃO DO POSTO FLUVIOMÉTRICO PRADO VELHO - UCP (65011400)	71
FIGURA 35 – AJUSTE DA SÉRIE DE VAZÕES MÁXIMAS DO POSTO PRADO VELHO – UCP (65011400) À DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL	73
FIGURA 36 – CONDIÇÕES DE ESCOAMENTO DO CANAL ATUAL	78

FIGURA 37 – CONCRETO DEGRADADO NA CALHA DO RIO BACACHERI	79
FIGURA 38 – DETERMINAÇÃO DOS MÉTODOS DE ENGENHARIA NATURAL ADEQUADOS À DECLIVIDADE DO TERRENO	81
FIGURA 39 – BANQUETAS VEGETADAS EM CONSTRUÇÃO E APÓS FINALIZAÇÃO	82
FIGURA 40 – PAREDES KRAINER EM CONSTRUÇÃO E APÓS FINALIZAÇÃO ..	83
FIGURA 41 – ESTEIRAS VIVAS COM FEIXES VIVOS E COM ENROCAMENTO ..	83
FIGURA 42 – CANALETA ESCALONADA ANTES E APÓS O DESENVOLVIMENTO DA VEGETAÇÃO	84
FIGURA 43 – ESPÉCIES PREVISTAS PARA AS INTERVENÇÕES DE ENGENHARIA NATURAL	88
FIGURA 44 – GRAMA-SÃO-CARLOS (<i>AXONOPUS COMPRESSUS</i>)	88
FIGURA 45 – DECLIVIDADE DO NOVO TRAÇADO DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS	91
FIGURA 46 – CONDIÇÕES DE ESCOAMENTO DO CANAL REVITALIZADO	91
FIGURA 47 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE UM MEANDRO	94
FIGURA 48 – EXEMPLOS DE CURVAS SENO-GERADAS PARA DIFERENTES VALORES DE ω	95
FIGURA 49 – SINUOSIDADE DO TRAÇADO ORIGINAL E DO NOVO TRAÇADO.	96
FIGURA 50 – GEOMETRIA PADRÃO DAS BANQUETAS VEGETADAS	100
FIGURA 51 – SEÇÃO TRANSVERSAL DA PAREDE KRAINER DIMENSIONADA	101
FIGURA 52 – DETALHE DA LIGAÇÃO ENTRE AS BARRAS TRANSVERSAIS E LONGITUDINAIS	105
FIGURA 53 – DETALHE DA ESTEIRA VIVA EM CORTE E EM PLANTA	108
FIGURA 54 – ÁREA DE DRENAGEM DOS TRECHOS AVALIADOS PARA O DIMENSIONAMENTO	109
FIGURA 55 – SEÇÃO TRANSVERSAL DA CANALETA VEGETADA	110
FIGURA 56 – LOCALIZAÇÃO DOS TRECHOS DA CANALETA ESCALONADA E DA DESCIDA D'ÁGUA	111
FIGURA 57 – CONFIGURAÇÃO GERAL DAS CANALETAS ESCALONADAS E DESCIDAS D'ÁGUA	112

FIGURA 58 – COMPARAÇÃO ENTRE PALIÇADAS VIVAS E CANALETAS ESCALONADAS	116
FIGURA 59 – ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO DO GRAMADO.....	117

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – EXEMPLOS DE PROJETOS DE REVITALIZAÇÃO DE RIOS	27
QUADRO 2 – ZONEAMENTO DO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS	44
QUADRO 3 – RELAÇÃO DAS ESPÉCIES A SEREM UTILIZADAS NAS TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL.....	87

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – RELAÇÃO DOS DOMICÍLIOS PARTICULARES PERMANENTES E DA POPULAÇÃO NOS ANOS DE 2000 E 2010 E DAS ÁREAS DE DRENAGEM POR BACIA HIDROGRÁFICA DE CURITIBA.....	35
TABELA 2 – PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA BACIA DO RIO ATUBA	36
TABELA 3 – PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA BACIA DO RIO BACACHERI.....	40
TABELA 4 – PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA BACIA DO RIO BACACHERI ATÉ O EXUTÓRIO DO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS	43
TABELA 5 – ÂNGULOS MÁXIMOS OBSERVADOS NAS SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS	66
TABELA 6 – TEOR DE UMIDADE NATURAL E MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS DAS AMOSTRAS	67
TABELA 7 – RESULTADOS E ANÁLISE DOS ENSAIOS DE LIMITE DE PLASTICIDADE E LIQUIDEZ	68
TABELA 8 – FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DAS AMOSTRAS.....	69
TABELA 9 – TIPOS DE SOLO SEGUNDO A CLASSIFICAÇÃO SUCS	70
TABELA 10 – RESUMO DOS PARÂMETROS GEOTÉCNICOS ADOTADOS NO PROJETO.....	71
TABELA 11 – VAZÕES MÁXIMAS DIÁRIAS ANUAIS – ESTAÇÃO PRADO VELHO – UCP (65011400).....	72
TABELA 12 – PRECIPITAÇÕES ACUMULADAS MÉDIAS MENSAIS DE CURITIBA PARA O PERÍODO DE 1981 A 2010	75
TABELA 13 – COEFICIENTES DE MANNING ADOTADOS POR TIPO DE REVESTIMENTO DO CANAL	76
TABELA 14 – RESUMO DOS PARÂMETROS HIDRÁULICOS PARA A CONDIÇÃO ATUAL DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS.....	78
TABELA 15 – PROPRIEDADES DA MADEIRA <i>CORYMBIA CITRIODORA</i>	86
TABELA 16 – RESUMO DOS PARÂMETROS HIDRÁULICOS PARA A CONDIÇÃO REVITALIZADA DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS	92

TABELA 17 – ÂNGULO MÁXIMOS DAS SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS PROJETADAS.....	92
TABELA 18 – TENSÕES DE ARRASTE LIMITE PARA AS TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL	93
TABELA 19 – SINUOSIDADE E DECLIVIDADE MÉDIA DE DIFERENTES TRECHOS DO RIO BACACHERI.....	96
TABELA 20 – CARACTERIZAÇÃO DAS CANALETAS DIMENSIONADAS	109
TABELA 21 – ESPAÇAMENTO ENTRE DEGRAUS DA CANALETA ESCALONADA E DA DESCIDA D'ÁGUA.....	111
TABELA 22 – VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE HIDRÁULICA DAS CANALETAS DIMENSIONADAS E DO ATENDIMENTO ÀS VAZÕES DE PROJETO.....	113
TABELA 23 – COMPRIMENTO POR TIPO DE SEÇÃO TRANSVERSAL E POR MARGEM.....	114
TABELA 24 – RELAÇÃO DO NÚMERO DE ESTACAS DE CADA ESPÉCIE POR METRO LINEAR DAS INTERVENÇÕES DE ENGENHARIA NATURAL.....	115
TABELA 25 – BALANÇO DE MOVIMENTAÇÕES DE TERRA.....	118
TABELA 26 – CUSTOS E PREÇOS UNITÁRIOS MÉDIOS DAS TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL E DOS DISPOSITIVOS DE DRENAGEM.....	119
TABELA 27 – RESUMO DA ESTIMATIVA DE CUSTOS SINTÉTICA	120
TABELA 28 – QUANTITATIVO – MÃO DE OBRA	121
TABELA 29 – QUANTITATIVO – EQUIPAMENTOS	122
TABELA 30 – QUANTITATIVO – INSUMOS.....	123
TABELA 31 – QUANTITATIVO – MATERIAIS VEGETATIVOS.....	124
TABELA 32 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO I, MARGEM ESQUERDA	141
TABELA 33 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO I, MARGEM DIREITA.....	143
TABELA 34 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO II, MARGEM ESQUERDA.....	145
TABELA 35 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO II, MARGEM DIREITA	147

TABELA 36 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO IV, MARGEM ESQUERDA.....	149
TABELA 37 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO IV, MARGEM DIREITA.....	151
TABELA 38 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – ESTEIRA VIVA, SEÇÃO III, MARGEM ESQUERDA	153
TABELA 39 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – ESTEIRA VIVA, SEÇÃO III, MARGEM DIREITA	154
TABELA 40 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – BANQUETA VEGETADA	155
TABELA 41 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – CANALETA VEGETADA	156
TABELA 42 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – CANALETA ESCALONADA E DESCIDA D'ÁGUA.....	157
TABELA 43 – ESTIMATIVA DE CUSTOS SINTÉTICA.....	158
TABELA 44 – CURVA ABC DE SERVIÇOS	160
TABELA 45 – CURVA ABC DE INSUMOS	162

LISTA DE SÍMBOLOS

$i_{m,t}$	– declividade média total (%)
i_m	– declividade média por trecho (%)
W	– velocidade limite de transporte do sólido considerado (m/s)
g	– aceleração da gravidade (m/s ²)
f	– coeficiente de atrito entre o sólido e o leito (adimensional);
b	– dimensão do material paralela ao sentido do fluxo da água (m)
γ_1	– peso específico do sólido (N/m ³)
γ	– peso específico da água (N/m ³)
α	– ângulo de inclinação do leito (graus)
μ	– coeficiente de forma do corpo (adimensional)
D_{mont}	– distância da seção avaliada em relação à seção de entrada do Rio Bacacheri no Parque General Iberê de Mattos (m)
w	– teor de umidade natural (%)
ρ_a	– massa específica real dos grãos (g/cm ³)
LL	– limite de liquidez (%)
LP	– limite de plasticidade (%)
IP	– índice de plasticidade (%)
IC	– índice de consistência (adimensional)
φ	– ângulo de atrito do solo (graus)
c	– coesão do solo (kPa)
K	– índice de erodibilidade do solo (t.h.MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)
$Q_{1,5}$	– vazão com tempo de recorrência de 1,5 ano (m ³ /s)
Q_{25}	– vazão com tempo de recorrência de 25 anos (m ³ /s)
Q_p	– vazão de projeto (m ³ /s)
$Q_{p1,5}$	– vazão de projeto com tempo de recorrência de 1,5 ano (m ³ /s)
Q_{p25}	– vazão de projeto com tempo de recorrência de 25 anos (m ³ /s)
$Q_{máx,inst}$	– vazão instantânea maximizada pelo critério de Fuller (m ³ /s)
$Q_{máx}$	– vazão máxima para um determinado tempo de recorrência (m ³ /s)
A_d	– área de drenagem da bacia (km ²)
C_e	– coeficiente de escoamento superficial (adimensional)
i_c	– intensidade da chuva (mm/h)

T_r	– tempo de recorrência (anos)
t_d	– tempo de duração da chuva (min)
t_c	– tempo de concentração da bacia (min)
L_c	– comprimento do canal principal da bacia (km)
H	– desnível topográfico da bacia (m)
M_i	– precipitação acumulada média mensal do mês i (mm)
V	– velocidade do escoamento (m/s)
A_m	– área molhada da seção transversal (m ²)
n_e	– coeficiente de Manning equivalente da seção (s.m ^{-1/3})
R_h	– raio hidráulico da seção transversal (m)
P_m	– perímetro molhado da seção transversal (m)
I_o	– declividade do fundo do canal (m/m)
n_i	– coeficiente de Manning do material de revestimento da subdivisão i da seção do canal (s.m ^{-1/3})
P_i	– perímetro molhado da subdivisão i da seção do canal (m)
Fr	– número de Froude (adimensional)
h	– altura hidráulica da seção (m)
L_e	– largura do escoamento (m)
τ_o	– tensão tangencial média na seção (N/m ²)
τ_l	– tensão tangencial no leito do canal (N/m ²)
y	– profundidade do escoamento (m)
τ_m	– tensão tangencial nas margens do canal (N/m ²)
ρ_{bas}	– densidade básica da madeira (kg/m ³)
$f_{c0,k}$	– resistência característica à compressão paralela às fibras da madeira (MPa)
γ_t	– peso específico do solo de enchimento (kN/m ³)
f_{yk}	– tensão de escoamento característica do aço (MPa)
i_e	– declividade de equilíbrio (m/m)
v	– relação entre a velocidade média da água na seção e a velocidade no fundo (adimensional)
u_l	– velocidade limite pela qual se inicia a erosão do leito (m/s)
H_s	– altura da soleira (m)
L_s	– comprimento do trecho a ser regularizado (m)

n_s	– número de soleiras necessárias para a regularização da declividade (adimensional)
ϕ	– ângulo de desvio do meandro em relação à direção média de jusante para uma determinada posição s (radianos)
ω	– ângulo máximo de desvio do meandro em relação à direção média de jusante (radianos)
s	– posição do ângulo ϕ em relação ao comprimento total do meandro (m)
M	– comprimento total do meandro (m)
k	– sinuosidade do meandro (m/m)
R_m	– raio de curvatura do meandro (m)
λ	– comprimento de onda (m)
A	– perda de solo computada por unidade de área ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$)
R	– índice de erosividade ($MJ.mm.h^{-1}.ha^{-1}.ano^{-1}$)
LS	– índice topográfico (adimensional)
C	– fator de uso e manejo do solo (adimensional)
P	– fator de práticas conservacionistas (adimensional)
R_i	– índice de erosividade do mês i ($MJ.mm.h^{-1}.ha^{-1}.ano^{-1}$)
T	– tolerância limite para a perda de solo ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$)
L	– comprimento do declive (m)
S	– declividade média do declive (%)
K_a	– coeficiente de empuxo ativo (adimensional)
β	– ângulo de inclinação do muro em relação à horizontal (graus)
δ	– ângulo de atrito entre o muro e o solo (graus)
i_t	– ângulo de inclinação do talude superior em relação à horizontal (graus)
E_a	– empuxo ativo do solo (kN/m)
h_m	– altura total do muro (m)
q	– sobrecarga uniformemente distribuída (kN/m^2)
h_0	– altura equivalente de solo (m)
E_s	– empuxo gerado pela sobrecarga (kN/m)
FS_e	– fator de segurança ao escorregamento (adimensional)
μ_a	– coeficiente de atrito entre o solo e o muro (adimensional)
R_y	– resultante das forças verticais (kN/m)
B	– largura na base da parede Krainer (m)

R_x	– resultante das forças horizontais (kN/m)
FS_t	– fator de segurança ao tombamento (adimensional)
M_e	– momento estabilizante (kN.m/m)
M_t	– momento de tombamento (kN.m/m)
P_p	– peso próprio da parede Krainer (kN/m)
e_p	– excentricidade do peso próprio da parede Krainer (m)
e_a	– excentricidade do empuxo ativo do solo (m)
e_s	– excentricidade do empuxo gerado pela sobrecarga (m)
σ_{md}	– tensão de compressão normal às fibras da madeira (MPa)
M_d	– momento fletor máximo de cálculo (kN.m)
W_y	– módulo resistente (m ³)
f_{md}	– tensão resistente de cálculo à compressão (MPa)
$P_{m\acute{a}x}$	– pressão atuante no tronco da base da parede Krainer (kN/m)
L_f	– comprimento da peça submetida à flexão (m)
D	– diâmetro da madeira roliça (m)
k_{mod}	– coeficiente de modificação (adimensional)
$k_{mod,1}$	– coeficiente de modificação parcial que avalia a classe de carregamento e o tipo de material empregado (adimensional)
$k_{mod,2}$	– coeficiente de modificação parcial que avalia a classe de umidade e o tipo de material empregado (adimensional)
$k_{mod,3}$	– coeficiente de modificação parcial que avalia a categoria da madeira (adimensional)
γ_{wc}	– coeficiente de ponderação para estados limites últimos decorrentes de tensões de compressão paralela às fibras da madeira
R_p	– reação por pino (kN)
n_p	– número de pinos por ligação (adimensional)
t	– comprimento do conector (m)
d	– diâmetro do conector (m)
f_{yd}	– tensão de escoamento de cálculo do aço (MPa)
γ_s	– coeficiente de ponderação da resistência do aço (adimensional)
f_{ed}	– tensão resistente de cálculo ao embutimento paralelo às fibras da madeira (MPa)
R_d	– resistência de cálculo da ligação (kN)

Q_c	– capacidade hidráulica da parcela escoando sob a superfície da canaleta (m ³ /s)
K_h	– coeficiente de condutividade hidráulica do material drenante (m/s)
A_c	– área de material drenante na seção transversal da canaleta vegetada (m ²)
I	– gradiente hidráulico da canaleta (m/m)
Q_e	– capacidade hidráulica da parcela escoando superficialmente na canaleta (m ³ /s)
E	– espaçamento entre degraus da canaleta escalonada ou descida d'água (m)
H_d	– altura dos degraus (m)
α_n	– declividade natural do terreno (m/m)
α_d	– declividade desejada para o nível de água em cada trecho escalonado (m/m)
Q_t	– capacidade hidráulica total da canaleta (m ³ /s)
Q_d	– capacidade hidráulica da descida d'água (m ³ /s)
L_d	– largura média da descida d'água (m)
H_p	– altura média das paredes laterais da descida d'água (m)
φ_1	– fator de empolamento (adimensional)
V_{c_s}	– volume de corte solto (m ³)
V_{c_n}	– volume de corte no estado natural (m ³)
φ_2	– fator de redução volumétrica (adimensional)
V_{a_s}	– volume de aterro solto (m ³)
V_{a_c}	– volume de aterro compactado (m ³)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
1.1	OBJETIVO	23
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2	REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1	REVITALIZAÇÃO DE RIOS URBANOS	25
2.2	ENGENHARIA NATURAL.....	29
2.3	A REDE HIDROGRÁFICA DE CURITIBA.....	33
2.3.1	Bacia do Rio Atuba	36
3	PROJETO CONCEITUAL	38
3.1	A BACIA DO RIO BACACHERI	38
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DE ESTUDO	42
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS.....	43
3.4	AVALIAÇÃO INICIAL DAS CONDIÇÕES DO RIO BACACHERI NO LOCAL DE ESTUDO	45
3.5	IDENTIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS DO PROJETO	51
3.6	IDENTIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO.....	52
3.6.1	Abordagens metodológicas para a restauração de canais	53
3.6.2	Alternativas para o novo traçado e para as técnicas de estabilização	55
3.7	PRESCRIÇÃO DA AQUISIÇÃO DE INFORMAÇÕES ADICIONAIS AO PROJETO	62
4	PROJETO BÁSICO	64
4.1	PARÂMETROS DE PROJETO	64
4.1.1	Levantamento topobatimétrico	64
4.1.2	Parâmetros geotécnicos	66
4.1.3	Parâmetros hidrológicos	71
4.1.4	Parâmetros hidráulicos	75
4.2	ESCOLHA DA ABORDAGEM DE PROJETO	80
4.3	MATERIAIS.....	85
4.3.1	Materiais inertes.....	85
4.3.2	Materiais vegetativos	87
4.4	DIMENSIONAMENTO DAS INTERVENÇÕES.....	89
4.4.1	Novo traçado.....	89

4.4.2 Enrocamento.....	96
4.4.3 Banquetas vegetadas	97
4.4.4 Paredes Krainer	100
4.4.5 Esteiras vivas.....	107
4.4.6 Sistema de drenagem	108
4.5 QUANTITATIVO DE MATERIAIS E ESTIMATIVA DE CUSTOS.....	114
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	125
REFERÊNCIAS	128
APÊNDICE 1 – COMPOSIÇÕES DE CUSTO UNITÁRIO.....	141
APÊNDICE 2 – ESTIMATIVA DE CUSTOS SINTÉTICA	158
APÊNDICE 3 – CURVAS ABC.....	160
APÊNDICE 4 – PLANTA BAIXA, CORTES E DETALHAMENTO DAS INTERVENÇÕES PROPOSTAS	164

1 INTRODUÇÃO

A urbanização se deu, desde os primórdios da humanidade, nas proximidades de corpos hídricos (MELLO, 2008). Todavia, a ocupação das cidades sempre esteve associada a impactos sobre os sistemas fluviais, que foram agravados com a Revolução Industrial, iniciada no século XVIII, e o grande inchaço populacional ocorrido nesses espaços (BAPTISTA; CARDOSO, 2013). No Brasil, a intensificação do crescimento urbano se deu a partir da metade do século XX, em função do êxodo rural decorrente da mecanização agrícola e da melhoria das condições de vida nas cidades (PLÁ, 2013). Na década de 70, mais da metade da população já era urbana, sendo este valor superior aos 80% em 2000.

O processo de explosão demográfica foi acompanhado da desvalorização e deterioração das áreas no entorno dos rios, sendo essas ocupadas por populações de baixa renda (ALMEIDA, 2010). O adensamento desordenado dessas regiões está diretamente associado à diminuição da cobertura vegetal, à impermeabilização do solo e a movimentações de terra. Em consequência, ocorre a redução da infiltração das águas pluviais e o aumento do escoamento superficial, da erosão e do assoreamento de canais nas bacias hidrográficas (TUCCI, 1999; CARDOSO, 2017). Assim, eventos naturais extremos, como enchentes e inundações, são cada vez mais intensos e frequentes (SELLES et al., 2001), gerando perdas econômicas e sociais. Somado a isso, a degradação dos recursos hídricos caracteriza um sério problema de saúde pública (MORAES; JORDÃO, 2002). Em certos casos, conforme Selles et al. (2001), os cursos d'água se tornam apenas um canal para o descarte de efluentes e lixo, deixando de exercer suas múltiplas funções, como propiciar a vida aquática, e impedindo seu uso para a promoção do lazer.

Tendo em vista o cenário descrito, a aplicação de medidas para mitigar os impactos de enchentes e da contaminação de corpos hídricos tornou-se imprescindível. No contexto da Revolução Industrial, as ações tomadas foram fundamentadas na teoria dos miasmas, desenvolvida no início do século XIX, que associava a ocorrência de doenças às características do meio, como clima, relevo e qualidade do ar e da água (MÜLLER, 2002). Essa intervenção, dita higienista, representou uma modificação significativa na relação entre cidades e corpos hídricos, conforme apontado por Baptista e Cardoso (2013), já que buscava evitar a estagnação de águas contaminadas, afastando-as dos centros urbanos. Dessa forma, foram

adotadas medidas como a retificação e canalização de cursos d'água, a construção de valas e de galerias subterrâneas e a drenagem de áreas pantanosas (MÜLLER, 2002). Todavia, essa abordagem tem se mostrado ineficaz, pois, em geral, impede que os rios adquiram novas configurações de equilíbrio frente aos fenômenos naturais extremos, uma vez que os sistemas fluviais são enrijecidos e as causas dos processos de instabilidade, como o transporte de sedimentos e a impermeabilização das bacias hidrográficas, não são corretamente tratadas.

Como resultado da adoção de medidas higienistas, tem-se a redução da diversidade de habitats para organismos aquáticos, em vista da uniformização da seção transversal do canal e do enrijecimento das margens (FEDERAL INTERAGENCY STREAM RESTORATION WORKING GROUP (FISRWG), 2001), além da diminuição da lâmina d'água. Ademais, há o aumento da velocidade do escoamento e a conseqüente diminuição do tempo de concentração das bacias – intervalo necessário para que toda a área a montante de um determinado trecho passe a contribuir para a vazão do rio. Com isso, as cheias ocorrem mais rapidamente e com mais intensidade, principalmente a jusante de cursos retificados e que recebem águas pluviais provenientes da drenagem urbana.

Para remediar tal situação, faz-se necessária a adoção de ações que contribuam na preservação ou restabelecimento do equilíbrio dinâmico em rios urbanos. Adicionalmente, podem ser incorporadas intervenções de Engenharia Natural (FISRWG, 2001; SELLES et al., 2001), ou Bioengenharia de Solos, que consiste em utilizar plantas (elementos vivos) na constituição de componentes estruturais para estabilização de estruturas geotécnicas (LEWIS, 2000). Essas técnicas são empregadas, conforme Sauli, Cornellini e Preti (2006), para proteção contra a erosão superficial (JONES; HANNA, 2004; LI; ZHANG; ZHANG, 2006; BEZERRA, 2011; DHITAL; KAYASTHA; SHI, 2012) e para obras de consolidação de taludes em geral (FLORINETH; RAUCH; STAFFLER, 2002; BIFULCO; GIUGLIANO; REGO, 2014; WU et al., 2014). Os materiais empregados nestes métodos possibilitam uma melhor assimilação ao meio, sendo, portanto, menos impactantes ao ambiente (COSTA, 2011).

No município de Curitiba, o cenário de ocupação urbana descontrolada e os impactos nos cursos d'água advindos dessa ocupação não foram distintos, de modo que muitos rios da cidade foram sujeitos a intervenções higienistas. Dentre esses, o Rio Bacacheri, cujo leito encontra-se retificado e/ou canalizado em grande parte de

sua extensão (RIBEIRO, 2007). Ademais, Sauer (2008) constatou a presença de diversos aspectos prejudiciais ao longo do Bacacheri, como o lançamento de efluentes e de resíduos, a ocupação irregular das margens e a ocorrência de assoreamento em alguns trechos do canal.

Sendo assim, este trabalho aborda a reabilitação de rios urbanos com o uso de técnicas de Engenharia Natural para a estabilização das margens e taludes fluviais. Para isso, realizou-se um estudo de caso em um trecho do Rio Bacacheri, no município de Curitiba, inserido no Parque General Iberê de Mattos. Tendo em vista o escopo deste projeto, pode-se caracterizá-lo como uma ação local de revitalização, já que a renaturalização do curso d'água envolveria, necessariamente, a adoção de medidas de maior complexidade, que contemplassem toda a bacia hidrográfica. Não obstante, ressalta-se o papel potencial desta intervenção como um estímulo inicial à restauração de rios urbanos.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é a elaboração de um projeto básico de revitalização do trecho do Rio Bacacheri no Parque General Iberê de Mattos, no município de Curitiba, com o uso de técnicas de Engenharia Natural para a estabilização de processos erosivos, fluviais e geotécnicos.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado segundo as duas etapas iniciais definidas por Maffra (2014) para a elaboração de um projeto de Engenharia Natural: projeto conceitual e projeto básico. Antes disso, todavia, faz-se uma revisão de literatura, no capítulo 2, sobre tópicos de revitalização de rios urbanos e de Engenharia Natural. Além disso, caracteriza-se a bacia do Rio Bacacheri.

No terceiro capítulo, apresenta-se o projeto conceitual de revitalização. São indicadas primeiramente as características da bacia de estudo e do rio no trecho do parque, com base nas visitas realizadas in loco e nas informações obtidas a partir de documentos. Em seguida, são definidos os objetos do projeto, identificam-se as alternativas de tratamento e faz-se uma prescrição das informações complementares necessárias às próximas etapas.

Na continuidade, o quarto capítulo aborda a etapa de projeto básico. São apresentados, portanto, os resultados dos ensaios efetuados, como os de caracterização geotécnica e os levantamentos topobatimétricos. Posteriormente são escolhidas e dimensionadas as técnicas de Engenharia Natural, finalizando-se com um orçamento prévio das obras.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo expõe uma revisão de literatura abrangendo tópicos e exemplos de aplicação da revitalização de rios urbanos e da Engenharia Natural. Faz-se, ainda, uma caracterização das bacias e sub-bacias hidrográficas que compreendem o Rio Bacacheri.

2.1 REVITALIZAÇÃO DE RIOS URBANOS

O estudo da recuperação de ambientes fluviais, em especial de rios, tem sido tema de diversos estudos (FISRWG, 2001; SELLES et al., 2001; BINDER, 2002; PALMER et al., 2005, WOHL et al., 2005; PEREIRA, 2008; BRENNER, 2016; EVANGELISTA, 2016; RIGOTTI et al., 2017). Muitos desses, por sua vez, são direcionados ao contexto urbano (FINDLAY; TAYLOR, 2006; GORSKI, 2008; AFONSO, 2011; COSTA, 2011; CARDOSO, 2012; SOUZA, 2014), no qual os impactos ao meio são mais acentuados, em geral, e as variáveis envolvidas de maior complexidade. Desse modo, verificam-se diversos tipos de abordagem já propostos para a recuperação de sistemas fluviais degradados, sem que haja, contudo, consenso quanto à terminologia e aos objetivos de cada um (AFONSO, 2011; COSTA, 2011; CARDOSO, 2012; RIGOTTI et al., 2017).

Dentre tais abordagens, destaca-se o conceito de “renaturalização”, como proposto por Binder (2002), que visa à recuperação dos rios, aproximando-os ao máximo da biota e morfologia natural, além da preservação das áreas de inundação, impedindo usos que comprometam tal função. Tal concepção assemelha-se ao uso proposto pelo grupo FISRWG (2001) para o termo “*restoration*”, ou “restauração”, que explicita ainda a ideia de dinamicidade natural do ecossistema, não sendo possível recriá-lo de forma idêntica.

Ressalta-se também a definição para “*rehabilitation*”, ou “reabilitação”, na qual não se busca, necessariamente, a reconstituição de um padrão prévio à degradação no corpo hídrico (FISRWG, 2001). De modo semelhante, Baptista e Cardoso (2013) empregam o termo reabilitação para os casos em que:

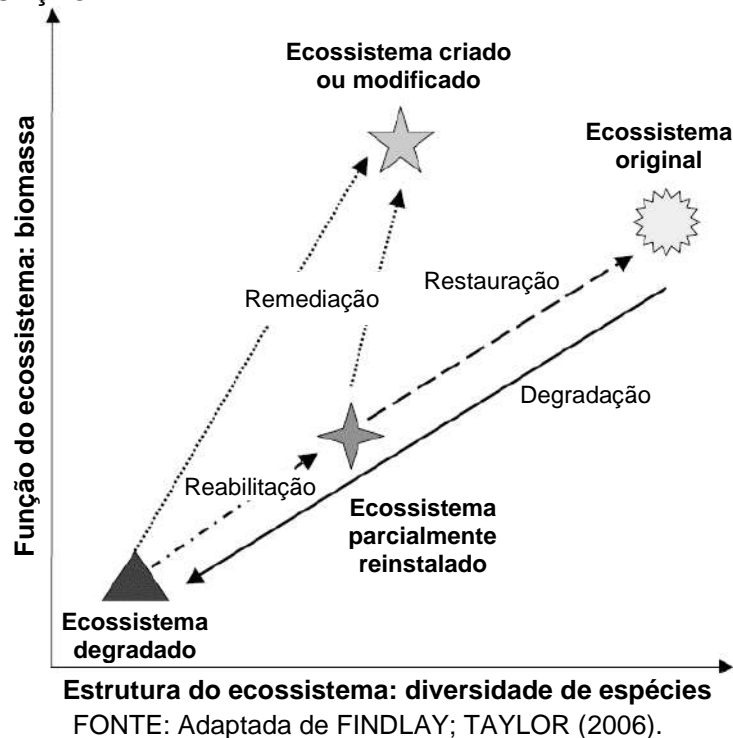
[...] o curso de água deixa de ser considerado sistema e passa a ser encarado por seus elementos ou partes, o que permite apenas o restabelecimento parcial da sua estrutura e/ou comportamento. Nesse caso, a condição de pré-

distúrbio nem sempre é considerada como referência e, portanto, o sistema fluvial pode assumir novas feições e dinâmicas em relação a esse cenário. (BAPTISTA; CARDOSO, 2013, p. 151).

Pode-se fazer um paralelo da definição desses autores com a concepção de “revitalização” sugerida por Costa (2011), que a emprega para descrever o papel exercido por parques fluviais na reabilitação de rios e córregos urbanos, e por Rigotti et al. (2017), que a aplica, de modo geral, para o restabelecimento de cursos d’água em cidades.

Há, também, conceitos como a remediação, em que se assume que a reabilitação não é mais viável, por conta de alterações irreversíveis que a bacia já tenha sofrido; ainda assim, busca-se garantir condições para a melhoria do sistema (RUTHERFURD; JERIE; MARSH, 2000). De modo geral, a Figura 1 ilustra os conceitos de restauração, remediação e reabilitação, conforme Findlay e Taylor (2006).

FIGURA 1 – RELAÇÃO DA REABILITAÇÃO DE RIOS COM A ESTRUTURA DO ECOSISTEMA E SUA FUNÇÃO



Em dissertação referente à análise de programas de revitalização de rios urbanos na bacia hidrográfica do Rio Belém, em Curitiba, Lara (2014) apresenta exemplos de ações tomadas em diversos países para a recuperação de corpos hídricos, como exemplificado no Quadro 1. A partir da análise de seis planos de

recuperação de cursos d'água urbanos, Gorski (2008, p. 234) avalia que tais processos não apenas são viáveis, como resultam na “[...] oportunidade de se reinventar a cidade, ou alguns de seus setores significativos, estabelecendo uma nova dinâmica transformadora de ordem ambiental, cultural, social e econômica.”

QUADRO 1 – EXEMPLOS DE PROJETOS DE REVITALIZAÇÃO DE RIOS

Rio (local)	Situação	Ação tomada
Don (entre Toronto e Ontário, no Canadá)	A região da bacia tem sido ocupada a centenas de anos. Moram cerca de 1,2 milhão de habitantes no seu entorno, sendo que um quinto da bacia é composto por áreas industriais e comerciais. A retirada da vegetação natural, aliada ao crescimento da área urbana e da agricultura, acarretou degradação ambiental.	Criação do Programa Beyond Forty Steps em 2009. Os principais objetivos foram a preservação do que estava saudável, a recuperação das áreas afetadas e o incentivo a parceiros do setor privado e público para contribuir na melhoria da região. As ações foram tomadas em três focos: cuidado com a água, com a natureza e com a comunidade.
Reno (atravessa os seguintes países: Alemanha, Suíça, França, Holanda, Áustria, Luxemburgo, Itália, Liechtenstein e Bélgica)	O comprimento do rio é de aproximadamente 1.300 km, abastecendo cerca de 30 milhões de pessoas. É, portanto, um dos rios mais importantes da Europa. Devido ao crescimento econômico e populacional, apresentou índices elevados de poluentes.	Em 1987 foi iniciado o plano de revitalização das águas do rio Reno. As metas do programa incluíam o retorno dos salmões ao rio no ano de 2000 e a diminuição em até 20% do lançamento de poluentes mais tóxicos até 1995. No total, foram aplicados mais de 15 bilhões de dólares na construção de estações de monitoramento e de tratamento de esgoto na bacia do rio.
Cheonggyecheon (Seul, capital da Coreia do Sul)	O rio possui extensão de 13,7 km, situando-se numa região de 10,3 milhões de habitantes. Em decorrência do acelerado crescimento econômico do país, Seul apresentava problemas como tráfego intenso, poluição ambiental e degradação das partes mais antigas da capital.	O projeto incluiu a demolição do viaduto sobre o rio canalizado e a restauração da qualidade da água. Para isso, o governo contou com o apoio da população. As metas do programa visaram ainda à criação de um ambiente urbano agradável e a recuperação da cultura local. O custo total foi de aproximadamente 280 milhões de dólares.

FONTE: LARA (2014).

Dentre as medidas comumente recomendadas para a recuperação de cursos d'água, destaca-se a criação de parques públicos (ALMEIDA, 2010) e, mais especificamente, de parques lineares (GORSKI, 2008; COSTA, 2011), que é a denominação dada “[...] às áreas verdes lindeiras aos rios ou a outras estruturas lineares nos espaços urbanos, ou corredores ecológicos, quando no âmbito regional e fora de malhas urbanas”. (TRAVASSOS, 2010, p. 52). Tais espaços possibilitam o uso dos sistemas fluviais para fins ecológicos, paisagísticos, recreativos, educativos e de contenção de cheias.

Todavia, Costa (2011) ressalta que o potencial de restauração ecológica de um parque é limitado, já que seu estabelecimento não ocorre de forma natural, por sucessão ecológica. Ademais, o autor enfatiza a necessidade de manutenção periódica e da estabilização espaço-temporal do canal nesses ambientes – não se permite sua livre migração –, que se contrapõem à característica dinâmica de cursos naturais.

Outra medida complementar refere-se à utilização de obras de Engenharia Natural (FISRWG, 2001; SELLES et al., 2001; SILVA; PIRES, 2007; COSTA, 2011). Os estudos teóricos (GAMEIRO, 2010; BRENNER, 2016; SCHMEIER, 2012; BRAUN, 2018; CASTELANI, 2018) e aplicações já realizadas (GOMES, 2005; LI; ZHANG; ZHANG, 2006; MASTELLA, 2012, DURLO; SUTILI, 2014; KRYMER; ROBERT, 2014) indicam a viabilidade técnica e ecológica desse uso. Na seção seguinte, os conceitos, limites e aplicação da Engenharia Natural são abordados, tendo em mente a sua aplicação na revitalização de rios urbanos.

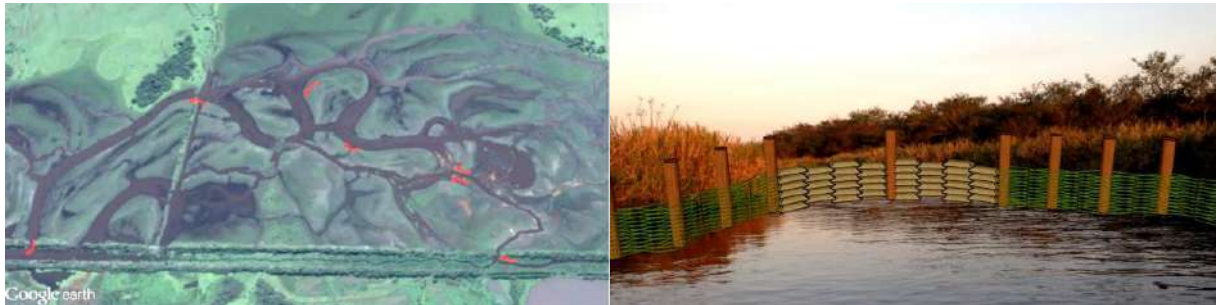
Dos referenciais apontados, citam-se, em específico, os trabalhos de Brenner (2016) e de Castelani (2018). No primeiro caso, o foco de estudo foi um trecho do Rio Gravataí localizado na Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande, Rio Grande do Sul, retificado na década de 1960 para aumentar as áreas de cultivo de arroz na região. As consequências dessa obra foram o aumento da recorrência de vazões extremas, tanto máximas quanto mínimas, e a intensificação do processo erosivo na região.

A solução proposta por Brenner (2016) foi a retomada do traçado meândrico do curso d'água, aproveitando um dos braços do rio ainda ativos (Figura 2), de modo a restabelecer a bacia de inundação e a diminuir a velocidade do escoamento e seu potencial erosivo. Para tanto, foram definidas técnicas de Engenharia Natural com o objetivo de possibilitar o desvio das águas do canal retificado para o meandro, incluindo a construção de uma trança-viva com sacas de areia e de paliçadas vivas, que fazem uso de troncos de madeira dispostos horizontalmente para conter o escoamento ou sedimentos (BRENNER, 2016). Para o controle da erosão, utilizou-se enrocamento vegetado.

FIGURA 2 – PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DE TRAÇADO PARA TRECHO RETIFICADO DO RIO GRAVATAÍ, NO RIO GRANDE DO SUL

Canal retificado do Rio Gravataí e meandro identificado com potencial de renaturalização

Trança-viva com sacas de areia para o redirecionamento do fluxo ao meandro



FONTE: BRENNER (2016).

O estudo de Castelani (2018), por sua vez, contempla a recuperação das margens do lago formado pelas águas do Rio Belém no Parque São Lourenço, em Curitiba. Com base nos problemas identificados, como a ocorrência de deslizamentos de solo, erosão das margens do corpo hídrico e a drenagem deficitária do solo, o autor estabeleceu, a nível de projeto executivo, o uso de técnicas de Engenharia Natural para a estabilização do local. Além de apresentar a mesma metodologia de projeto seguida por este trabalho, proposta por Maffra (2014), destaca-se ainda as similaridades em relação às características das bacias avaliadas, localizadas no mesmo município e em áreas de uso intensivo do solo, e quanto ao tipo do local de estudo, em parques urbanos públicos.

2.2 ENGENHARIA NATURAL

A Engenharia Natural, também conhecida como Bioengenharia de Solos, é um campo da Engenharia Civil na qual são utilizadas plantas, associadas a materiais inertes, como elemento estrutural para a proteção e estabilização de encostas, de taludes e de margens de corpos hídricos (SCHIECHTL; STERN, 1992). Com obras de grande simplicidade, em geral, as biotécnicas proporcionam ganhos econômicos, ecológicos e estéticos em contrapartida aos métodos convencionais (DURLO; SUTILI, 2014). Salienta-se o menor impacto gerado durante a fase construtiva, por se fazer menos necessário o uso de equipamentos de grande porte, sendo também uma alternativa para locais em que não se viabiliza a utilização deste tipo de maquinário (LEWIS, 2000).

Segundo a Federação Europeia de Engenharia Natural (EFIB, 2015, p. 74), esses métodos são aplicáveis à proteção e estabilização de “[...] taludes, encostas, margens de linhas e planos de água, faixas marginais de infraestruturas, diques, represas, aterros, zonas degradadas por explorações mineiras assim como zonas enquadrantes de infraestruturas”, bem como, dentre outros itens, à revitalização de rios degradados, foco deste trabalho. Nesse contexto, notabiliza-se o trabalho de Durlo e Sutili (2014), que trata especificamente sobre o manejo de cursos de água sob a ótica da Bioengenharia de Solos, abrangendo conceitos de Hidráulica, Hidrologia, Geotecnia e Botânica. Quanto aos possíveis usos das técnicas, ainda, Sousa (2015) destaca que a natureza do problema a ser tratado pode ser classificada como distúrbio decorrente de erosão superficial, de instabilidade hidráulica ou de instabilidade geotécnica, independentemente do campo de aplicação.

Prioriza-se, na Engenharia Natural, a adoção de técnicas com nível mínimo de energia, suficiente para a remediação necessária, considerando-se ainda a não intervenção, de modo a evitar erros técnicos ou deontológicos – por falta ou por excesso de ação, respectivamente – e a minorar os impactos gerados (SAULI; CORNELINI; PRETI, 2006). Complementando essa ideia, Sutili e Gavassoni (2013) definem os seguintes princípios orientadores à disciplina:

- 1) uso de vegetação como elementos estruturais vivos;
- 2) uso de materiais de construção locais;
- 3) sinergia entre materiais vivos e inertes;
- 4) mínima modificação e impacto.

O maior atendimento dessas orientações, segundo os autores, favorece com que as intervenções proporcionem uma configuração de equilíbrio dinâmico ao sistema em que são aplicadas. Junto a isso, a capacidade de autorregeneração das plantas contribui para que estas se adaptem às alterações do meio (MORGAN; RICKSON, 1995). Tal estabilização dinâmica é um dos requisitos mais importantes na revitalização de um curso de água, que é um sistema eminentemente dinâmico.

Ressalta-se, entretanto, que há fatores limitantes em relação ao uso da Engenharia Natural, principalmente pelo seu caráter ainda excessivamente artesanal e descritivo, com poucos métodos analíticos de dimensionamento (SUTILI; GAVASSONI, 2013). Além disso, o estabelecimento e desenvolvimento da vegetação estão diretamente relacionados às condições ambientais específicas de cada local de

estudo e às espécies utilizadas (MORGAN; RICKSON, 1995; EFIB, 2015). Ademais, a complexidade do material vivo traz incertezas quanto à resposta das plantas ao meio, dificultando que se compreenda a dimensão do desempenho estrutural exercido por elas e, portanto, limitando sua adoção por engenheiros nas metodologias de projeto (SUTILI; GAVASSONI, 2013).

Diante desse contexto, a otimização de um projeto de Engenharia Natural demanda que se considerem os diversos requisitos envolvidos, desde as características do ambiente e do problema de estudo, até o papel da vegetação e suas propriedades de interesse, além das particularidades das técnicas recomendadas pela literatura. Desse modo, deve-se avaliar os fatores edafoclimáticos¹ (SOUSA, 2015), como temperatura, umidade, quantidade de radiação solar e aspectos físico-químicos do solo, que podem inviabilizar o uso de determinadas espécies (DURLO; SUTILI, 2014), junto às demais especificidades do local, incluindo a declividade do terreno (FISRWG, 2001).

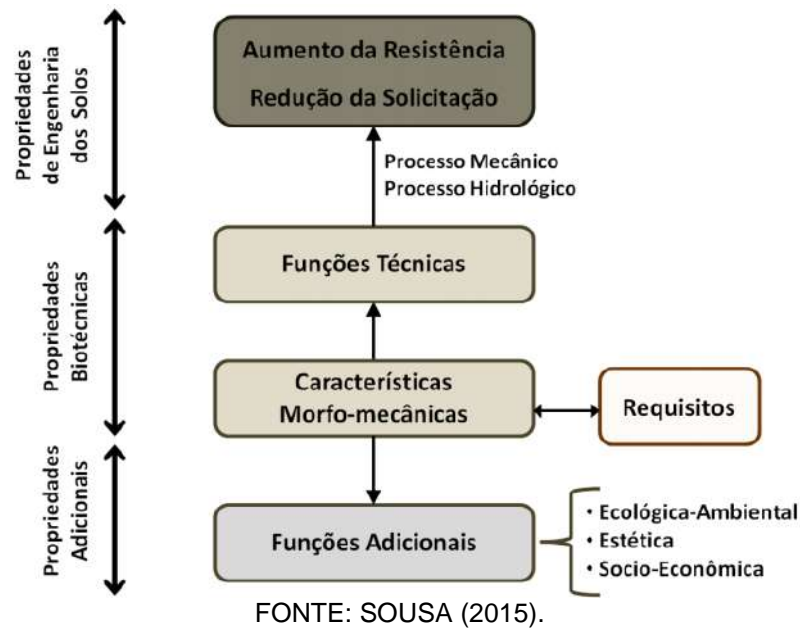
A ação das plantas sobre o solo se dá por efeitos hidrológicos e mecânicos (COPPIN; RICHARDS, 1990; DURLO; SUTILI, 2014; SOUSA, 2015). O primeiro caso abrange a interceptação de águas pluviais, a redução do escoamento superficial, o aumento da permeabilidade e da infiltração e a proteção contra o impacto direto das gotas de chuva. Já as ações mecânicas, por sua vez, incluem a geração de sobrepeso, a tendência de arrancamento pelo momento fletor decorrente da ação do vento, o incremento da competência e da ancoragem do solo e a diminuição do desgaste causado pelo trânsito de pessoas, animais e máquinas. Tais efeitos podem ser tanto benéficos como prejudiciais, dependendo de cada circunstância (DURLO; SUTILI, 2014), sendo necessária sua avaliação com critério no projeto de intervenções de Engenharia Natural.

Nesse sentido, o potencial de uso da vegetação e sua interação com o solo são mais bem compreendidos pelo estudo das propriedades biotécnicas das plantas, que correspondem às suas características morfomecânicas que podem influir benéficamente sobre os requisitos da intervenção (SUTILI; GAVASSONI, 2013). Sousa (2015) indica que esse efeito positivo se dá por processos mecânicos e

¹ Conforme Ormond (2006), o termo edafoclimático é utilizado para descrever características ou estados de solos relacionados às condições climáticas ou meteorológicas.

hidrológicos, e que estes proporcionam o aumento da resistência do sistema ou a diminuição das solicitações atuantes. Há, também, conforme a autora, outras propriedades que ocorrem simultaneamente e que exercem funções adicionais de relevância para a Bioengenharia de Solos, referentes a aspectos socioeconômicos, estéticos e ecológicos. A correlação existente entre as propriedades das plantas e suas funções dentro da Engenharia Natural está esquematizada na Figura 3.

FIGURA 3 – CORRELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DAS PLANTAS E AS FUNÇÕES DA ENGENHARIA NATURAL



Quanto às técnicas de Engenharia Natural, Schiechl² (1973 apud SCHIECHTL; STERN, 1992) estabelece a seguinte classificação:

- técnicas de proteção do solo, em que se efetua o seu revestimento, minimizando a ação da erosão superficial, como, por exemplo, o plantio de gramas em placa e o uso de esteiras vivas;
- técnicas de estabilização do terreno, que buscam estabilizar encostas e taludes com a ação de raízes, da diminuição da poropressão e da melhoria da drenagem, como banquetas vegetadas e feixes vivos;
- técnicas de construção combinada, nas quais se utilizam plantas associadas a materiais inertes, aumentando a eficiência da intervenção e seu tempo de

² SCHIECHTL, H. M. **Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau**. Munique: G.D.W. Callwey, 1973.

vida esperado, como paredes Krainer, grades vivas e enrocamentos vegetados;

- d) técnicas de construção suplementares, que envolvem procedimentos de plantio de modo geral, favorecendo a transição entre a fase de construção e a conclusão do projeto.

De forma semelhante, Sousa (2019) considera a ação em profundidade para a categorização, definindo três grupos: técnicas de revestimento, de estabilização e de consolidação. Destaca-se, por fim, a classificação apresentada por Durlo e Sutili (2014) para obras de estabilização de cursos de água, em que as técnicas são divididas em obras transversais e longitudinais. Segundo os autores, as primeiras são dispostas perpendicularmente ao fluxo, como a disposição de soleiras, por exemplo, tendo como objetivo a diminuição da velocidade da água pela modificação da inclinação do leito. No segundo caso, visa-se proteger, estabilizar ou ainda recompor as margens, incluindo ações como o revestimento dos taludes ou a construção de espigões, sem a alteração da declividade do leito.

2.3 A REDE HIDROGRÁFICA DE CURITIBA

O município de Curitiba está localizado em área de cabeceiras, à margem direita do Rio Iguaçu. A nível nacional, está inserido na Região Hidrográfica do Paraná, divisão criada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) (BRASIL, 2003). Com área de 879.873 km² e vazão média de 11.453 m³, é a terceira maior região hidrográfica do país em ambos os aspectos, atrás apenas das regiões Amazônica e do Tocantins/Araguaia (CONEJO, 2007).

Em âmbito estadual, Curitiba está na Bacia do Rio Iguaçu (PARANÁ, 2007), mais especificamente na sub-bacia do Alto Iguaçu, mostrada na Figura 4. Este é o maior rio inteiramente do estado, cruzando os três planaltos paranaenses com seus 1.320 km de comprimento até desaguar no Rio Paraná (PEREIRA; SCROCCARO, 2013).

FIGURA 4 – BACIA DO RIO IGUAÇU NO ESTADO DO PARANÁ, COM DESTAQUE PARA AS SUB-BACIAS DO BAIXO, MÉDIO E ALTO IGUAÇU E PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA



FONTE: Adaptada de SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL (SUDERHSA) (2007) e INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ (ITCG) (2017).

Na região do município, são seis as principais bacias hidrográficas: Rio Atuba, Rio Barigui, Rio Belém, Rio Iguaçu, Rio Passaúna e Ribeirão dos Padilhas (Figura 5). A maior destas bacias é a do Barigui, que ocupa quase um terço do território de Curitiba, de acordo com a Tabela 1. Como as maiores altitudes ocorrem na região Norte da cidade, todas seguem a direção Norte-Sul, desaguando na Bacia do Rio Iguaçu (COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS (COBRAPE), 2012a).

FIGURA 5 – BACIAS HIDROGRÁFICAS DE CURITIBA



FONTE: Adaptada de INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA (IPPUC) (2013c, 2013d).

TABELA 1 – RELAÇÃO DOS DOMICÍLIOS PARTICULARES PERMANENTES E DA POPULAÇÃO NOS ANOS DE 2000 E 2010 E DAS ÁREAS DE DRENAGEM POR BACIA HIDROGRÁFICA DE CURITIBA

Bacia hidrográfica	Área de drenagem		Domicílios particulares permanentes				População			
			2000		2010		2000		2010	
	km ²	%	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%
Rio Barigui	140,8	32,6	161.455	29,8	195.941	30,8	472.571	29,8	562.625	32,1
Rio Belém	87,8	20,3	184.363	34,0	205.321	32,3	539.622	34,0	495.715	28,3
Rio Iguaçú	68,2	15,8	27.971	5,2	32.199	5,1	81.870	5,2	99.869	5,7
Rio Atuba	63,7	14,7	94.976	17,5	113.337	17,8	277.990	17,5	324.350	18,5
Rio Passaúna	37,9	8,8	7.843	1,4	9.946	1,6	22.956	1,4	29.756	1,7
Ribeirão dos Padilhas	33,8	7,8	65.702	12,1	78.475	12,4	192.307	12,1	238.190	13,6
Total	432,2	100	542.310	100	635.219	100	1.587.315	100	1.750.505	100

FONTE: IPPUC (2000, 2010).

De acordo com o Plano Diretor de Drenagem (PDD) de Curitiba, de 2012, a ocupação urbana é predominante nas Bacias do Atuba, Barigui, Belém e do Ribeirão dos Padilhas, enquanto nas regiões de cabeceiras há maior predominância de áreas verdes, por conta do terreno acidentado (COBRAPE, 2012a). Considerando a população por bacia, a mais populosa é a do Barigui, com 562.625 habitantes de acordo com o Censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e tendo apresentado um crescimento de mais de 90 mil habitantes em relação ao Censo anterior (Tabela 1). Quanto à quantidade de domicílios particulares, a Bacia do Belém é a que apresenta o maior número em ambos os Censos, sendo mais de 200 mil em 2010. A menos populosa e com menor número de domicílios é a Bacia do Passaúna, que está inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) do Passaúna.

Historicamente, as principais medidas estruturais adotadas na cidade para o controle de enchentes, desde a década de 1940, foram a retificação e a canalização de rios, como indicado no PDD de Curitiba (COBRAPE, 2012a). De acordo com o documento, buscava-se inicialmente a rápida retirada das águas pluviais do núcleo urbano, minimizando a ocorrência de cheias e o acúmulo de águas contaminadas nos rios receptores de efluentes. Desse modo, vários dos corpos hídricos de Curitiba tiveram seus cursos naturais alterados, com parte destes em galerias subterrâneas. A partir da década de 1970, deu-se início a implantação conjunta de medidas alternativas para a contenção de cheias no município, como, por exemplo, a criação

de parques com lagos, a arborização de logradouros, a regulação do uso e ocupação do solo e a construção de reservatórios de detenção (COBRAPE, 2012a).

2.3.1 Bacia do Rio Atuba

A Bacia do Rio Atuba, na qual está inserida a Bacia do Rio Bacacheri, abrange parte do território dos municípios de Almirante Tamandaré, Colombo, Curitiba e Pinhais (COBRAPE, 2012a), além de atravessar 16 bairros na capital (CURITIBA, 2017). É a quarta maior bacia de Curitiba em área de drenagem e a terceira maior em número de domicílios e em população, para o ano de 2010, conforme a Tabela 1. Suas nascentes localizam-se na região Serrana do Açungui, em Colombo (NUNES, 2007), e, entre os seus principais afluentes, destaca-se o Rio Bacacheri, objeto de estudo deste trabalho. Se encontra com o Rio Iraí dentro da APA do Iguaçu, sendo ambos os formadores do Rio Iguaçu (COBRAPE, 2012a).

A região possui um elevado índice de ocupação urbana, principalmente no trecho mais ao sul (SUDERHSA, 2002). Desse modo, o índice de áreas verdes é de 29,4 m² de área verde/habitante, valor inferior à média de Curitiba, de 51,5 m²/habitante (COBRAPE, 2012a).

Em estudo referente aos parâmetros morfométricos da Bacia do Rio Atuba, Nunes (2007) aponta que esta é irregular e alongada, acarretando num maior tempo de concentração e, portanto, menos sujeita a enchentes. Comparando os resultados dessa pesquisa com a avaliação presente no PDD de 2012, que analisou a bacia apenas no território de Curitiba, ou seja, em aproximadamente metade da área total, percebe-se que os valores obtidos são semelhantes (Tabela 2).

TABELA 2 – PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA BACIA DO RIO ATUBA

(continua)

Parâmetro morfométrico	Trecho em Curitiba COBRAPE (2012a)	Bacia total (NUNES, 2007)
Área (km ²)	63,70	127,43
Perímetro (km)	51,96	64,92
Ordem da bacia	4ª ordem	5ª ordem
Comprimento do canal principal (km)	19,78	32,43
Comprimento da bacia (km)	15,30	23,87
Comprimento total dos talwegues na bacia (km)	162,29	382,4
Coefficiente de compacidade	1,82	1,61

TABELA 2 – PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA BACIA DO RIO ATUBA

(conclusão)

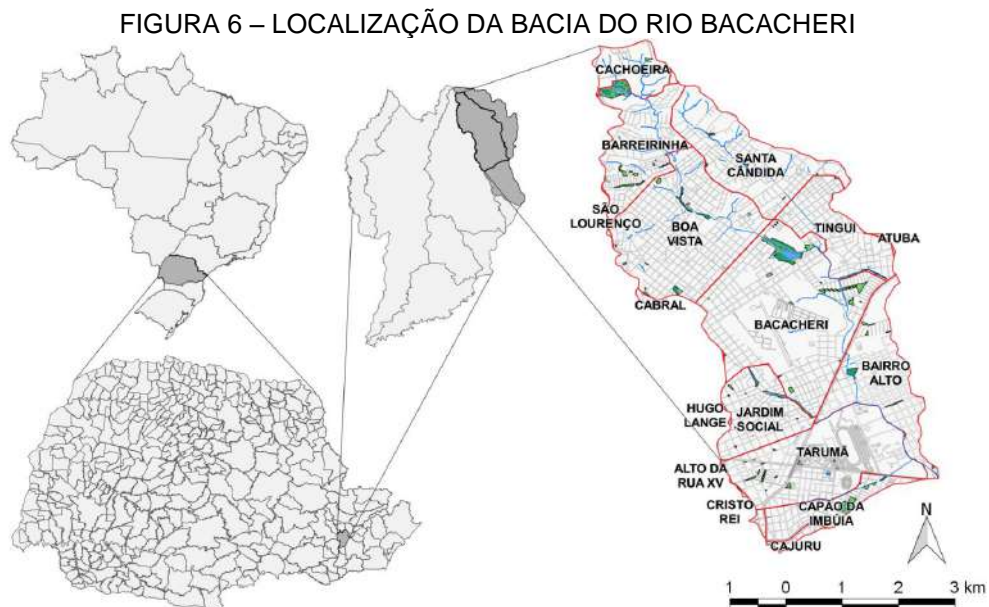
Parâmetro morfométrico	Trecho em Curitiba COBRAPE (2012a)	Bacia total (NUNES, 2007)
Fator de forma	0,27	0,12
Densidade de drenagem (km/km ²)	2,55	3
Extensão média do escoamento superficial (km)	0,10	0,017
Sinuosidade do canal principal (m/m)	1,29	1,40
Desnível topográfico da bacia (m)	129,22	227,3
Variação de altura do canal principal (m)	75	146
Relação de relevo (m/km)	8,45	9,67
Gradiente do canal principal (m/km)	3,79	4,5

FONTE: Adaptada de COBRAPE (2012a) e NUNES (2007).

3 PROJETO CONCEITUAL

Este projeto de revitalização refere-se ao trecho do Rio Bacacheri no Parque General Iberê de Mattos, no município de Curitiba, estado do Paraná. Visa-se, com o estudo, à definição de um novo traçado para o curso em questão, utilizando-se técnicas de Engenharia Natural para garantir a estabilidade de suas margens e leito. Desse modo, o primeiro passo do projeto conceitual é a caracterização do Rio Bacacheri e de sua bacia hidrográfica.

O curso d'água está inserido na Bacia do Rio Bacacheri, um dos afluentes do Rio Atuba. De acordo com levantamento feito pelo IPPUC, a área total da bacia é de 31,2 km² (IPPUC, 2013c). Encontra-se na região nordeste de Curitiba, correspondendo a maior parte do trecho da Bacia do Atuba neste município, conforme a Figura 6. Segue, prioritariamente, no sentido de noroeste a sudeste, até desaguar no Rio Atuba. O Rio Bacacheri, canal principal da bacia, possui 12,5 km de comprimento, enquanto seu principal afluente, o Rio Bacacheri-Mirim, tem 4,5 km (RIBEIRO, 2007).



FONTE: Adaptada de IBGE (2013), IPPUC (2013a, 2013c, 2013d), ITCG (2017) e SUDERHSA (2007).

3.1 A BACIA DO RIO BACACHERI

A geologia da Bacia do Rio Bacacheri, apresentada na Figura 7, é composta por rochas do complexo gnáissico migmatítico e por depósitos sedimentares recentes

e da Formação Guabirotuba. No trecho norte da bacia, correspondente às áreas de nascentes do rio e de seu principal afluente, predomina o complexo gnáissico migmatítico, com a presença de morros e colinas e constituído por rochas mais friáveis e erodíveis, enquanto nas planícies de inundação são encontrados os sedimentos recentes, principalmente no médio e baixo curso (RIBEIRO, 2007). Esses sedimentos são compostos por areias finas a grossas, além de cascalhos, possuindo matriz entre siltico-argilosa e siltico-arenosa (SALAMUNI; SALAMUNI; EBERT, 1999).

FIGURA 7 – GEOLOGIA DA BACIA DO RIO BACACHERI



FONTE: Adaptada de IPPUC (2013c) e MINEROPAR (2004).

A Formação Guabirotuba, principal unidade geológica da bacia, é composta por “depósitos argilíficos pouco consolidados, areias arcosianas, depósitos rudáceos com matriz areno-argilosa, lentes de areias quartzosas e depósitos carbonáticos restritos” (SALAMUNI, 1998, p. 43). Sua ocorrência é predominante nas áreas de média e baixa altitude do entorno do Rio Bacacheri (RIBEIRO, 2007). A argila mais comum nesta formação pertence ao grupo das esmectitas, que são expansivas, higroscópicas e, por consequência, altamente retrativas e sujeitas à erosão, sendo prejudicial às obras de Engenharia Civil (FELIPE, 2011).

Segundo Ribeiro (2007), as formações geológicas presentes na Bacia do Rio Bacacheri acarretam a constituição de solos predominantemente argilosos, com baixa capacidade de infiltração, favorecendo o escoamento superficial. Desse modo, a autora indica que a condição induz em maior erosão superficial e modelação do terreno, com o desenvolvimento de um relevo mais arredondado, com baixas declividades.

Conforme a caracterização geológica e geotécnica presente no plano de manejo do Parque General Iberê de Mattos, ocorrem “argilitos que gradam para termos mais grossos de forma interdigitada ou abrupta” (CURITIBA, 2008, p. 64) na área do parque. Além disso, inserido em região de várzea do Rio Bacacheri, o local apresenta sedimentos compostos por argila cinza orgânica e areia fina impura com teores de argila, contendo em alguns pontos elevado grau de matéria orgânica. Ademais, verificou-se por sondagens a trado a presença de migmatito em alteração, indicando que o embasamento cristalino se dá a uma profundidade média de 5 a 8 m (CURITIBA, 2008).

Quanto aos aspectos geotécnicos, o plano de manejo destaca que o parque é composto quase inteiramente por solo argilo-arenoso, de alta plasticidade, umidade e teor de matéria orgânica, apresentando ainda baixo grau de compactação (CURITIBA, 2008). Nas sondagens efetuadas, detectou-se a presença de materiais de despejo, tais como plásticos, madeira, concreto e metais. Com relação ao lençol freático, o estudo aponta que este ocorre a baixa profundidade, de 0,7 a 2,5 m, prioritariamente nas camadas mais arenosas do solo (CURITIBA, 2008).

Os parâmetros morfométricos da bacia, avaliados por Ribeiro (2007), estão apresentados na Tabela 3. O coeficiente de compacidade, de 1,51, indica que a bacia é alongada e, portanto, pouco propícia à ocorrência de enchentes. Por outro lado, a ocupação irregular do leito de inundação do rio e a falta de áreas verdes na bacia, por exemplo, contribuem para o aumento da incidência de cheias (RIBEIRO, 2007).

TABELA 3 – PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA BACIA DO RIO BACACHERI

Parâmetro morfométrico	Bacia do Rio Bacacheri
Área (km ²)	30,81
Perímetro (km)	29,73
Comprimento do canal principal (km)	12,5
Comprimento da bacia (km)	10,4
Comprimento total dos talwegues na bacia	76,3
Coeficiente de compacidade da bacia	1,51
Densidade de drenagem (km/km ²)	2,48
Sinuosidade do canal principal (m/m)	1,20
Desnível topográfico da bacia (m)	128
Variação de altura do canal principal (m)	120
Relação de relevo (m/km)	12,31
Gradiente do canal principal (m/km)	9,6

FONTE: Adaptada de RIBEIRO (2007).

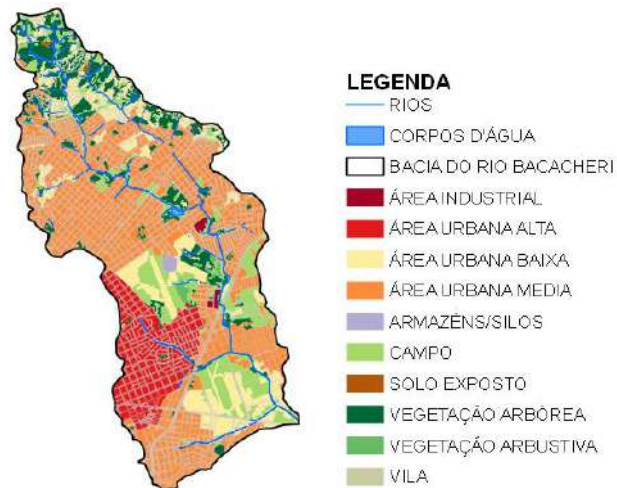
A autora destaca ainda que a bacia apresenta padrão subdendrítico de drenagem e densidade de drenagem (2,48 km/km²) que indica média capacidade de escoamento. Os valores de relação de relevo da bacia (12,31 m/km) e de gradiente do canal principal (9,6 m/km) sinalizam a ocorrência de declividades pouco acentuadas, com baixa energia nas encostas da bacia e no leito do Rio Bacacheri – ou seja, com menor susceptibilidade à erosão –, bem como com a possibilidade de acúmulo de sedimentos em alguns trechos do álveo (RIBEIRO, 2007).

A região de estudo apresenta temperatura média anual de 17 a 18 °C, sendo a média no inverno de 13 a 14 °C e no verão de 20 a 21 °C – caracteriza-se como um clima do tipo Cfb – clima temperado propriamente dito (NITSCHKE et al., 2019). Sua precipitação média anual varia de 1400 a 1600 mm, com valores entre 400 e 500 mm no trimestre mais chuvoso e entre 200 e 300 mm no mais seco, correspondentes ao verão e ao inverno, respectivamente. Ademais, a umidade relativa média é de 80 a 85% e a evapotranspiração potencial anual de 700 a 800 mm.

A Bacia do Rio Bacacheri apresenta praticamente toda a sua área com algum tipo de modificação decorrente de ação antrópica. No levantamento sobre o uso do solo na Bacia do Alto Iguaçu, realizado pela SUDERHSA em 2002 e apresentado na Figura 8, é perceptível que as ocupações urbanas de alta e média densidade predominam na região. As escassas áreas verdes restantes se limitam principalmente à região de montante da bacia, aos parques, bosques e praças e em áreas na proximidade do aeroporto e do quartel do Bacacheri. Apesar de existir poucas indústrias na bacia, essas se localizam próximas às margens do Rio Bacacheri. Há ainda a presença de ocupações irregulares nos leitos de inundação e da bacia nas planícies aluviais, contribuindo para a poluição dos rios e erosão de suas margens (RIBEIRO, 2007).

Tal ocupação contribui para a diminuição da permeabilidade da bacia, já que há a diminuição da cobertura vegetal e o aumento das áreas construídas, em geral impermeáveis. Nesse sentido, Ribeiro (2007) aponta que o total de áreas impermeáveis na bacia cresceu de 1,1%, em 1952, para 62,9%, em 2000. Outro fator que agrava essa situação é a presença de argilas da Formação Guabirotuba, altamente impermeáveis. Além disso, a retificação realizada pela Prefeitura Municipal de Curitiba em alguns trechos do rio e de seus afluentes aumenta a velocidade das águas, intensificando as enchentes e a erosão a jusante (RIBEIRO, 2007).

FIGURA 8 – USO DO SOLO NA BACIA DO RIO BACACHERI

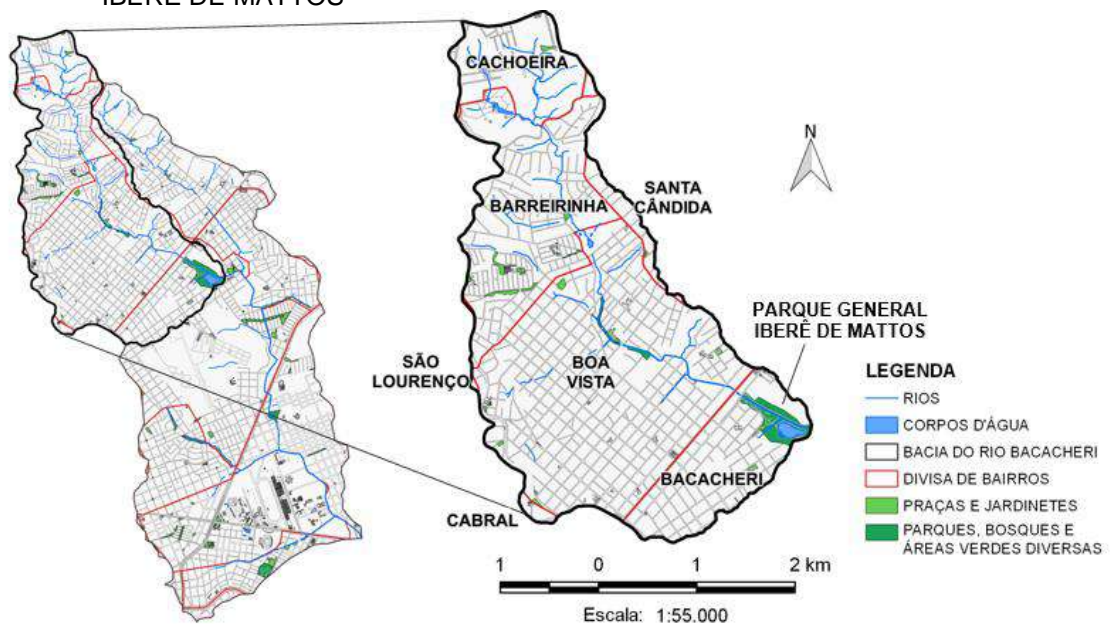


FONTE: Adaptada de IPPUC (2013a, 2013c) e SUDERHSA (2002).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DE ESTUDO

A área de drenagem que contribui até o exutório do Parque General Iberê de Mattos, conforme a Figura 9, é de 10,5 km² – aproximadamente 34% da área total da Bacia do Rio Bacacheri. Os parâmetros morfométricos obtidos para a bacia de estudo estão apresentados na Tabela 4.

FIGURA 9 – ÁREA DE DRENAGEM CORRESPONDENTE AO EXUTÓRIO DO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS



FONTE: Adaptada de IPPUC (2013a, 2013b, 2013c, 2013d).

TABELA 4 – PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA BACIA DO RIO BACACHERI ATÉ O EXUTÓRIO DO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS

Parâmetro morfométrico	Bacia de estudo
Área (km ²)	10,51
Perímetro (km)	16,87
Comprimento do canal principal (km)	6,42
Comprimento do canal principal em linha reta (km)	5,09
Coefficiente de compacidade	1,46
Fator de forma	0,26
Densidade de drenagem (km/km ²)	2,84
Extensão média do escoamento superficial (km)	0,09
Sinuosidade do canal principal (m/m)	1,26
Variação de altura do canal principal (m)	95
Gradiente do canal principal (m/km)	14,8

FONTE: Adaptada de IPPUC (2013a, 2013b, 2013c, 2013d).

Destaca-se que a bacia de estudo possui um gradiente do canal principal mais acentuado (14,8 m/km) do que a Bacia do Rio Bacacheri em sua integridade (9,6 m/km). Tal característica resulta do fato da bacia ser uma região de cabeceira do Rio Bacacheri. Desse modo, neste trecho a velocidade de escoamento tende a ser maior, acarretando um hidrograma com picos de cheia mais repentinos e em maior potencial erosivo da corrente.

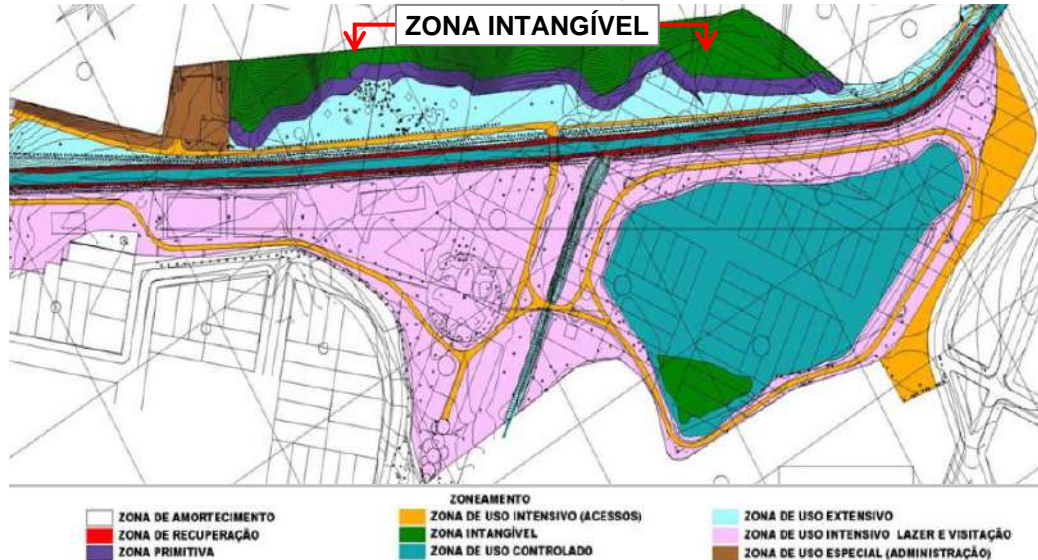
Com relação ao coeficiente de compacidade, tem-se valores semelhantes para a Bacia do Rio Bacacheri (1,51) e para a bacia de estudo (1,46), sendo esta ligeiramente mais propícia à ocorrência de enchentes. Outro aspecto equivalente é a sinuosidade do canal principal, de 1,20 m/m para o rio como um todo e de 1,26 m/m até o exutório do Parque General Iberê de Mattos. Ressalta-se, ainda, que o uso do solo no trecho de estudo consiste, majoritariamente, de áreas urbanas com média densidade de ocupação e de áreas verdes na região de nascentes do Rio Bacacheri.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS

Inaugurado em 1988 e conhecido popularmente como Parque Bacacheri, o Parque General Iberê de Mattos possui cerca de 152 mil m² e conta com um lago, pista de caminhada, canchas de areia e um pequeno bosque (CURITIBA, 2008). No trecho, o curso d'água é retificado em um canal de concreto e recebe a contribuição de um pequeno afluente.

Conforme seu plano de manejo (CURITIBA, 2008), a Unidade de Conservação foi zoneada de modo a definir os usos do espaço. Há nove zonas ao todo, apresentadas na Figura 10 e no Quadro 2, incluindo áreas em que o uso humano é vedado, buscando-se garantir a preservação ambiental.

FIGURA 10 – MAPA DO ZONEAMENTO DO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS



FONTE: CURITIBA (2008).

QUADRO 2 – ZONEAMENTO DO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS

Zona	Identificação e uso
Zona Intangível	Áreas em que não são permitidas alterações humanas, possuindo maior grau de preservação. Dedicada especificamente à proteção de ecossistemas, serve como matriz para o repovoamento de outras zonas.
Zona Primitiva	Áreas com pouca intervenção humana, contando com espécies de fauna e flora, sendo a transição entre as Zonas Intangível e de Uso Extensivo. Visa à preservação, educação ambiental e pesquisa científica.
Zona de Uso Extensivo	Composta sobretudo por áreas naturais, ainda que com intervenção humana, sendo a transição entre as Zonas Primitiva e de Uso Intensivo. Voltada para fins educativos e recreativos, com acesso ao público.
Zona de Uso Intensivo – Lazer e Visitação	Áreas de pleno acesso aos visitantes, com instalações esportivas e de lazer.
Zona de Uso Intensivo – Acessos	Trechos de acesso entre as diferentes partes do parque.
Zona de Recuperação	Áreas com pouca vegetação nativa e alto impacto humano, nas quais é necessário o uso de técnicas de silvicultura e manejo ambiental.
Zona de Uso Especial	Inclui trechos no entorno da área administrativa do parque, de acesso vedado aos visitantes.
Zona de Uso Controlado	Corresponde aos corpos hídricos existentes no parque, incluindo o lago, o canal do Rio Bacacheri e o afluente deste, com a proibição de usos de recreação.
Zona de Amortecimento	Zona de controle dos imóveis no entorno do parque, na qual são aplicadas normas visando mitigar os impactos gerados, sendo ainda área de possível ampliação da Unidade de Conservação.

FONTE: CURITIBA (2008).

3.4 AVALIAÇÃO INICIAL DAS CONDIÇÕES DO RIO BACACHERI NO LOCAL DE ESTUDO

O objeto de estudo deste projeto conceitual é o trecho do Rio Bacacheri no Parque Bacacheri, no qual o curso é retificado num canal de concreto, com calha em formato de “U”. O comprimento do rio no local é de aproximadamente 760 m, percorridos quase em linha reta, com exceção de uma curva acentuada à esquerda próxima ao exutório do parque, de tal modo que a sinuosidade no trecho é de apenas 1,02 m/m.

Durante as visitas realizadas ao Parque General Iberê de Mattos, ao longo de 2018 e 2019, notou-se que em poucas vezes a Prefeitura de Curitiba realiza a manutenção da calha do rio. As peças de concreto utilizadas na retificação se encontram quebradas em diversos pontos do leito, com telas de aço, geossintéticos e a base em brita aparentes, como disposto na Figura 11. Também é frequente a presença de entulho e lixo ao longo do rio, além de locais onde gramíneas se estabeleceram sobre barras de acúmulos de sedimentos na calha.

FIGURA 11 – CALHA DANIFICADA PRÓXIMA À ENTRADA DO RIO BACACHERI NO PARQUE



FONTE: O autor (2019).

As águas do Rio Bacacheri apresentam coloração e odor que indicam a presença de efluentes. Ao todo, há 16 pontos de lançamento de drenagem ao longo do parque, sendo 8 em cada margem, com a ocorrência de manchas abaixo da tubulação. Essas são decorrentes, possivelmente, de despejo irregular de esgoto sanitário e/ou da presença de ferrobactérias, como presumível pela coloração avermelhada vista na Figura 12. Do lado oposto das pistas de caminhada e ciclovias,

paralelas ao rio, é perceptível o acúmulo de água no solo, demonstrando a ineficiência da drenagem no parque.

FIGURA 12 – MANCHA ABAIXO DE TUBULAÇÕES DE DRENAGEM INDICANDO A PRESENÇA DE FERROBACTÉRIAS



FONTE: O autor (2019).

Apesar de não ter sido o foco das observações realizadas, foram visualizados poucos animais próximos ao Rio Bacacheri, resumindo-se a uma espécie não identificada de anfíbio e a alguns ninhos de *Vanellus chilensis*, conhecidos popularmente como quero-quero, às margens do curso d'água. Há pouca diversidade de ambientes aquáticos, já que, em geral, o canal apresenta pequena profundidade de lâmina d'água e poucas áreas com sombra. Há, todavia, registro de pelo menos dez espécies de peixes no local (CURITIBA, 2008). Em contrapartida, era notável a presença de algas em toda a extensão do rio, como na Figura 11, crescendo sobre sedimentos depositados no leito e em falhas e juntas das calhas de concreto.

Não foram identificados pontos de erosão nas margens, que são protegidas, em grande parte, pelas placas de concreto e pela vegetação existente. A umidade do solo é alta próximo ao curso d'água, mesmo em períodos sem chuva. Gramíneas, arbustos e árvores estão distribuídos em praticamente todo o perímetro do rio no parque, como visível na Figura 13, que apresenta a evolução do canal entre janeiro de 2013 e outubro de 2019.

FIGURA 13 – EVOLUÇÃO DO CANAL DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS ENTRE JANEIRO DE 2013 E OUTUBRO DE 2019



GOOGLE (2019)

O autor (2019)

O autor (2019)

FONTE: GOOGLE (2019) e o autor (2019).

As condições do Rio Bacacheri no parque foram avaliadas conjuntamente com o seu perfil longitudinal, estabelecido com base em um levantamento topográfico (CORDEIRO, 2003) disponibilizado pelo Departamento de Parques e Praças da Prefeitura de Curitiba. A partir disso, pode-se definir cinco trechos relativamente homogêneos entre si, apresentados nas Figuras 14, com declividades médias indicadas, e 15, com suas localizações no parque.

FIGURA 14 – PERFIL LONGITUDINAL DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS, COM DESTAQUE PARA A DECLIVIDADE MÉDIA TOTAL E POR TRECHO

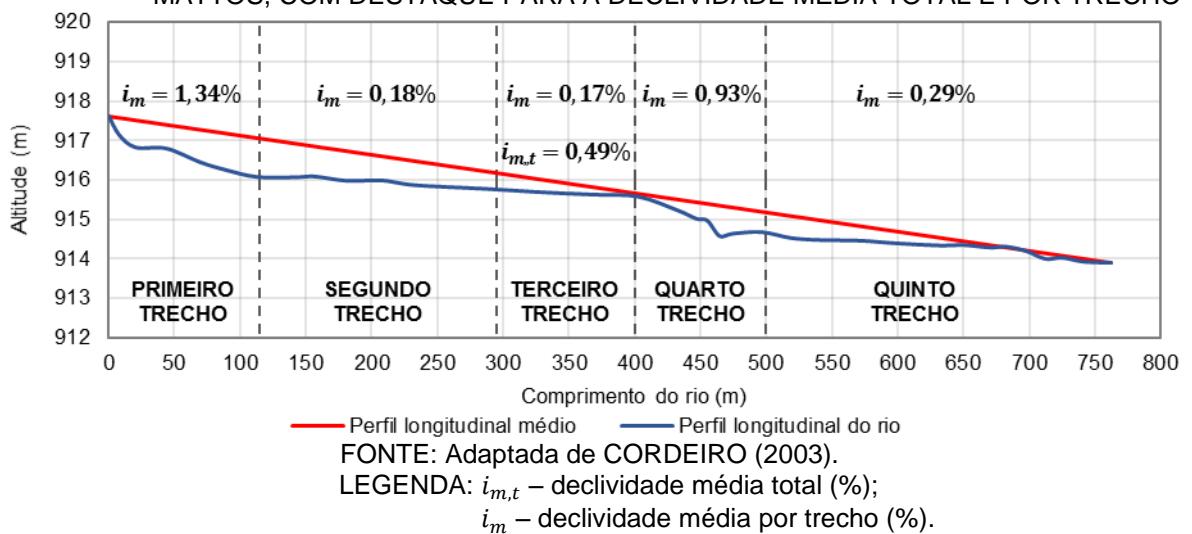
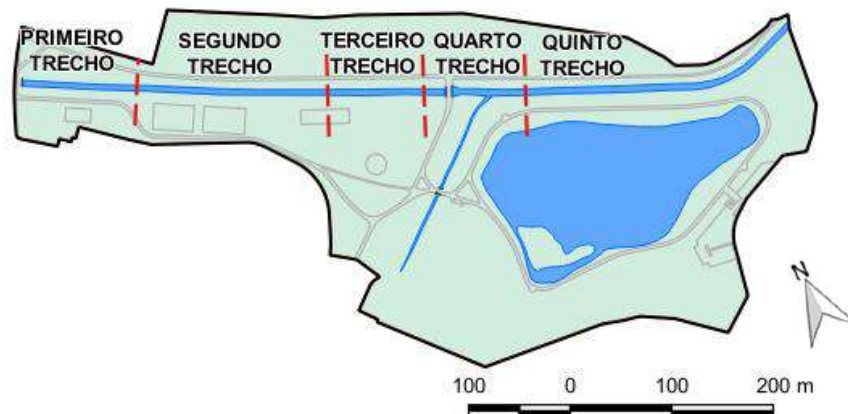


FIGURA 15 – DIVISÃO DE TRECHOS DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS



FONTE: Adaptada de IPPUC (2013a, 2013c).

O primeiro dos trechos se inicia logo após a entrada do rio no parque, através de um bueiro duplo celular de concreto, e ao lado de um poço de visita (Figura 16). Nessa região, o terreno possui declividade acentuada, bem como o curso d'água. O escoamento é torrencial, majoritariamente, com alguns intervalos em regime fluvial por conta do represamento formado nos locais em que a calha se apresenta rompida e sobrelevada.

FIGURA 16 – BUEIRO DUPLO CELULAR DE CONCRETO NA ENTRADA DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS



FONTE: O autor (2019).

Percebe-se que o Rio Bacacheri foi rebaixado para a construção do bueiro pela diferença de nível significativa deste em relação aos taludes das margens. Ademais, a calha de concreto se encontra bastante danificada, com velocidades elevadas induzidas pela declividade do talvegue e pelo estrangulamento da seção,

tanto no bueiro como logo a jusante deste. Neste último caso, o efeito de soleira ocorre pelo acúmulo de detritos e pelo desgaste do leito.

O segundo trecho começa logo após a travessia elevada de uma tubulação da Sanepar, de aproximadamente 15 cm de diâmetro externo, apoiada sobre dois pilares de concreto armado. Conforme a Figura 17, os elementos de apoio já se encontram bastante deteriorados, com perda de cobrimento das armaduras, além de apresentarem geometria desfavorável ao fluxo do curso d'água.

FIGURA 17 – TRAVESSIA AÉREA DE TUBULAÇÃO DA SANEPAR SOBRE O RIO BACACHERI



FONTE: O autor (2019).

Nessa região, a sedimentação ocorre com mais intensidade, principalmente na margem direita do rio, onde a vegetação já está bem desenvolvida. Há formação de poços e corredeiras no trecho, sendo perceptível pelas linhas de corrente do fluxo a tendência natural de aumento da sinuosidade, apesar da limitação imposta pela calha de concreto. Quanto aos taludes das margens, a diferença de nível em relação ao leito diminui, mas ainda é considerável.

A fração seguinte se inicia em um poço, a montante da ponte que cruza o Rio Bacacheri no parque e ao lado de uma cancha de areia, formando uma longa corredeira até a ponte (Figura 18). Nesse terceiro intervalo ocorre a menor diferença de nível entre os taludes das margens e o leito do rio, além de ser o trecho mais próximo à entrada principal do parque. Quanto à calha de concreto, ambas as margens internas estavam bastante vegetadas até a limpeza realizada durante as visitas de março e de outubro de 2019, induzindo em um estrangulamento da seção e no aumento da rugosidade das margens. Caso não se dê continuidade à manutenção do canal, todavia, a tendência é que se formem as barras de sedimento novamente.

FIGURA 18 – VISTA DO TERCEIRO TRECHO DO RIO BACACHERI, A MONTANTE DA PONTE
Março de 2019 **Outubro de 2019**



FONTE: O autor (2019).

No quarto intervalo ocorre uma perda de energia relativamente alta em função da influência dos pilares da ponte e do desnível entre peças consecutivas da calha, que formam pequenas quedas d'água. Ademais, nesse trecho ocorre o desague de um afluente pela margem direita do Rio Bacacheri (Figura 19), formando-se um poço a cerca de 460 m a jusante da entrada do curso no parque.

FIGURA 19 – DESAGUE DO AFLUENTE NO RIO BACACHERI E SALTO FORMADO PELO DESNÍVEL ENTRE PEÇAS DA CALHA DE CONCRETO



FONTE: O autor (2019).

Na última extensão, após a confluência, o desnível entre o canal e os taludes da margem volta a aumentar. A curva do rio no parque se inicia na seção a aproximadamente 680 m a jusante da entrada. Nela, o perfil longitudinal praticamente se iguala ao perfil longitudinal médio do curso d'água, conforme a Figura 14.

As Figuras 20 e 21 apresentam a vista de montante da curva e o exutório do parque, respectivamente. A partir deste último trecho, a seção transversal do canal muda bruscamente, com o alargamento e aprofundamento da calha de concreto.

FIGURA 20 – CURVA DO RIO BACACHERI VISTA DE MONTANTE



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 21 – SEÇÃO EXUTÓRIA DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS



FONTE: O autor (2019).

3.5 IDENTIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS DO PROJETO

Com base na análise qualitativa feita das condições do Rio Bacacheri no trecho do Parque General Iberê de Mattos, constata-se que a configuração imposta pela retificação e canalização do curso não corresponde à condição de equilíbrio dinâmico do corpo hídrico. Tal observação fundamenta-se nos indícios manifestados ao longo da extensão do rio. Como exemplo, citam-se o desgaste e conseqüente sobrelevação do leito de concreto na entrada do parque e o processo de sedimentação

que tende a aumentar a sinuosidade do canal nos locais de menor declividade, ainda que dentro da calha de concreto, buscando assim uma condição mais natural.

Outros aspectos de igual importância são decorrentes da retificação e canalização do Rio Bacacheri, devendo ser considerados no projeto de revitalização. Destacam-se, dentre outros, os impactos sobre o ecossistema fluvial, o baixo valor estético do curso canalizado e a inutilização do potencial para contenção de enchentes do parque, já que as velocidades elevadas do escoamento transferem as cheias para jusante e as vazões normais produzem lâminas d'água com altura insuficiente para propiciar a vida aquática.

Nesse contexto, define-se o seguinte objetivo geral para o projeto: “promover a revitalização do trecho do Rio Bacacheri no Parque General Iberê de Mattos, município de Curitiba, com o uso de técnicas de Engenharia Natural para a estabilização dos processos erosivos, fluviais e geotécnicos”. Listam-se, a seguir, os objetivos específicos:

- a) Estabelecer um novo traçado, seções transversais e tipo de leito para o Rio Bacacheri, tendo em vista o equilíbrio dinâmico dos processos de transferência de sedimentos;
- b) Definir e dimensionar técnicas de Engenharia Natural para a contenção das margens e dos taludes do Rio Bacacheri, visando à proteção contra processos erosivos e à estabilização e consolidação de movimentos de massa superficiais e profundos, respectivamente;
- c) Promover um ambiente propício ao restabelecimento do ecossistema aquático;
- d) Resgatar o valor estético do rio, proporcionando um espaço de lazer e contemplação;
- e) Contribuir para a contenção de cheias na Bacia do Rio Bacacheri, aproveitando o potencial de infiltração da área permeável do parque;
- f) Disseminar a prática e o estudo da revitalização de rios urbanos e do uso de técnicas de Engenharia Natural.

3.6 IDENTIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO

A Engenharia Natural preconiza intervenções para o tratamento de um sistema que apresentem baixo nível de energia e que acarretem menor impacto sobre

suas condições naturais (SAULI; CORNELINI; PRETI, 2006). Dessa forma, a não intervenção deve sempre ser avaliada como primeira opção em um projeto.

No caso do leito canalizado do Rio Bacacheri no Parque General Iberê de Mattos, a configuração atual não atende às condições de equilíbrio do curso d'água, além de restringir os processos naturais de modelação. A calha de concreto se encontra desgastada em diversos trechos ao longo do curso d'água, principalmente na entrada do parque, como apresentado na Figura 11. Com o tempo, a tendência é que o material venha a se desgastar ainda mais, sendo necessária a sua substituição parcial e/ou total eventualmente.

Nesse contexto, e visando à reestruturação do ecossistema aquático e à melhoria do aspecto estético do rio, torna-se justificável a intervenção no Rio Bacacheri. Para isso, foram levantadas possíveis alternativas para a definição de um novo traçado do curso d'água, bem como para estabelecer o novo tipo de leito, seções transversais e técnicas de Engenharia Natural a serem utilizadas.

3.6.1 Abordagens metodológicas para a restauração de canais

Diversos fatores devem ser ponderados para a escolha do método a ser utilizado na definição do novo traçado do Rio Bacacheri dentro do Parque General Iberê de Mattos, como as características do local e da bacia, o custo da intervenção e o atendimento aos objetivos do projeto, além do impacto das obras ao parque e o atendimento às disposições do seu zoneamento. Ademais, é preciso levar em consideração que qualquer alteração imposta ao rio pode gerar novos distúrbios à bacia, seja no próprio trecho de intervenção ou não (FISRWG, 2001). Isso se deve ao fato de que cursos d'água são agentes em constante evolução, e que as variáveis que determinam sua configuração de declividade e formato de jusante – largura, profundidade, velocidade, inclinação, carga de sedimentos, granulometria dos sedimentos – são interligadas entre si (LEOPOLD; WOLMAN; MILLER, 1964).

Desse modo, há três tipos de abordagens diferentes para a restauração de canais (FISRWG, 2001): não intervir, quando o curso já se encontra em meios de se recuperar; intervir parcialmente com acompanhamento da reabilitação, para impulsionar processos que já estão ocorrendo naturalmente, mesmo que de forma lenta; e intervir conduzindo a recuperação, quando a condição atual do sistema está aquém da sua capacidade de autorreparação. No caso do trecho estudado do Rio

Bacacheri, a canalização impõe que se adote a terceira perspectiva, já que se propõe a retirada das calhas de concreto. Quanto às metodologias para o projeto do canal, destacam-se as abordagens baseadas na reconstrução histórica, comparação com canais de referência, utilização de métodos empíricos, dimensionamento analítico e modelagem física e/ou computacional, além da consideração simultânea destas alternativas (FISRWG, 2001; SOAR; THORNE, 2001; UNITED STATES OF AMERICA DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), 2007a). Tendo em vista a complexidade envolvida na modelagem de canais, este método não será considerado neste projeto.

Na reconstrução histórica, objetiva-se a recuperação de uma condição do rio anterior a um processo de degradação, como os impactos decorrentes da ação antrópica, por exemplo. Para isso, analisam-se mapas, fotos, ortofotos, desenhos e textos, entre outros, e/ou realizam-se ensaios para a caracterização do terreno, buscando-se indicações quanto à localização antiga do canal. Ressalta-se, entretanto, que a configuração antiga de equilíbrio pode não ser estável frente às circunstâncias atuais do rio, considerando-se principalmente as mudanças nos padrões de escoamento superficial e de produção de sedimentos na bacia (SOAR; THORNE, 2001). Desse modo, descarta-se de início tal alternativa, tendo em vista a intensificação da impermeabilização ocorrida na Bacia do Rio Bacacheri.

O uso de um ou mais canais de referência para comparação, desde que estejam em condições mais naturalizadas, visa à identificação de características como a largura, profundidade e declividade, o padrão de formação de meandros, poços e corredeiras, o tipo de vegetação das margens e o tamanho das partículas presentes no leito, por exemplo. Para tanto, são avaliados trechos diferentes do mesmo rio ou outros cursos nas proximidades com regime hidrológico e morfologia semelhantes. Em seguida, copia-se ou transfere-se, por meios empíricos e/ou analíticos, as características do local de referência para a área de estudo (FISRWG, 2001). Por conta da ocupação urbana intensiva na cidade de Curitiba, entretanto, há poucos canais do porte do Rio Bacacheri que ainda apresentam condições naturais.

Os métodos empíricos adotados para a restauração de canais podem incluir o uso de equações definidas para o dimensionamento de canais em regime, sendo estas desenvolvidas inicialmente há mais de um século a partir da experiência de engenheiros hidráulicos na construção de canais de irrigação na Índia e Paquistão, com adaptações posteriores para representar condições de leito e de escoamento mais abrangentes (FISRWG, 2001; SOAR; THORNE, 2001). Outra abordagem

envolve a adoção de relações de geometria hidráulica como referência, nas quais associam-se a largura, profundidade e declividade de um rio com a sua vazão. Idealmente, deve-se procurar definir tais correlações com base em trechos estáveis do mesmo rio de estudo, de outro curso d'água pertencente a mesma bacia, de canais com características similares ou ainda de valores médios obtidos de uma região com condições hidráulicas e hidrológicas semelhantes (FISRWG, 2001). Ademais, pode-se fazer uso de relações empíricas para a definição do comprimento de onda e amplitude de meandros, por exemplo.

O emprego de métodos analíticos visa proporcionar o equilíbrio entre as forças solicitantes exercidas pelo escoamento do fluido ao canal com as forças resistentes decorrentes da fricção e coesão entre as partículas do solo do leito e das margens (SOAR; THORNE, 2001). Considera-se, nesse caso, que o sistema fluvial pode ser descrito por um número finito de variáveis, observando-se as equações da continuidade, da resistência ao escoamento e do transporte de sedimentos – tem-se, portanto, um sistema indeterminado (FISRWG, 2001). Desse modo, necessita-se da utilização de equações empíricas ou da adoção de simplificações que permitam a solução do problema (FISRWG, 2001).

3.6.2 Alternativas para o novo traçado e para as técnicas de estabilização

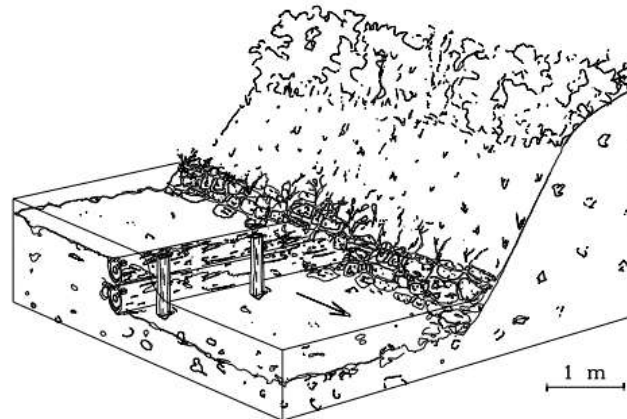
Com base na avaliação inicial efetuada, verificam-se diversos aspectos a serem modificados com o projeto de revitalização do rio, relativos tanto à configuração do canal quanto à sua posterior estabilização com técnicas de Engenharia Natural. Entretanto, há uma limitação espacial quanto à remodelação do canal imposta pelo zoneamento do parque, que restringe o uso nas Zona Intangível e Primitiva. Além disso, embora seja inevitável em alguns casos, deve-se buscar ao máximo evitar alterações que afetem os equipamentos de lazer já existentes no parque, para minimizar o orçamento geral do projeto e o impacto quanto ao uso do espaço. Desse modo, orientando a análise a partir dos cinco trechos definidos, listam-se a seguir as intervenções propostas.

No primeiro trecho, verifica-se que há uma grande dissipação de energia do escoamento logo a jusante do bueiro, resultando na degradação da calha de concreto, sendo essa a região mais afetada em todo o parque. O excesso de energia é decorrente da grande declividade que ocorre neste intervalo, bem como pelo

estrangulamento imposto ao fluxo na galeria quando da ocorrência de vazões extremas, compensado pelo aumento da velocidade da água. Por ser inviável a modificação do bueiro, tendo em vista o grande custo que isto acarretaria, e considerando ainda a retirada da calha de concreto para a revitalização, torna-se necessário garantir condições para que o leito e as margens resistam à tensão trativa exercida pelo escoamento.

Para tanto, uma das alternativas é a realização de uma obra transversal de consolidação, indicada para estabilizar e consolidar o leito de rios (DURLO; SUTILI, 2014). Neste caso, pode-se dispor cintos basais com desnível sobre o leito, também conhecidos como soleiras, como ilustrado na Figura 22, criando-se um desnível no fundo do rio. Em geral, utiliza-se materiais de baixo custo, como a madeira roliça ou blocos de pedras, sendo necessária a verificação dos diâmetros mínimos para evitar o transporte do material em situações de alta velocidade da água, como é a condição da entrada do rio no parque. Para isso, realiza-se o cálculo pela fórmula da velocidade limite de transporte, apresentada por Durlo e Sutili (2014), sendo definida pela equação (1), ou obtém-se o valor com o uso da curva de Hjülstrom (DURLO; SUTILI, 2014), conforme a Figura 23.

FIGURA 22 – CINTO BASAL COM DESNÍVEL, CONFECCIONADO COM MADEIRA ROLIÇA



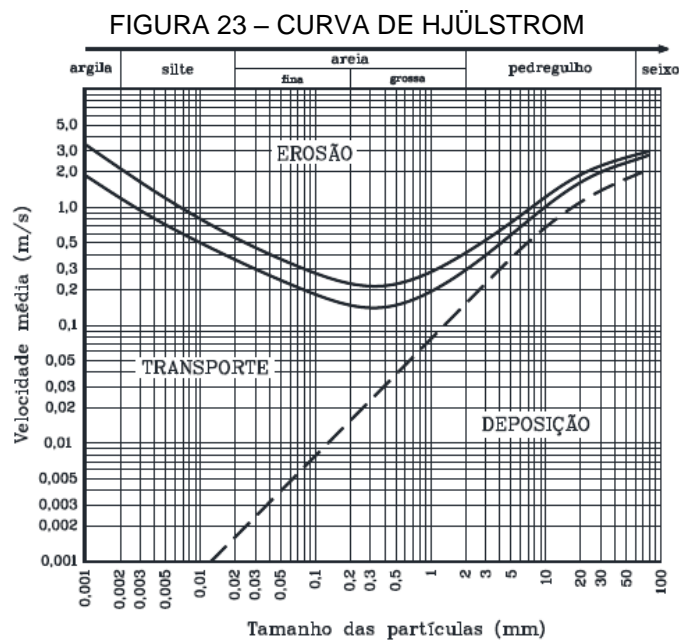
FONTE: DURLO; SUTILI (2014).

$$W = \sqrt{\frac{2 g f b (\gamma_1 - \gamma) \cos \alpha}{\mu \gamma}} ; \quad (1)$$

onde:

- W – velocidade limite de transporte do sólido considerado (m/s);
- g – aceleração da gravidade (m/s²);

- f – coeficiente de atrito entre o sólido e o leito (adimensional);
- b – dimensão do material paralela ao sentido do fluxo da água (m);
- γ_1 – peso específico do sólido (N/m^3);
- γ – peso específico da água (N/m^3);
- α – ângulo de inclinação do leito (graus);
- μ – coeficiente de forma do corpo (adimensional).



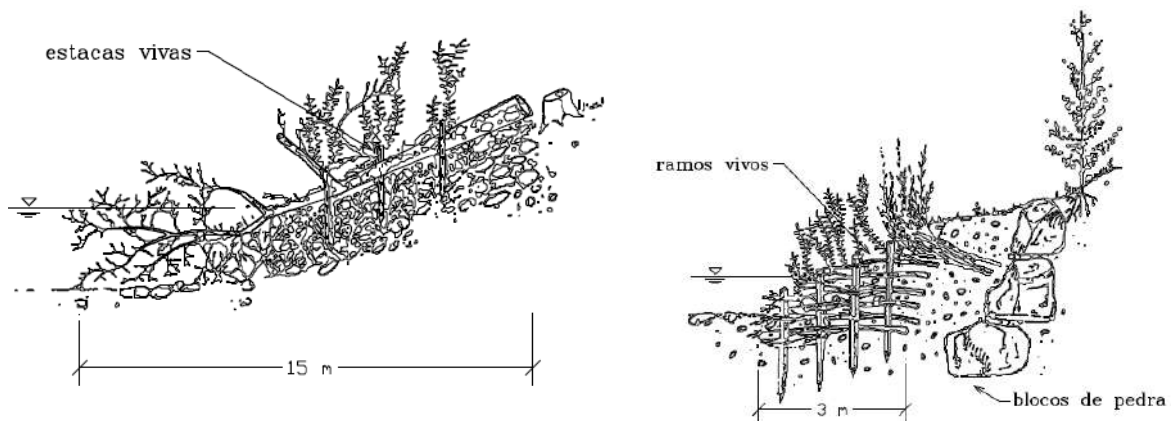
Fonte: DURLO; SUTILI (2014).

A perda de energia induzida pela queda da soleira favorece a diminuição da velocidade da água, minimizando o poder erosivo do fluxo (DURLO; SUTILI, 2014). Como resposta do sistema fluvial, há tendência de alteração da declividade, com a formação do perfil de compensação. É preciso, entretanto, avaliar se é necessária a adoção de um cinto basal saliente, construído com os mesmos materiais e para o mesmo propósito que as soleiras, mas de maior porte. Nesse caso, a obra fica acima do nível do leito, passando a exercer controle hidráulico sobre o nível de montante e gerando uma queda d'água a jusante, com risco potencial de escavo no pé da barragem (DURLO; SUTILI, 2014). Para evitar isso, pode-se efetuar uma contrabarragem de menor porte a jusante e/ou posicionar pedras de maior diâmetro no local. Deve-se avaliar, todavia, se a altura do paramento não reduzirá significativamente a capacidade de descarga do bueiro, já que implicará no aumento do nível de água. Por fim, caso estas opções não se mostrem viáveis frente às altas

velocidades do fluxo, pode-se fazer uso, em último caso, de técnicas de Engenharia convencionais, como os barramentos de gabião ou de concreto armado.

Como proteção complementar aos taludes fluviais, será avaliado o uso de espigões ou râmprolas, que são estruturas construídas no leito de rios e que ocupam parte de sua seção transversal, promovendo a concentração do fluxo (CARDOSO, 1998). Podem ser feitos em diferentes configurações e materiais – com a utilização de pedras ou madeira, de maior simplicidade, ou pela combinação de material inerte e vegetativo –, como mostrado na Figura 24. Deve-se observar ainda o intervalo entre râmprolas e o seu ângulo em relação ao fluxo, que impactam diretamente no processo de sedimentação entre os espigões (DURLO; SUTILI, 2014).

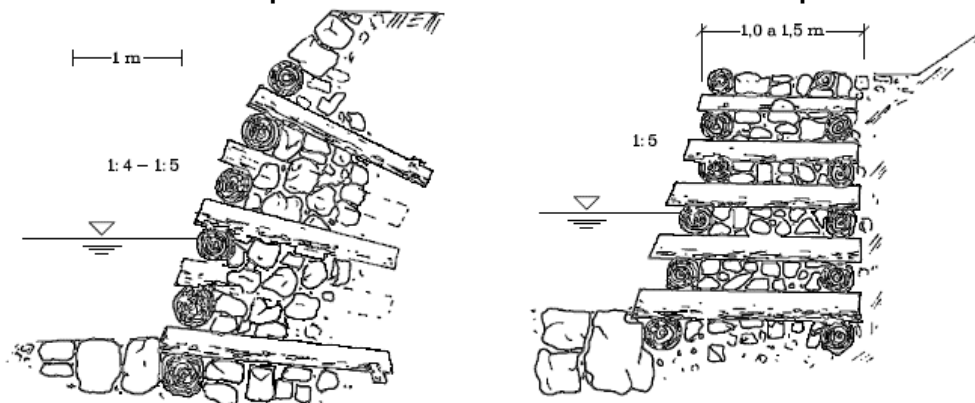
FIGURA 24 – EXEMPLOS DE ESPIGÃO COM DIFERENTES TIPOS DE MATERIAIS
Espigão com tronco e estacas vivas **Espigão com combinação de materiais vivos e inertes**



FONTE: DURLO; SUTILI (2014).

Para a proteção dos taludes das margens, que apresentam grande inclinação neste trecho, têm-se como alternativas o uso de paredes Krainer simples ou duplas, apresentadas na Figura 25. Nessa técnica de estabilização geotécnica, utilizam-se peças de madeira dispostas de forma entrelaçada, formando uma estrutura tridimensional ancorada ao talude, que é então preenchida por solo granular ou pedras, favorecendo sua drenagem (SCHIECHTL; STERN, 1992). Ademais, durante a construção são colocados feixes vivos, também conhecidos como faxinas vivas, entre os elementos horizontais, que posteriormente se desenvolvem e contribuem para a estabilização proporcionada (DURLO; SUTILI, 2014). Quando aplicadas para a estabilização de rios, as madeiras roliças tendem a se degradar ao longo dos anos, em decorrência dos elevados teores de umidade, embora geralmente em tempo suficiente para o desenvolvimento da vegetação (GARCÍA-VEGA et al., 2014).

FIGURA 25 – PAREDE KRAINER DE MADEIRA SIMPLES E DUPLA



FONTE: DURLO; SUTILI (2014).

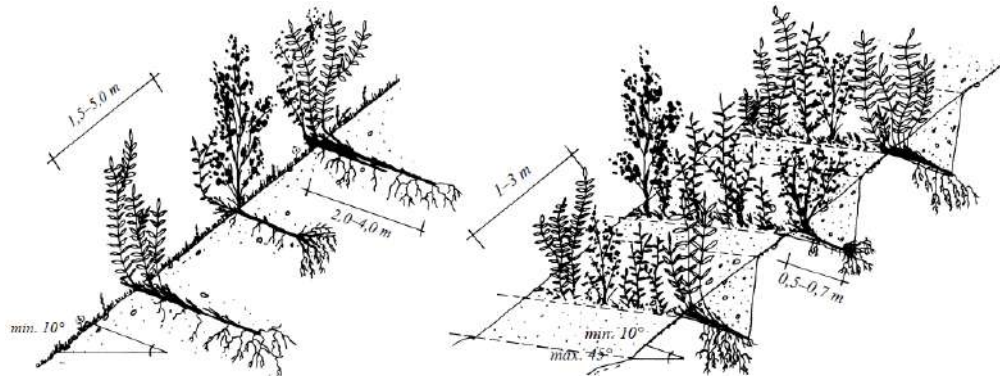
A parede Krainer apresenta como vantagens o fato de ser adaptável à geometria do talude e de proporcionar elevada resistência inicial, e que tende a ser majorada com o tempo, conforme Schiechl e Stern (1992). García-Vega et al. (2014) destacam ainda que o sistema, quando aplicado na estabilização de rios, promove um espaço para a alimentação e refúgio da fauna, atuando como um corredor ecológico, além de contribuir para o amortecimento de cheias e para o aprimoramento paisagístico e da qualidade da água no local de implantação.

Dentre as recomendações construtivas para esse tipo de muro, ressalta-se a limitação da altura máxima, de 4 m (ZEH, 2010), e a realização da escavação da base com inclinação de 10° a 15° (SAULI; CORNELINI; PRETI, 2006), condição favorável à estabilidade da estrutura. Além disso, deve-se preencher a base do muro com pedras, para evitar que a ação da água retire o material de enchimento (GARCÍA-VEGA et al., 2014).

Para o trecho superior dos taludes, bem como para o declive acima do bueiro, será avaliado o emprego de banquetas vivas ou grades vivas. No primeiro caso, o plantio é feito ao longo do talude em forma de degraus, indicados na Figura 26, colocando-se uma grande quantidade de estacas de espécies com capacidade de enraizamento e brotação, distribuídas paralelamente ou cruzadas entre si (DURLO; SUTILI, 2014). Promove-se, desse modo, a retenção dos sedimentos provenientes das partes superiores do terreno e a proteção imediata da encosta, em função da quantidade de vegetação aplicada (MAFFRA, 2014), pelo reforço do solo e melhoria da drenagem (LEWIS, 2000). O distanciamento entre banquetas deve ser de 1 a 3 m, de acordo com as condições do solo e a inclinação do talude, não sendo recomendado para declividades excessivas (SCHIECHTL; STERN, 1992). A execução pode ser

realizada manualmente, começando pela parte inferior do talude e aproveitando o solo dos degraus superiores para o preenchimento dos inferiores, ou com a utilização de maquinário (SAULI; CORNELINI; PRETI, 2006). Para melhor estabilização, compacta-se o solo e projeta-se a vegetação para fora do terreno (LEWIS, 2000), podendo-se ainda dispor troncos ou pedras sobre as estacas (DURLO; SUTILI, 2014).

FIGURA 26 – ESQUEMA DE TÉCNICA DE PLANTIO EM BANQUETAS



FONTE: ZEH (2010).

As grades vivas, por sua vez, são estruturas formadas com troncos arranjados perpendicularmente entre si, dispostos e fixados sobre a encosta, com o plantio de arbustos entre os vãos, promovendo estabilização imediata e crescente com o tempo (SAULI; CORNELINI; PRETI, 2006). Pode ser simples ou dupla, dependendo do formato do talude, podendo atingir tamanhos de até 20 m (SCHIECHTL; STERN, 1992).

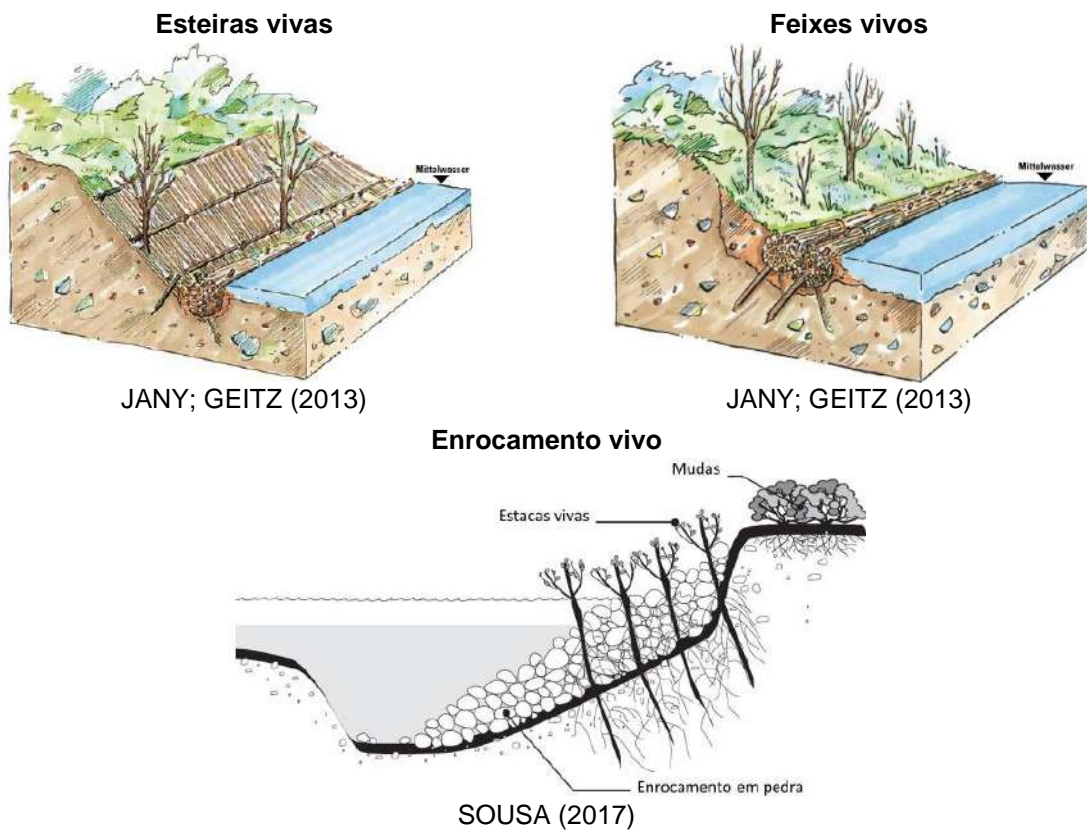
Após as soleiras, mas no primeiro trecho do parque ainda, será promovido o aumento da sinuosidade do curso d'água, conforme uma tendência já apresentada pela condição atual do rio. Isso se dará pela alteração do traçado, das seções transversais e do perfil longitudinal do canal de modo a criar meandros e/ou a estabelecer poços e corredeiras, sendo a última opção mais viável, já que há pouco espaço nessa região do parque.

A partir do segundo trecho, será considerada a modificação da tubulação da Sanepar por um sifão invertido, já que essa provoca um impacto estético significativo na paisagem do rio, possuindo também pilares de sustentação que prejudicam o escoamento. Quanto às margens, prevê-se a continuação das paredes Krainer do primeiro trecho.

No terceiro trecho, em que o terreno se apresenta mais próximo do canal, propõe-se a formação de um ambiente com maior proximidade ao público. Portanto,

não serão utilizadas paredes Krainer, buscando-se técnicas de menor porte, como esteiras vivas, feixes vivos ou enrocamento vivo, ilustradas na Figura 27. Ademais, será considerada a substituição da ponte atual por uma estrutura com maior vão livre, que não afete o escoamento do rio. Todavia, o dimensionamento estrutural da nova ponte e a avaliação do sifão invertido serão realizados por terceiros, não sendo contemplados nesse documento.

FIGURA 27 – ESQUEMA ILUSTRATIVO DAS TÉCNICAS DE ESTEIRA VIVA, FEIXES VIVOS E ENROCAMENTO VIVO

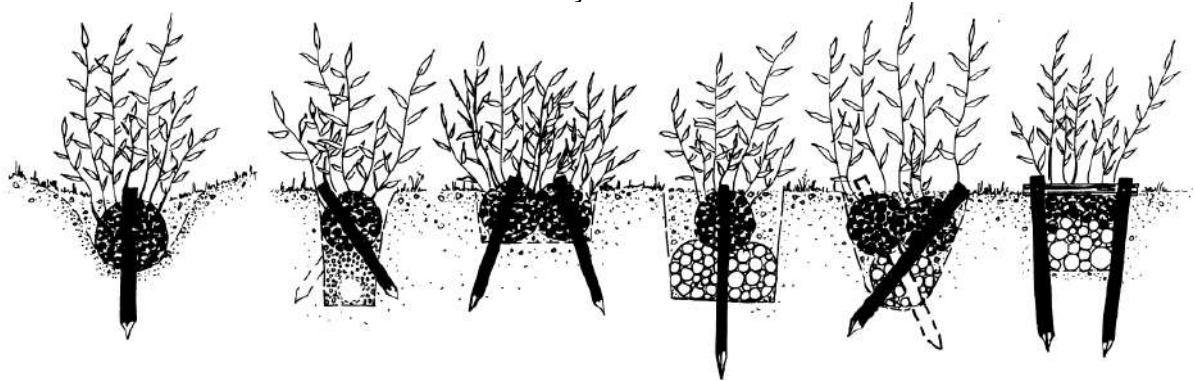


FONTE: JANY; GEITZ (2013) e SOUSA (2017).

Serão previstas a disposição de canaletas de drenagem ao longo das pistas de caminhada e da crista das paredes Krainer, para otimizar a drenagem do parque e evitar o comprometimento das estruturas de contenção das margens. Para isso, pode-se fazer uso de feixes com 20 a 40 cm de diâmetro, formados por ramos vivos amarrados, combinados ou não com galhos mortos, e firmemente ancorados ao terreno por estacas de madeira, conforme Schiechtl e Stern (1992). No caso de canaletas mais profundas do que 30 a 40 cm, os autores recomendam ainda que as valas escavadas sejam preenchidas com material granular, deixando espaço para que as faxinas fiquem ao nível do terreno. Esse sistema apresenta como vantagens a fácil

e rápida construção e o efeito benéfico das raízes, que impede o entupimento do dreno, e como desvantagens a sensibilidade às movimentações do terreno e a baixa profundidade de influência (ZEH, 2010). Ademais, há diversas opções para a configuração da canaleta, como mostrado na Figura 28.

FIGURA 28 – POSSÍVEIS CONFIGURAÇÕES PARA AS CANALETAS VEGETADAS



FONTE: ZEH (2010).

A destinação do volume captado pelas canaletas de drenagem será o desague no Rio Bacacheri. Tendo em vista o potencial de erosão que será originado nas margens e no leito na região de lançamento das águas, deverá ser avaliada a necessidade de dissipação da energia do escoamento. Caso necessário, pode-se fazer um arranjo de enrocamento simples em forma de leque no ponto de desague, sendo esse método também recomendado para as tubulações de drenagem já existentes no parque.

3.7 PRESCRIÇÃO DA AQUISIÇÃO DE INFORMAÇÕES ADICIONAIS AO PROJETO

Para a fase de projeto básico, estão previstos o levantamento de informações quantitativas complementares do terreno. Será realizado inicialmente um levantamento topobatimétrico para a avaliação da disposição e da declividade dos taludes a serem estabilizados e para a definição de seções transversais representativas ao longo do canal. Desse modo, possibilita-se que se avalie as alterações decorrentes da aplicação das técnicas de Engenharia Natural nas seções, além de viabilizar a estimativa do volume de movimentação de terra necessário.

Além disso, será efetuada a caracterização geotécnica do solo do local por meio de ensaios de determinação da umidade natural, dos limites de Atterberg, da

granulometria e da massa específica real dos grãos. Para viabilizar o dimensionamento hidráulico do canal, será realizado um estudo hidrológico de vazões máximas do Rio Bacacheri no eixo de estudo, visando definir a cheia de projeto a ser considerada. Serão avaliados ainda os parâmetros necessários à definição da vazão de projeto do sistema de drenagem, incluindo as curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) de chuva para a cidade de Curitiba

Por fim, serão definidas a nova configuração do Rio Bacacheri no trecho de estudo, incluindo seu traçado, seções transversais e leito, além das intervenções de estabilização. Com base nisso, serão determinados os materiais a serem utilizados e serão efetuados os dimensionamentos estrutural, geotécnico e hidráulico das técnicas de Engenharia Natural. Será realizado ainda um quantitativo prévio para possibilitar a estimativa de custos do projeto.

4 PROJETO BÁSICO

De acordo com Maffra (2014), a etapa de projeto básico engloba a definição e o dimensionamento das técnicas de Engenharia Natural, bem como a elaboração de um orçamento prévio. Para realizar o dimensionamento, além dos modelos matemáticos das intervenções, é necessário listar os parâmetros utilizados no projeto.

4.1 PARÂMETROS DE PROJETO

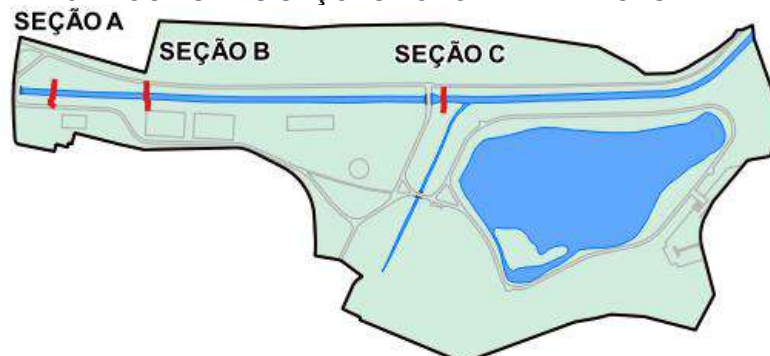
Durante a elaboração do projeto básico, foram avaliados conjuntamente os seguintes aspectos:

- a) levantamento topográfico do Parque General Iberê de Mattos e medições topobatimétricas efetuadas no Rio Bacacheri;
- b) parâmetros geotécnicos, acerca das propriedades do solo do local;
- c) parâmetros hidrológicos, referente às vazões de projeto do canal e do sistema de drenagem;
- d) parâmetros hidráulicos, relacionados ao escoamento no curso d'água.

4.1.1 Levantamento topobatimétrico

Foram efetuadas, no dia 17/03/2019, três medições topobatimétricas no Rio Bacacheri no Parque General Iberê de Mattos, contemplando o primeiro, o segundo e o quarto trecho do curso d'água, respectivamente, nos locais indicados na Figura 29. Utilizou-se uma estação total da marca Leica, com memória interna para o armazenamento de dados.

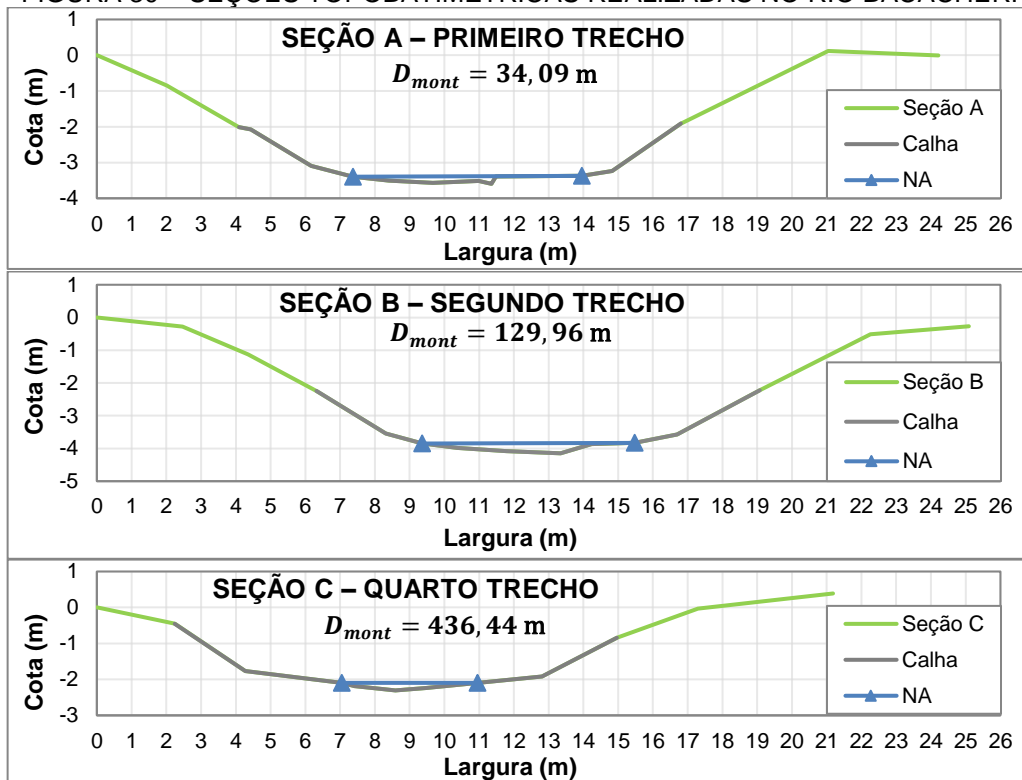
FIGURA 29 – LOCAIS DAS SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS REALIZADAS



FONTE: Adaptada de IPPUC (2013a, 2013c).

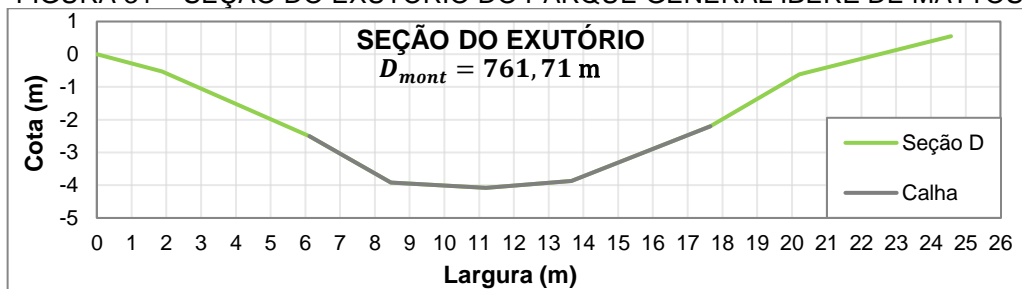
As seções transversais resultantes estão apresentadas na Figura 30, junto com o nível de água (NA) observado e a distância à seção de entrada do rio no parque (D_{mont}), sendo representadas da margem esquerda para direita. A seção do exutório do parque (Figura 31), por sua vez, foi obtida a partir do levantamento topográfico do local (CORDEIRO, 2003). Ressalta-se, porém, o tempo decorrido desde a realização do levantamento e a menor precisão em função do baixo número de pontos em comparação às outras seções.

FIGURA 30 – SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS REALIZADAS NO RIO BACACHERI



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 31 – SEÇÃO DO EXUTÓRIO DO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS



FONTE: Adaptada de CORDEIRO (2003).

Verifica-se que a geometria da calha de concreto varia ao longo do canal, conforme a geometria dos taludes laterais. Além disso, a seção do exutório

apresentou a maior variação de nível entre o topo dos taludes laterais e o fundo do rio, com aproximadamente 4,6 m, enquanto na seção C a altura é de apenas 2,7 m.

Outra área avaliada foi o talude acima da seção de entrada do canal, mostrado na Figura 16, por apresentar uma declividade acentuada. O ângulo observado foi de 37,1°. Em relação às seções A, B e C, indicam-se na Tabela 5 os ângulos máximos medidos na calha de concreto e nos taludes naturais.

TABELA 5 – ÂNGULOS MÁXIMOS OBSERVADOS NAS SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS

Seção	Ângulo da calha (graus)		Ângulo do talude natural (graus)	
	Margem esquerda	Margem direita	Margem esquerda	Margem direita
A	30,4	34,0	29,3	25,5
B	33,0	29,6	29,6	28,2
C	33,0	26,6	11,4	19,2
Exutório	31,2	22,7	24,9	31,8

FONTE: O autor (2019).

4.1.2 Parâmetros geotécnicos

A análise dos parâmetros geotécnicos foi realizada a partir dos resultados de ensaios efetuados com amostras de solo do parque, obtidas em três pontos indicados na Figura 32. As coletas foram feitas em profundidades de 30 cm e 60 cm, totalizando seis amostragens.

FIGURA 32 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DAS AMOSTRAS GEOTÉCNICAS



FONTE: Adaptada de IPPUC (2013a, 2013c).

Para isso, seguiu-se as disposições definidas em Normas Brasileiras (NBR), de autoria da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e em normas técnicas do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). Desse modo, foram executados ensaios geotécnicos para a determinação do teor de umidade

natural, em concordância com a NBR 6457 (ABNT, 2016a), da massa específica real dos grãos, com a DNER-ME 093 (DNER, 1994), e dos limites de liquidez e de plasticidade, com a NBR 6459 (ABNT, 2016b) e a NBR 7180 (ABNT, 2016c), respectivamente. Ademais, analisou-se a granulometria das amostras de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 2016d).

Os resultados do ensaio de teor de umidade natural (w) estão identificados na Tabela 6. Os valores de w variaram de 28% a 48%, aproximadamente, com média de 40%. Os menores índices foram obtidos nas amostras do ponto P3, que também apresentaram as maiores proporções de areia. Desse modo, pode-se presumir a maior permeabilidade dessa região em comparação aos locais de P1 e P2.

TABELA 6 – TEOR DE UMIDADE NATURAL E MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS DAS AMOSTRAS

Amostra	Teor de umidade natural médio (%)	Massa específica real dos grãos (g/cm³)
P1 - 30 cm	42,1	2,643
P1 - 60 cm	43,8	2,650
P2 - 30 cm	44,9	2,637
P2 - 60 cm	47,5	2,650
P3 - 30 cm	28,3	2,682
P3 - 60 cm	33,8	2,691
Média	40,1	2,659

FONTE: O autor (2019).

Deve-se levar em consideração que os teores de umidade natural podem variar em razão da quantidade de chuva dos dias precedentes à retirada do material. Destaca-se, portanto, que as amostras foram coletadas no dia 18/05/2019, com um total acumulado de 19,9 mm de precipitação em seis dos sete dias anteriores, conforme dados da estação Curitiba - PR (83842) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo 3 mm apenas na data anterior (INMET, 2019).

A Tabela 6 compreende ainda os valores de massa específica real dos grãos (ρ_a) das amostras, com pouca variação entre os pontos e com resultados dentro da faixa esperada para solos comuns, de 2,6 a 2,9 g/cm³ (DAS; SOBHAN, 2014). As maiores densidades foram obtidas para os solos com maior percentual de areia, como esperado. O valor médio de todas as amostras foi de 2,659 g/cm³, próximo ao peso específico do quartzo, de 2,65 g/cm³ (DAS; SOBHAN, 2014).

Os limites de liquidez (*LL*) e de plasticidade (*LP*), também conhecidos como limites de Atterberg, correspondem ao teor de umidade do solo na transição entre estados de consistência, com o *LL* entre o líquido e plástico e o *LP* entre o semissólido e plástico (DAS; SOBHAN, 2014). A partir disso, calcula-se o índice de plasticidade (*IP*) e o índice de consistência (*IC*), conforme as equações (2) e (3) (ABNT, 1995). Para a classificação dos valores de *IP* e *IC* da amostra, seguiu-se as faixas indicadas por Almeida (2005). Desse modo, os resultados alcançados estão apresentados na Tabela 7.

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

$$IC = \frac{LL - w}{IP} \quad (3)$$

TABELA 7 – RESULTADOS E ANÁLISE DOS ENSAIOS DE LIMITE DE PLASTICIDADE E LIQUIDEZ

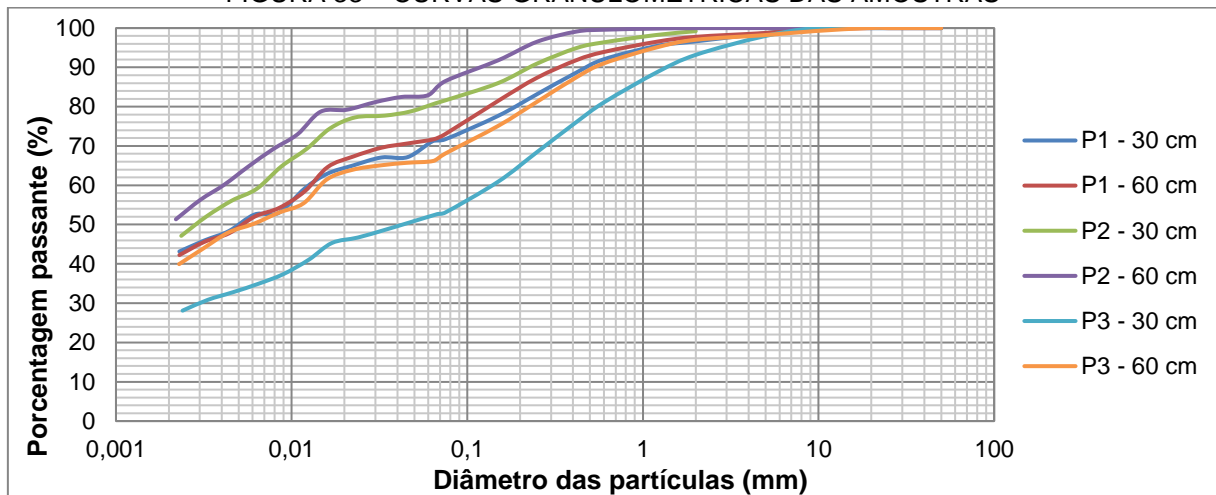
Amostra	LP (%)	LL (%)	IP (%)		IC	
			Valor	Classificação	Valor	Classificação
P1 - 30 cm	32	52	20	Muito Plástico	0,49	Mole
P1 - 60 cm		49	19	Muito Plástico	0,27	Mole
P2 - 30 cm	39	56	17	Muito Plástico	0,65	Média
P2 - 60 cm	39	55	16	Muito Plástico	0,47	Mole
P3 - 30 cm	28	38	10	Plasticidade Média	0,97	Rija
P3 - 60 cm	30	43	13	Plasticidade Média	0,71	Média

FONTE: O autor (2019).

Com base nos valores de *IP*, verifica-se que as amostras possuem um comportamento medianamente a muito plástico, com menores índices para os solos mais arenosos. Mesmo nesses casos, demonstra-se a presença de materiais argilosos, que possuem maior capacidade de reter água, compressibilidade e resistência à erosão do que solos arenosos (REINERT, REICHERT, 2006).

Após a realização dos peneiramentos fino e grosso e do ensaio de sedimentação com as amostras, obteve-se as curvas granulométricas indicadas na Figura 33. Os solos avaliados apresentam composição semelhante entre si, com exceção do ponto P3 – 30 cm, que possui partículas de maior dimensão. Em seguida, foram calculadas as faixas granulométricas das amostras para os intervalos definidos pela NBR 6502 (ABNT, 1995), como disposto na Tabela 8, além dos valores médios por faixa.

FIGURA 33 – CURVAS GRANULOMÉTRICAS DAS AMOSTRAS



FONTE: O autor (2019).

TABELA 8 – FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DAS AMOSTRAS

Amostra	Argila ($< 0,002$ mm)	Silte ($0,002$ mm $<$ % $< 0,06$ mm)	Areia ($0,06$ mm $<$ % < 2 mm)	Pedregulho (2 mm $<$ % < 60 mm)
P1 - 30 cm	43,14	27,27	26,20	3,38
P1 - 60 cm	42,24	29,22	26,30	2,23
P2 - 30 cm	47,13	33,04	19,03	0,79
P2 - 60 cm	51,34	31,65	16,98	0,02
P3 - 30 cm	28,11	23,78	41,29	6,82
P3 - 60 cm	39,93	26,16	30,93	2,98
Média	41,98	28,52	26,79	2,70

FONTE: O autor (2019).

NOTA: Intervalos granulométricos conforme a NBR 6502 (ABNT, 1995).

Por fim, fez-se a classificação dos tipos de solo segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), criado por Casagrande em 1942 (DAS; SOBHAN, 2014). Inicialmente, avalia-se o teor de finos (silte e argila) no material, fazendo-se a diferenciação entre solos de grãos grossos, com menos de 50% das partículas passantes na peneira nº 200, e de grãos finos, com mais de 50% passante na mesma peneira. Nesse caso, todas as amostras foram identificadas como solos finos. Em seguida, consideram-se ainda o LL, o IP e a presença de matéria orgânica, mensurada pela diferença do LL obtido com o solo nas condições seco em estufa e não seco, para a classificação dentre os grupos principais do SUCS.

Com os resultados dos ensaios efetuados, verificou-se que todas as amostras são categorizadas como siltes. A partir disso, adotou-se a simplificação de que todos os siltes são orgânicos, mesmo sem a confirmação por ensaio. Desse modo, representa-se a pior circunstância possível para o solo, sendo, portanto, favorável à

segurança. Ademais, na caracterização geotécnica presente no plano de manejo do Parque General Iberê de Mattos (CURITIBA, 2008), destaca-se o alto teor de matéria orgânica na matriz do solo.

Como última etapa da classificação pelo SUCS, fez-se a diferenciação das amostras quanto ao teor de areia, sendo que os solos do tipo “arenoso” possuem maior proporção desse material do que os “com areia”. Os resultados obtidos estão indicados na Tabela 9.

TABELA 9 – TIPOS DE SOLO SEGUNDO A CLASSIFICAÇÃO SUCS

Amostra	SUCS	
	Classificação	Descrição
P1 - 30 cm	OH	Silte orgânico com areia
P1 - 60 cm	OL	Silte orgânico com areia
P2 - 30 cm	OH	Silte orgânico com areia
P2 - 60 cm	OH	Silte orgânico
P3 - 30 cm	OL	Silte orgânico arenoso
P3 - 60 cm	OL	Silte orgânico arenoso

FONTE: O autor (2019).

NOTA: “O” de *organic* (solo orgânico), “H” de *high plasticity* (alta plasticidade) e “L” de *low plasticity* (baixa plasticidade) (DAS; SOBHAN, 2014).

Tendo em vista que o desempenho das técnicas de Engenharia Natural está atrelado ao correto desenvolvimento da vegetação utilizada, torna-se necessário avaliar o potencial do uso do solo atual do Parque General Iberê de Mattos como material de substrato. Nesse sentido, Reinert e Reichert (2006) apontam que um solo ideal para o plantio deve possuir capacidade de reter água, boa aeração e baixo impedimento ao crescimento de raízes. Os valores de w obtidos, somados à presença de partículas argilosas, sugerem que as amostras estudadas são capazes de manter umidade. Os materiais granulares existentes, por sua vez, possibilitam a aeração do meio. Conclui-se, portanto, que as intervenções propostas deverão ser executadas com o solo local.

Com base nos tipos de material especificados, buscou-se na literatura valores de referência para o ângulo de atrito e coesão do solo, parâmetros de grande importância no dimensionamento das técnicas de Engenharia Natural. Considerando-se a grande variabilidade manifestada por tais parâmetros, foram assumidas estimativas conservadoras para o projeto, como apresentado na Tabela 10. Junto a isso, indicam-se os índices de erodibilidade considerados no dimensionamento das

banquetas vegetadas, correspondentes a cada um dos quatro tipos de fração granulométrica.

TABELA 10 – RESUMO DOS PARÂMETROS GEOTÉCNICOS ADOTADOS NO PROJETO

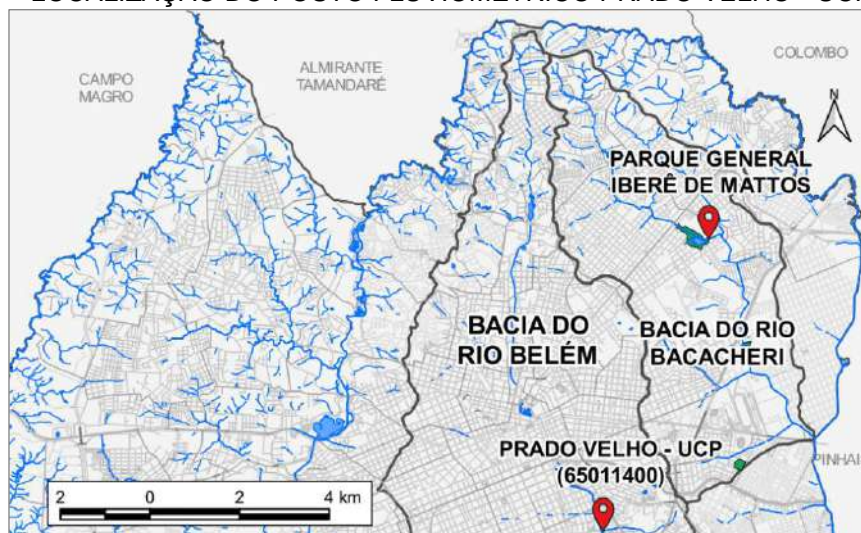
Propriedade	Símbolo	Valor	Unidade	Fonte
Ângulo de atrito do solo	φ	26	graus	KOLIJI (2013)
Coesão do solo	c	5	kPa	KOLIJI (2014)
Índice de erodibilidade do solo	K	Argila: 0,020 Silte: 0,035 Areia: 0,025 Pedregulho: 0,010	t.h.MJ ⁻¹ .mm ⁻¹	RÖMKENS; POESEN; WANG (1988)

FONTE: KOLIJI (2013, 2014) e RÖMKENS; POESEN; WANG (1988).

4.1.3 Parâmetros hidrológicos

Os estudos hidrológicos referentes ao Rio Bacacheri foram realizados segundo a metodologia de regionalização de vazões extremas, conforme apresentado em Eletrobrás (2000). Para isso, efetuou-se a análise de frequência de cheias com dados da estação fluviométrica Prado Velho - UCP (65011400), localizada no Rio Belém, em Curitiba, como indicado na Figura 34 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), 2018).

FIGURA 34 – LOCALIZAÇÃO DO POSTO FLUVIOMÉTRICO PRADO VELHO - UCP (65011400)



FONTE: Adaptada de IPPUC (2013a, 2013c, 2013d).

As informações foram obtidas do portal Hidroweb, no dia 07/04/2019, com registros consistidos de vazão de abril de 1981 a março de 2014. Apesar do posto possuir área de drenagem de 43 km², cerca de quatro vezes superior à do local de

estudo (10,5 km²), sua escolha levou em consideração a qualidade dos dados disponibilizados e a proximidade das áreas de drenagem, quando em comparação com as outras estações existentes na região. Ademais, o uso do solo nas bacias hidrográficas de estudo e do posto é semelhante.

Ao todo, foram obtidos 32 dados de vazão máxima diária anual, dispostos na Tabela 11, de 1982 a 2013. A partir disso, chegou-se a um valor médio de 26,25 m³/s e desvio padrão de 11,65 m³/s. Pelo coeficiente de assimetria (CA) obtido, de 1,53, seria recomendado, preferencialmente, o ajuste da amostra à distribuição exponencial de dois parâmetros – indicada para CA acima de 1,5, em contrapartida à distribuição de Gumbel (CA ≤ 1,5) (ANA, 2009). Todavia, a hipótese nula para o primeiro caso foi rejeitada segundo o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, realizado conforme definido por Naghettini e Pinto (2007), para um nível de significância de 5%. Por outro lado, a mesma análise não permitiu a rejeição da hipótese nula para a segunda distribuição, sendo essa, portanto, adotada para os cálculos.

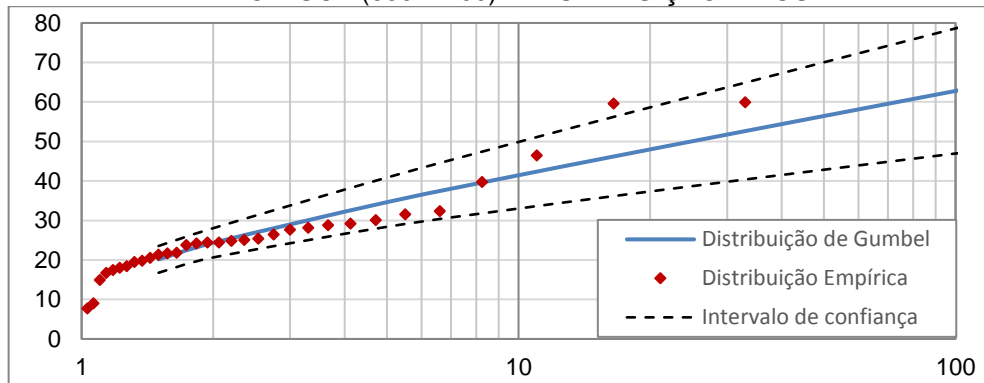
TABELA 11 – VAZÕES MÁXIMAS DIÁRIAS ANUAIS – ESTAÇÃO PRADO VELHO – UCP (65011400)

Ano	Q (m ³ /s)	Ano	Q (m ³ /s)	Ano	Q (m ³ /s)	Ano	Q (m ³ /s)
1982	39,7	1990	18,5	1998	18,1	2006	31,6
1983	60,0	1991	25,1	1999	59,7	2007	23,8
1984	24,4	1992	9,1	2000	21,7	2008	24,2
1985	7,8	1993	20,5	2001	21,9	2009	19,8
1986	24,4	1994	24,9	2002	19,5	2010	28,8
1987	28,2	1995	17,5	2003	29,2	2011	25,5
1988	15,0	1996	30,1	2004	16,7	2012	27,7
1989	26,5	1997	46,5	2005	21,3	2013	32,4

FONTE: ANA (2018).

Em seguida, pelo fato da amostra possuir um número inferior a 40 anos de dados, utilizou-se o limite superior da distribuição de Gumbel, para o intervalo de confiança de 95% (ANA, 2009), como ilustrado na Figura 35. Com isso, foram obtidas as vazões máximas para a série de dados do posto Prado Velho – UCP (65011400) para 1,5 ano de recorrência ($Q_{1,5}$) e para 25 anos de recorrência (Q_{25}), sendo $Q_{1,5} = 23,5$ m³/s e $Q_{25} = 61,4$ m³/s.

FIGURA 35 – AJUSTE DA SÉRIE DE VAZÕES MÁXIMAS DO POSTO PRADO VELHO – UCP (65011400) À DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL



FONTE: O autor (2019).

Os valores foram transferidos para a bacia de estudo por relação de áreas de drenagem, resultando em $Q_{1,5} = 5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_{25} = 15,0 \text{ m}^3/\text{s}$, sendo posteriormente maximizados pelo critério de Fuller para vazões instantâneas (FULLER, 1914), conforme a equação (4). Os resultados, correspondentes às vazões de projeto (Q_p), são $Q_{p_{1,5}} = 13,3 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_{p_{25}} = 34,7 \text{ m}^3/\text{s}$, para 1,5 e 25 anos de tempo de recorrência, respectivamente.

$$Q_{m\acute{a}x,inst} = Q_{m\acute{a}x} (1 + 2,66 A_d^{-0,3}); \quad (4)$$

onde:

- $Q_{m\acute{a}x,inst}$ – vazão instantânea maximizada pelo critério de Fuller (m^3/s);
- $Q_{m\acute{a}x}$ – vazão máxima para um determinado tempo de recorrência (m^3/s);
- A_d – área de drenagem da bacia (km^2).

As vazões de projeto para o dimensionamento do sistema de drenagem serão obtidas a partir do método racional, indicado na equação (5). Segundo o Manual de Drenagem do PDD de Curitiba (COBRAPE, 2012b), essa metodologia é comumente adotada para projetos em bacias pequenas, limitadas a 2 km^2 . Nesse caso, as bacias avaliadas são as áreas de contribuição de cada canaleta vegetada.

$$Q_p = \frac{C_e i_c A_d}{3,6}; \quad (5)$$

onde:

- C_e – coeficiente de escoamento superficial (adimensional);
- i_c – intensidade da chuva (mm/h).

O C_e foi obtido do Quadro 10 do Manual de Drenagem do PDD (COBRAPE, 2012b), assumindo-se a condição mais crítica dentre a faixa de valores para parques e cemitérios, com $C_e = 0,25$. No método racional, admite-se ainda a ocorrência de uma precipitação de intensidade constante e de duração equivalente ao tempo de concentração da bacia, sendo determinada por meio de curvas IDF. Nesse projeto, foi adotada a curva IDF definida por Fendrich (2000), dada pela equação (6), como sugerido no PDD (COBRAPE, 2012b).

$$i_c = \frac{5726,64 T_r^{0,159}}{(t_d + 41)^{1,041}}; \quad (6)$$

onde:

- T_r – tempo de recorrência (anos);
- t_d – tempo de duração da chuva (min).

Como se trata de obras de microdrenagem, em áreas com edifícios de serviço público, utilizou-se o T_r de projeto de 5 anos, de acordo com o Quadro 7 do Manual de Drenagem do PDD (COBRAPE, 2012b). Para t_d , a correspondência com o tempo de concentração possibilita o uso da fórmula de Kirpich para sua estimativa, conforme a equação (7).

$$t_c = 57 \left(\frac{L_c^3}{H} \right)^{0,385}; \quad (7)$$

onde:

- t_c – tempo de concentração da bacia (min);
- L_c – comprimento do canal principal da bacia (min);
- H – desnível topográfico da bacia (m).

Para a estimativa da erosão no Parque General Iberê de Mattos, fez-se uso de dados de precipitação acumulada média mensal (M_i) da região, com valores indicados na Tabela 12. As informações foram obtidas da estação Curitiba - PR (83842) do INMET, considerando o período de 1981 a 2010.

TABELA 12 – PRECIPITAÇÕES ACUMULADAS MÉDIAS MENSAIS DE CURITIBA PARA O PERÍODO DE 1981 A 2010

Mês	M_i (mm)	Mês	M_i (mm)	Mês	M_i (mm)
Janeiro	218,3	Maio	113,5	Setembro	141,4
Fevereiro	166,2	Junho	94,1	Outubro	138,7
Março	147,0	Julho	108,3	Novembro	124,4
Abril	95,7	Agosto	74,0	Dezembro	154,2

FONTE: INMET (2018).

4.1.4 Parâmetros hidráulicos

A avaliação dos parâmetros hidráulicos de projeto envolveu, inicialmente, a verificação das condições atuais do Rio Bacacheri no parque. Para isso, fez-se uma análise das quatro seções topobatimétricas submetidas às vazões de projeto definidas, $Q_{p_{1,5}}$ e $Q_{p_{25}}$. Considerou-se, para tanto, o escoamento como uniforme, permanente e unidimensional, por simplificação. Assumindo-se ainda o fluxo como turbulento rugoso, utilizou-se a fórmula de Manning, apresentada nas equações (8) e (9), para os cálculos da velocidade e da área do escoamento.

$$Q_p = V A_m; \quad (8)$$

$$V = \frac{1}{n_e} R_h^{2/3} I_o^{1/2}; \quad (9)$$

onde:

- V – velocidade do escoamento (m/s);
- A_m – área molhada da seção transversal (m²);
- n_e – coeficiente de Manning equivalente da seção (s.m^{-1/3});
- R_h – raio hidráulico da seção transversal (m), sendo $R_h = A_m/P_m$, em que P_m é o perímetro molhado da seção transversal (m);
- I_o – declividade do fundo do canal (m/m).

Visando representar o efeito combinado da rugosidade dos diferentes materiais constituintes do leito e das margens do canal, calculou-se o n_e , dado pela equação (10). Assumiu-se, nesse caso, a consideração de que a resistência total da seção ao escoamento é igual à soma das resistências de cada subdivisão da seção, conforme apresentado em Porto (2006). Os coeficientes de Manning por tipo de revestimento (n_i), indicados na Tabela 13, foram obtidos de Chow (1959). Para o concreto do leito, todavia, utilizou-se um dado proveniente de medições de vazão realizadas no local com o uso de micro-molinete, estando o valor dentro da faixa de variação recomendada para esse tipo de material.

$$n_e = \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i n_i^2}{P_m} \right)^{\frac{1}{2}} ; \quad (10)$$

onde:

- P_i – perímetro molhado da subdivisão i da seção do canal (m).

TABELA 13 – COEFICIENTES DE MANNING ADOTADOS POR TIPO DE REVESTIMENTO DO CANAL

Tipo de revestimento	n_i (s.m ^{-1/3})	Trecho de aplicação	Fonte
Calha de concreto	0,0168	Leito e margens atuais	O autor (2019)
Concreto com acabamento superficial	0,015	Meio-fio de concreto pré-moldado das pistas de caminhada	CHOW (1959)
Fundo de cascalho com margens em enrocamento	0,033	Leito e margens da seção revitalizada e leito de brita das canaletas vegetadas, canaletas escalonadas e descidas d'água	CHOW (1959)
Gramma curta	0,030	Taludes laterais, entre a calha de concreto e a vegetação arbustiva, e placas de grama das canaletas vegetadas	CHOW (1959)
Troncos de madeira	0,015	Paredes das canaletas escalonadas e descidas d'água	CHOW (1959)
Vegetação arbustiva de médio porte	0,070	Taludes laterais, no trecho com presença de arbustos no traçado atual, e paredes Krainer e banquetas vegetadas da seção revitalizada	CHOW (1959)

FONTE: CHOW (1959) e o autor (2019).

A partir da solução da equação (9) para as quatro seções e com as duas condições de Q_p , avaliou-se pela equação (11) o número de Froude (Fr) de cada caso. De acordo com o resultado, o escoamento pode ser classificado como fluvial ($Fr < 1$), torrencial ($Fr > 1$) ou crítico ($Fr = 1$), como apresentado em Porto (2006).

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g h}}; \quad (11)$$

onde:

- h – altura hidráulica da seção (m), sendo $h = A_m/L_e$, em que L_e é a largura do escoamento (m).

Foram avaliadas ainda as tensões de cisalhamento decorrentes da corrente d'água, para a condição adotada de escoamento uniforme. Nesse caso, a consideração da aceleração nula implica que a força trativa seja de igual intensidade ao peso da água atuando na direção do fluxo, como apontado por Lane (1952). Assim, pode-se calcular a tensão tangencial pela equação (12), conforme Chow (1959):

$$\tau_o = \gamma R_h I_o; \quad (12)$$

onde:

- τ_o – tensão tangencial média na seção (N/m²).

No caso de canais trapezoidais, todavia, a distribuição das tensões de cisalhamento é variável ao longo da seção. Com base em resultados experimentais, Lane (1952) estabelece que no leito a solicitação aproxima-se à tração trativa que ocorreria em um canal de largura infinita, sendo de menor intensidade nas margens, como indicado nas equações (13) e (14).

$$\tau_l = \gamma y I_o; \quad (13)$$

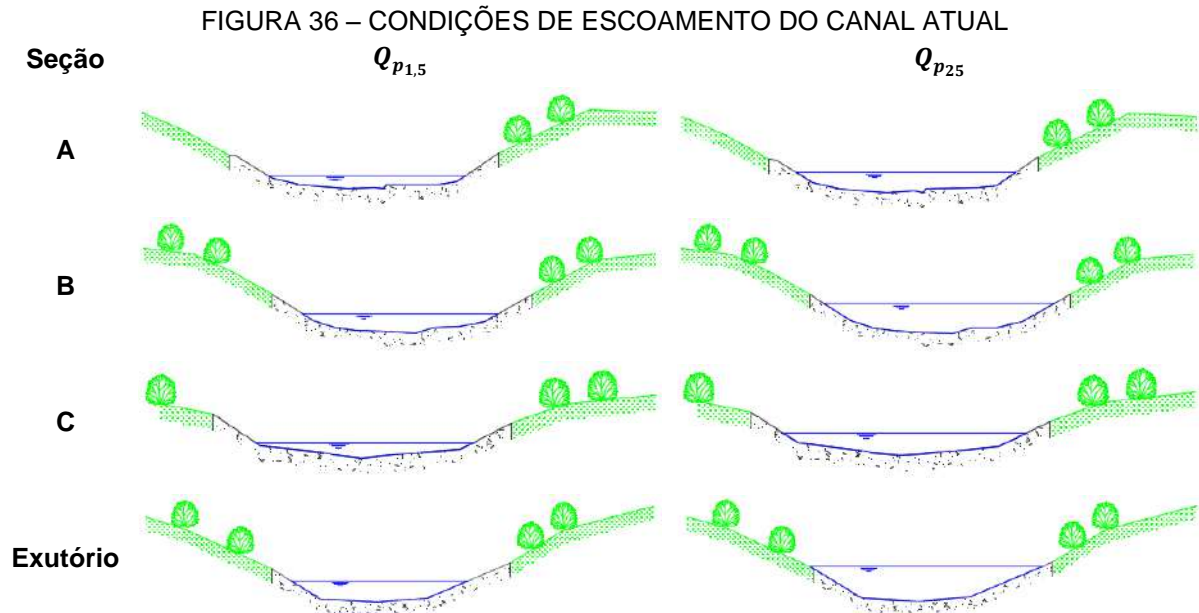
$$\tau_m = 0,76 \gamma y I_o; \quad (14)$$

onde:

- τ_l – tensão tangencial no leito do canal (N/m²);
- y – profundidade do escoamento (m);
- τ_m – tensão tangencial nas margens do canal (N/m²).

Considerando as medições topobatimétricas do Rio Bacacheri, pode-se assumir simplificadamente que, para as vazões de projeto, $Q_{p1,5}$ e $Q_{p2,5}$, a configuração

da seção aproxima-se de um formato trapezoidal, como disposto na Figura 36. Utilizou-se, portanto, as relações apresentadas por Lane (1952) para o cálculo das tensões tangenciais no canal. Dessa forma, os resultados gerais obtidos estão indicados na Tabela 14.



FONTE: O autor (2019).

TABELA 14 – RESUMO DOS PARÂMETROS HIDRÁULICOS PARA A CONDIÇÃO ATUAL DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS

Parâmetro	Unidade	Seção A		Seção B		Seção C		Exutório	
		$Q_{p1,5}$	Q_{p25}	$Q_{p1,5}$	Q_{p25}	$Q_{p1,5}$	Q_{p25}	$Q_{p1,5}$	Q_{p25}
Q_p	m ³ /s	13,3	34,7	13,3	34,7	13,3	34,7	13,3	34,7
I	m/m	0,0113	0,0113	0,0025	0,0025	0,0116	0,0116	0,0020	0,0020
y	m	0,61	0,96	0,94	1,48	0,66	1,00	1,03	1,68
P_m	m	9,52	10,8	9,87	12,0	9,45	10,8	9,02	12,0
n_e	s.m ^{-1/3}	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168	0,0168	0,0171
V	m/s	3,46	4,83	2,17	2,95	3,50	4,87	2,10	2,72
A_m	m ²	3,84	7,19	6,14	11,8	3,80	7,13	6,32	12,8
L_e	m	9,23	10,3	9,55	11,3	9,29	10,5	8,60	11,3
h	m	0,42	0,70	0,64	1,04	0,41	0,68	0,73	1,13
τ_l	N/m ²	68,0	106,0	23,1	36,3	75,7	114,1	20,2	33,0
τ_m	N/m ²	51,7	80,6	17,6	27,6	57,5	86,8	15,4	25,1
Fr	-	1,71	1,85	0,86	0,92	1,75	1,88	0,78	0,82
		Torrencial	Torrencial	Fluvial	Fluvial	Torrencial	Torrencial	Fluvial	Fluvial

FONTE: O autor (2019).

Observa-se que as seções com maior declividade, A e C, apresentam escoamento torrencial para as duas vazões de projeto, em contrapartida à seção B e

ao exutório. Desse modo, mesmo na condição canalizada, verifica-se a alternância de regimes ao longo do curso d'água, como ocorre naturalmente em rios. Ademais, houve o transbordamento da calha de concreto somente na seção do exutório, para o caso de $Q_{p_{25}}$, conforme ilustrado na Figura 36.

As velocidades de escoamento resultantes variaram de 2,10 a 4,87 m/s, sendo acentuadas pela baixa rugosidade do concreto e pelas declividades acentuadas em alguns trechos do canal. Quanto às tensões de cisalhamento, os valores máximos foram superiores a 100 N/m², muito acima dos limites toleráveis para diferentes tipos de solo, conforme valores apresentados em Baptista e Lara (2014).

Ressalta-se que a seção A não corresponde às condições mais críticas de declividade no Rio Bacacheri no Parque General Iberê de Mattos, sendo esse trecho localizado a aproximadamente 26 m a montante daquela, com I_o de 0,390. Visando à avaliação das tensões máximas que ocorrem no curso d'água, foi realizada a mesma verificação hidráulica da Tabela 14 para o local de máxima inclinação, transferindo-se a configuração da seção A, tendo em vista a proximidade entre os pontos. Desse modo, chega-se a tensões τ_l de 272,8 N/m² e τ_m de 207,3 N/m².

Apesar desse valor não corresponder, possivelmente, às tensões que de fato se verificam no rio, considerando as simplificações adotadas na análise, notou-se nas visitas in loco que o trecho inicial é o que apresenta a calha no estado mais deteriorado, como visto nas Figuras 11, 13 e 16. As solicitações atuantes sobre o concreto foram suficientes para degradá-lo não apenas nessa região, como em diversos pontos ao longo do parque, expondo a malha metálica e a camada de brita abaixo (Figura 37).

FIGURA 37 – CONCRETO DEGRADADO NA CALHA DO RIO BACACHERI



FONTE: O autor (2019).

Ainda que o desgaste da calha de concreto não seja desejável do ponto de vista estético, causando desconforto visual aos usuários do parque, e econômico, por exigir manutenção mais frequente do canal, ressalta-se que esse é um processo natural do rio na busca por retomar o seu equilíbrio dinâmico. Com isso, há o aumento da rugosidade superficial do leito e o estabelecimento de pequenas soleiras, proporcionando a diminuição da velocidade do escoamento e a formação de poços, como verificado na Figura 11.

A partir da análise realizada, destaca-se a necessidade de um cuidado maior na definição do novo traçado quanto ao trecho inicial do Rio Bacacheri, de modo a diminuir sua declividade. Outro trecho crítico ocorre a jusante da ponte, conforme o perfil longitudinal do curso d'água (Figura 14).

4.2 ESCOLHA DA ABORDAGEM DE PROJETO

A escolha da abordagem de projeto envolveu a definição do novo traçado, conforme as pranchas apresentadas no Apêndice 4, e das técnicas necessárias para a sua estabilização. Quanto ao primeiro ponto, a falta de dados de sedimentologia do Rio Bacacheri e da distribuição granulométrica do leito impossibilitou o uso de uma parcela significativa dos métodos empíricos e analíticos de dimensionamento de canais. Optou-se, portanto, pela avaliação da geometria da seção transversal segundo a metodologia para projeto de canais estáveis definida por Lane³ (1955 apud BERNARDINO, 2005).

Conforme Bernardino (2005), esse tipo de abordagem apresenta apenas um grau de liberdade, referente à profundidade de escoamento. Nesse caso, considera-se simplificada que o curso transporta águas claras (com baixa quantidade de sedimentos) e que o escoamento ocorre sobre material de leito solto e não coesivo. Desse modo, avalia-se a estabilidade do canal pela capacidade dos materiais do fundo e das margens em resistir à tensão de arraste gerada pelo fluxo de água.

Em relação à declividade do canal, estabeleceu-se inicialmente os pontos em que a cota não deve ser alterada, correspondentes às seções de entrada e saída do

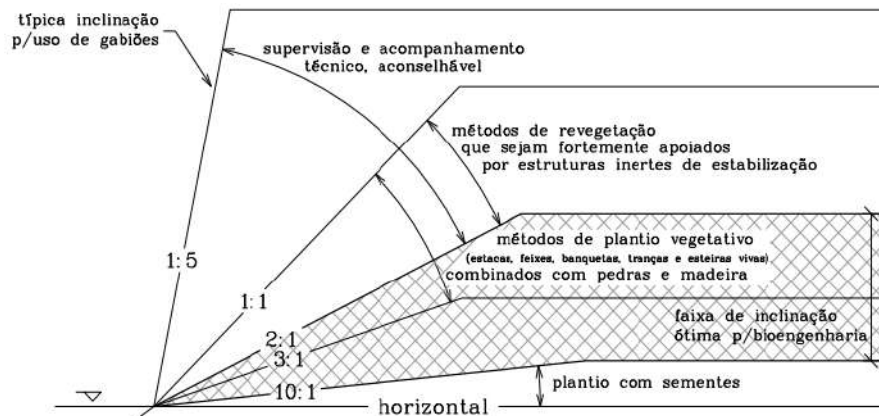
³ LANE, E. W. Design of stable channels. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, Nova York, v. 120, 1955.

parque e ao local de deságue do afluente da margem direita. Em seguida, adotou-se o uso de uma soleira de enrocamento para a seção inicial do rio, tendo em vista as altas velocidades induzidas pela declividade acentuada e pela contração da seção de escoamento no bueiro. Buscou-se, desse modo, a diminuição da inclinação do leito pelo processo de sedimentação a montante do degrau. Para tanto, a declividade de equilíbrio foi estimada conforme o método indicado por Agostini, Bizzarri e Masetti (1981) e apresentado na etapa de dimensionamento. Além disso, manteve-se constante a inclinação entre a soleira e a seção de confluência, considerando o aumento do comprimento do canal pela formação de meandros, e desse trecho ao exutório do parque. Por fim, considerou-se que a nova ponte será altura suficiente e terá disposição dos pilares de modo a não afetar o escoamento.

A definição do traçado em planta, por sua vez, foi efetuada com base na teoria da mínima variância aplicada a meandros de rios, de acordo com Langbein e Leopold (1966). Conforme os autores, essa é forma de geometria de canal mais provável para o desenvolvimento de cursos d'água com a ocorrência de poços e corredeiras, sendo, portanto, mais estável do que canais retos. Avalia-se ainda que os meandros podem ser representados por curvas seno-geradas, em que a direção do rio varia segundo uma função senoidal (LANGBEIN; LEOPOLD, 1966).

Durante a escolha das técnicas de estabilização, buscou-se a definição de obras de Engenharia Natural que atendam às particularidades do local de estudo, com base nos parâmetros avaliados anteriormente e nas recomendações da literatura. Como exemplo, destaca-se, a influência da declividade do terreno na preferência por determinados tipos de intervenção, como ilustrado na Figura 38.

FIGURA 38 – DETERMINAÇÃO DOS MÉTODOS DE ENGENHARIA NATURAL ADEQUADOS À DECLIVIDADE DO TERRENO



FONTE: DURLO; SUTILI (2014).

Para efeitos de projeto básico, a definição das intervenções será feita com base nas condições críticas avaliadas no novo traçado do rio no parque. Desse modo, a otimização das técnicas de Engenharia Natural quanto às particularidades de cada trecho do local contempla uma das etapas de projeto executivo.

Assim, para a parte superior dos taludes, acima da calha de concreto, adotou-se o uso de banquetas vegetadas, ilustradas na Figura 39, que possuem a capacidade de reter os sedimentos e auxiliam na estabilização geotécnica e na drenagem do solo. Além das declividades nas áreas mais altas serem compatíveis com o uso de métodos vegetativos, como as banquetas, tem-se como vantagem inerente a menor susceptibilidade à ação das águas fluviais, como recomendado por Maffra (2014) para esse tipo de técnica. Ademais, os ângulos dos taludes não são compatíveis com a faixa indicada para grades vivas, de 45 a 55° (SAULI; CORNELINI; PRETI, 2006; BACCI, 2010a), nem para a pior condição avaliada, localizada acima da seção de entrada do rio no parque, em que também serão utilizadas as banquetas vegetadas. Desse modo, não se justifica o uso de grades vivas, tendo em vista o maior custo atrelado.

FIGURA 39 – BANQUETAS VEGETADAS EM CONSTRUÇÃO E APÓS FINALIZAÇÃO



FONTE: FREITAG WEIDENART (2017a).

Em substituição ao revestimento de concreto nos taludes das margens, serão utilizadas paredes Krainer dupla nos três primeiros trechos e no último. Já no quarto intervalo, correspondente à seção III do novo traçado, optou-se pelo uso da esteira viva, tendo em vista a menor declividade dos taludes. Apesar dessa solução ter sido prevista para o terceiro trecho no projeto conceitual, constatou-se que a mudança de declividade do canal terá como consequência o rebaixamento do leito nessa região. Por conta disso, e considerando que a ponte não irá mais influenciar as condições de escoamento a montante da confluência, optou-se pela mudança de local para as

esteiras vivas. As configurações das paredes Krainer e das esteiras vivas em construção estão apresentadas nas Figuras 40 e 41, respectivamente.

FIGURA 40 – PAREDES KRAINER EM CONSTRUÇÃO E APÓS FINALIZAÇÃO



FONTE: FREITAG WEIDENART (2017b).

FIGURA 41 – ESTEIRAS VIVAS COM FEIXES VIVOS E COM ENROCAMENTO
Esteira viva com feixes vivos Esteira viva com base em enrocamento



FONTE: FREITAG WEIDENART (2017c).

Ressalta-se, todavia, que a sombra gerada pela nova ponte impossibilitará o uso de técnicas de Engenharia Natural para a estabilização do trecho do canal abaixo dela, já que a exposição à luz solar é necessária para o desenvolvimento das plantas. Desse modo, deverá ser previsto no projeto dessa estrutura o uso de intervenções convencionais da Engenharia Civil para a estabilização das margens do Rio Bacacheri. Como exemplo de possível solução, destaca-se a utilização de muros de contenção do tipo “crib wall”, que emprega elementos metálicos ou pré-moldados de concreto armado dispostos em forma de fogueira, de modo semelhante à técnica de parede Krainer. Ademais, a compatibilização entre projetos deverá ser realizada na fase de projeto executivo.

Por fim, a disposição de canaletas vegetadas ao longo das pistas de caminhada e da crista das paredes Krainer tem como objetivo a proteção das

intervenções de Engenharia Natural. Dessa forma, as águas pluviais são conduzidas diretamente ao Rio Bacacheri, minimizando a erosão superficial e a poropressão gerada nos taludes fluviais. Além disso, observou-se in loco que o terreno apresenta alta umidade em alguns trechos do parque, mesmo após dias sem chuva, indicando uma baixa condutividade hidráulica do solo.

Todavia, como a presença de água é vital para o desenvolvimento da vegetação, o uso de dispositivos enterrados de alta capacidade drenante torna-se indesejável, já que propiciaria níveis insuficientes de umidade no solo. Diante disso, previu-se a utilização de canaletas semelhantes a drenos cegos, que consistem em valas preenchidas apenas com material granular, sem tubos ranhurados ou perfurados. Junto a isso, serão dispostas estacas de plantas ao longo das canaletas, garantindo melhor estabilização do solo e um menor impacto visual. Para o atendimento da vazão de projeto do sistema drenagem, por sua vez, produzida por uma chuva com T_r de 5 anos, considerou-se o transbordamento da canaleta, formando um canal sobre a brita, com maior capacidade hidráulica do que o dreno cego.

Desse modo, as valas escavadas serão revestidas com mantas geotêxteis e preenchidas com brita e com o solo escavado do próprio local, que servirá de substrato para a vegetação. Além disso, para garantir que haja escoamento da água captada, deverá ser respeitada uma declividade mínima de 0,5%. Nos trechos com declividade superior a 2%, serão efetuadas canaletas escalonadas, como ilustrado na Figura 42. Nesse caso, a vala escavada será revestida no fundo com mantas geotêxteis e nas paredes com troncos de 10 cm de diâmetro, sendo os degraus preenchidos por brita.

FIGURA 42 – CANALETA ESCALONADA ANTES E APÓS O DESENVOLVIMENTO DA VEGETAÇÃO



FONTE: VERTICAL GREEN (2015).

O direcionamento das águas captadas pelas canaletas para o deságue no Rio Bacacheri será feito por descidas d'água semelhantes às canaletas escalonadas, mas com maior número de degraus, tendo em vista o desnível a ser vencido entre o topo dos taludes laterais e o canal. Para a dissipação da energia do escoamento, serão dispostas bacias de dissipação de enrocamento simples nos pontos de lançamento, com pedras de 35 cm de diâmetro.

4.3 MATERIAIS

Neste subitem, apresenta-se a relação dos materiais considerados para os dimensionamentos das técnicas de Engenharia Natural, incluindo elementos inertes, como a madeira e a rocha, e vegetativos. Além disso, indicam-se as propriedades de interesse para o projeto e os seus respectivos valores adotados.

4.3.1 Materiais inertes

No dimensionamento das paredes Krainer, adotou-se o uso de peças de madeira roliça da espécie *Corymbia citriodora*, conhecida anteriormente como *Eucalyptus citriodora* (REIS et al., 2013), sendo essa a denominação presente na NBR 7190 (ABNT, 1997). Será utilizado material tratado, tendo em vista que este estará permanentemente em contato com o solo ou com as águas do Rio Bacacheri, caracterizando uma condição de risco à sua durabilidade, conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997). Ademais, considerou-se a falta de experiência local quanto à manutenção de obras de Engenharia Natural, sendo conveniente que se propicie um prazo maior para o completo desenvolvimento da vegetação.

Assim, serão empregadas toras de 25 cm de diâmetro e 6,5 m de comprimento. As propriedades da madeira estão expostas na Tabela 15, baseando-se em valores indicados pela NBR 7190 (ABNT, 1997) para dicotiledôneas da classe de resistência C30, exceto no caso da densidade básica.

TABELA 15 – PROPRIEDADES DA MADEIRA *CORYMBIA CITRIODORA*

Propriedade	Símbolo	Valor	Unidade	Fonte
Densidade básica da madeira	ρ_{bas}	730	kg/m ³	OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO (2005)
Resistência característica à compressão paralela às fibras da madeira	$f_{co,k}$	30	MPa	ABNT (1997)

FONTE: ABNT (1997) e OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO (2005).

A brita 4 e as pedras do enrocamento, com diâmetro de 35 cm, foram consideradas provenientes de rochas graníticas. Assim, utilizou-se 28,5 kN/m³ para o peso específico do material, conforme o valor médio disposto na NBR 6120 (ABNT, 2019). Para o solo avaliado nos dimensionamentos geotécnicos e para enchimento das gavetas das paredes Krainer, adotou-se a massa específica de 1700 kg/m³, resultando em um peso específico do solo de enchimento (γ_t) de 16,7 kN/m³.

A ligação entre as peças transversais e longitudinais das paredes Krainer serão realizadas com o uso de grampos e cravos metálicos, feitos com barras de aço CA-50 de 16 mm de diâmetro. Desse modo, a tensão de escoamento característica do aço (f_{yk}) dos elementos é de 500 MPa.

Serão utilizados, ainda, os seguintes materiais inertes nas paredes Krainer: geotêxteis, para forrar a base e o tardo dos taludes; areia média, colocada entre o tardo e a parede, atuando como uma canaleta de drenagem; biorretentores, para abrigar o solo nos vãos entre as barras transversais; e estacas de madeira, para a fixação das placas de grama nas banquetas, e para serem utilizadas como pilotos na demarcação do novo traçado, com diâmetros de 5 cm e 7,5 cm, respectivamente.

Para o preenchimento das canaletas vegetadas, canaletas escalonadas e descidas d'água, será empregada brita 4, com faixa granulométrica variando de 5 a 7,5 cm. O revestimento das valas escavadas, por sua vez, será feito com mantas geotêxteis e com troncos da espécie *Corymbia citriodora*, de 8 cm de diâmetro e 2,2 m de comprimento.

Ademais, buscando garantir um melhor desenvolvimento da vegetação, será adicionada às covas de plantio uma solução de água e hidrogel, que é um polímero com capacidade de hidrorretenção. Dessa forma, possibilita-se uma melhor aeração do solo e formação das raízes (FORTH JARDIM, 2017). Para tanto, será usada a proporção de 4 g de hidrogel por litro de água, com 300 ml de solução por estaca utilizada nas técnicas de parede Krainer, banquetas vegetadas e canaletas vegetadas.

4.3.2 Materiais vegetativos

A escolha das plantas a serem utilizadas é de grande importância para o sucesso das técnicas de Engenharia Natural. Para tanto, deve-se compreender as propriedades biotécnicas dos materiais vegetativos e sua interação com o sistema construtivo utilizado (SOUSA, 2015).

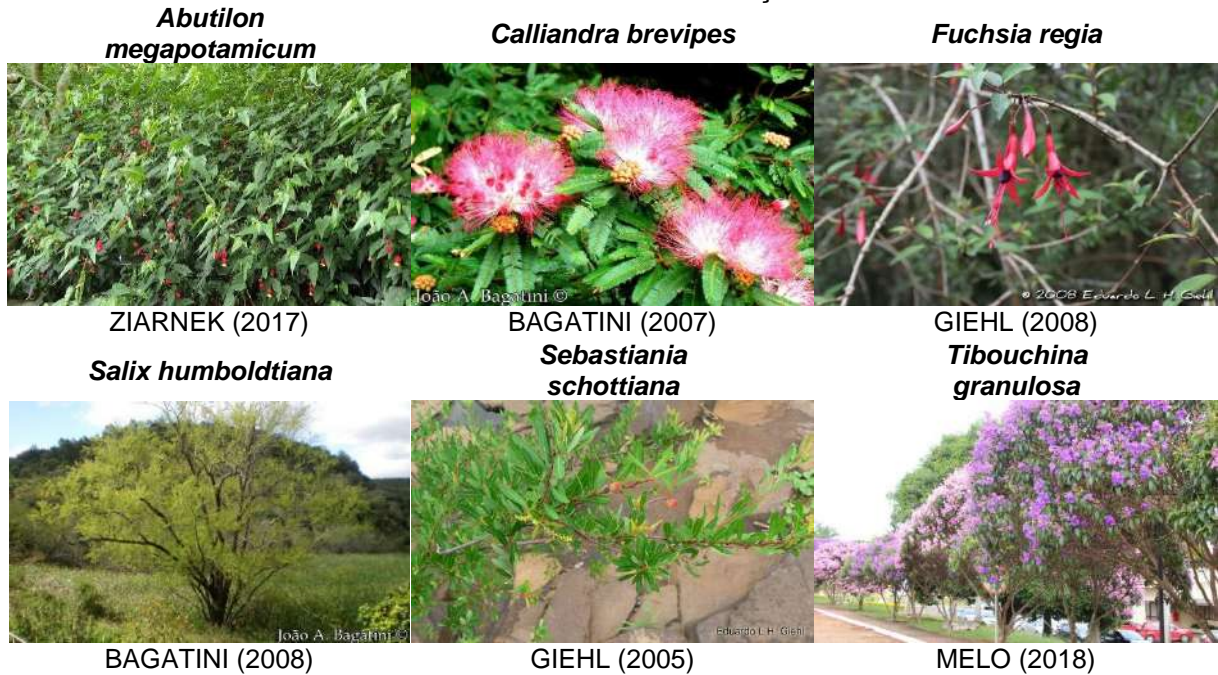
Desse modo, a escolha foi realizada com base no levantamento efetuado por Castelani (2018) para a recuperação das margens do lago do Parque São Lourenço, em Curitiba, bem como na descrição de determinadas espécies presente em Sousa (2015). Assim, a lista de espécies resultante está indicada no Quadro 3 e ilustrada na Figura 43, podendo ser reavaliada na etapa de projeto executivo. Todavia, nenhuma das plantas sugeridas ocorre no Parque Bacacheri, conforme a relação de espécies presente no Plano de Manejo do local (CURITIBA, 2008).

QUADRO 3 – RELAÇÃO DAS ESPÉCIES A SEREM UTILIZADAS NAS TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL

Nome científico	Nome popular	Hábito	Propriedades	Propagação	Técnicas
<i>Abutilon megapotamicum</i>	Lanterninha chinesa	Arbusto	Raízes radiculares, pode ser trepadeira, rústica	Estacas	Banqueta vegetada e parede Krainer
<i>Calliandra brevipes</i>	Anjiquinho, sarandi, quebra-foice	Arbusto	Sistema radicular denso e lateral, copas densas e ramificadas, heliófila	Estacas	Banqueta vegetada, canaleta vegetada e parede Krainer
<i>Fuchsia regia</i>	Brinco de princesa	Arbusto	Raízes radiculares, climas frios, arbusto ramificado	Estacas	Banqueta vegetada
<i>Salix humboldtiana</i>	Salseiro, salgueiro, chorão	Árvore	Sistema radicular denso e profundo, copa ramificada, densa e flexível	Estacas	Esteira viva
<i>Sebastiania schottiana</i>	Sarandi, amarelo	Arbusto	Sistema radicular denso e lateral, copa flexível, adaptável a variações de umidade, produz feixes	Estacas	Banqueta vegetada, canaleta vegetada, esteira viva e parede Krainer
<i>Tibouchina granulosa</i>	Quaresmeira	Árvore	Raízes profundas, assume porte arbustivo e denso, ramos fracos, pioneira e rústica	Estacas	Parede Krainer

FONTE: Adaptado de CASTELANI (2018) e SOUSA (2015).

FIGURA 43 – ESPÉCIES PREVISTAS PARA AS INTERVENÇÕES DE ENGENHARIA NATURAL



FONTE: BAGATINI (2007, 2008), GIEHL (2005, 2008), MELO (2018) e ZIARNEK (2017).

Pontua-se ainda que os locais afetados pelas obras deverão ser revestidos com placas de grama-são-carlos (*Axonopus compressus*), também conhecida como grama-curitibana, mostrada na Figura 44. Além de ser uma espécie nativa (FILGUEIRAS; RODRIGUES, 2015), é comum em ambientes públicos de Curitiba, estando presente em 31 de 32 locais avaliados por Viezzer et al. (2018) em estudo referente à vegetação no paisagismo de praças do município. Apresenta como vantagens o rápido crescimento e a tolerância a áreas sombreadas, e como desvantagens a baixa resistência a danos mecânicos e a sensibilidade a certos tipos de doença foliares (GURGEL, 2003), exigindo um maior acompanhamento inicial após o plantio.

FIGURA 44 – GRAMA-SÃO-CARLOS (*AXONOPUS COMPRESSUS*)

FONTE: PARDIM (2016).

Em relação à técnica de plantio de gramas em placas, ou enleivamento, Moretto (2012) destaca que o método proporciona uma proteção imediata ao solo e

valoriza esteticamente o local de implantação, embora possua um alto custo. A autora aponta ainda que as raízes são de pequena profundidade, além de normalmente demandarem manutenção periódica. Ademais, pode-se fazer uso de estacas ou grampos metálicos para garantir melhor fixação das placas, sendo recomendado para declives acentuados ou para trechos com ação erosiva da água de forma mais significativa (DURLO; SUTILI, 2014).

4.4 DIMENSIONAMENTO DAS INTERVENÇÕES

O dimensionamento das intervenções para a revitalização do Rio Bacacheri no trecho do Parque General Iberê de Mattos foi realizado com base nos parâmetros de projeto e nas propriedades dos materiais adotados. Desse modo, são abordadas técnicas de estabilização transversal, como a soleira de enrocamento no trecho de entrada do curso d'água, e de estabilização longitudinal, incluindo banquetas vegetadas, paredes Krainer, esteiras vivas e enrocamento, além do sistema de drenagem, composto pelas canaletas vegetadas, canaletas escalonadas e descidas d'água.

4.4.1 Novo traçado

A primeira etapa da definição do novo traçado consistiu no dimensionamento da altura da soleira de enrocamento. Desse modo, avaliou-se inicialmente a declividade de equilíbrio formada pelo processo de sedimentação, considerando-se a condição de $Q_{p1,5}$. Para isso, utilizou-se a equação (15), apresentada em Agostini, Bizzarri e Masetti (1981).

$$i_e = \frac{(v u_l)^{10/3} P_m^{4/3} n^2}{Q_{p1,5}^{4/3}}; \quad (15)$$

onde:

- i_e – declividade de equilíbrio (m/m);
- v – relação entre a velocidade média da água na seção e a velocidade no fundo (adimensional);

- u_l – velocidade limite pela qual inicia a erosão do leito (m/s).

Os autores indicam que o valor de ν varia de 1,3 a 1,5, normalmente, sendo adotado 1,3 para o dimensionamento. Em relação à u_l , deve-se verificar o tipo de material do leito e se o fluxo transporta partículas coloidais em suspensão. Como será necessária a substituição da calha por pedras de tamanho suficiente para que não haja o seu transporte, considerou-se o material como cascalho grosso, dentre as opções levantadas por Agostini, Bizzarri e Masetti (1981). Além disso, por falta de dados de sedimentação, adotou-se a condição mais crítica para o escoamento, correspondente à ocorrência de transporte de partículas coloidais em suspensão. Com isso, o valor de u_l resultante foi de 1,85 m/s.

Em relação a P_m e a n , foram utilizados valores provenientes da nova seção transversal do canal, para $Q_{p_{1,5}}$. Assim, chegou-se a um P_m de 8,33 m e a um n de 0,033, equivalente ao fundo de cascalho com margens em enrocamento da Tabela 13. Desse modo, o i_e obtido foi de 0,0109 m/m.

Adotou-se a distância de 30 m em relação à entrada do canal para a posição da soleira. Para o cálculo da sua altura, por sua vez, utilizou-se a equação (16), adaptada de Agostini, Bizzarri e Masetti (1981).

$$H_s = \frac{100 L_s (i_m - i_e)}{n_s}; \quad (16)$$

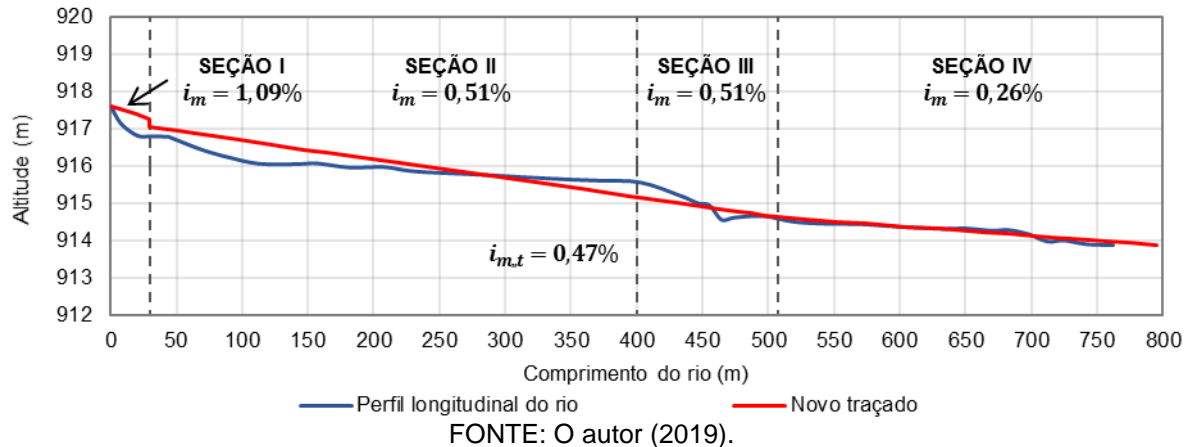
onde:

- H_s – altura da soleira (cm);
- L_s – comprimento do trecho a ser regularizado (m);
- n_s – número de soleiras necessárias para a regularização da declividade (adimensional).

A declividade do trecho da entrada até a soleira foi de $i_m = 0,0184$ m/m. Para $L_s = 30$ m e considerando-se uma soleira única, chegou-se à altura de 22,8 cm, ou aproximadamente 23 cm, formando um degrau no perfil longitudinal do rio. Destaca-se que a medida obtida é inferior ao diâmetro do enrocamento, de 35 cm. Desse modo, as pedras da soleira devem ser parcialmente enterradas no leito, contribuindo para a estabilidade da estrutura. A inclinação na região seguinte, até a seção de confluência,

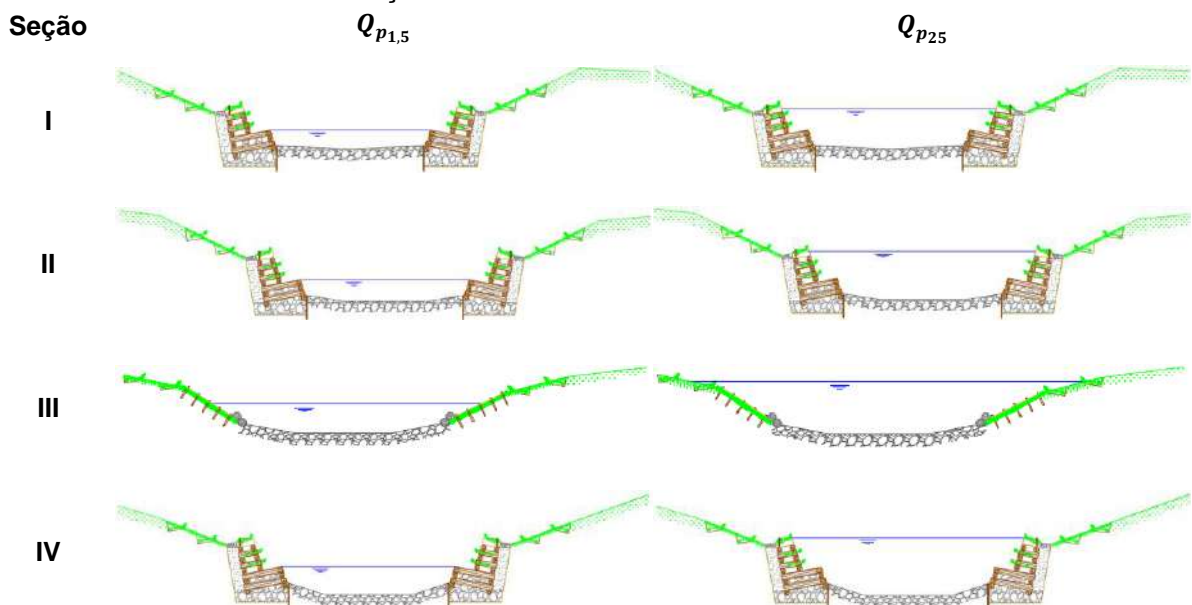
foi de 0,0051 m/m, e do trecho final de 0,0026 m/m, como demonstrado na Figura 45, que apresenta ainda o tipo de seção transversal por trecho.

FIGURA 45 – DECLIVIDADE DO NOVO TRAÇADO DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS



Com os valores de declividade, definiu-se o novo formato das seções, buscando-se garantir que a resistência do material do leito e das margens fosse superior à tensão de arraste. Para tanto, avaliou-se as condições de escoamento das seções estabelecidas para as vazões de projeto e os parâmetros hidráulicos resultantes, como mostrado na Figura 46 e na Tabela 16. Fez-se ainda uma remodelação dos taludes, conforme os ângulos apresentados na Tabela 17.

FIGURA 46 – CONDIÇÕES DE ESCOAMENTO DO CANAL REVITALIZADO



FONTE: O autor (2019).

TABELA 16 – RESUMO DOS PARÂMETROS HIDRÁULICOS PARA A CONDIÇÃO REVITALIZADA DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS

Parâmetro	Unidade	Seção I		Seção II		Seção III		Seção IV	
		$Q_{p1,5}$	Q_{p25}	$Q_{p1,5}$	Q_{p25}	$Q_{p1,5}$	Q_{p25}	$Q_{p1,5}$	Q_{p25}
Q_p	m ³ /s	13,3	34,7	13,3	34,7	13,3	34,7	13,3	34,7
I	m/m	0,0109	0,0109	0,0051	0,0051	0,0051	0,0051	0,0026	0,0026
y	m	0,87	1,80	1,00	2,24	1,16	2,11	1,30	2,64
P_m	m	8,33	12,28	9,07	13,47	12,31	17,92	9,21	13,91
n_e	s.m ^{-1/3}	0,0330	0,0481	0,0330	0,0483	0,0415	0,0514	0,0330	0,0440
V	m/s	2,41	2,41	1,85	1,85	1,43	1,58	1,50	1,57
A_m	m ²	5,57	14,41	7,18	18,92	9,33	21,91	8,88	22,14
L_e	m	7,30	9,70	8,00	12,31	10,96	16,18	8,00	10,65
h	m	0,76	1,49	0,90	1,54	0,85	1,35	1,11	2,08
τ_l	N/m ²	92,4	191,4	44,7	100,0	51,9	94,5	32,7	66,6
τ_m	N/m ²	70,2	145,4	34,0	76,0	39,5	71,8	24,8	50,6
Fr	-	0,88	0,63	0,62	0,48	0,49	0,43	0,45	0,35
		Fluvial	Fluvial	Fluvial	Fluvial	Fluvial	Fluvial	Fluvial	Fluvial

FONTE: O autor (2019).

TABELA 17 – ÂNGULO MÁXIMOS DAS SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS PROJETADAS

Seção	Ângulo do talude inferior (graus)		Ângulo do talude superior (graus)	
	Margem direita	Margem esquerda	Margem direita	Margem esquerda
I	*	*	23,2	24,9
II	*	*	26,0	26,0
III	30,4	26,3	11,4	14,3
IV	*	*	21,3	19,8

FONTE: O autor (2019).

NOTA: Os ângulos marcados com asterisco indicam os taludes estabilizados com paredes Krainer.

No trecho entre a soleira e a confluência, considerou-se a redução da tensão tangencial decorrente do efeito da sinuosidade do curso d'água, como indicado em Bernardino (2005). Nesse caso, adotou-se a condição de canais levemente sinuosos, com a redução das tensões de arraste em 10%. Ainda assim, os valores obtidos são, em geral, superiores às solicitações que ocorrem no canal atual, já que a profundidade é uma das variáveis para o cálculo da tensão. Por outro lado, todos os casos são inferiores à tensão crítica da condição vigente, correspondente à seção de máxima declividade, com τ_l de 272,8 N/m².

Ressalta-se que o aumento da lâmina d'água decorre principalmente da diferença significativa entre a rugosidade – expressa pelos coeficientes de Manning – do concreto e da vegetação das paredes Krainer, esteiras vivas e banquetas vegetadas. Por conta disso, há a redução das velocidades de escoamento, que é

compensada pelo aumento da área da seção. Deve-se avaliar ainda a incerteza atrelada ao valor do n da vegetação, já que não foram encontrados coeficientes específicos para as técnicas de Engenharia Natural utilizadas.

Os valores de referência para a verificação da condição de estabilidade do canal estão apresentados na Tabela 18. Comparando-se os dados levantados com os resultados de τ_m da Tabela 16, avalia-se que as tensões de arraste atuantes nas seções II e IV são menores do que o limite inferior da resistência inicial da parede Krainer, para ambas as vazões de projeto.

TABELA 18 – TENSÕES DE ARRASTE LIMITE PARA AS TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL

Técnica	Resistência inicial (N/m ²)	Resistência final (N/m ²)	Fatores intervenientes	Fonte
Banqueta vegetada	9,6 – 47,9	138,9 – 287,3	Condições do solo	USDA (2007b)
Esteira viva	19,2 – 201,1 50	134,1 – 383,0 150	Condições do solo e ancoragem –	USDA (2007b) DURLO; SUTILI (2014)
Parede Krainer	95,8 – 191,5	239,4 – 287,3	Natureza do material de enchimento (terra ou rocha), compactação e ancoragem	USDA (2007b)

FONTE: Adaptada de DURLO; SUTILI (2014) e USDA (2007b).

NOTA: Valores de USDA (2007b) dados em lb/ft² originalmente.

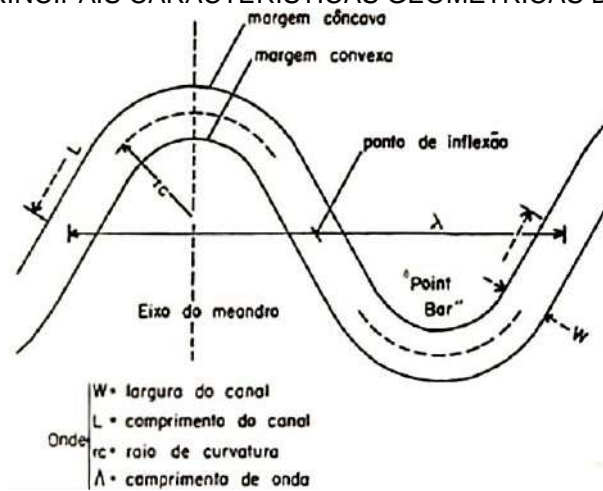
A tensão tangencial nas margens da seção I, todavia, está um pouco acima do valor médio para a resistência inicial da parede Krainer, de 143,65 N/m². Apesar disso, destaca-se que a intensidade da tensão diminui nas regiões mais próximas da superfície, e que as gavetas da parte inferior da estrutura são preenchidas com material de enrocamento, de tamanho suficiente para que não haja o seu arraste. De qualquer modo, é esperado que a vegetação do muro já tenha se desenvolvido em menos de 5 anos, aumentando sua resistência (GARCÍA-VEGA et al., 2014).

Quanto a seção III, observa-se que τ_m supera a resistência inicial da esteira viva indicada por Durlo e Sutili (2014) para $Q_{p_{25}}$, embora seja bem menor do que o limite superior da faixa de valores apresentados em USDA (2007b). Salienta-se, portanto, a importância de garantir a boa ancoragem dessa técnica, possibilitando o estabelecimento de resistências iniciais de maior proporção e diminuindo o risco associado. No caso das banquetas vegetadas, alcançadas pelo escoamento para $Q_{p_{25}}$, ressalta-se que a proximidade com a superfície da lâmina d'água resulta em menores tensões de arraste.

Para o leito do Rio Bacacheri, a resistência do material foi garantida pelo dimensionamento do tamanho do enrocamento utilizado, conforme demonstrado no subitem 4.4.2. Conclui-se, portanto, que o novo canal apresenta condições de segurança adequadas, desde que tomados os devidos cuidados com a ancoragem da esteira viva da seção III.

A geometria em planta dos meandros, por sua vez, envolve a definição de parâmetros como o comprimento de onda e o raio de curvatura, ilustrados na Figura 47. Dessa forma, utilizou-se a metodologia apresentada em Langbein e Leopold (1966), que faz uso de uma curva seno-gerada, dada pela equação (17), para o cálculo do ângulo de desvio do meandro em relação à direção média de jusante para uma determinada posição s (ϕ), em radianos.

FIGURA 47 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE UM MEANDRO



FONTE: CHRISTOFOLETTI (1980).

$$\phi = \omega \sin\left(\frac{2\pi s}{M}\right); \quad (17)$$

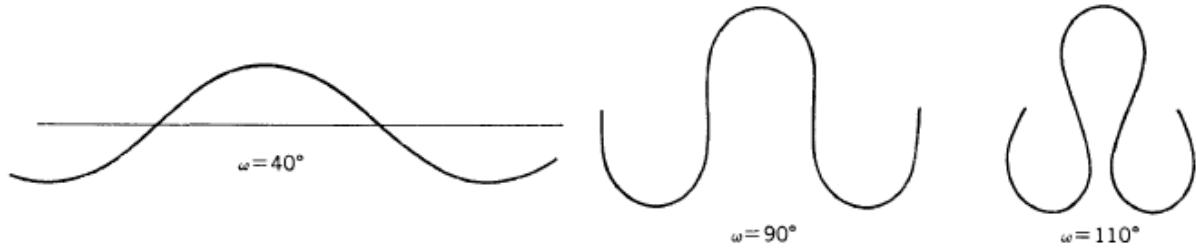
onde:

- ω – ângulo máximo de desvio do meandro em relação à direção média de jusante (radianos);
- s – posição do ângulo ϕ em relação ao comprimento total do meandro (m);
- M – comprimento total do meandro (m).

Destaca-se que o ângulo ω varia em função da sinuosidade do meandro (k), sendo calculado pela equação (18). Sua influência na geometria da curva está exemplificada na Figura 48.

$$\omega = 2,2 \sqrt{\frac{k-1}{k}} \quad (18)$$

FIGURA 48 – EXEMPLOS DE CURVAS SENO-GERADAS PARA DIFERENTES VALORES DE ω



FONTE: LANGBEIN; LEOPOLD (1966).

Para a avaliação de M , calcula-se inicialmente o raio de curvatura do meandro (R_m), dado em m, conforme a equação (19):

$$R_m = \frac{\lambda}{13} \frac{k^{3/2}}{\sqrt{k-1}}; \quad (19)$$

onde:

- λ – comprimento de onda (m).

A partir disso, pode-se avaliar o comprimento total do meandro pela equação (20), adaptada de uma das relações apresentadas por Langbein e Leopold (1966) para a verificação de R_m .

$$M = 6 R_m \omega \quad (20)$$

Feito isso, as coordenadas em planta do meandro são obtidas pelas integrais de $\cos \phi$ e $\sin \phi$, que podem ser resolvidas aproximadamente pela discretização da curva seno-gerada. Desse modo, os meandros produzidos variam conforme a sinuosidade e o comprimento de onda considerados. Para λ , considerou-se a faixa de valores observados por Leopold, Wolman e Miller (1964), variando normalmente de 7 a 10 vezes a largura do canal. Adotou-se nesse caso a vazão de canal completo, $Q_{p_{1,5}}$,

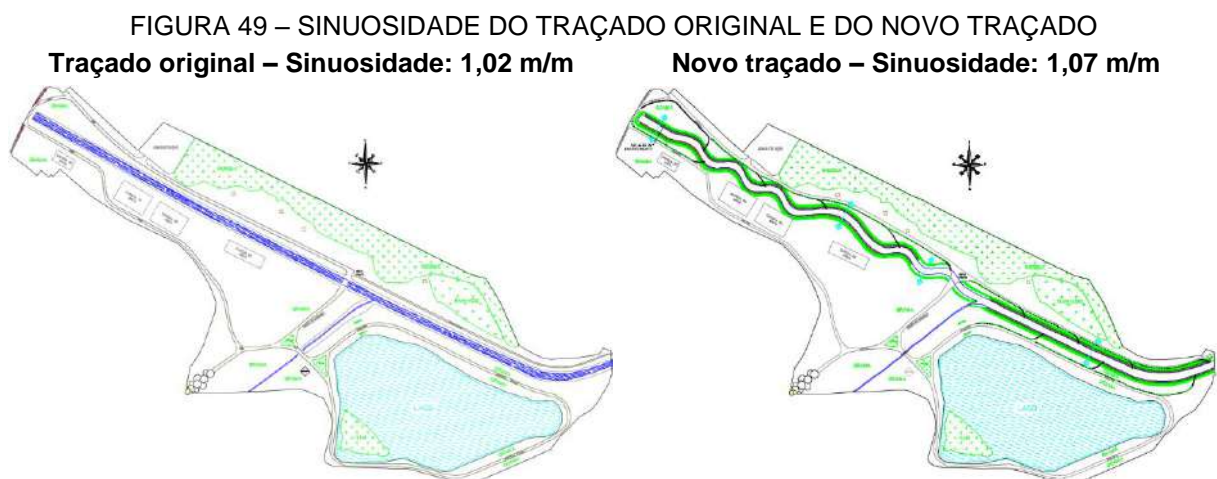
para a consideração da largura. A sinuosidade do meandro foi determinada de modo a diminuir a declividade do trecho, observando-se a limitação de espaço do parque, que impossibilitou a definição de curvas de grande amplitude.

As características de sinuosidade e declividade média do traçado proposto obtidas estão apresentadas na Tabela 19 e ilustradas na Figura 49, em comparação ao traçado atual e à Bacia do Rio Bacacheri. Desse modo, verifica-se primeiramente que o local do Parque General Iberê de Mattos é uma região de baixa declividade do curso d'água. Junto a isso, parte significativa da perda de carga no trecho se dá pela dissipação da energia do escoamento proveniente do bueiro da entrada. Assim, o aumento expressivo do comprimento do canal poderia afetar a sedimentação no local, que não foi avaliada nesse projeto por conta da limitação de dados disponíveis.

TABELA 19 – SINUOSIDADE E DECLIVIDADE MÉDIA DE DIFERENTES TRECHOS DO RIO BACACHERI

Trecho	Comprimento do canal principal (m)	Comprimento em linha reta (m)	Sinuosidade (m/m)	Declividade média (m/km)
Bacia do Rio Bacacheri	12500	10400	1,20	9,6
Bacia até o exutório do Parque General Iberê de Mattos	6424,4	5087,8	1,26	14,8
Traçado atual	761,7	746,3	1,02	4,9
Traçado proposto	795,8	746,3	1,07	4,7

FONTE: Adaptada de IPPUC (2013c) e RIBEIRO (2007).



FONTE: O autor (2019).

4.4.2 Enrocamento

O enrocamento será utilizado no leito do canal, nas gavetas inferiores das paredes Krainer e para a dissipação da energia no desague das canaletas vegetadas

e das tubulações de drenagem do parque. O seu dimensionamento foi efetuado com o uso da equação (1), que pode ser reescrita isolando a variável da dimensão do material, como disposto na equação (21):

$$b = \frac{W^2 \mu \gamma}{2 g f (\gamma_1 - \gamma) \cos \alpha} \quad (21)$$

Para a etapa de projeto básico, a avaliação será efetuada com base na condição crítica do novo traçado, correspondente ao trecho inicial do curso d'água no parque. Assim, o W máximo verificado foi de 2,414 m/s, para $Q_{p_{1,5}}$, com ângulo α de $0,62^\circ$, calculado a partir da declividade do intervalo. O coeficiente de forma foi obtido de Durlo e Sutili (2014), adotando-se o valor para corpos angulosos, de 1,46. Para f , pode-se utilizar o valor médio de 0,76, segundo os mesmos autores.

Considerando o peso específico de rochas graníticas, de $28,5 \text{ kN/m}^3$, chega-se a um b de 0,300 m, ou 30,0 cm. Optou-se, portanto, pela utilização de blocos de pedra com tamanho mínimo de 35 cm, por segurança. A dimensão avaliada deve ser respeitada para a direção paralela ao sentido do fluxo (DURLO; SUTILI, 2014), devendo-se tomar os devidos cuidados durante a disposição do material.

Ressalta-se a importância de que o tamanho do enrocamento seja otimizado para diferentes trechos durante o projeto executivo, tendo em vista que a velocidade do escoamento decresce após o percurso inicial do rio. Dessa forma, será possível utilizar pedras de menor dimensão na maior parte da extensão do curso d'água, sendo, portanto, favorável à economia da obra.

4.4.3 Banquetas vegetadas

O uso de banquetas vegetadas assemelha-se à técnica de terraceamento. Segundo Bertol, Cogo e Cassol (2000), essa prática conservacionista de solo consiste na construção de terraços transversalmente a declives, para a redução do seu comprimento, e de canais, em alguns casos, para o armazenamento ou drenagem de água. Com isso, diminui-se a velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, a erosão sobre o terreno, em função da distância entre terraços. Conforme os autores, ainda, uma das formas de dimensionamento de banquetas vegetadas envolve o uso da Equação Universal da Perda de Solo (EUPS), definida

por Wischmeier e Smith (1978). Nessa formulação, dada pela equação (22), busca-se quantificar o processo de erosão superficial, que, por sua vez, envolve a consideração de fatores como a pluviosidade, a declividade do terreno, o tipo e uso do solo e o tipo de cobertura superficial.

$$A = R K L S C P; \quad (22)$$

onde:

- A – perda de solo computada por unidade de área ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$);
- R – índice de erosividade ($MJ.mm.h^{-1}.ha^{-1}.ano^{-1}$);
- LS – índice topográfico (adimensional);
- C – fator de uso e manejo do solo (adimensional);
- P – fator de práticas conservacionistas (adimensional).

Adotou-se, portanto, o modelo da EUPS para a determinação do espaçamento máximo entre banquetas vegetadas, sendo necessária a estimativa dos fatores envolvidos para as condições do local de estudo. Desse modo, o cálculo do índice R foi efetuado pelo somatório dos índices de erosividade para cada mês do ano, obtidos pela equação (23), proposta por Rufino, Biscaia e Herten (1993). Para isso, foram utilizados os valores de M_i indicados na Tabela 12.

$$R_i = 4,20 M_i + 19,55; \quad (23)$$

onde:

- R_i – índice de erosividade do mês i ($MJ.mm.h^{-1}.ha^{-1}.ano^{-1}$).

O resultado obtido para R foi de $6852,96 MJ.mm.h^{-1}.ha^{-1}.ano^{-1}$. Na estimativa do índice K , fez-se uma ponderação com base nos valores médios das frações granulométricas das amostras, presentes na Tabela 8, e nos índices equivalentes para cada fração, de acordo com os valores apresentados na Tabela 10. Com isso, chegou-se a um K de $0,025 t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$.

O fator C foi definido considerando o uso de plantio de grama em placas, com valor de $0,01$, conforme Wischmeier e Smith (1978). No caso de P , assume-se o índice como unitário para sistemas não-conservacionistas (BERTOL; SCHICK; BATISTELA, 2002).

Em relação ao índice topográfico, como se pretende definir o espaçamento máximo entre banquetas, pode-se reescrever a equação (22) isolando LS e assumindo uma tolerância limite para a perda de solo (T), semelhantemente ao procedimento sugerido por Wischmeier e Smith (1978) para o dimensionamento da distância de terraços. Chega-se, desse modo, à equação (24):

$$LS \leq \frac{T}{R K C P} \quad (24)$$

Todavia, destaca-se que o índice LS pode ser calculado pela equação (25), definida por Bertoni e Lombardi Neto (2008), em função do comprimento do declive (L), em m, e de sua declividade média (S), expressa em porcentagem:

$$LS = 0,00984 L^{0,63} S^{1,18} \quad (25)$$

Substituindo (25) em (24), isolando L e considerando $T = 10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, conforme indicado por Gavassoni (2012) para o dimensionamento de banquetas vegetadas, chega-se a equação (26):

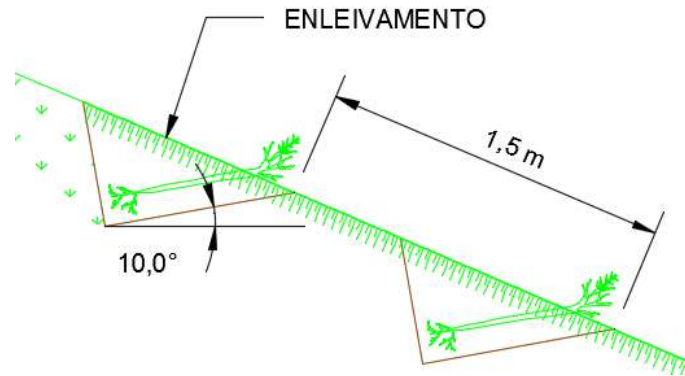
$$L \leq \left(\frac{T}{R K C P 0,00984 S^{1,18}} \right)^{\frac{1}{0,63}} \quad (26)$$

Com base nisso, realizou-se o dimensionamento para o local com a condição crítica de declividade no parque, correspondente ao talude acima da seção de entrada do rio no parque, com S de 75,7%. Chega-se, desse modo, a $L \leq 8,40$ m, sendo o comprimento total do declive avaliado de 6,1 m. Por praticidade, e por ser favorável à segurança, optou-se por manter o espaçamento entre banquetas vegetadas em 1,5 m, com duas fileiras no total.

Ao todo, serão utilizadas 12 estacas por metro de banqueta, atendendo à faixa recomendada por Zeh (2010), de 10 a 20 estacas. O conjunto será dividido igualmente entre as espécies *Abutilon Megapotamicum*, *Calliandra brevipes*, *Fuchsia regia* e *Sebastiania schottiana*, com três exemplares de cada tipo. As plantas deverão ser projetadas para fora do terreno em 15 cm, aproximadamente, como indicado por Sauli, Cornellini e Preti (2006). Ademais, após a disposição da vegetação e o preenchimento

das valas, deve-se realizar o plantio de gramas em placa sobre o solo, fixando-as com duas estacas de 40 cm de comprimento por metro de banqueteta. A geometria em corte resultante das banquetetas vegetadas está ilustrada na Figura 50.

FIGURA 50 – GEOMETRIA PADRÃO DAS BANQUETAS VEGETADAS

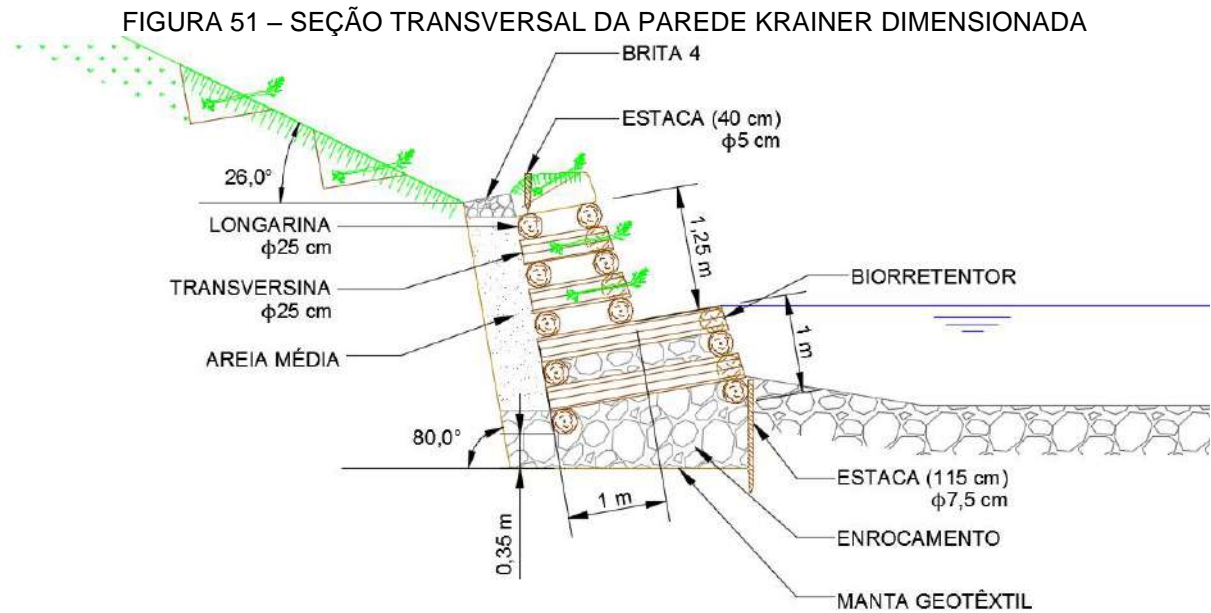


FONTE: O autor (2019).

4.4.4 Paredes Krainer

As paredes Krainer podem ser descritas, segundo Morgan e Rickson (1995), como um tipo especializado de estrutura de contenção à gravidade. Seu dimensionamento envolve, portanto, verificações de segurança ao tombamento e ao deslizamento, além da avaliação quanto à resistência da madeira utilizada. Para os cálculos, seguiu-se as disposições apresentadas por García-Vega et al. (2014) e pela NBR 7190 (ABNT, 1997). Desse modo, deve-se inicialmente definir o conjunto de forças atuando no sistema, incluindo o peso do muro e o empuxo do talude contido.

O dimensionamento foi efetuado por metro de parede, com base na condição mais crítica observada no parque. Assim, avaliou-se o talude da margem esquerda da seção II do novo traçado, que possui ângulo de $26,0^\circ$. Foram utilizados dois níveis na parede Krainer, com medidas ilustradas na Figura 51, totalizando uma altura de 2,25 m e largura na base de 2 m. Considerou-se ainda barras longitudinais de 6,5 m de comprimento e espaçamento entre barras transversais, na direção longitudinal, de 1 m. Para melhorar sua estabilidade, a estrutura foi disposta com uma inclinação de 10° para trás. Junto a isso, previu-se uma banqueteta vegetada no topo da estrutura e uma canaleta drenante no pé do talude.



FONTE: O autor (2019).

O peso próprio do muro foi calculado com o volume e o peso específico das toras de *Corymbia citriodora*, utilizadas para a montagem da trama da estrutura, além do volume da banquetta e do espaço interno das gavetas e o peso específico do solo de enchimento (γ_t). Nos vãos do nível superior, será empregado o próprio solo do local, obtido com as obras de terra relacionadas ao projeto de revitalização. Esse material servirá de substrato às plantas previstas para uso nas paredes Krainer. Para o nível inferior, optou-se pelo uso de enrocamento em vista do nível de água atingido para a condição de $Q_{p_{1,5}}$, correspondente à vazão de canal completo (LEOPOLD; WOLMAN; MILLER, 1964). Todavia, mesmo nesse caso utilizou-se γ_t para o peso específico, simplificadamente, considerando que uma parcela dos vazios entre as pedras será preenchida pelo solo.

O empuxo proveniente do terreno foi estimado para a condição do solo em repouso, por segurança. Para tanto, calculou-se o coeficiente de empuxo ativo (K_a) pela expressão apresentada em García-Vega et al. (2014), referente à teoria de Coulomb, conforme a equação (27).

$$K_a = \left(\frac{\left(\frac{1}{\sin \beta} \right) \sin(\beta - \varphi)}{\sqrt{\sin(\beta + \delta)} + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - i_t)}{\sin(\beta - i_t)}}} \right)^2; \quad (27)$$

onde:

- β – ângulo de inclinação do muro em relação à horizontal (graus), de 80° , conforme a Figura 51;
- δ – ângulo de atrito entre o muro e o solo (graus), assumido como igual a $2\varphi/3 = 17,3^\circ$;
- i_t – ângulo de inclinação do talude superior em relação à horizontal (graus).

Para φ e i_t de 26° , chega-se a $K_a = 0,680$. Com isso, o empuxo do solo pode ser obtido pela equação (28):

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma_t h_m^2 K_0 - 2 c h_m \sqrt{K_a}; \quad (28)$$

onde:

- E_a – empuxo ativo do solo (kN/m);
- h_m – altura total do muro (m).

O valor resultante é de 10,16 kN/m. Considerou-se ainda a atuação de uma sobrecarga uniformemente distribuída (q) de 3 kN/m² no topo do talude. Esse carregamento pode ser avaliado como uma altura equivalente de solo (h_0), conforme a equação (29), gerando um empuxo adicional dado pela equação (30).

$$h_0 = \frac{q}{\gamma_t}; \quad (29)$$

$$E_s = h_0 \gamma_t h_m K_0 = q h_m K_0; \quad (30)$$

onde:

- E_s – empuxo gerado pela sobrecarga (kN/m).

Desse modo, obtém-se $h_0 = 0,18$ m e $E_s = 4,59$ kN/m. A partir disso, verifica-se o fator de segurança ao escorregamento (FS_e) pela equação (31):

$$FS_e = \frac{\mu_a R_y + c B}{R_x} \geq 1,5; \quad (31)$$

onde:

- μ_a – coeficiente de atrito entre o solo e o muro (adimensional), assumindo-se $\mu_a = \tan \varphi$;
- R_y – resultante das forças verticais (kN/m);
- B – largura na base da parede Krainer (m);
- R_x – resultante das forças horizontais (kN/m).

Para $R_y = 49,23$ kN/m e $R_x = 14,76$ kN/m, chega-se a um FS_e de 2,30. Na avaliação do fator de segurança ao tombamento (FS_t), calcula-se primeiramente os momentos estabilizante (M_e) e de tombamento (M_t), dados pelas equações (32) e (33), respectivamente.

$$M_e = P_p e_p; \quad (32)$$

$$M_t = E_a e_a + E_s e_s; \quad (33)$$

onde:

- P_p – peso próprio da parede Krainer (kN/m);
- e_p – excentricidade do peso próprio da parede Krainer (m);
- e_a – excentricidade do empuxo ativo do solo (m);
- e_s – excentricidade do empuxo gerado pela sobrecarga (m).

Com $M_e = 39,09$ kN.m/m e $M_t = 12,73$ kN.m/m, avalia-se FS_t pela equação (34):

$$FS_t = \frac{M_e}{M_t} \geq 1,5 \quad (34)$$

O fator de segurança obtido foi de 3,07. Em seguida, deve-se verificar a resistência interna da madeira. Desse modo, avaliou-se inicialmente as fibras comprimidas das barras longitudinais submetida à flexão, conforme a equação (35):

$$\sigma_{md} = \frac{M_d}{W_y} \leq f_{md}; \quad (35)$$

onde:

- σ_{md} – tensão de compressão normal às fibras da madeira (MPa);
- M_d – momento fletor máximo de cálculo (kN.m);
- W_y – módulo resistente (m^3);
- f_{md} – tensão resistente de cálculo à compressão (MPa).

Os valores de M_d , considerando as barras longitudinais simplificadaamente como vigas isostáticas biapoiadas, e de W_y são calculados pelas equações (36) e (37), respectivamente:

$$M_d = \frac{P_{m\acute{a}x} L_f^2}{8}; \quad (36)$$

$$W_y = \frac{\pi (D/2)^3}{4}; \quad (37)$$

onde:

- $P_{m\acute{a}x}$ – pressão atuante no tronco da base da parede Krainer (kN/m), em que $P_{m\acute{a}x} = \gamma_t h_m$;
- L_f – comprimento da peça submetida à flexão (m);
- D – diâmetro da madeira roliça (m).

Para $P_{m\acute{a}x} = 37,52$ kN/m, $L_f = 1$ m e $D = 0,25$ m, obtém-se $M_d = 4,69$ kN.m e $W_y = 1,53 \cdot 10^{-3} m^3$, resultando em $\sigma_{md} = 3,06$ MPa. Conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997), deve-se corrigir o valor da resistência da madeira usando o coeficiente de modificação (k_{mod}), calculado pela multiplicação de três coeficientes parciais. Considera-se, dessa forma, a influência exercida pela classe de carregamento ($k_{mod,1}$) e pela classe de umidade ($k_{mod,2}$), relacionadas ao tipo de madeira empregada, além da influência da categoria do material ($k_{mod,3}$) sobre suas propriedades de resistência e rigidez. Assim, foram utilizados os seguintes valores:

- $k_{mod,1} = 0,70$ – carregamento de longa duração;

- $k_{mod,2} = 0,80$ – classe de umidade 4, para umidade ambiental $> 85\%$ por longos períodos;
- $k_{mod,3} = 0,80$ – madeira de segunda categoria.

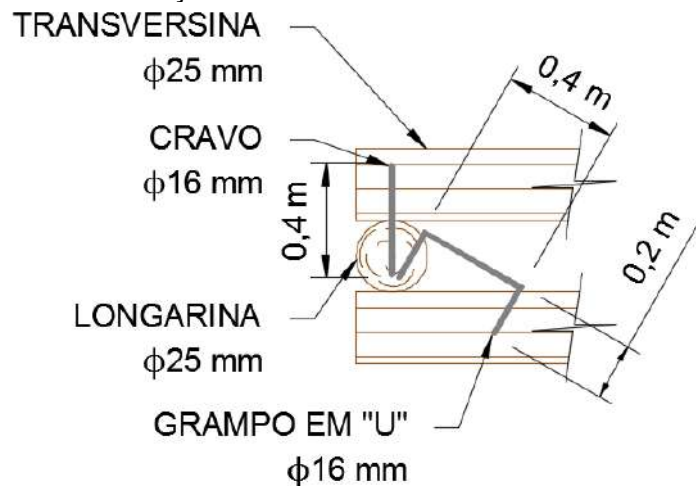
Com isso, o valor de k_{mod} resultante é de 0,448. Ademais, deve-se empregar ainda o coeficiente de ponderação para estados limites últimos, com a ocorrência de tensões de compressão paralela às fibras da madeira (γ_{wc}), em que $\gamma_{wc} = 1,4$. Desse modo, chega-se a f_{md} pela equação (38):

$$f_{md} = k_{mod} \frac{f_{c0,k}}{\gamma_{wc}} \quad (38)$$

Como $f_{md} = 9,60$ MPa, cumpre-se a condição de $\sigma_{md} \leq f_{md}$. As verificações das tensões decorrentes dos esforços de tração e de cisalhamento, para o mesmo tronco, também atendem às disposições da NBR 7190 (ABNT, 1997).

As ligações entre as barras longitudinais e transversais da estrutura serão efetuadas com peças metálicas dispostas no formato de grampos em “U” e cravos, conforme a configuração de ligações em paredes Krainer utilizada por Maffra (2014). Para tanto, serão usados vergalhões de aço CA-50, com dimensões apresentadas na Figura 52. Segundo Maffra (2014), ainda, deve-se realizar a pré-furação das madeiras com uma furadeira, para auxiliar na cravação dos grampos e cravos. Ao todo, cada tronco estará ligado em ambas as extremidades por dois pinos, sendo cada um desses submetido à força definida pela equação (39).

FIGURA 52 – DETALHE DA LIGAÇÃO ENTRE AS BARRAS TRANSVERSAIS E LONGITUDINAIS



FONTE: O autor (2019).

$$R_p = \frac{(E_a + E_s)}{n_p}; \quad (39)$$

onde:

- R_p – reação por pino (kN);
- n_p – número de pinos por ligação (adimensional).

Assim, cada pino deverá resistir a um esforço de $R_p = 7,38$ kN. A verificação da resistência do grampo envolve a análise da relação entre o comprimento do conector (t) e o seu diâmetro (d), com valores em m, em comparação com um parâmetro em função das resistências dos materiais unidos. A partir disso, a ligação é calculada quanto à resistência ao embutimento da madeira, conforme a equação (40), ou quanto à resistência à flexão do pino, dada pela equação (41).

$$\frac{t}{d} \leq 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \Rightarrow R_d = 400 f_{ed} d t; \quad (40)$$

$$\frac{t}{d} > 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \Rightarrow R_d = 500 d^2 \sqrt{f_{ed} f_{yd}}; \quad (41)$$

onde:

- f_{yd} – tensão de escoamento de cálculo do aço (MPa), em que $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$, onde γ_s é o coeficiente de ponderação da resistência do aço (adimensional);
- f_{ed} – tensão resistente de cálculo ao embutimento paralelo às fibras da madeira (MPa);
- R_d – resistência de cálculo da ligação (kN).

Com base nas disposições da NBR 7190 (ABNT, 1997) para os valores de f_{yd} e f_{ed} , tem-se que $1,25\sqrt{f_{yd}/f_{ed}} = 8,60$. Como $t/d = 12,5 > 8,60$, efetuou-se o cálculo da ligação para a resistência à flexão do pino. Assim, obtém-se $R_d = 8,46$ kN, superior ao valor da reação por pino.

Quanto à vegetação, serão utilizadas oito estacas em ambas gavetas com transversinas do trecho superior das paredes Krainer, conforme indicado na Figura 51, divididas igualmente entre as seguintes espécies: *Abutilon Megapotamicum*,

Calliandra brevipes, *Sebastiania schottiana* e *Tibouchina granulosa*. Dessa forma, serão ao todo 16 estacas por metro, para cada margem, além da vegetação presente na banquetta vegetada no topo da estrutura.

4.4.5 Esteiras vivas

As esteiras vivas serão utilizadas na seção III do novo traçado, na região próxima à nova ponte. Conforme avaliado na definição do novo traçado, a estrutura estará sujeita a tensões de arraste elevadas em relação à tensão resistente inicial indicada por Durlo e Sutili (2014), de 50 N/m^2 , mesmo para a condição de $Q_{p_{1,5}}$. Desse modo, deve-se garantir um bom cobrimento do talude, com alta densidade de galhos, bem como garantir a adequada fixação do material vegetativo.

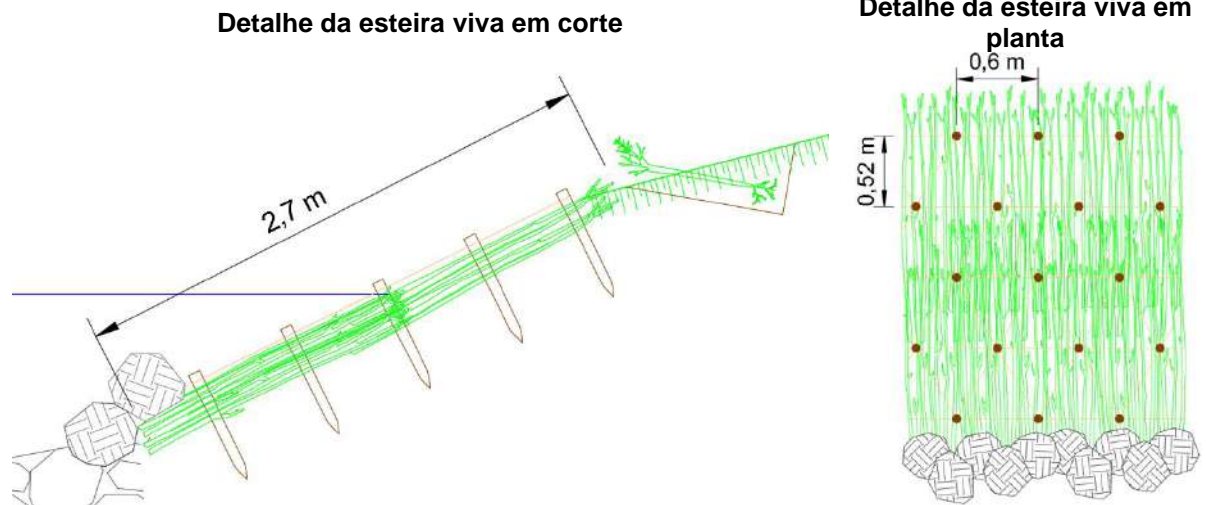
Por outro lado, ressalta-se que esse tipo de intervenção é de fato recomendada para taludes que necessitam de proteção imediata (SCHIECHTL; STERN, 1992; ALBERTA TRANSPORTATION, 2011; DURLO; SUTILI, 2014). Além disso, o salgueiro, uma das espécies utilizadas, apresenta um bom enraizamento, contribuindo para o ganho de resistência inicial.

Ao todo, serão utilizados 30 galhos por metro de esteira, em cada camada, sendo no máximo 50% desses mortos (ZEH, 2010; JANY; GEITZ, 2013). Os ramos são dispostos com a parte mais grossa para baixo, devendo ser colocados cerca de 20 cm para dentro do leito do rio (DURLO; SUTILI, 2014). Os galhos deverão possuir comprimento de 1,5 m e diâmetro de 8 cm, aproximadamente (ZEH, 2010). Como o talude crítico da seção III possui 2,7 m de comprimento, será necessária mais de uma camada do material vegetativo, devendo-se manter uma sobreposição de pelo menos 30 cm entre os ramos (SCHIECHTL; STERN, 1992).

As estacas terão comprimento de 60 cm e serão espaçadas entre si em 60 cm. A disposição será em formato de diamante, com cordas de sisal amarradas nas barras de modo a conter os galhos (ALBERTA TRANSPORTATION, 2011). Após a instalação, deve-se cobrir o material vegetativo com uma fina camada de solo, deixando os galhos visíveis ainda (ZEH, 2010).

Por fim, a proteção da base do talude será efetuada com o uso de enrocamento, conforme o dimensionamento apresentado no subitem 4.4.2. A esteira viva da seção III está apresentada na Figura 53.

FIGURA 53 – DETALHE DA ESTEIRA VIVA EM CORTE E EM PLANTA



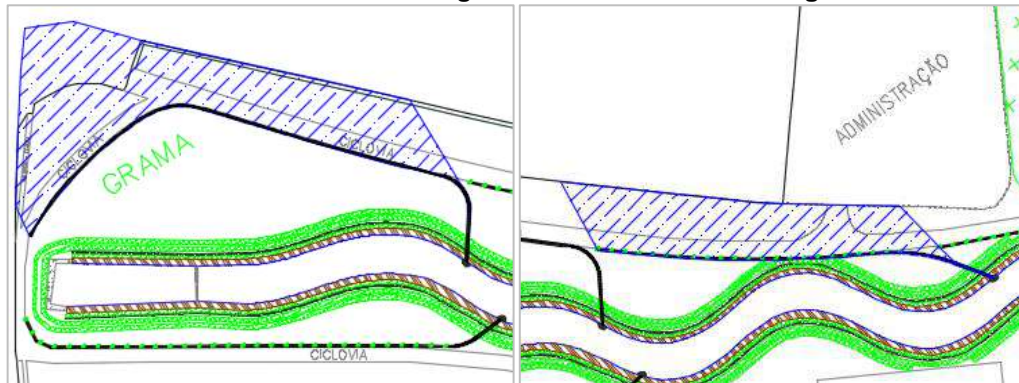
FONTE: O autor (2019).

4.4.6 Sistema de drenagem

O sistema de drenagem é composto por canaletas vegetadas e canaletas escalonadas, para declividades inferiores e superiores a 2%, respectivamente, além de descidas d'água, que conduzem as águas captadas pelos taludes laterais até o ponto de lançamento no rio. Desse modo, realizou-se inicialmente o traçado das canaletas em planta, avaliando-se ainda o seus comprimentos e as áreas de drenagem correspondentes. Em seguida, foram levantadas as declividades do terreno para a definição do tipo de dispositivo adequado em cada local. Por fim, efetuou-se o dimensionamento, sendo a vazão de projeto de cada canaleta obtida pela curva IDF, conforme a equação (6).

Para fins de projeto básico, contemplou-se apenas a verificação de um trecho representativo por tipo de dispositivo do sistema de drenagem. Os locais avaliados, indicados na Figura 54, encontram-se na região com maior declividade do parque, conforme seu levantamento topográfico (CORDEIRO, 2003), situada próxima à entrada do Rio Bacacheri no parque. Ademais, ressalta-se que o processo de otimização das demais canaletas e descidas d'água deverá ser efetuado na etapa de projeto executivo.

FIGURA 54 – ÁREA DE DRENAGEM DOS TRECHOS AVALIADOS PARA O DIMENSIONAMENTO
Canaleta escalonada e descida d'água **Canaleta vegetada**



FONTE: O autor (2019).

Dessa forma, identificou-se os comprimentos e as áreas de drenagem das canaletas avaliadas, sendo os dados obtidos apresentados na Tabela 20. Com base nisso, calculou-se t_c , i_c e Q_p pelas equações (7), (6) e (5), respectivamente.

TABELA 20 – CARACTERIZAÇÃO DAS CANALETAS DIMENSIONADAS

Dispositivo	L_c (km)	H (m)	Declividade média do terreno (m/m)	A_d (km ²)	t_c (min)	i_c (mm/h)	Q_p (m ³ /s)
Canaleta vegetada	0,067	1,20	0,018	0,00086	2,35	146,19	0,0088
Canaleta escalonada	0,147	4,40	0,030	0,00157	3,53	142,17	0,0155

FONTE: O autor (2019).

Na sequência, a quantificação da parcela escoando sob a superfície das canaletas vegetadas, similar ao dimensionamento de drenos cegos, é efetuada pela fórmula de Darcy para escoamento em meios porosos (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT), 2006), como disposto na equação (42).

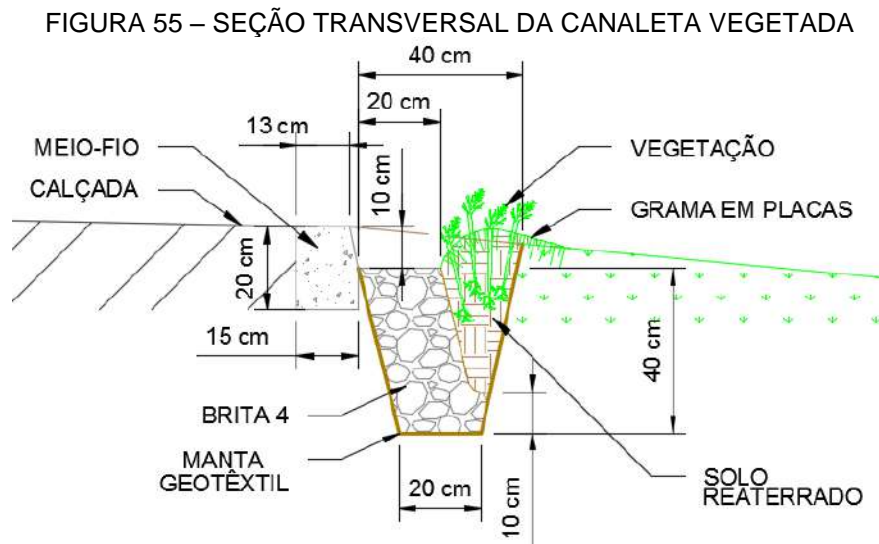
$$Q_c = K_h A_c I; \quad (42)$$

onde:

- Q_c – capacidade hidráulica da parcela escoando sob a superfície da canaleta (m³/s);
- K_h – coeficiente de condutividade hidráulica do material drenante (m/s);

- A_c – área de material drenante na seção transversal da canaleta vegetada (m^2);
- I – gradiente hidráulico da canaleta, assumindo-se o valor da sua declividade (m/m).

Considerando a geometria da canaleta vegetada, apresentada na Figura 55, com $A_c = 0,08 m^2$, e o uso de brita 4, que possui $K_h = 0,80 m/s$ (DNIT, 2006), obtém-se $Q_c = 0,0011 m^3/s$. Como esse resultado é inferior à vazão de projeto ($Q_p = 0,0088 m^3/s$), ocorrerá o transbordamento do dispositivo.



FONTE: O autor (2019).

Assumindo simplificadamente que se estabelecerá uma condição de escoamento uniforme, pode-se aplicar a fórmula de Manning para a determinação da capacidade hidráulica da parcela escoando superficialmente na canaleta (Q_e), conforme as equações (8) e (9). Para o cálculo de n_e , utilizou-se a equação (10) e os valores apresentados na Tabela 13. Por fim, comparou-se a velocidade do escoamento com W , obtido da equação (1), para averiguar se vazões menores ou iguais a Q_p poderão ocasionar o arraste das partículas de brita.

Quanto às canaletas escalonadas e às descidas d'água, depois de definido o traçado e a altura dos degraus, deve-se calcular o espaçamento entre os desníveis para que a declividade do nível de água seja de no máximo 2%. Dessa forma, evita-se a ocorrência de velocidades excessivas no escoamento, que comprometem a estabilidade do dispositivo. Para tanto, utilizou-se a equação (43) (DNIT, 2006):

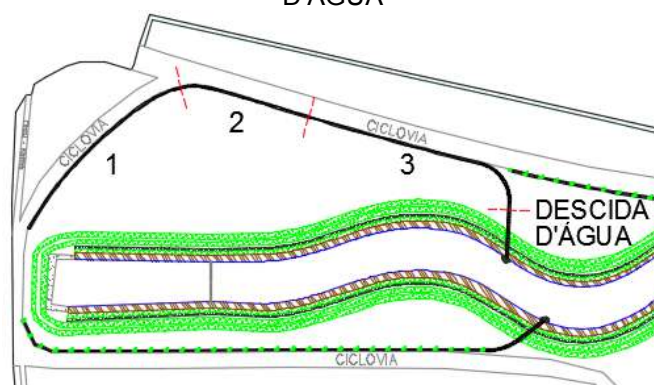
$$E = \frac{H_d}{\alpha_n - \alpha_d}; \quad (43)$$

onde:

- E – espaçamento entre degraus da canaleta escalonada ou descida d'água (m);
- H_d – altura dos degraus (m);
- α_n – declividade natural do terreno (m/m);
- α_d – declividade desejada para o nível de água em cada trecho escalonado (m/m).

Considerando a canaleta escalonada localizada próxima à entrada do Rio Bacacheri no parque, optou-se pela sua divisão em três trechos, conforme a Figura 56, com diferentes espaçamentos entre degraus. Já para a descida d'água, manteve-se uma declividade constante. A Tabela 21 expõe as alturas de degrau adotadas e os respectivos espaçamentos obtidos por trecho.

FIGURA 56 – LOCALIZAÇÃO DOS TRECHOS DA CANALETA ESCALONADA E DA DESCIDA D'ÁGUA



FONTE: O autor (2019).

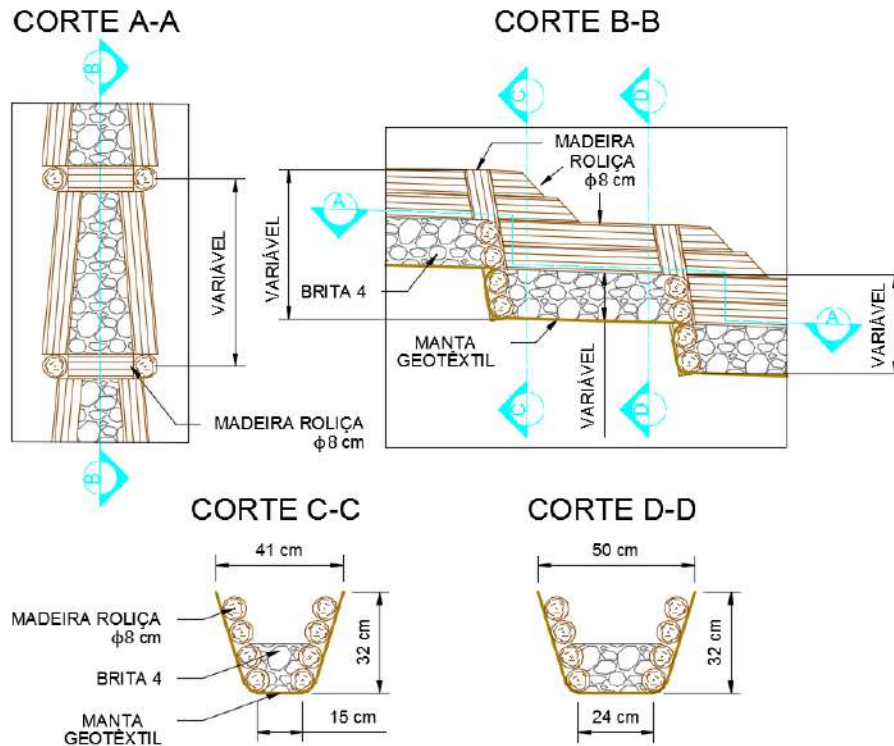
TABELA 21 – ESPAÇAMENTO ENTRE DEGRAUS DA CANALETA ESCALONADA E DA DESCIDA D'ÁGUA

Trecho	Comprimento (m)	Desnível (m)	α_n (m/m)	α_d (m/m)	H_d (m)	E (m)
Canaleta escalonada 1	40,02	1,60	0,040	0,020	0,10	5,00
Canaleta escalonada 2	25,10	1,90	0,076	0,020	0,10	1,80
Canaleta escalonada 3	45,15	1,40	0,031	0,020	0,10	9,10
Descida d'água	9,00	3,00	0,333	0,020	0,20	0,64

FONTE: O autor (2019).

Posteriormente, seguiu-se os mesmos procedimentos usados no cálculo de Q_e das canaletas vegetadas para o dimensionamento da capacidade hidráulica das canaletas escalonadas, com a substituição da declividade natural do terreno pelo valor de α_d . A sua configuração, por sua vez, irá variar em função dos valores de E e de H_d e quanto às particularidades do terreno. A disposição geral desses dispositivos e das descidas d'água, similares entre si, está ilustrada na Figura 57.

FIGURA 57 – CONFIGURAÇÃO GERAL DAS CANALETAS ESCALONADAS E DESCIDAS D'ÁGUA



FONTE: O autor (2019).

Para a verificação do atendimento das condições de projeto, comparou-se o valor de Q_p à capacidade hidráulica total (Q_t) da canaleta vegetada, dada pela soma de Q_c e Q_e , com uma lâmina d'água de 10 cm acima do leito de brita. Para a canaleta escalonada, fez-se a contraposição entre Q_p e a descarga correspondente a uma sobrelevação de 15 cm de água no trecho inicial do degrau, de menor largura, como visto no corte C-C da Figura 57. Os resultados, indicados na Tabela 22, demonstram que os dois dispositivos atendem às suas vazões de projeto. Além disso, não é esperada a ocorrência de arraste do material drenante para descargas menores ou iguais a Q_p .

TABELA 22 – VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE HIDRÁULICA DAS CANALETAS DIMENSIONADAS E DO ATENDIMENTO ÀS VAZÕES DE PROJETO

Dispositivo	A_m (m ²)	P_m (m)	n_e (s.m ^{-1/3})	R_h (m)	I_o (m/m)	V (m/s)	W (m/s)	Q_e (m)	Q_c (m)	Q_t (m)	Q_p (m)
Canaleta vegetada	0,024	0,466	0,029	0,051	0,018	0,640	0,986	0,0154	0,0011	0,0165	0,0088
Canaleta escalonada	0,030	0,4288	0,0248	0,069	0,020	0,964	0,986	0,0287	-	0,0287	0,0159

FONTE: O autor (2019).

Por fim, avaliou-se a capacidade hidráulica das descidas d'água por meio da equação (44), proveniente do Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT (2006). Como a seção transversal do dispositivo é trapezoidal, utilizou-se um valor médio de largura, sendo adotado ainda o trecho inicial do degrau para a verificação. Para a altura média das paredes laterais, utilizou-se o valor de 15 cm, equivalente a dois troncos de 8 cm de diâmetro empilhados em diagonal nas paredes da valeta, como disposto na Figura 57.

$$Q_d = 2,07 L_d^{0,9} H_p^{1,6}; \quad (44)$$

onde:

- Q_d – capacidade hidráulica da descida d'água (m³/s);
- L_d – largura média da descida d'água (m);
- H_p – altura média das paredes laterais da descida d'água (m).

Dessa forma, obteve-se $Q_d = 0,0213 \text{ m}^3/\text{s}$, superior à contribuição procedente da canaleta escalonada, em que $Q_p = 0,0159 \text{ m}^3/\text{s}$. Portanto, avalia-se que os dispositivos de drenagem avaliados atendem às vazões de projeto produzidas por uma chuva com T_r de 5 anos, contribuindo para a estabilidade das demais técnicas de Engenharia Natural empregadas na revitalização do trecho do Rio Bacacheri no Parque General Iberê de Mattos.

Destaca-se, por fim, que serão utilizadas seis estacas por metro de canaleta vegetada, divididas igualmente entre as espécies *Calliandra brevipes* e *Sebastiania schottiana*. Em contrapartida, não serão dispostas plantas nas canaletas escalonadas e descidas d'água.

4.5 QUANTITATIVO DE MATERIAIS E ESTIMATIVA DE CUSTOS

O quantitativo de materiais e a estimativa de custos do projeto foram ordenados por categorias de serviço a serem efetuados para a revitalização do Rio Bacacheri no trecho do Parque General Iberê de Mattos. A avaliação das intervenções de Engenharia Natural foi discretizada ainda quanto ao tipo de seção do novo traçado e à margem do rio, como apresentado na Tabela 23. Foram desconsiderados os custos atrelados às substituições da ponte existente por uma estrutura de maior vão e da tubulação da Sanepar por um sifão invertido, que serão contempladas em outros projetos.

TABELA 23 – COMPRIMENTO POR TIPO DE SEÇÃO TRANSVERSAL E POR MARGEM

Margem	Comprimento (m)				
	Seção I	Seção II	Seção III	Seção IV	Total
Esquerda	25,8	372,7	83,2	287,1	768,8
Direita	27,1	369,1	111,8	295,0	803,0
Total	52,9	741,8	195,0	582,1	1571,8

FONTE: O autor (2019).

Adotou-se, como referência para o levantamento da mão de obra, dos equipamentos e dos insumos envolvidos na obra, os apontamentos apresentados por Bacci (2010b), Castelani (2018), Jany e Geitz (2013), Menegazzi e Palmeri (2014) e Zeh (2010). Na estimativa de custos, salvo algumas exceções, utilizou-se as composições do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), coordenado conjuntamente pelo IBGE e pela Caixa Econômica Federal (Caixa), e do Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO), vinculado ao DNIT. As tabelas do SINAPI avaliadas foram as de insumos (CAIXA, 2019a) e de composições analíticas (CAIXA, 2019b) com encargos sociais não desonerados, para o estado do Paraná, datadas de novembro de 2019. Da base de dados do SICRO, utilizou-se as tabelas não desoneradas de composições analíticas (DNIT, 2019a) e de equipamentos (2019b), de outubro de 2019, para o estado do Paraná.

Cabe destacar que se deu preferência pelo uso das informações apresentadas pelo SINAPI, visando à padronização do levantamento efetuado. Nesse contexto, nos casos em que as composições do SICRO foram tomadas como referência, substituiu-se os componentes da parcela de mão de obra do serviço por outras categorias do SINAPI, com funções iguais ou equivalentes. Buscou-se, com

isso, evitar a ocorrência de dois preços unitários distintos para um mesmo tipo de atividade. Cita-se, como exemplo, o cargo de servente, presente em diversos serviços de ambas as fontes consultadas. Ademais, foi necessária a adaptação das composições em certos casos, para atender às particularidades do projeto.

Quanto ao material vegetativo a ser utilizado, a relação do número de estacas de cada espécie por metro dos tipos de intervenção adotados está apresentada na Tabela 24. Tendo em vista a quantidade significativa de material vegetativo a ser utilizado no projeto, considerou-se que os hortos municipais da Prefeitura de Curitiba serão encarregados da produção das mudas, por se tratar de uma obra vinculada a um parque municipal. Caso isso não seja possível, o custo de compra das estacas deverá ser incluído no orçamento final do projeto, elaborado na etapa de projeto executivo.

TABELA 24 – RELAÇÃO DO NÚMERO DE ESTACAS DE CADA ESPÉCIE POR METRO LINEAR DAS INTERVENÇÕES DE ENGENHARIA NATURAL

Espécie	Número de estacas por metro			
	Banquetas vegetadas	Paredes Krainer	Esteiras vivas	Canaletas vegetadas
<i>Abutilon megapotamicum</i>	3	4	-	-
<i>Calliandra brevipes</i>	3	4	-	3
<i>Fuchsia regia</i>	3	-	-	-
<i>Salix humboldtiana</i>	-	-	30	-
<i>Sebastiania schottiana</i>	3	4	30	3
<i>Tibouchina granulosa</i>	-	4	-	-
Total	12	16	60	6

FONTE: O autor (2019).

NOTA: Nas esteiras vivas, a vegetação será utilizada na forma de galhos de 1,5 m de comprimento, com uma proporção máxima de 50% de galhos mortos.

Ressalta-se ainda que o quantitativo e a estimativa de custos foram efetuados com base nas condições críticas de projeto. Dessa forma, caberá à etapa de projeto executivo a otimização dos insumos a serem aplicados nas demais seções do rio, em que as solicitações atuantes são de menor grandeza. Posto isso, foram estabelecidas nove categorias de serviço para a composição da estimativa de custos: serviços iniciais, paredes Krainer, esteiras vivas, banquetas vegetadas, sistema de drenagem, soleira de enrocamento, bacias de dissipação, recomposição do gramado e descarte de materiais.

Quanto aos serviços iniciais, considerou-se a etapa de limpeza do terreno, incluindo a remoção dos arbustos e de pequenas árvores, bem como a demolição da

calha de concreto, necessária para a efetivação das intervenções propostas. O quantitativo das paredes Krainer utilizou como referência as composições definidas por Bacci (2010b) e Menegazzi e Palmeri (2014), com parâmetros dados por m³ de obra, além das adaptações realizadas em Castelani (2018). Para adaptar as composições às condições do projeto, fez-se a correção dos coeficientes indicados com base no volume por metro linear das paredes Krainer dimensionadas, de 3,20 m³/m na seção I e de 3,40 m³/m nas seções II e IV.

No quantitativo das esteiras vivas, fez-se uso da composição apresentada por Bacci (2010b), com coeficientes majorados para compensar a diferença no número de galhos aplicados por metro de obra, de 20 no estudo de referência para 60 neste projeto. Em relação às banquetas vegetadas, adotou-se as composições de Bacci (2010b) e Menegazzi e Palmeri (2014), dadas por metro de intervenção.

Não foram encontradas referências específicas para o sistema de drenagem, que contempla as canaletas vegetadas, as canaletas escalonadas e as descidas d'água, tendo em vista as configurações pouco usuais empregadas no projeto. Dessa forma, utilizou-se, no caso das canaletas vegetadas, um conjunto de composições apresentadas pelo SINAPI, referentes às seguintes atividades: escavação de valas, disposição de geotêxtil, execução de dreno francês com brita 4, reaterro manual, plantio de gramas em placa, plantio de estacas e assentamento de meio-fio pré-fabricado. Para os demais dispositivos, optou-se, por simplificação, pelo uso da composição de paliçadas vivas apresentada por Menegazzi e Palmeri (2014), tendo em vista a relativa similaridade entre o revestimento de troncos das canaletas escalonadas e descidas d'água com as paredes das paliçadas vivas, conforme ilustrado na Figura 58.

FIGURA 58 – COMPARAÇÃO ENTRE PALIÇADAS VIVAS E CANALETAS ESCALONADAS
Paliçada viva **Canaleta escalonada**



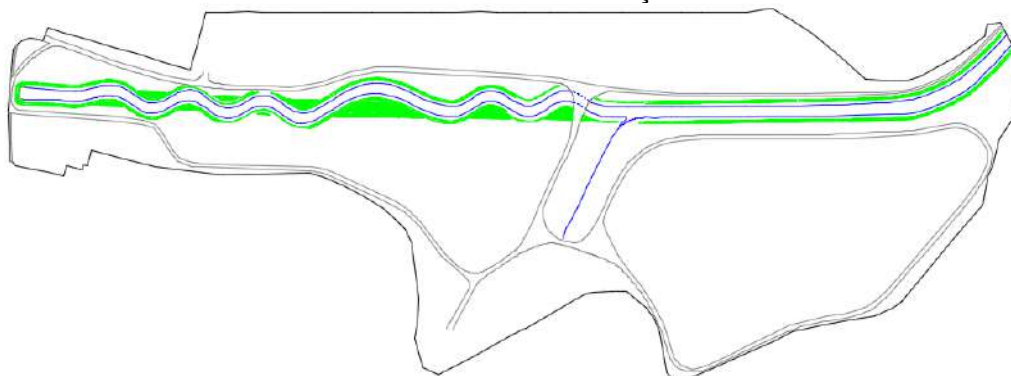
SOUSA (2016)

VERTICAL GREEN (2015)

FONTE: SOUSA (2016) e VERTICAL GREEN (2015).

Quanto à soleira de enrocamento e às bacias de dissipação, utilizou-se, em ambos os casos, a composição de lançamento de enrocamento com pedra de mão, incluindo o espalhamento e a compactação mecânica do material, disponibilizada pelo SICRO. A categoria de recuperação do gramado, por sua vez, foi avaliada com base na composição de plantio de grama em placas do SINAPI. Nesse caso, considerou-se os trechos indicados na Figura 59, descontando-se as áreas das banquetas vegetadas, que já englobam o enleivamento. Destaca-se que a maior parte do revestimento vegetal a ser recuperado localiza-se a montante da ponte, no trecho em que o traçado do curso d'água foi mais modificado.

FIGURA 59 – ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO DO GRAMADO



FONTE: O autor (2019).

Por fim, para a categoria de descarte de materiais, fez-se inicialmente o balanço de movimentações de terra das obras. Para tanto, computou-se o volume total de solo obtido após as escavações com base na equação (45), utilizando-se o fator de empolamento (φ_1) para terra comum seca (solos argilosos-siltosos com areia), com valor de 0,80, conforme indicado por Ricardo e Catalani (2007).

$$V_{c_s} = \frac{V_{c_n}}{\varphi_1}; \quad (45)$$

onde:

- V_{c_s} – volume de corte solto (m³);
- V_{c_n} – volume de corte no estado natural (m³).

Na verificação do volume de solo necessário para os aterros previstos, calculado pela equação (46), aplicou-se o fator de redução volumétrica (φ_2) para o

mesmo tipo de material – terra comum seca –, de 0,90, com valor dentro da faixa recomendada por Ricardo e Catalani (2007).

$$V_{a_s} = \frac{V_{a_c}}{\varphi_1 \varphi_2}; \quad (46)$$

onde:

- V_{a_s} – volume de aterro solto (m³);
- V_{a_c} – volume de aterro compactado (m³).

A partir disso, determinou-se o volume de solo excedente pela diferença entre V_{c_s} e V_{a_s} . Os resultados obtidos, por tipo de intervenção e, no caso das paredes Krainer e esteiras vivas, por seção e por margem de aplicação, estão indicados na Tabela 25.

TABELA 25 – BALANÇO DE MOVIMENTAÇÕES DE TERRA

Seção	Comprimento (m)	V_{c_n} (m ³)	V_{c_s} (m ³)	V_{a_c} (m ³)	V_{a_s} (m ³)	Saldo (m ³)
Parede Krainer seção I – ME	25,80	87,16	108,95	31,31	43,49	65,46
Parede Krainer seção I – MD	27,11	99,70	124,63	26,57	36,91	87,72
Parede Krainer seção II – ME	372,74	2346,45	2933,06	375,46	521,47	2411,59
Parede Krainer seção II – MD	369,05	2099,84	2624,80	371,75	516,32	2108,49
Parede Krainer seção IV – ME	287,09	1292,32	1615,40	394,61	548,07	1067,33
Parede Krainer seção IV – MD	295,00	2123,76	2654,71	304,15	422,42	2232,28
Esteira Viva seção III – ME	83,21	116,07	145,09	49,93	69,35	75,74
Esteira Viva seção III – MD	111,83	163,82	204,78	64,05	88,95	115,82
Banqueta vegetada	3046,05	705,46	881,83	705,46	979,81	-97,98
Canaleta vegetada	958,68	143,42	179,27	49,18	68,31	110,97
Canaleta escalonada	110,23	26,58	33,22	0,00	0,00	33,22
Descida d'água	176,36	42,52	53,15	0,00	0,00	53,15
Total	-	9247,11	11558,89	2372,47	3295,10	8263,79

FONTE: O autor (2019).

NOTA: ME: margem esquerda. MD: margem direita.

Tem-se, portanto, um saldo de solo de 8263,79 m³. A categoria de descarte de materiais abrange ainda a destinação dos resíduos da demolição da calha de concreto. Para a verificação do volume total de detritos, observou-se um acréscimo de 30% em relação ao volume do elemento a ser demolido (BELO HORIZONTE, 2019). Como o volume estimado da calha de concreto é de 3055,76 m³, obtém-se um montante de 3972,49 m³ para despejo.

Dessa forma, tendo as quantidades totais a serem descartadas, empregou-se a composição do SINAPI relativa ao transporte com caminhão basculante de 18 m³, em via urbana pavimentada, com distância média de transporte (DMT) de até 30 km, para ambos os casos. Os deslocamentos adotados foram de 20 km para os resíduos de concreto, considerando a presença de uma empresa de reciclagem de resíduos de construção na cidade de Almirante Tamandaré, e de 30 km para o bota-fora de solo.

Assim, as composições de custo unitário referentes às intervenções de Engenharia Natural adotadas – paredes Krainer, esteiras vivas e banquetas vegetadas –, bem como aos componentes do sistema de drenagem, incluindo as canaletas vegetadas, as canaletas escalonadas e as descidas d'água, são apresentadas no Apêndice 1, da Tabela 32 à 42, com valores médios unitários expostos na Tabela 26. Adotou-se, para o cálculo dos preços dos serviços, taxas de 5% de margem de segurança e de 25% referente aos Benefícios e Despesas Indiretas (BDI), incidente sobre os custos já corrigidos pelo índice anterior.

TABELA 26 – CUSTOS E PREÇOS UNITÁRIOS MÉDIOS DAS TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL E DOS DISPOSITIVOS DE DRENAGEM

Técnica de Engenharia Natural	Custo unitário médio (1)	Preço unitário médio (2)
Parede Krainer	R\$ 1.293,93	R\$ 1.617,41
Esteiras vivas	R\$ 423,21	R\$ 529,01
Banquetas vegetadas	R\$ 26,63	R\$ 33,29
Canaletas vegetadas	R\$ 83,75	R\$ 104,68
Canaletas escalonadas e descidas d'água	R\$ 29,50	R\$ 36,88

FONTE: O autor (2019).

NOTAS: (1) Custo final considerando a margem de 5% de segurança;

(2) Preço final considerando o BDI de 25%.

A partir das composições de custo unitário, elaborou-se a tabela de estimativa de custos sintética, exibida no Apêndice 2 (Tabela 43). Dispõe-se, na Tabela 27, o resumo dos valores obtidos por categoria de serviço.

TABELA 27 – RESUMO DA ESTIMATIVA DE CUSTOS SINTÉTICA

Categoria de serviço	Custo total (1)	Preço total (2)
1 Serviços iniciais	R\$ 364.889,39	R\$ 456.111,74
2 Parede Krainer	R\$ 1.815.485,64	R\$ 2.269.357,05
3 Esteiras vivas	R\$ 82.538,11	R\$ 103.172,64
4 Banquetas vegetadas	R\$ 81.111,09	R\$ 101.388,86
5 Sistema de drenagem	R\$ 88.743,19	R\$ 110.928,99
6 Soleira de enrocamento	R\$ 62,22	R\$ 77,77
7 Bacias de dissipação	R\$ 652,05	R\$ 815,06
8 Recomposição do gramado	R\$ 22.197,19	R\$ 27.746,48
9 Descarte de materiais	R\$ 255.467,90	R\$ 319.334,87
Total	R\$ 2.711.146,78	R\$ 3.388.933,48

FONTE: O autor (2019).

NOTAS: (1) Custo final considerando a margem de 5% de segurança;
(2) Preço final considerando o BDI de 25%.

Assim, obteve-se, com base na estimativa de custos da etapa de projeto básico, um preço total de R\$ 3.388.933,48 para o projeto de revitalização do trecho do Rio Bacacheri inserido no Parque General Iberê de Mattos, na cidade de Curitiba. Considerando a extensão total do novo traçado do curso d'água, de 795,8 m, chega-se ao preço de R\$ 4.258,52 por metro.

É importante ressaltar, todavia, que a demolição da calha de concreto e o descarte de seus resíduos representam uma parcela apreciável do preço do projeto, com aproximadamente 15,7% do total. Ademais, embora a remoção do revestimento seja indispensável para a execução das obras, pode-se considerar, durante a etapa de projeto executivo, a viabilidade técnica e ambiental da utilização do entulho como enrocamento para o preenchimento das gavetas inferiores das paredes Krainer, reduzindo os gastos com o descarte. Outra possível forma de minimizar o preço do projeto envolve a destinação do solo excedente para um local mais próximo ao parque. Sugere-se, portanto, que a Prefeitura Municipal de Curitiba avalie possíveis usos para esse material.

Em relação às técnicas de Engenharia Natural, observa-se que as seções da parede Krainer possuem um preço unitário médio de R\$ 1.617,41 por metro, significativamente maior do que o das demais intervenções propostas. Por conta disso, e tendo em vista ainda a extensão total de aplicação desse método, de 1376,8 m, verifica-se que o preço final das paredes Krainer representa, no total, cerca de 67,0% da estimativa de custos do projeto. Isso se deve, sobretudo, à necessidade de utilização de uma escavadeira com caçamba de garras para a movimentação de

materiais pesados, como as toras, e que possui um custo horário produtivo considerável, de R\$ 148,43 por hora. Ressalta-se, ainda, o alto custo unitário de materiais como o enrocamento, a madeira roliça e os biorretentores.

Os serviços e insumos advindos de todas as composições unitárias da estimativa de custos, incluindo composições auxiliares, foram posteriormente ordenados conforme a metodologia da curva ABC, na qual classificam-se os itens de um orçamento de acordo com o seu impacto financeiro na obra. Dessa forma, contribui-se para que a etapa de pesquisa de mercado seja direcionada à parcela mais significativa do orçamento (BRASIL, 2014). Junto a isso, propicia-se ainda o levantamento dos quantitativos referentes à mão de obra, aos equipamentos e aos insumos do projeto, constantes nas Tabelas 28, 29 e 30, respectivamente, bem como aos materiais vegetativos, indicado na Tabela 31. As curvas ABC obtidas, por sua vez, são apresentadas no Apêndice 3, nas Tabelas 44 e 45.

TABELA 28 – QUANTITATIVO – MÃO DE OBRA

Mão de obra	Fonte (1)	Código	Descrição	Unidade	Quantidade total
Jardineiro	SINAPI-C	88441	Jardineiro com encargos complementares	h	252,75
Motorista de basculante	SINAPI-C	88281	Motorista de basculante com encargos complementares	h	1135,95
Motorista de caminhão	SINAPI-C	88282	Motorista de caminhão com encargos complementares	h	491,16
Operador de escavadeira	SINAPI-C	88294	Operador de escavadeira com encargos complementares	h	2989,76
Operador de martelete	SINAPI-C	88298	Operador de martelete ou marteleiteiro com encargos complementares	h	4755,37
Operador de rolo compactador	SINAPI-C	88303	Operador de rolo compactador com encargos complementares	h	33,46
Operário comum	SINAPI-C	88316	Servente com encargos complementares	h	4585,90
Operário especializado	SINAPI-C	88262	Carpinteiro de fôrmas com encargos complementares	h	695,19
Operário qualificado	SINAPI-C	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	4813,90
Pedreiro	SINAPI-C	88309	Pedreiro com encargos complementares	h	1362,76
Servente	SINAPI-C	88316	Servente com encargos complementares	h	13706,73
Tratorista	SINAPI-C	88324	Tratorista com encargos complementares	h	122,87

FONTE: O autor (2019).

NOTA: (1) SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b).

TABELA 29 – QUANTITATIVO – EQUIPAMENTOS

Equipamento	Fonte (1)	Código (2)	Descrição	Unidade	Quantidade total
Caminhão basculante 18 m ³	SINAPI-C	89883 e 89884	Caminhão basculante 18 m ³ , com cavalo mecânico de capacidade máxima de tração combinado de 45000 kg, potência 330 CV, inclusive semirreboque com caçamba metálica – CHP e CHI diurno	h	1135,95
Caminhão toco 185 CV	SINAPI-C	5890	Caminhão toco, peso bruto total 14.300 kg, carga útil máxima 9590 kg, distância entre eixos 4,76 m, potência 185 CV (não inclui carroceria) – CHP diurno	h	491,16
Compactador manual com soquete vibratório	SICRO-C	E9647	Compactador manual com soquete vibratório - 4,1 kW	h	61,80
Escavadeira hidráulica com caçamba de garras	SINAPI-C	95714	Escavadeira hidráulica sobre esteira, com garra giratória de mandíbulas, peso operacional entre 22,00 e 25,50 ton, potência líquida entre 150 e 160 HP – CHP diurno	h	2955,41
Martelete ou rompedor pneumático manual	SINAPI-C	5795 e 5952	Martelete ou rompedor pneumático manual, 28 kg, com silenciador – CHP e CHI diurno	h	4755,37
Motosserra portátil	SICRO-E	E9585	Motosserra com motor a gasolina - 2,3 kW	h	1430,21
Retroescavadeira sobre rodas com carregadeira	SINAPI-C	5678	Retroescavadeira sobre rodas com carregadeira, tração 4x4, potência líquida 88 HP, caçamba carregada capacidade mínima 1 m ³ , caçamba retro cap. 0,26 m ³ , peso operacional mínimo 6.674 kg, profundidade escavação máx. 4,37 m – CHP diurno	h	34,35
Rolo compactador liso autopropelido vibratório	SICRO-C	E9530	Rolo compactador liso autopropelido vibratório de 11 t - 97 kW	h	33,46
Trator de esteiras com lâmina – 112 kW	SINAPI-C	5851	Trator de esteiras, potência 150 HP, peso operacional 16,7 t, com roda motriz elevada e lâmina 3,18 m ³ – CHP diurno	h	11,03
Trator de esteiras com lâmina – 259 kW	SICRO-C	E9541	Trator de esteiras com lâmina – 259 kW	h	105,75
Trator de pneus 85 CV	SINAPI-C	89035	Trator de pneus, potência 85 CV, tração 4x4, peso com lastro de – CHP diurno	h	6,09

FONTE: O autor (2019).

NOTAS: (1) SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b). SICRO-C: relatório analítico de composições de custos (DNIT, 2019a). SICRO-E: relatório sintético de equipamentos (DNIT, 2019b);

(2) Os equipamentos com dois códigos indicam as composições referentes ao custo horário produtivo (CHP) e ao custo horário improdutivo (CHI).

TABELA 30 – QUANTITATIVO – INSUMOS

Insumo	Fonte	Código	Descrição	Unidade	Quantidade total
Aço CA-50, 16 mm, dobrado e cortado	SINAPI-I	34443	Aço CA-50, 16 mm, dobrado e cortado	kg	20723,26
			Cravo (0,4 m)	unid.	11014,40
			Grampo "U" (0,8 m)	unid.	10908,56
Areia média	SINAPI-C	370	Areia média - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m ³	1650,93
Argamassa traço 1:3	SINAPI-C	88629	Argamassa traço 1:3 (em volume de cimento e areia média úmida), preparo manual	m ³	0,96
Biorretentor	Minas Gramados (2019)			unid.	5507,20
Brita 4	SINAPI-C	4723	Pedra britada nº 4 (50 a 76 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m ³	242,08
Corda de sisal	SINAPI-I	88239	Sisal em fibra	kg	295,26
Enrocamento	SINAPI-I	4730	Pedra de mão ou pedra rachão para arrimo ou fundação (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	m ³	8193,62
Estaca de madeira (115 cm)	SINAPI-I	4491	Pontalete de madeira não aparelhada 7,5 x 7,5 cm (3 x 3 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	3166,64
Estaca de madeira (40 cm)	SINAPI-I	4513	Caibro de madeira não aparelhada 5 x 5 cm (2 x 2 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	3538,28
Estaca de madeira (60 cm)	SINAPI-I	4513	Caibro de madeira não aparelhada 5 x 5 cm (2 x 2 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	2275,45
Geotêxtil	SINAPI-I	4011	Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 10 kN/m	m ²	11649,73
Gramma em placa	SINAPI-I	3322	Gramma esmeralda, grama-são-carlos ou curitibana, em placas, sem plantio	m ²	7018,27
Hidrogel	Agrosolo (2019) e Paiol verde (2019)			kg	97,03
Madeira roliça d = 25 cm L = 6,5 m	SINAPI-I	2794	Madeira roliça tratada, eucalipto ou equivalente da região, h = 6,5 m, d = 25 a 29 cm	m	21922,96
			Longarina	m	13662,16
			Transversina	m	8260,80
Madeira roliça d = 8 cm L = 2,2 m	SINAPI-I	21138	Madeira roliça tratada, eucalipto ou equivalente da região, h = 2,2 m, d = 8 a 11 cm (para cerca)	m	802,45
Meio-fio pré-moldado	SINAPI-C	4059	Meio-fio ou guia de concreto, pré-moldado, comprimento de 1 m, *30 x 15/12* cm (h x m l ₁ /l ₂)	m	963,47

FONTE: O autor (2019).

NOTA: (1) SINAPI-I: preços de insumos (CAIXA, 2019a). SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b).

TABELA 31 – QUANTITATIVO – MATERIAIS VEGETATIVOS

Tipo	Quantidade total
<i>Abutilon megapotamicum</i> (estaca)	18776
<i>Calliandra brevipes</i> (estaca)	21652
<i>Fuchsia regia</i> (estaca)	13269
<i>Salix humboldtiana</i> (galho)	5852
<i>Sebastiania schottiana</i> (estaca)	21652
<i>Sebastiania schottiana</i> (galho)	5852
<i>Tibouchina granulosa</i> (estaca)	5508
Estaca – Banquetas vegetadas	53075
Estaca – Canaletas vegetadas	5753
Estaca – Paredes Krainer	22029
Estaca – Total	80857
Galho – Esteiras vivas	11704

FONTE: O autor (2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de medidas higienistas, como a retificação e a canalização de rios, tem sido a forma tradicionalmente adotada por governos para a mitigação de enchentes em meios urbanos. Todavia, tais intervenções provocam danos significativos ao sistema fluvial, com a perda da diversidade da vida aquática, além de conduzir e intensificar as cheias para jusante. Somado a isso, o enrijecimento do canal impossibilita a retomada do seu equilíbrio dinâmico.

Diante disso, a revitalização de rios se mostra como uma alternativa para a mitigação dos impactos em rios urbanos. Destaca-se ainda o uso complementar de técnicas de Engenharia Natural, já que os materiais vegetativos empregados apresentam uma melhor assimilação ao meio. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi a elaboração de um projeto básico de revitalização com o uso de intervenções de Engenharia Natural, tendo como objeto de estudo o trecho do Rio Bacacheri inserido no Parque General Iberê de Mattos, no município de Curitiba. Conclui-se, portanto, que seu propósito foi atendido, com o desenvolvimento do projeto a nível conceitual e básico.

Desse modo, as técnicas propostas visam à estabilização de processos erosivos, fluviais e geotécnicos atuantes no local. Para tanto, definiu-se o uso de paredes Krainer e de esteiras vivas nas margens e de enrocamento no leito em substituição à calha de concreto, sendo avaliados quanto à tensão de arraste provocada pelo escoamento. Ressalta-se, nesse caso, que as intervenções levantadas possuem alta resistência inicial, condição necessária para a garantia da segurança do canal até o desenvolvimento da vegetação, que reforçará ainda mais sua estabilidade.

Junto a isso, foram posicionadas banquetas vegetadas na parte superior dos taludes das margens, para a contenção de sedimentos e de movimentações de massa superficiais. Além disso, foram dispostas canaletas vegetadas e canaletas escalonadas ao longo das pistas de caminhada e da crista das paredes Krainer, que direcionam os volumes captados para o Rio Bacacheri por meio de descidas d'água, diminuindo a ação erosiva das águas pluviais no parque. Complementarmente, foram alocadas bacias de dissipação em todos os pontos de desagüe, para atenuar os danos ao leito do curso d'água.

Em relação à definição do novo traçado, buscou-se a distribuição da perda de carga de forma mais homogênea no parque. Assim, previu-se o uso de uma soleira de enrocamento no trecho inicial para a dissipação de energia do escoamento, possibilitando a diminuição da inclinação do leito. Para o intervalo seguinte, entre a queda d'água e o desague do afluente da margem direita, a redução da declividade decorre do aumento do comprimento do rio, com a formação de meandros a partir de curvas seno-geradas.

Salienta-se que o desenvolvimento deste trabalho se deu inicialmente pela revisão de literatura referente à revitalização de rios urbanos e pela análise da rede hidrográfica de Curitiba, para a definição do local de estudo. Feito isso, seguiu-se a metodologia de projetos de Engenharia Natural proposta por Maffra (2014) na continuação das atividades. Desse modo, na etapa de projeto conceitual avaliou-se as características da Bacia do Rio Bacacheri e do Parque General Iberê de Mattos, buscando-se identificar os objetivos da intervenção, as possíveis alternativas de tratamento e as informações necessárias para a efetivação das demais etapas.

Na fase seguinte, de projeto básico, foram realizados levantamentos topobatimétricos, ensaios de caracterização geotécnica e estudos hidráulicos e hidrológicos para embasar a escolha das técnicas a serem utilizadas. Em seguida, efetuou-se o dimensionamento, o quantitativo e a estimativa de custos das intervenções.

Dessa forma, o preço total estimado para o projeto é de R\$ 3.388.933,48, com uma margem de segurança de 5% e taxa de BDI de 25%. Considerando a extensão do novo traçado do Rio Bacacheri, de 795,80 m, chega-se a um valor médio de R\$ 4.258,52 por metro. Aponta-se que a construção das paredes Krainer representa a maior parte do preço final, com cerca de 67,0% do montante. Há, ainda, gastos elevados com a demolição e a destinação final dos resíduos da calha de concreto, bem como com o bota-fora de solo. Ressalta-se, todavia, que os custos com o descarte podem ser reduzidos, caso se verifique a possibilidade de reaproveitamento desses materiais.

Assim, diante dos estudos realizados no projeto básico, avalia-se que a revitalização do Rio Bacacheri, no trecho do Parque General Iberê de Mattos, é técnica e economicamente viável. Destaca-se, contudo, que a efetividade das intervenções propostas só é assegurada caso todos os procedimentos designados sejam cumpridos.

Para a etapa de projeto executivo, recomenda-se que seja feita a otimização e o detalhamento das intervenções adotadas, conforme indicado por Maffra (2014). A partir disso, deverão ser elaborados o orçamento definitivo do projeto e o cronograma das obras. Salienta-se, também, a importância da caracterização dos serviços a serem realizados, visto se tratar de técnicas pouco usuais no Brasil, ainda que os trabalhos envolvidos sejam de baixa complexidade, em geral. Além disso, deverão ser descritas as atividades de monitoramento e de manutenção das obras, fundamentais para garantir o correto desenvolvimento da vegetação, em especial nos primeiros meses após o plantio.

Avalia-se que as principais dificuldades encontradas no trabalho estão atreladas à limitação de dados disponíveis no local de estudo, bem como à dificuldade da definição de vazões máximas para bacias urbanas de pequeno porte. Por conta disso, foram adotadas simplificações como a definição do ângulo de atrito e da coesão das amostras de solo com base em sua classificação SUCS, a consideração de que o escoamento é uniforme e que contém baixa quantidade de sedimentos e a representação do efeito da vegetação no fluxo por meio de coeficientes de Manning, dentre outras.

Ademais, pondera-se que a intervenção proposta se caracteriza como uma ação de revitalização local apenas, já que a renaturalização do curso d'água demandaria a abrangência de toda a sua bacia hidrográfica. Enfatiza-se, por fim, a importância de que essa avaliação seja realizada por uma equipe multidisciplinar, tendo em vista a complexidade do problema.

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se o uso de softwares para a modelagem de novos traçados de rios retificados e/ou canalizados, visando à melhor representação dos fenômenos de escoamento no canal. Para isso, pode-se fazer uso do HEC-RAS, disponibilizado gratuitamente pelo Hydrologic Engineering Center do United States Army Corps of Engineers (USACE). Indica-se ainda a realização de um estudo com a aplicação prática das técnicas de Engenharia Natural em um rio do município de Curitiba, com o objetivo de viabilizar a análise da adaptação dessas intervenções às condições locais em médio e longo prazo.

REFERÊNCIAS

AFONSO, J. A. C. **Renaturalização e revitalização de rios urbanos: uma abordagem sistêmica**. 133 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual de estudos de disponibilidade hídrica para aproveitamentos hidrelétricos: manual do usuário**. Brasília: ANA, 2009.

_____. **Séries históricas de estações: Prado Velho - UCP (65011400)**. 2018. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 7 abr. 2019.

AGOSTINI, R.; BIZZARRI, A.; MASETTI, M. **Estruturas flexíveis para obras fluviais: primeira parte – obras transversais para sistematizações e derivações hidráulicas**. Jundiaí: Maccaferri, 1981. 86 p.

ALBERTA TRANSPORTATION. **Erosion and sediment control manual**. 2. ed. Edmonton: AT, 2011. 444 f. Disponível em: <<http://www.transportation.alberta.ca/Content/docType372/Production/ErosionControlManual.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

ALMEIDA, G. C. P. de. **Caracterização física e classificação dos solos**. Juiz de Fora: UFJF, 2005. 145 p.

ALMEIDA, L. Q. de. **Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos**. 278 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro (SP), 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6120: ações para o cálculo de estruturas de edificações**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 6457: amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2016a.

_____. **NBR 6459: solo – determinação do limite de liquidez**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2016b.

_____. **NBR 6502: rochas e solos**. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 7180: solo – determinação do limite de plasticidade**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2016c.

_____. **NBR 7181: solo – análise granulométrica**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2016d.

_____. **NBR 7190: projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

BACCI, M. (Coord.). Allegato 3: schede tecniche opere di IN. In: _____. **Studio generale per la definizione delle Linee Guida regionali per la realizzazione degli interventi di riassetto idrogeologico con tecniche di ingegneria naturalistica**. Cagliari: Autorità di bacino regionale della Sardegna, 2010a.

_____. Allegato 4: analisi prezzi opere di IN. In: _____. **Studio generale per la definizione delle Linee Guida regionali per la realizzazione degli interventi di riassetto idrogeologico con tecniche di ingegneria naturalistica**. Cagliari: Autorità di bacino regionale della Sardegna, 2010b.

BAGATINI, J. A. ***Calliandra brevipes* Benth.** 2007. 1 fotografia, color. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/open_sp.php?img=11409>. Acesso em: 22 nov. 2019.

_____. ***Salix humboldtiana* Willd.** 2008. 1 fotografia, color. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/open_sp.php?img=14487>. Acesso em: 22 nov. 2019.

BAPTISTA, M.; CARDOSO, A. Rios e cidades: uma longa e sinuosa história. **Revista UFMG**, Belo Horizonte, v. 20, n. 2, p. 124-153, jul./dez. 2013.

BAPTISTA, M; LARA, M. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 473 p.

BELO HORIZONTE. Superintendência de Desenvolvimento da Capital. Demolições e remoções. In: _____. **Caderno de encargos SUDECAP**. 4. ed. Belo Horizonte: SUDECAP, 2019. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/obras-e-infraestrutura/Capitulo_2_mar%C3%A7o%202019.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2019.

BERNARDINO, J. C. de M. **Estabilidade de cursos d'água escoando sobre leitos aluvionares não coesivos**. 374 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; CASSOL, E. A. Distância entre terraços usando o comprimento crítico de rampa em dois preparos conservacionistas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 417-425, 2000.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia em rotação com outras culturas em três tipos de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 545-552, 2002.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2008. 355 p.

BEZERRA, J. F. R. **Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de Bioengenharia de Solos na Bacia do Rio Bacanga, São Luís – MA**. 249 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BIFULCO, C.; GIUGLIANO, P., REGO, F. C. Evolution of shrub communities in Soil Bioengineering projects on Vesuvius. In: CONGRESSO AEIP-APENA-EFIB, 8., 2014, Vitória-Gasteiz. **Anais eletrônicos...** Donostia-San Sebastián: AEIP, 2014, p. 1-10. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Carlo_Bifulco/publication/268801539_Evolution_of_shrub_communities_in_Soil_Bioengineering_projects_on_Vesuvius/links/5475dd4a0cf29afed612bda6.pdf>. Acesso em: 16 out. 2019.

BINDER, W. **Rios e córregos: Preservar - Conservar - Renaturalizar**. 4. ed. Rio de Janeiro: SEMADS, 2002. 41 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Nº 32, de 15 de outubro de 2003. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 dez. 2003.

_____. Tribunal de Contas da União. **Orientações para elaboração de planilhas orçamentárias de obras públicas**. Brasília: TCU, 2014. 145 p.

BRAUN, M. G. **Técnica de Bioengenharia de Solos aplicada na remediação de áreas degradadas por erosão hídrica no Arroio Tamanduá em Marques de Souza/RS**. 114 f. Trabalho de Graduação (Trabalho de Conclusão de Curso etapa II) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2018.

BRENNER, V. C. **Proposta metodológica para renaturalização de trecho retificado do Rio Gravataí – RS**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CAIXA). **Preços de insumos**. 2019a. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_655>. Acesso em: 20 dez. 2019.

_____. **SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil 1: PCI.818.01 – custos de composições analítico**. 2019b. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_655>. Acesso em: 20 dez. 2019.

CARDOSO, A. H. **Hidráulica fluvial**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1998. 314 p.

CARDOSO, A. S. **Proposta de metodologia para orientação de processos decisórios relativos a intervenções em cursos de água em áreas urbanas**. 331 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CARDOSO, F. J. **Ambientes fluviais urbanos: novos paradigmas de projeto**. 365 f. Tese (Doutorado em Urbanismo) – Centro de Ciências Exatas, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2017.

CASTELANI, L. V. C. **Projeto de recuperação das margens do Parque São Lourenço utilizando técnicas de Engenharia Natural**. 175 f. Trabalho de

Graduação (Trabalho Final de Curso II) – Curso de Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

CHOW, V. T. **Open-channel hydraulics**. Nova York: McGraw-Hill, 1959. 680 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS (COBRAPE). **Plano diretor de drenagem urbana de Curitiba**. 2012a. v. 2: Volume técnico. Tomo 4: Caracterização e medidas de controle estruturais. 218 f.

_____. **Plano diretor de drenagem urbana de Curitiba**. 2012b. v. 4: Manual de drenagem. 151 f.

CONEJO, J. G. L. (Coord.). **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2007. 123 p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/estudos/sprtew/2/pdf/volume_2_ANA.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2018.

COPPIN, N. J.; RICHARDS, I. G. **Use of vegetation in Civil Engineering**. Londres: CIRIA, 1990. 310 p.

CORDEIRO, J. P. **Levantamento topográfico cadastral**: Localidade: Parque Bacacheri. 2003. 1 mapa. Escala 1:500.

COSTA, R. C. **Parques fluviais na revitalização de rios e córregos urbanos**. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas e da Informação, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2011.

CURITIBA. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Plano de manejo do parque natural municipal de lazer “General Iberê de Mattos” – Bacacheri**. Curitiba: SMMA, 2008. 251 f. Disponível em: <<http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2010/00085330.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

_____. Secretaria Municipal de Obras Públicas. **Plano diretor de drenagem – PDD**: Volume complementar. 2017. 180 f.

DAS, B. M.; SOBHAN, K. **Principles of Geotechnical Engineering**. 8. ed. Stamford: Cengage Learning, 2014. 448 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **DNER-ME 093**: Solos – determinação da densidade real. Brasília, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de drenagem de rodovias**. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 333 p.

_____. **Sistema de custos referenciais de obras – SICRO**: relatório analítico de composições de custos. 2019a. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/sicro/sul/parana/2019/outubro/outubro-2019>>. Acesso em: 13 dez. 2019.

_____. **Sistema de custos referenciais de obras – SICRO**: relatório sintético de equipamentos. 2019b. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/sicro/sul/parana/2019/outubro/outubro-2019>>. Acesso em: 13 dez. 2019.

DHITAL, Y. P.; KAYASTHA, R. B.; SHI, J. Soil Bioengineering application and practices in Nepal. **Environmental Management**, v. 51, n. 2, p. 354-364, 2012. DOI: 10.1007/s00267-012-0003-7.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. **Bioengenharia**: manejo biotécnico de cursos de água. 3. ed. Santa Maria: Edição do autor, 2014. 192 p.

ELETROBRÁS. **Diretrizes para estudos e projetos de pequenas centrais hidrelétricas**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2000.

EVANGELISTA, J. de A. **Planejamento de intervenções em cursos de água**: priorização e avaliação de alternativas. 332 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

FEDERAÇÃO EUROPEIA DE ENGENHARIA NATURAL (EFIB). **Directrizes Europeias de Engenharia Natural**. Aachen: EFIB, 2015. 150 f.

FEDERAL INTERAGENCY STREAM RESTORATION WORKING GROUP (FISRWG). **Stream corridor restoration**: principles, processes, and practices. Washington, DC: USDA, 2001. Disponível em: <<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/manage/restoration/?cid=stelprdb1043244>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

FELIPE, R. da S. **Características geológico-geotécnicas na Formação Guabirotuba**. Curitiba: Mineropar, 2011. 48 p. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/Caract_Geol_Geot_formacao_Guabirotuba.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2018.

FILGUEIRAS, T.S.; RODRIGUES, R.S. *Axonopus compressus*. **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB13039>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

FINDLAY, S. J.; TAYLOR, M. P. Why rehabilitate urban river systems?. **Area**, [S.l.], v. 38, n. 3, p. 312-325, set. 2006. DOI. 10.1111/j.1475-4762.2006.00696.x.

FLORINETH, F.; RAUCH, H. P.; STAFFLER, H. Stabilization of landslides with Bio-Engineering measures in South Tyrol/Italy and Thankot/Nepal. In: INTERPRAEVENT, 2002, Matsumoto. **Anais...** Klagenfurt: Interpraevent, 2002. v. 2, p. 827-837. Disponível em: <http://www.interpraevent.at/palm-cms/upload_files/Publikationen/Tagungsbeitraege/2002_2_827.pdf>. Acesso em: 16 out. 2019.

FORTH JARDIM. **Forth gel para plantio**. 2017. 1 folder. Disponível em: <https://forthjardim.com.br/files/forth-gel_folheto.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2019.

FREITAG WEIDENART. **Buschlage**. 2017a. Disponível em: <<https://www.freitag-weidenart.com/project/buschlage/>>. Acesso em: 19 dez. 2019.

_____. **Krainerwand**. 2017b. Disponível em: <<https://www.freitag-weidenart.com/project/krainerwand/>>. Acesso em: 19 dez. 2019.

_____. **Spreitlage**. 2017c. Disponível em: <<https://www.freitag-weidenart.com/project/spreitlage/>>. Acesso em: 19 dez. 2019.

FULLER, W. E. Flood flows. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, Nova York, v. 77, n. 1293, p. 564-617, dez. 1914.

GAMEIRO, A. dos S. **Proposta de restauração ecológica fluvial de um troço da ribeira das Vinhas, Cascais**. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

GARCÍA-VEGA, A. et al. Bases metodológicas para el cálculo de muros entramados de madera con vegetación o muros Krainer. **Informes de la Construcción**, Madrid, v. 66, n. 533, p. 1-12, jan./mar. 2014. DOI: [dx.doi.org/10.3989/ic.12.072](https://doi.org/10.3989/ic.12.072)

GAVASSONI, E. **Processos erosivos: gás natural**. Módulo II – prática de campo. Rio de Janeiro: Transpetro, 2012. 185 f.

GIEHL, E. L. H. **Fuchsia regia (Vell.) Munz**. 2008. 1 fotografia, color. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/open_sp.php?img=661>. Acesso em: 22 nov. 2019.

_____. **Sebastiania schottiana (Müll.Arg.) Müll.Arg.** 2005. 1 fotografia, color. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/open_sp.php?img=43>. Acesso em: 22 nov. 2019.

GOMES, L. G. N. **A Bioengenharia como ferramenta para restauração ambiental das margens do Rio São Francisco**. 118 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Sergipe, São Cristóvão, 2005.

GOOGLE. **Google Maps**. 2019. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/>>. Acesso em: 7 ago. 2019.

GORSKI, M. C. B. **Rios e cidades: ruptura e reconciliação**. 243 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2008.

GURGEL, R. G. A. Principais espécies e variedades de grama. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 1., 2003, Botucatu. **Anais eletrônicos...** Botucatu: FCA/Unesp, 2003. Disponível em: <<http://infograma.com.br/wp->

content/uploads/2015/10/PRINCIPAIS-ESP%C3%89CIES-E-VARIEDADES-DE-GRAMAS.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Unidades da Federação**. 2013. 1 mapa.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA (IPPUC). **Bacias hidrográficas segundo a área, domicílios e população, em Curitiba_2000**. 2000. Disponível em: <http://curitibaemdados.ippuc.org.br/anexos/2000_Bacias%20Hidrogr%C3%A1ficas_%C3%81rea,Domic%C3%ADlios%20e%20Popula%C3%A7%C3%A3o,%20Curitiba.pdf>. Acesso em: 4 out. 2019.

_____. **Bacias hidrográficas segundo a área, domicílios particulares permanentes e população, em Curitiba_2010**. 2010. Disponível em: <http://curitibaemdados.ippuc.org.br/anexos/2010_Bacias%20Hidrogr%C3%A1ficas%20Segundo%20a%20%C3%81rea,%20Domic%C3%ADlios%20e%20Popula%C3%A7%C3%A3o,%20em%20Curitiba.xls>. Acesso em: 4 out. 2019.

_____. **Arruamento - shapes**. 2013a. 1 mapa. Disponível em: <ippuc.org.br/geodownloads/sirgas/ARRUAMENTO_SHP.ZIP>. Acesso em: 8 mar. 2018.

_____. **Curvas de nível - (compilado de fevereiro/2013)**. 2013b. 1 mapa. Disponível em: <http://ippuc.org.br/geodownloads/SHAPES/ALT_CURVA_DE_NIVEL.zip>. Acesso em: 14 dez. 2017.

_____. **Hidrografia - shapes**. 2013c. 1 mapa. Disponível em: <ippuc.org.br/geodownloads/sirgas/HIDROGRAFIA_SHP.ZIP>. Acesso em: 26 jan. 2018.

_____. **Limites legais - shapes**. 2013d. 1 mapa. Disponível em: <ippuc.org.br/geodownloads/sirgas/LIMITES_LEGAI_SHP.ZIP>. Acesso em: 14 dez. 2017.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIAS E GEOCIÊNCIAS (ITCG). **Divisão político-administrativa do Paraná - 2017**. 2017. 1 mapa. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Dados_2017/municipios_pr_2017_UTM_SIRGAS2000.7z>. Acesso em: 12 dez. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados da estação Curitiba - PR (83842): 11/05/19 a 17/05/19**. 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 18 out. 2019.

_____. **Normais climatológicas do Brasil: 1981 - 2010**. Brasília: INMET, 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/normais_climatologicas/mobile/index.html#p=1>. Acesso em: 24 out. 2019.

JANY, A., GEITZ, P. (Org.). **Ingenieurbioologische Bauweisen an Fließgewässern, Teil 1: Leitfaden für die Praxis**. Karlsruhe: WBW, 2013. 91 p.

JONES, K.; HANNA, E. Design and implementation of an ecological engineering approach to coastal restoration at Loyola Beach, Kleberg County, Texas. **Ecological Engineering**, v. 22, n. 4-5, p. 249-261, 2004. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2004.05.006.

KOLIJI, A. (Ed.). **Soil friction angle**. Geotechdata.info, 2013. Disponível: <<http://www.geotechdata.info/parameter/angle-of-friction.html>>. Acesso em: 10 out. 2019.

_____. **Soil cohesion**. Geotechdata.info, 2014. Disponível: <<http://www.geotechdata.info/parameter/cohesion.html>>. Acesso em: 10 out. 2019.

KRYMER, V.; ROBERT, A. Stream restoration and cribwall performance: a case study of cribwall monitoring in southern Ontario. **River Research and Applications**, v. 30, n. 7, p. 865–873, 2014. DOI: 10.1002/rra.2684.

LANE, E. W. **Progress report on results of studies on design of stable channels**: Hydraulic Laboratory Report No. Hyd-352. Denver: USBR, jun. 1952. 35 p. Relatório técnico.

LANGBEIN, W. B.; LEOPOLD, L. B. **River meanders – theory of minimum variance**: Geological Survey professional paper 422–H. Washington: United States Printing Office, 1966. 16 p.

LARA, M. V. R. DE. **Análise crítica de programas de revitalização de rios urbanos na bacia hidrográfica do rio Belém em Curitiba-PR**. 150 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. **Fluvial processes in Geomorphology**. San Francisco: Freeman and Company, 1964. 522 p.

LEWIS, L. **Soil Bioengineering**: an alternative for roadside management. Washington, DC: United States Department of Agriculture, 2000. 44 p.

LI, X.; ZHANG, L.; ZHANG, Z. Soil Bioengineering and the ecological restoration of riverbanks at the Airport Town, Shanghai, China. **Ecological Engineering**, v. 26, p. 304-314, 2006.

MAFFRA, C. R. B. **Metodologia para projetos de Engenharia Natural para obras de infraestrutura**. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

MASTELLA, A. D. F. **Recuperação experimental de um trecho de curso de água com técnicas de Engenharia Natural**. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

MELO, C. B. **Quaresmeira**. 2018. 1 fotografia, color. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/recursos-geneticos-e-biotecnologia/busca-de-imagens/-/midia/4461001/quaresmeira>>. Acesso em: 22 nov. 2019.

MELLO, S. S. de. **Na beira do rio tem uma cidade: urbanidade e valorização dos corpos d'água.** 2008. 348 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MENEGAZZI, G.; PALMERI, F. **Il dimensionamento delle opere di Ingegneria Naturalistica.** Roma: Regione Lazio, 2014. 528 p. Disponível em: <http://www.regione.lazio.it/binary/rl_main/tbl_documenti/IGN_Pubblicazione_FascicoloDimensionamento_26_06_2014.pdf>.

MINAS GRAMADOS. **Produto: biorretentores D20 (com 2,40 metros).** 2019. Disponível em: <<https://minasgramados.com.br/Loja/produto/bioretentores-d20-com-2-metros/>>. Acesso em: 18 nov. 2019.

MINEROPAR. **Folha de Curitiba.** 2004. 1 mapa. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/Curitiba.zip>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

MORAES, D. S. de L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 370-374, 2002.

MORETTO, R. L. **Análise dos efeitos da vegetação na proteção de taludes rodoviários e proposição de alternativas de revegetação na BR-386.** 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Porto Alegre, 2012.

MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J. **Slope stabilization and erosion control: a Bioengineering approach.** Londres: E & FN Spon, 1995. 274 p.

MÜLLER, G. R. R. **A influência do urbanismo sanitário na transformação do espaço urbano em Florianópolis.** 136 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. de A. **Hidrologia estatística.** Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

NITSCHKE, R. et al. **Atlas climático do estado do Paraná.** Londrina: IAPAR, 2019. 210 p. Disponível em: <www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/AtlasClimaticoPR.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2019.

NUNES, F. G. **A influência do uso e ocupação do solo nas vazões de pico na bacia hidrográfica do Rio Atuba.** 175 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/11164/TESE_DOUTORADO_NUNES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 4 out. 2019.

OLIVEIRA, J. T. da S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005.

ORMOND, J. G. P. (Comp.). **Glossário de termos usados em atividades agropecuárias, florestais e ciências ambientais**. Rio de Janeiro: BNDES, 2006. 316 p. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/glossrio_bndes_textodoc_46.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2019.

PALMER, M. A. et al. Standards for ecologically successful river restoration. **Journal of Applied Ecology**, Londres, v. 42, p. 208-217, 2005.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Resolução Nº 49 CERH/PR, de 20 de dezembro de 2006. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, n. 7401, 31 jan. 2007. p. 37.

PARDIM, R. **Gramma são carlos: *Axonopus compressus***. 2016. 1 fotografia, color. Disponível em: <<https://centraldagrama.com/gramma-sao-carlos>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

PEREIRA, I. L. V. **Estudos de revitalização de cursos de água: trecho experimental no Rio das Velhas**. 122 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

PEREIRA, M. C. B.; SCROCCARO, J. L. **Bacias hidrográficas do Paraná: série histórica**. 2. ed. Curitiba: SEMA, 2013. 138 p.

PLÁ, J. V. A. Industrialização e transição demográfica no Brasil. **Revista Economia & Tecnologia**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 61-78, 2013.

PORTO, R. de M. **Hidráulica Básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 540 p.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades física do solo**. Santa Maria: UFSM, 2006. Disponível em: <https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo__texto.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2019.

REIS, C. A. F. et al. ***Corymbia citriodora*: estado da arte de pesquisas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. 57 p.

RIBEIRO, N. C. **Avaliação da impermeabilização e ocorrência de inundações na Bacia do Rio Bacacheri**. 139 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/13904/Neiva%20Cristina%20Ribeiro...?sequence=1>>. Acesso em: 5 fev. 2018.

RICARDO, H. de S.; CATALANI, G. **Manual prático de escavação: terraplenagem e escavação de rocha**. 3. ed. São Paulo: Pini, 2007.

RIGOTTI, J. A. et al. Revitalização de rios: perspectivas sobre restauração ecológica e desenvolvimento urbano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: ABRH, 2017, p. 1-7.

RÖMKENS, M. J. M.; POESEN, J. W. A.; WANG, J. Y. Relationship between the USLE soil erodibility factor and soil properties. In: RIMWANICH, S. (Ed.). **Land conservation for future generations**. Bangkok: Department of Land Development, 1988. p. 371-385.

RUFINO, R. L.; BISCAIA, R. C. M.; HERTEN, G. H. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná através de pluviometria: terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 17, p. 439-444, 1993.

RUTHERFURD, I. D.; JERIE, K.; MARSH, N. **A rehabilitation manual for Australian streams**. Canberra: LWRRDC, 2000. v. 1. 192 f.

SALAMUNI, E. **Tectônica da bacia sedimentar de Curitiba (PR)**. 233 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 1998. Disponível: <<http://www.neotectonica.ufpr.br/grupo-teses/tese-salamuni.pdf>>. Acesso em: 8 mar. 2018.

SALAMUNI, E.; SALAMUNI, R.; EBERT, H. D. **Contribuição à geologia da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR)**. Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, n. 47, p. 123-142, 1999.

SAUER, C. E. A análise ambiental legal de uma bacia hidrográfica com o recurso fotográfico: o caso do Rio Bacacheri em Curitiba - PR. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 25, p. 57-63, mar. 2008.

SAULI, G.; CORNELINI, P.; PRETI, F. **Manuale di Ingegneria Naturalistica: applicabile ai settori delle strade, cave, discariche e coste sabbiose**. Roma: Regione Lazio, 2006. 866 p.

SCHIECHTL, H. M.; STERN, R. **Ground bioengineering techniques for slope protection and erosion control**. Oxford: Blackwell Science, 1992. 146 p.

SCHMEIER, N. P. **Bioengenharia na recuperação das margens do Arroio Forquetinha/RS**. 113 f. Trabalho de Graduação (Trabalho de Conclusão de Curso II) – Curso de Engenharia Ambiental, Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2012.

SELLES, I. M. et al. **Revitalização de rios: orientação técnica**. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. 78 p.

SILVA, P. J. da; PIRES, M. A. F. Renaturalização de rios, em áreas de trechos, urbanos com a aplicação de técnicas de Bioengenharia em obras de Engenharia Hidráulica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: ABRH, 2007, p. 1-18. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/879419df7e3de0bb399fe321b8c4a8df_829becbde1ed6e360c033d22a668f308.pdf>. Acesso em: 17 out. 2019.

SOAR, P. J.; THORNE, C. R. **Channel restoration design for meandering rivers**. Washington, DC: U.S. Army Corps of Engineers, 2001. Disponível em:

<https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1043218.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2018. 416 f.

SOUSA, R. **Metodologia para especificação de plantas com potencial biotécnico em Engenharia Natural**. 2015. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

_____. **Metodologia para planejamento e controle da produção para obras de Engenharia Natural**. 2019. 218 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

_____. **Paliçada viva**. 2016. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://ecosalix.pt/palica-da-viva/>>. Acesso em: 2 dez. 2019.

_____. Técnicas de Engenharia Natural como ferramenta de RAD. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADAS, 11., 2017, Curitiba. **Anais eletrônicos e palestras...** Curitiba: SOBRADE, 2017. Disponível em: <http://www.sobrade.com.br/download/Tecnicas%20de%20Engenharia%20Natural%20como%20Ferramenta%20de%20RAD_Rita%20Sousa_Laboratorio%20de%20Engenharia%20Natural_UFSM.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2019.

SOUZA, P. S. de. **Revitalização de cursos d'água em área urbana: perspectivas de restabelecimento da qualidade hidrogeomorfológica do Córrego Grande (Florianópolis/SC)**. 208 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL (SUDERHSA). **Mapa das sub-bacias do Alto Iguaçu**. 2007. 1 mapa. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/DADOS%20ESPACIAIS/Sub_bacias_Alto_Iguacu.zip>. Acesso em: 12 mar. 2018

_____. **Uso do solo - Bacia do Alto Iguaçu**. 2002. 1 mapa. Escala 1:20.000. Disponível em: <www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/DADOS%20ESPACIAIS/Uso_Solo_Alto_Iguacu.zip>. Acesso em: 12 mar. 2018

SUTILI, F. J.; GAVASSONI, E. The development of Soil Bioengineering as an analytical discipline. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n. 46/47, 2013.

TRAVASSOS, L. R. F. C. **Revelando os rios: Novos paradigmas para a intervenção em fundos de vale urbanos na Cidade de São Paulo**. 243 f. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999.

UNITED STATES OF AMERICA DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Basic principles of channel design. In: _____. **National engineering handbook**: Stream restoration design. Washington, DC: USDA, 2007a. Disponível em: <<https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17783.wba>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

_____. Streambank Soil Bioengineering. In: _____. **National engineering handbook**: Stream restoration design. Washington, DC: USDA, 2007b. Disponível em: <<https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17818.wba>>. Acesso em: 27 nov. 2019.

VERTICAL GREEN. **Tecnologias**: canaletas em madeira e pedras. 2015. Disponível em: <<http://verticalgreen.com.br/tecnologias/drenagem-e-captacao-de-agua/calha-em-madeira-e-pedras/>>. Acesso em: 19 dez. 2019.

VIEZZER, J. et al. A vegetação no paisagismo das praças de Curitiba - PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 369-383, mar., 2018. DOI: [dx.doi.org/10.5902/1980509831608](https://doi.org/10.5902/1980509831608).

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Beltsville: USDA, 1978. 58 p.

WOHL, E. et al. River restoration. **Water Resources Research**, v. 41, p. 1-12, 2005. DOI: [10.1029/2005WR003985](https://doi.org/10.1029/2005WR003985).

WU, T. H. et al. Use of live poles for stabilization of a shallow slope failure. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, Reston, v. 140, n. 10, p. 1-13, 2014. DOI: [doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0001161](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001161).

ZEH, H. **Ingenieurbioologische Bauweisen im naturnahen Wasserbau**. Bern: BAFU, 2010. 59 p.

ZIARNEK, K. ***Abutilon megapotamicum* in Auckland Botanic Gardens**. 2017. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Abutilon_megapotamicum_kz3.jpg>. Acesso em: 22 nov. 2019.

APÊNDICE 1 – COMPOSIÇÕES DE CUSTO UNITÁRIO

TABELA 32 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO I, MARGEM ESQUERDA

(continua)

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código (3)	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Operário qualificado	MO	SINAPI-C	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	2,24336	R\$ 20,73	R\$ 46,50
Operário comum	MO	SINAPI-C	88316	Servente com encargos complementares	h	2,56384	R\$ 19,20	R\$ 49,23
Caminhão toco	C	SINAPI-C	5890	Caminhão toco, peso bruto total 14.300 kg, carga útil máxima 9590 kg, distância entre eixos 4,76 m, potência 185 CV (não inclui carroceria) – CHP diurno	h	0,32048	R\$ 116,61	R\$ 37,37
Escavadeira com caçamba de garras	C	SINAPI-C	95714	Escavadeira hidráulica sobre esteira, com garra giratória de mandíbulas, peso operacional entre 22,00 e 25,50 ton, potência líquida entre 150 e 160 HP – CHP diurno	h	1,92288	R\$ 148,43	R\$ 285,41
Canaleta de areia média	C	SINAPI-C	73883/1	Execução de dreno francês com areia média	m³	0,87500	R\$ 99,42	R\$ 86,99
Canaleta de brita 4	C	SINAPI-C	73883/2*	Execução de dreno francês com brita nº 4	m³	0,09120	R\$ 96,96	R\$ 8,84
Escavação	C	SICRO-C	5501710*	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria - DMT de 50 m	m³	3,37780	R\$ 1,45	R\$ 4,91
Lançamento mecanizado de enrocamento	C	SICRO-C	1505877*	Enrocamento com pedra de mão, inclusive espalhamento e compactação mecânica - fornecimento e assentamento	m³	2,98850	R\$ 66,35	R\$ 198,28
Reaterro	C	SICRO-C	4915671*	Reaterro e compactação com soquete vibratório	m³	0,49722	R\$ 15,99	R\$ 7,95
Motosserra portátil	E	SICRO-E	E9585*	Motosserra com motor a gasolina - 2,3 kW	h	0,96144	R\$ 4,96	R\$ 4,77
Enrocamento	I	SINAPI-I	4730	Pedra de mão ou pedra rachão para arrimo ou fundação (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	m³	1,76803	R\$ 48,80	R\$ 86,28
Geotêxtil	I	SINAPI-I	4011	Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 10 kN/m	m²	7,01740	R\$ 4,54	R\$ 31,86
Grama em placa	I	SINAPI-I	3322	Grama esmeralda ou grama-são-carlos ou curitibana, em placas, sem plantio	m²	0,85540	R\$ 5,00	R\$ 4,28
Madeira roliça d = 25 cm L = 6,5 m	I	SINAPI-I	2794	Madeira roliça tratada, eucalipto ou equivalente da região, h = 6,5 m, d = 25 a 29 cm	m	14,00000	R\$ 9,40	R\$ 131,64
	I			Longarina	m	8,00000		
	I			Transversina	m	6,00000		
Estaca de madeira (40 cm)	I	SINAPI-I	4513	Caibro de madeira não aparelhada 5 x 5 cm (2 x 2 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	0,80000	R\$ 2,59	R\$ 2,07

TABELA 32 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO I, MARGEM ESQUERDA

(conclusão)

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código (3)	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Estaca de madeira (115 cm)	I	SINAPI-I	4491	Pontaleta de madeira não aparelhada 7,5 x 7,5 cm (3 x 3 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	2,30000	R\$ 2,96	R\$ 6,81
Aço CA-50, 16 mm, dobrado e cortado	I	SINAPI-I	34443	Aço CA-50, 16 mm, dobrado e cortado	kg	12,62400	R\$ 4,60	R\$ 58,07
	I			Cravo (0,4 m)	unid.	8,00000		
	I			Grampo "U" (0,8 m)	unid.	6,00000		
Biorretentor	I	Minas Gramado (2019)			unid.	4,00000	R\$ 31,67	R\$ 126,67
Estaca (planta) – Gavetas	I				unid.	16,00000		
	I			<i>Abutilon megapotamicum</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Calliandra brevipes</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Sebastiania schottiana</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Tibouchina granulosa</i>	unid.	4,00000		
Estaca (planta) – Banquetas vegetadas	I				unid.	12,00000		
	I			<i>Abutilon megapotamicum</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Calliandra brevipes</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Fuchsia regia</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Sebastiania schottiana</i>	unid.	3,00000		
Hidrogel	I	Agrosolo (2019) e Paiol verde (2019)			kg	0,03360	R\$ 88,98	R\$ 2,99
Custo unitário total								R\$ 1.180,92
Custo unitário total + segurança (5%)								R\$ 1.239,96

FONTE: O autor (2019).

NOTAS: (1) MO: mão de obra. C: composição. E: equipamento. I: insumo;

(2) SINAPI-I: preços de insumos (CAIXA, 2019a). SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b). SICRO-C: relatório analítico de composições de custos (DNIT, 2019a). SICRO-E: relatório sintético de equipamentos (DNIT, 2019b);

(3) Códigos com asterisco indicam composições adaptadas para o projeto.

TABELA 33 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO I, MARGEM DIREITA

(continua)

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código (3)	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Operário qualificado	MO	SINAPI-C	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	2,24336	R\$ 20,73	R\$ 46,50
Operário comum	MO	SINAPI-C	88316	Servente com encargos complementares	h	2,56384	R\$ 19,20	R\$ 49,23
Caminhão toco	C	SINAPI-C	5890	Caminhão toco, peso bruto total 14.300 kg, carga útil máxima 9590 kg, distância entre eixos 4,76 m, potência 185 CV (não inclui carroceria) – CHP diurno	h	0,32048	R\$ 116,61	R\$ 37,37
Escavadeira com caçamba de garras	C	SINAPI-C	95714	Escavadeira hidráulica sobre esteira, com garra giratória de mandíbulas, peso operacional entre 22,00 e 25,50 ton, potência líquida entre 150 e 160 HP – CHP diurno	h	1,92288	R\$ 148,43	R\$ 285,41
Canaleta de areia média	C	SINAPI-C	73883/1	Execução de dreno francês com areia média	m³	0,87500	R\$ 99,42	R\$ 86,99
Canaleta de brita 4	C	SINAPI-C	73883/2*	Execução de dreno francês com brita nº 4	m³	0,09120	R\$ 96,96	R\$ 8,84
Escavação	C	SICRO-C	5501710*	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria - DMT de 50 m	m³	3,67740	R\$ 1,45	R\$ 5,34
Lançamento mecanizado de enrocamento	C	SICRO-C	1505877*	Enrocamento com pedra de mão, inclusive espalhamento e compactação mecânica - fornecimento e assentamento	m³	2,98850	R\$ 66,35	R\$ 198,28
Reaterro	C	SICRO-C	4915671*	Reaterro e compactação com soquete vibratório	m³	0,17319	R\$ 15,99	R\$ 2,77
Motosserra portátil	E	SICRO-E	E9585*	Motosserra com motor a gasolina - 2,3 kW	h	0,96144	R\$ 4,96	R\$ 4,77
Enrocamento	I	SINAPI-I	4730	Pedra de mão ou pedra rachão para arrimo ou fundação (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	m³	1,76803	R\$ 48,80	R\$ 86,28
Geotêxtil	I	SINAPI-I	4011	Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 10 kN/m	m²	7,01740	R\$ 4,54	R\$ 31,86
Grama em placa	I	SINAPI-I	3322	Grama esmeralda ou grama-são-carlos ou curitibana, em placas, sem plantio	m²	0,85540	R\$ 5,00	R\$ 4,28
Madeira roliça d = 25 cm L = 6,5 m	I	SINAPI-I	2794	Madeira roliça tratada, eucalipto ou equivalente da região, h = 6,5 m, d = 25 a 29 cm	m	14,00000	R\$ 9,40	R\$ 131,64
	I			Longarina	m	8,00000		
	I			Transversina	m	6,00000		
Estaca de madeira (40 cm)	I	SINAPI-I	4513	Caibro de madeira não aparelhada 5 x 5 cm (2 x 2 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	0,80000	R\$ 2,59	R\$ 2,07
Estaca de madeira (115 cm)	I	SINAPI-I	4491	Pontaleta de madeira não aparelhada 7,5 x 7,5 cm (3 x 3 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	2,30000	R\$ 2,96	R\$ 6,81

TABELA 33 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO I, MARGEM DIREITA

(conclusão)

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código (3)	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Aço CA-50, 16 mm, dobrado e cortado	I	SINAPI-I	34443	Aço CA-50, 16 mm, dobrado e cortado	kg	12,62400	R\$ 4,60	R\$ 58,07
	I			Cravo (0,4 m)	unid.	8,00000		
	I			Grampo "U" (0,8 m)	unid.	6,00000		
Biorretentor	I	Minas Gramado (2019)			unid.	4,00000	R\$ 31,67	R\$ 126,67
Estaca (planta) – Gavetas	I				unid.	16,00000		
	I			<i>Abutilon megapotamicum</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Calliandra brevipes</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Sebastiania schottiana</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Tibouchina granulosa</i>	unid.	4,00000		
Estaca (planta) – Banquetas vegetadas	I				unid.	12,00000		
	I			<i>Abutilon megapotamicum</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Calliandra brevipes</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Fuchsia regia</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Sebastiania schottiana</i>	unid.	3,00000		
Hidrogel	I	Agrosolo (2019) e Paio verde (2019)			kg	0,03360	R\$ 88,98	R\$ 2,99
Custo unitário total								R\$ 1.176,17
Custo unitário total + segurança (5%)								R\$ 1.234,98

FONTE: O autor (2019).

NOTAS: (1) MO: mão de obra. C: composição. E: equipamento. I: insumo;

(2) SINAPI-I: preços de insumos (CAIXA, 2019a). SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b). SICRO-C: relatório analítico de composições de custos (DNIT, 2019a). SICRO-E: relatório sintético de equipamentos (DNIT, 2019b);

(3) Códigos com asterisco indicam composições adaptadas para o projeto.

TABELA 34 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO II, MARGEM ESQUERDA

(continua)

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código (3)	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Operário qualificado	MO	SINAPI-C	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	2,38056	R\$ 20,73	R\$ 49,35
Operário comum	MO	SINAPI-C	88316	Servente com encargos complementares	h	2,72064	R\$ 19,20	R\$ 52,24
Caminhão toco	C	SINAPI-C	5890	Caminhão toco, peso bruto total 14.300 kg, carga útil máxima 9590 kg, distância entre eixos 4,76 m, potência 185 CV (não inclui carroceria) – CHP diurno	h	0,34008	R\$ 116,61	R\$ 39,66
Escavadeira com caçamba de garras	C	SINAPI-C	95714	Escavadeira hidráulica sobre esteira, com garra giratória de mandíbulas, peso operacional entre 22,00 e 25,50 ton, potência líquida entre 150 e 160 HP – CHP diurno	h	2,04048	R\$ 148,43	R\$ 302,87
Canaleta de areia média	C	SINAPI-C	73883/1	Execução de dreno francês com areia média	m³	1,00000	R\$ 99,42	R\$ 99,42
Canaleta de brita 4	C	SINAPI-C	73883/2*	Execução de dreno francês com brita nº 4	m³	0,09120	R\$ 96,96	R\$ 8,84
Escavação	C	SICRO-C	5501710*	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria - DMT de 50 m	m³	6,29520	R\$ 1,45	R\$ 9,14
Lançamento mecanizado de enrocamento	C	SICRO-C	1505877*	Enrocamento com pedra de mão, inclusive espalhamento e compactação mecânica - fornecimento e assentamento	m³	3,15150	R\$ 66,35	R\$ 209,09
Reaterro	C	SICRO-C	4915671*	Reaterro e compactação com soquete vibratório	m³	0,00000	R\$ 15,99	R\$ 0,00
Motosserra portátil	E	SICRO-E	E9585*	Motosserra com motor a gasolina - 2,3 kW	h	1,02024	R\$ 4,96	R\$ 5,06
Enrocamento	I	SINAPI-I	4730	Pedra de mão ou pedra rachão para arrimo ou fundação (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	m³	1,76803	R\$ 48,80	R\$ 86,28
Geotêxtil	I	SINAPI-I	4011	Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 10 kN/m	m²	7,23740	R\$ 4,54	R\$ 32,86
Gramma em placa	I	SINAPI-I	3322	Gramma esmeralda ou grama-são-carlos ou curitibana, em placas, sem plantio	m²	0,80200	R\$ 5,00	R\$ 4,01
Madeira roliça d = 25 cm L = 6,5 m	I	SINAPI-I	2794	Madeira roliça tratada, eucalipto ou equivalente da região, h = 6,5 m, d = 25 a 29 cm	m	16,00000	R\$ 9,40	R\$ 150,45
	I			Longarina	m	10,00000		
	I			Transversina	m	6,00000		
Estaca de madeira (40 cm)	I	SINAPI-I	4513	Caibro de madeira não aparelhada 5 x 5 cm (2 x 2 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	0,80000	R\$ 2,59	R\$ 2,07
Estaca de madeira (115 cm)	I	SINAPI-I	4491	Pontaleta de madeira não aparelhada 7,5 x 7,5 cm (3 x 3 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	2,30000	R\$ 2,96	R\$ 6,81

TABELA 34 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO II, MARGEM ESQUERDA

(conclusão)

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código (3)	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Aço CA-50, 16 mm, dobrado e cortado	I	SINAPI-I	34443	Aço CA-50, 16 mm, dobrado e cortado	kg	15,14880	R\$ 4,60	R\$ 69,68
	I			Cravo (0,4 m)	unid.	8,00000		
	I			Grampo "U" (0,8 m)	unid.	8,00000		
Biorretentor	I	Minas Gramado (2019)			unid.	4,00000	R\$ 31,67	R\$ 126,67
Estaca (planta) – Gavetas	I				unid.	16,00000		
	I			<i>Abutilon megapotamicum</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Calliandra brevipes</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Sebastiania schottiana</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Tibouchina granulosa</i>	unid.	4,00000		
Estaca (planta) – Banquetas vegetadas	I				unid.	12,00000		
	I			<i>Abutilon megapotamicum</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Calliandra brevipes</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Fuchsia regia</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Sebastiania schottiana</i>	unid.	3,00000		
Hidrogel	I	Agrosolo (2019) e Paio verde (2019)			kg	0,03360	R\$ 88,98	R\$ 2,99
Custo unitário total								R\$ 1.257,49
Custo unitário total + segurança (5%)								R\$ 1.320,36

FONTE: O autor (2019).

NOTAS: (1) MO: mão de obra. C: composição. E: equipamento. I: insumo;

(2) SINAPI-I: preços de insumos (CAIXA, 2019a). SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b). SICRO-C: relatório analítico de composições de custos (DNIT, 2019a). SICRO-E: relatório sintético de equipamentos (DNIT, 2019b);

(3) Códigos com asterisco indicam composições adaptadas para o projeto.

TABELA 35 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO II, MARGEM DIREITA

(continua)

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código (3)	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Operário qualificado	MO	SINAPI-C	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	2,38056	R\$ 20,73	R\$ 49,35
Operário comum	MO	SINAPI-C	88316	Servente com encargos complementares	h	2,72064	R\$ 19,20	R\$ 52,24
Caminhão toco	C	SINAPI-C	5890	Caminhão toco, peso bruto total 14.300 kg, carga útil máxima 9590 kg, distância entre eixos 4,76 m, potência 185 CV (não inclui carroceria) – CHP diurno	h	0,34008	R\$ 116,61	R\$ 39,66
Escavadeira com caçamba de garras	C	SINAPI-C	95714	Escavadeira hidráulica sobre esteira, com garra giratória de mandíbulas, peso operacional entre 22,00 e 25,50 ton, potência líquida entre 150 e 160 HP – CHP diurno	h	2,04048	R\$ 148,43	R\$ 302,87
Canaleta de areia média	C	SINAPI-C	73883/1	Execução de dreno francês com areia média	m³	1,00000	R\$ 99,42	R\$ 99,42
Canaleta de brita 4	C	SINAPI-C	73883/2*	Execução de dreno francês com brita nº 4	m³	0,09120	R\$ 96,96	R\$ 8,84
Escavação	C	SICRO-C	5501710*	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria - DMT de 50 m	m³	5,68980	R\$ 1,45	R\$ 8,26
Lançamento mecanizado de enrocamento	C	SICRO-C	1505877*	Enrocamento com pedra de mão, inclusive espalhamento e compactação mecânica - fornecimento e assentamento	m³	3,15150	R\$ 66,35	R\$ 209,09
Reaterro	C	SICRO-C	4915671*	Reaterro e compactação com soquete vibratório	m³	0,00000	R\$ 15,99	R\$ 0,00
Motosserra portátil	E	SICRO-E	E9585*	Motosserra com motor a gasolina - 2,3 kW	h	1,02024	R\$ 4,96	R\$ 5,06
Enrocamento	I	SINAPI-I	4730	Pedra de mão ou pedra rachão para arrimo ou fundação (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	m³	1,76803	R\$ 48,80	R\$ 86,28
Geotêxtil	I	SINAPI-I	4011	Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 10 kN/m	m²	7,23740	R\$ 4,54	R\$ 32,86
Grama em placa	I	SINAPI-I	3322	Grama esmeralda ou grama-são-carlos ou curitibana, em placas, sem plantio	m²	0,80200	R\$ 5,00	R\$ 4,01
Madeira roliça d = 25 cm L = 6,5 m	I	SINAPI-I	2794	Madeira roliça tratada, eucalipto ou equivalente da região, h = 6,5 m, d = 25 a 29 cm	m	16,00000	R\$ 9,40	R\$ 150,45
	I			Longarina	m	10,00000		
	I			Transversina	m	6,00000		
Estaca de madeira (40 cm)	I	SINAPI-I	4513	Caibro de madeira não aparelhada 5 x 5 cm (2 x 2 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	0,80000	R\$ 2,59	R\$ 2,07
Estaca de madeira (115 cm)	I	SINAPI-I	4491	Pontaleta de madeira não aparelhada 7,5 x 7,5 cm (3 x 3 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	2,30000	R\$ 2,96	R\$ 6,81

TABELA 35 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO II, MARGEM DIREITA

(conclusão)

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código (3)	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Aço CA-50, 16 mm, dobrado e cortado	I	SINAPI-I	34443	Aço CA-50, 16 mm, dobrado e cortado	kg	12,62400	R\$ 4,60	R\$ 58,07
	I			Cravo (0,4 m)	unid.	8,00000		
	I			Grampo "U" (0,8 m)	unid.	6,00000		
Biorretentor	I	Minas Gramado (2019)			unid.	4,00000	R\$ 31,67	R\$ 126,67
Estaca (planta) – Gavetas	I				unid.	16,00000		
	I			<i>Abutilon megapotamicum</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Calliandra brevipes</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Sebastiania schottiana</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Tibouchina granulosa</i>	unid.	4,00000		
Estaca (planta) – Banquetas vegetadas	I				unid.	12,00000		
	I			<i>Abutilon megapotamicum</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Calliandra brevipes</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Fuchsia regia</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Sebastiania schottiana</i>	unid.	3,00000		
Hidrogel	I	Agrosolo (2019) e Paio verde (2019)			kg	0,03360	R\$ 88,98	R\$ 2,99
Custo unitário total								R\$ 1.256,61
Custo unitário total + segurança (5%)								R\$ 1.319,44

FONTE: O autor (2019).

NOTAS: (1) MO: mão de obra. C: composição. E: equipamento. I: insumo;

(2) SINAPI-I: preços de insumos (CAIXA, 2019a). SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b). SICRO-C: relatório analítico de composições de custos (DNIT, 2019a). SICRO-E: relatório sintético de equipamentos (DNIT, 2019b);

(3) Códigos com asterisco indicam composições adaptadas para o projeto.

TABELA 36 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO IV, MARGEM ESQUERDA

(continua)

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código (3)	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Operário qualificado	MO	SINAPI-C	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	2,38056	R\$ 20,73	R\$ 49,35
Operário comum	MO	SINAPI-C	88316	Servente com encargos complementares	h	2,72064	R\$ 19,20	R\$ 52,24
Caminhão toco	C	SINAPI-C	5890	Caminhão toco, peso bruto total 14.300 kg, carga útil máxima 9590 kg, distância entre eixos 4,76 m, potência 185 CV (não inclui carroceria) – CHP diurno	h	0,34008	R\$ 116,61	R\$ 39,66
Escavadeira com caçamba de garras	C	SINAPI-C	95714	Escavadeira hidráulica sobre esteira, com garra giratória de mandíbulas, peso operacional entre 22,00 e 25,50 ton, potência líquida entre 150 e 160 HP – CHP diurno	h	2,04048	R\$ 148,43	R\$ 302,87
Canaleta de areia média	C	SINAPI-C	73883/1	Execução de dreno francês com areia média	m³	1,00000	R\$ 99,42	R\$ 99,42
Canaleta de brita 4	C	SINAPI-C	73883/2*	Execução de dreno francês com brita nº 4	m³	0,09120	R\$ 96,96	R\$ 8,84
Escavação	C	SICRO-C	5501710*	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria - DMT de 50 m	m³	4,50140	R\$ 1,45	R\$ 6,54
Lançamento mecanizado de enrocamento	C	SICRO-C	1505877*	Enrocamento com pedra de mão, inclusive espalhamento e compactação mecânica - fornecimento e assentamento	m³	3,15850	R\$ 66,35	R\$ 209,55
Reaterro	C	SICRO-C	4915671*	Reaterro e compactação com soquete vibratório	m³	0,51000	R\$ 15,99	R\$ 8,16
Motosserra portátil	E	SICRO-E	E9585*	Motosserra com motor a gasolina - 2,3 kW	h	1,02024	R\$ 4,96	R\$ 5,06
Enrocamento	I	SINAPI-I	4730	Pedra de mão ou pedra rachão para arrimo ou fundação (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	m³	1,76803	R\$ 48,80	R\$ 86,28
Geotêxtil	I	SINAPI-I	4011	Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 10 kN/m	m²	7,23740	R\$ 4,54	R\$ 32,86
Gramma em placa	I	SINAPI-I	3322	Gramma esmeralda ou grama-são-carlos ou curitibana, em placas, sem plantio	m²	0,80200	R\$ 5,00	R\$ 4,01
Madeira roliça d = 25 cm L = 6,5 m	I	SINAPI-I	2794	Madeira roliça tratada, eucalipto ou equivalente da região, h = 6,5 m, d = 25 a 29 cm	m	16,00000	R\$ 9,40	R\$ 150,45
	I			Longarina	m	10,00000		
	I			Transversina	m	6,00000		
Estaca de madeira (40 cm)	I	SINAPI-I	4513	Caibro de madeira não aparelhada 5 x 5 cm (2 x 2 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	0,80000	R\$ 2,59	R\$ 2,07
Estaca de madeira (115 cm)	I	SINAPI-I	4491	Pontaleta de madeira não aparelhada 7,5 x 7,5 cm (3 x 3 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	2,30000	R\$ 2,96	R\$ 6,81

TABELA 36 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO IV, MARGEM ESQUERDA

(conclusão)

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código (3)	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Aço CA-50, 16 mm, dobrado e cortado	I	SINAPI-I	34443	Aço CA-50, 16 mm, dobrado e cortado	kg	15,14880	R\$ 4,60	R\$ 69,68
	I			Cravo (0,4 m)	unid.	8,00000		
	I			Grampo "U" (0,8 m)	unid.	8,00000		
Biorretentor	I	Minas Gramado (2019)			unid.	4,00000	R\$ 31,67	R\$ 126,67
Estaca (planta) – Gavetas	I				unid.	16,00000		
	I			<i>Abutilon megapotamicum</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Calliandra brevipes</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Sebastiania schottiana</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Tibouchina granulosa</i>	unid.	4,00000		
Estaca (planta) – Banquetas vegetadas	I				unid.	12,00000		
	I			<i>Abutilon megapotamicum</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Calliandra brevipes</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Fuchsia regia</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Sebastiania schottiana</i>	unid.	3,00000		
Hidrogel	I	Agrosolo (2019) e Paio verde (2019)			kg	0,03360	R\$ 88,98	R\$ 2,99
Custo unitário total								R\$ 1.263,50
Custo unitário total + segurança (5%)								R\$ 1.326,68

FONTE: O autor (2019).

NOTAS: (1) MO: mão de obra. C: composição. E: equipamento. I: insumo;

(2) SINAPI-I: preços de insumos (CAIXA, 2019a). SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b). SICRO-C: relatório analítico de composições de custos (DNIT, 2019a). SICRO-E: relatório sintético de equipamentos (DNIT, 2019b);

(3) Códigos com asterisco indicam composições adaptadas para o projeto.

TABELA 37 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO IV, MARGEM DIREITA

(continua)

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código (3)	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Operário qualificado	MO	SINAPI-C	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	2,38056	R\$ 20,73	R\$ 49,35
Operário comum	MO	SINAPI-C	88316	Servente com encargos complementares	h	2,72064	R\$ 19,20	R\$ 52,24
Caminhão toco	C	SINAPI-C	5890	Caminhão toco, peso bruto total 14.300 kg, carga útil máxima 9590 kg, distância entre eixos 4,76 m, potência 185 CV (não inclui carroceria) – CHP diurno	h	0,34008	R\$ 116,61	R\$ 39,66
Escavadeira com caçamba de garras	C	SINAPI-C	95714	Escavadeira hidráulica sobre esteira, com garra giratória de mandíbulas, peso operacional entre 22,00 e 25,50 ton, potência líquida entre 150 e 160 HP – CHP diurno	h	2,04048	R\$ 148,43	R\$ 302,87
Canaleta de areia média	C	SINAPI-C	73883/1	Execução de dreno francês com areia média	m³	1,00000	R\$ 99,42	R\$ 99,42
Canaleta de brita 4	C	SINAPI-C	73883/2*	Execução de dreno francês com brita nº 4	m³	0,09120	R\$ 96,96	R\$ 8,84
Escavação	C	SICRO-C	5501710*	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria - DMT de 50 m	m³	6,79300	R\$ 1,45	R\$ 9,87
Lançamento mecanizado de enrocamento	C	SICRO-C	1505877*	Enrocamento com pedra de mão, inclusive espalhamento e compactação mecânica - fornecimento e assentamento	m³	3,15850	R\$ 66,35	R\$ 209,55
Reaterro	C	SICRO-C	4915671*	Reaterro e compactação com soquete vibratório	m³	0,03292	R\$ 15,99	R\$ 0,53
Motosserra portátil	E	SICRO-E	E9585*	Motosserra com motor a gasolina - 2,3 kW	h	1,02024	R\$ 4,96	R\$ 5,06
Enrocamento	I	SINAPI-I	4730	Pedra de mão ou pedra rachão para arrimo ou fundação (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	m³	1,76803	R\$ 48,80	R\$ 86,28
Geotêxtil	I	SINAPI-I	4011	Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 10 kN/m	m²	7,23740	R\$ 4,54	R\$ 32,86
Grama em placa	I	SINAPI-I	3322	Grama esmeralda ou grama-são-carlos ou curitibana, em placas, sem plantio	m²	0,80200	R\$ 5,00	R\$ 4,01
Madeira roliça d = 25 cm L = 6,5 m	I	SINAPI-I	2794	Madeira roliça tratada, eucalipto ou equivalente da região, h = 6,5 m, d = 25 a 29 cm	m	16,00000	R\$ 9,40	R\$ 150,45
	I			Longarina	m	10,00000		
	I			Transversina	m	6,00000		
Estaca de madeira (40 cm)	I	SINAPI-I	4513	Caibro de madeira não aparelhada 5 x 5 cm (2 x 2 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	0,80000	R\$ 2,59	R\$ 2,07
Estaca de madeira (115 cm)	I	SINAPI-I	4491	Pontaleta de madeira não aparelhada 7,5 x 7,5 cm (3 x 3 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	2,30000	R\$ 2,96	R\$ 6,81

TABELA 37 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – PAREDE KRAINER, SEÇÃO IV, MARGEM DIREITA

(conclusão)

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código (3)	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Aço CA-50, 16 mm, dobrado e cortado	I	SINAPI-I	34443	Aço CA-50, 16 mm, dobrado e cortado	kg	12,62400	R\$ 4,60	R\$ 58,07
	I			Cravo (0,4 m)	unid.	8,00000		
	I			Grampo "U" (0,8 m)	unid.	6,00000		
Biorretentor	I	Minas Gramado (2019)			unid.	4,00000	R\$ 31,67	R\$ 126,67
Estaca (planta) – Gavetas	I				unid.	16,00000		
	I			<i>Abutilon megapotamicum</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Calliandra brevipes</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Sebastiania schottiana</i>	unid.	4,00000		
	I			<i>Tibouchina granulosa</i>	unid.	4,00000		
Estaca (planta) – Banquetas vegetadas	I				unid.	12,00000		
	I			<i>Abutilon megapotamicum</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Calliandra brevipes</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Fuchsia regia</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Sebastiania schottiana</i>	unid.	3,00000		
Hidrogel	I	Agrosolo (2019) e Paíol verde (2019)			kg	0,03360	R\$ 88,98	R\$ 2,99
Custo unitário total								R\$ 1.259,20
Custo unitário total + segurança (5%)								R\$ 1.322,16

FONTE: O autor (2019).

NOTAS: (1) MO: mão de obra. C: composição. E: equipamento. I: insumo;

(2) SINAPI-I: preços de insumos (CAIXA, 2019a). SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b). SICRO-C: relatório analítico de composições de custos (DNIT, 2019a). SICRO-E: relatório sintético de equipamentos (DNIT, 2019b);

(3) Códigos com asterisco indicam composições adaptadas para o projeto.

TABELA 38 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – ESTEIRA VIVA, SEÇÃO III, MARGEM ESQUERDA

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código (3)	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Operário qualificado	MO	SINAPI-C	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	4,35000	R\$ 20,73	R\$ 90,18
Operário comum	MO	SINAPI-C	88316	Servente com encargos complementares	h	4,35000	R\$ 19,20	R\$ 83,52
Caminhão toco	C	SINAPI-C	5890	Caminhão toco, peso bruto total 14.300 kg, carga útil máxima 9590 kg, distância entre eixos 4,76 m, potência 185 CV (não inclui carroceria) – CHP diurno	h	0,12000	R\$ 116,61	R\$ 13,99
Retroescavadeira	C	SINAPI-C	5678	Retroescavadeira sobre rodas com carregadeira, tração 4x4, potência líq. 88 HP, caçamba carregada capacidade mínima 1 m³, caçamba retro capacidade 0,26 m³, peso operacional mín. 6.674 kg, profundidade escavação máx. 4,37 m - CHP diurno	h	0,15000	R\$ 89,33	R\$ 13,40
Escavação	C	SICRO-C	5501710*	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria - DMT de 50 m	m³	1,39500	R\$ 1,45	R\$ 2,03
Lançamento mecanizado de enrocamento	C	SICRO-C	1505877*	Enrocamento com pedra de mão, inclusive espalhamento e compactação mecânica - fornecimento e assentamento	m³	2,33190	R\$ 66,35	R\$ 154,71
Corda de sisal	I	SINAPI-I	20250	Sisal em fibra	kg	1,51384	R\$ 10,00	R\$ 15,14
Estaca de madeira (60 cm)	I	SINAPI-I	4513	Caibro de madeira não aparelhada 5 x 5 cm (2 x 2 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	11,66667	R\$ 2,59	R\$ 30,22
Galho	I				unid.	60,00000		
	I			<i>Salix humboldtiana</i> (galho)	unid.	30,00000		
	I			<i>Sebastiania schottiana</i> (galho)	unid.	30,00000		
Custo unitário total								R\$ 403,18
Custo unitário total + segurança (5%)								R\$ 423,34

FONTE: O autor (2019).

NOTAS: (1) MO: mão de obra. C: composição. I: insumo;

(2) SINAPI-I: preços de insumos (CAIXA, 2019a). SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b). SICRO-C: relatório analítico de composições de custos (DNIT, 2019a);

(3) Códigos com asterisco indicam composições adaptadas para o projeto.

TABELA 39 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – ESTEIRA VIVA, SEÇÃO III, MARGEM DIREITA

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código (3)	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Operário qualificado	MO	SINAPI-C	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	4,35000	R\$ 20,73	R\$ 90,18
Operário comum	MO	SINAPI-C	88316	Servente com encargos complementares	h	4,35000	R\$ 19,20	R\$ 83,52
Caminhão toco	C	SINAPI-C	5890	Caminhão toco, peso bruto total 14.300 kg, carga útil máxima 9590 kg, distância entre eixos 4,76 m, potência 185 CV (não inclui carroceria) – CHP diurno	h	0,12000	R\$ 116,61	R\$ 13,99
Retroescavadeira	C	SINAPI-C	5678	Retroescavadeira sobre rodas com carregadeira, tração 4x4, potência líq. 88 HP, caçamba carregada capacidade mínima 1 m³, caçamba retro capacidade 0,26 m³, peso operacional mín. 6.674 kg, profundidade escavação máx. 4,37 m - CHP diurno	h	0,15000	R\$ 89,33	R\$ 13,40
Escavação	C	SICRO-C	5501710*	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria - DMT de 50 m	m³	1,22090	R\$ 1,45	R\$ 1,77
Lançamento mecanizado de enrocamento	C	SICRO-C	1505877*	Enrocamento com pedra de mão, inclusive espalhamento e compactação mecânica - fornecimento e assentamento	m³	2,33190	R\$ 66,35	R\$ 154,71
Corda de sisal	I	SINAPI-I	20250	Sisal em fibra	kg	1,51384	R\$ 10,00	R\$ 15,14
Estaca de madeira (60 cm)	I	SINAPI-I	4513	Caibro de madeira não aparelhada 5 x 5 cm (2 x 2 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	11,66667	R\$ 2,59	R\$ 30,22
Galho	I				unid.	60,00000		
	I			<i>Salix humboldtiana</i> (galho)	unid.	30,00000		
	I			<i>Sebastiania schottiana</i> (galho)	unid.	30,00000		
Custo unitário total								R\$ 402,93
Custo unitário total + segurança (5%)								R\$ 423,08

FONTE: O autor (2019).

NOTAS: (1) MO: mão de obra. C: composição. I: insumo;

(2) SINAPI-I: preços de insumos (CAIXA, 2019a). SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b). SICRO-C: relatório analítico de composições de custos (DNIT, 2019a);

(3) Códigos com asterisco indicam composições adaptadas para o projeto.

TABELA 40 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – BANQUETA VEGETADA

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Operário especializado	MO	SINAPI-C	88262	Carpinteiro de fôrmas com encargos complementares	h	0,20000	R\$ 24,82	R\$ 4,96
Operário qualificado	MO	SINAPI-C	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	0,20000	R\$ 20,73	R\$ 4,15
Trator de pneus	C	SINAPI-C	89035	Trator de pneus, potência 85 CV, tração 4x4, peso com lastro de 4.675 kg - CHP diurno	h	0,00200	R\$ 112,75	R\$ 0,23
Escavadeira com caçamba de garras	C	SINAPI-C	95714	Escavadeira hidráulica sobre esteira, com garra giratória de mandíbulas, peso operacional entre 22,00 e 25,50 ton, potência líquida entre 150 e 160 HP – CHP diurno	h	0,05000	R\$ 148,43	R\$ 7,42
Grama em placa	I	SINAPI-I	3322	Grama esmeralda ou grama-são-carlos ou curitibana, em placas, sem plantio	m²	1,05000	R\$ 5,00	R\$ 5,25
Estaca de madeira (40 cm)	I	SINAPI-I	4513	Caibro de madeira não aparelhada 5 x 5 cm (2 x 2 ") pinus, mista ou equivalente da região	m	0,80000	R\$ 2,59	R\$ 2,07
Estaca (planta) - Banquetas vegetadas	I				unid.	12,00000		
	I			<i>Abutilon megapotamicum</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Calliandra brevipes</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Fuchsia regia</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Sebastiania schottiana</i>	unid.	3,00000		
Hidrogel	I	Agrosolo (2019) e Paio verde (2019)			kg	0,01440	R\$ 88,98	R\$ 1,28
Custo unitário total								R\$ 25,36
Custo unitário total + segurança (5%)								R\$ 26,63

FONTE: O autor (2019).

NOTAS: (1) MO: mão de obra. C: composição. I: insumo;

(2) SINAPI-I: preços de insumos (CAIXA, 2019a). SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b).

TABELA 41 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – CANALETA VEGETADA

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código (3)	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Canaleta de brita 4	C	SINAPI-C	73883/2*	Execução de dreno francês com brita nº 4	m³	0,08240	R\$ 96,96	R\$ 7,99
Escavação de vala	C	SINAPI-C	90105	Escavação mecanizada de vala com profundidade até 1,5 m (média entre montante e jusante/uma composição por trecho) com retroescavadeira (capacidade da caçamba da retroescavadeira: 0,26 m³ / potência: 88 HP), largura menor que 0,8 m, em solo de 1ª categoria, locais com baixo nível de interferência	m³	0,14960	R\$ 6,45	R\$ 0,97
Plantio de grama em placas	C	SINAPI-C	98504*	Plantio de grama em placas	m²	0,36510	R\$ 8,95	R\$ 3,27
Assentamento de meio-fio pré-fabricado	C	SINAPI-C	94276	Assentamento de guia (meio-fio) em trecho curvo, confeccionada em concreto pré-fabricado, dimensões 100x15x13x20 cm (comprimento x base inferior x base superior x altura), para urbanização interna de empreendimentos	m	1,00000	R\$ 40,82	R\$ 40,82
Plantio de estacas	C	SINAPI-C	98509*	Plantio de arbusto ou cerca viva	unid.	6,00000	R\$ 2,57	R\$ 15,42
Reaterro manual	C	SINAPI-C	96995	Reaterro manual apiloado com soquete	m³	0,07125	R\$ 46,05	R\$ 3,28
Disposição de geotêxtil	C	SINAPI-C	73881/1	Execução de dreno com manta geotêxtil 200 g/m²	m²	1,43210	R\$ 5,15	R\$ 7,38
Estaca (planta) – Canaletas vegetadas	I				unid.	6,00000		
	I			<i>Calliandra brevipes</i>	unid.	3,00000		
	I			<i>Sebastiania schottiana</i>	unid.	3,00000		
Hidrogel	I	Agrosolo (2019) e Paiol verde (2019)			kg	0,00720	R\$ 88,98	R\$ 0,64
Custo unitário total								R\$ 79,76
Custo unitário total + segurança (5%)								R\$ 83,75

FONTE: O autor (2019).

NOTAS: (1) C: composição. I: insumo;

(2) SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b);

(3) Códigos com asterisco indicam composições adaptadas para o projeto.

TABELA 42 – COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO – CANALETA ESCALONADA E DESCIDA D'ÁGUA

Item	Tipo (1)	Fonte (2)	Código (3)	Descrição	Unidade	Coefficiente	Custo unitário	Custo total
Operário especializado	MO	SINAPI-C	88262	Carpinteiro de fôrmas com encargos complementares	h	0,30000	R\$ 24,82	R\$ 7,45
Operário qualificado	MO	SINAPI-C	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	0,30000	R\$ 20,73	R\$ 6,22
Escavação	C	SICRO-C	5501710*	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria - DMT de 50 m	m³	0,24108	R\$ 1,45	R\$ 0,35
Caminhão toco	C	SINAPI-C	5890	Caminhão toco, peso bruto total 14.300 kg, carga útil máxima 9590 kg, distância entre eixos 4,76 m, potência 185 CV (não inclui carroceria) – CHP diurno	h	0,00200	R\$ 116,61	R\$ 0,23
Motosserra portátil	E	SICRO-E	E9585*	Motosserra com motor a gasolina - 2,3 kW	h	0,10000	R\$ 4,96	R\$ 0,50
Brita 4	I	SINAPI-I	4723	Pedra britada nº 4 (50 a 76 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m³	0,02387	R\$ 50,92	R\$ 1,22
Geotêxtil	I	SINAPI-I	4011	Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 10 kN/m	m²	0,89096	R\$ 4,54	R\$ 4,04
Madeira roliça d = 8 cm L = 2,2 m	I	SINAPI-I	21138	Madeira roliça tratada, eucalipto ou equivalente da região, h = 2,2 m, d = 8 a 11 cm (para cerca)	m	2,79991	R\$ 2,89	R\$ 8,09
Custo unitário total								R\$ 28,10
Custo unitário total + segurança (5%)								R\$ 29,50

FONTE: O autor (2019).

NOTAS: (1) MO: mão de obra. C: composição. E: equipamento. I: insumo;

(2) SINAPI-I: preços de insumos (CAIXA, 2019a). SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b). SICRO-C: relatório analítico de composições de custos (DNIT, 2019a). SICRO-E: relatório sintético de equipamentos (DNIT, 2019b);

(3) Códigos com asterisco indicam composições adaptadas para o projeto.

APÊNDICE 2 – ESTIMATIVA DE CUSTOS SINTÉTICA

TABELA 43 – ESTIMATIVA DE CUSTOS SINTÉTICA

(continua)

Item	Fonte (1)	Código (2)	Descrição	Unidade	Quantidade	Custo unitário (3)	Custo total	Preço total (4)
1 Serviços iniciais							R\$ 364.889,39	R\$ 456.111,74
1.1 Limpeza da vegetação	SINAPI-C	73672	Desmatamento e limpeza mecanizada de terreno com árvores até ø15 cm, utilizando trator de esteiras	m ²	5514,95	R\$ 0,35	R\$ 1.938,38	R\$ 2.422,97
1.2 Demolição da calha de concreto	SINAPI-C	97629	Demolição de lajes, de forma mecanizada com marteleto, sem reaproveitamento	m ³	3055,76	R\$ 118,78	R\$ 362.951,01	R\$ 453.688,77
2 Paredes Krainer							R\$ 1.815.485,64	R\$ 2.269.357,05
2.1 Parede Krainer seção I – ME	Tabela 32		Composição de custo unitário – parede Krainer, seção I, margem esquerda	m	25,80	R\$ 1.239,96	R\$ 31.996,80	R\$ 39.996,00
2.2 Parede Krainer seção I – MD	Tabela 33		Composição de custo unitário – parede Krainer, seção I, margem direita	m	27,11	R\$ 1.234,98	R\$ 33.482,55	R\$ 41.853,18
2.3 Parede Krainer seção II – ME	Tabela 34		Composição de custo unitário – parede Krainer, seção II, margem esquerda	m	372,74	R\$ 1.320,36	R\$ 492.146,59	R\$ 615.183,24
2.4 Parede Krainer seção II – MD	Tabela 35		Composição de custo unitário – parede Krainer, seção II, margem direita	m	369,05	R\$ 1.319,44	R\$ 486.943,46	R\$ 608.679,32
2.5 Parede Krainer seção IV – ME	Tabela 36		Composição de custo unitário – parede Krainer, seção IV, margem esquerda	m	287,09	R\$ 1.326,68	R\$ 380.879,07	R\$ 476.098,84
2.6 Parede Krainer seção IV – MD	Tabela 37		Composição de custo unitário – parede Krainer, seção IV, margem direita	m	295,00	R\$ 1.322,16	R\$ 390.037,17	R\$ 487.546,47
3 Esteiras vivas							R\$ 82.538,11	R\$ 103.172,64
3.1 Esteira viva seção III – ME	Tabela 38		Composição de custo unitário – esteira viva, seção III, margem esquerda	m	83,21	R\$ 423,34	R\$ 35.225,04	R\$ 44.031,31
3.2 Esteira viva seção III – MD	Tabela 39		Composição de custo unitário – esteira viva, seção III, margem direita	m	111,83	R\$ 423,08	R\$ 47.313,07	R\$ 59.141,34
4 Banquetas vegetadas	Tabela 40		Composição de custo unitário – banquetta vegetada	m	3046,05	R\$ 26,63	R\$ 81.111,09	R\$ 101.388,86

TABELA 43 – ESTIMATIVA DE CUSTOS SINTÉTICA

(conclusão)

Item	Fonte (1)	Código (2)	Descrição	Unidade	Quantidade	Custo unitário (3)	Custo total	Preço total (4)
5 Sistema de drenagem							R\$ 88.743,19	R\$ 110.928,99
5.1 Canaleta vegetada	Tabela 41		Composição de custo unitário – canaleta vegetada	m	958,68	R\$ 83,75	R\$ 80.287,38	R\$ 100.359,23
5.2 Canaleta escalonada	Tabela 42		Composição de custo unitário – canaleta escalonada e descida d'água	m	110,23	R\$ 29,50	R\$ 3.252,32	R\$ 4.065,40
5.3 Descida d'água	Tabela 42		Composição de custo unitário – canaleta escalonada e descida d'água	m	176,36	R\$ 29,50	R\$ 5.203,48	R\$ 6.504,36
6 Soleira de enrocamento	SICRO-C	1505877*	Enrocamento com pedra de mão, inclusive espalhamento e compactação mecânica - fornecimento e assentamento	m³	0,89	R\$ 66,66	R\$ 62,22	R\$ 77,77
7 Bacias de dissipação	SICRO-C	1505877*	Enrocamento com pedra de mão, inclusive espalhamento e compactação mecânica - fornecimento e assentamento	m³	9,36	R\$ 69,66	R\$ 652,05	R\$ 815,06
8 Recomposição do gramado	SINAPI-C	98504*	Plantio de grama em placas	m²	2362,89	R\$ 9,39	R\$ 22.197,19	R\$ 27.746,48
9 Descarte de materiais							R\$ 255.467,90	R\$ 319.334,87
9.1 Bota-fora de solo	SINAPI-C	95877	Transporte com caminhão basculante de 18 m³, em via urbana pavimentada, DMT até 30 km	m³.km	247913,80	R\$ 0,78	R\$ 193.466,94	R\$ 241.833,67
9.2 Descarte do concreto	SINAPI-C	95877	Transporte com caminhão basculante de 18 m³, em via urbana pavimentada, DMT até 30 km	m³.km	79449,72	R\$ 0,78	R\$ 62.000,96	R\$ 77.501,20
Total							R\$ 2.711.146,78	R\$ 3.388.933,48

FONTE: O autor (2019).

NOTAS: (1) SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b). SICRO-C: relatório analítico de composições de custos (DNIT, 2019a);

(2) Códigos com asterisco indicam composições adaptadas para o projeto;

(3) Custo unitário considerando a margem de 5% de segurança;

(4) Preço total considerando a margem de 5% de segurança e o BDI de 25%.

APÊNDICE 3 – CURVAS ABC

TABELA 44 – CURVA ABC DE SERVIÇOS

(continua)

Item	Tipo	Fonte (1)	Código (2)	Unidade	Quantidade total	Custo unitário	Custo total	Preço total (3)	%	% acumulada
Escavadeira com caçamba de garras	Composição	SINAPI-C	95714	h	2955,41	R\$ 148,43	R\$ 438.671,74	R\$ 575.756,65	16,99	16,99
Demolição da calha de concreto	Composição	SINAPI-C	97629	m³	3055,76	R\$ 113,12	R\$ 345.667,63	R\$ 453.688,77	13,39	30,38
Lançamento mecanizado de enrocamento	Composição	SICRO-C*	1505877*	m³	4799,50	R\$ 66,35	R\$ 318.428,06	R\$ 417.936,83	12,33	42,71
Madeira roliça d = 25 cm L = 6,5 m	Insumo	SINAPI-I	2794	m	21922,96	R\$ 9,40	R\$ 206.143,30	R\$ 270.563,08	7,98	50,69
Bota-fora de solo	Composição	SINAPI-C	95877	m³.km	247913,80	R\$ 0,74	R\$ 184.254,22	R\$ 241.833,67	7,14	57,83
Biorretentor	Insumo	Minas Gramados (2019)	-	unid.	5507,20	R\$ 31,67	R\$ 174.394,63	R\$ 228.892,95	6,75	64,58
Canaleta de areia média	Composição	SINAPI-C	73883/1	m³	1370,19	R\$ 99,42	R\$ 136.223,81	R\$ 178.793,75	5,28	69,86
Enrocamento	Insumo	SINAPI-I	4730	m³	2434,22	R\$ 48,80	R\$ 118.790,09	R\$ 155.911,99	4,60	74,46
Operário qualificado	Mão de obra	SINAPI-C	88239	h	4813,90	R\$ 20,73	R\$ 99.792,14	R\$ 130.977,18	3,86	78,32
Aço CA-50, 16 mm, dobrado e cortado	Insumo	SINAPI-I	34443	kg	20723,26	R\$ 4,60	R\$ 95.327,00	R\$ 125.116,68	3,69	82,02
Operário comum	Mão de obra	SINAPI-C	88316	h	4585,90	R\$ 19,20	R\$ 88.049,20	R\$ 115.564,58	3,41	85,43
Descarte do concreto	Composição	SINAPI-C	95877	m³.km	79449,72	R\$ 0,74	R\$ 59.048,54	R\$ 77.501,20	2,29	87,71
Caminhão toco	Composição	SINAPI-C	5890	h	491,16	R\$ 116,61	R\$ 57.274,48	R\$ 75.172,76	2,22	89,93
Geotêxtil	Insumo	SINAPI-I	4011	m²	10208,15	R\$ 4,54	R\$ 46.345,02	R\$ 60.827,84	1,79	91,73
Assentamento de meio-fio pré-fabricado	Composição	SINAPI-C	94276	m	958,68	R\$ 40,82	R\$ 39.132,45	R\$ 51.361,33	1,52	93,24
Plantio de grama em placas	Composição	SINAPI-C	98504*	m²	2712,90	R\$ 8,95	R\$ 24.271,67	R\$ 31.856,56	0,94	94,18
Grama em placa	Insumo	SINAPI-I	3322	m²	4305,37	R\$ 5,00	R\$ 21.526,83	R\$ 28.253,97	0,83	95,02
Canaleta de brita 4	Composição	SINAPI-C	73883/2*	m³	204,56	R\$ 96,96	R\$ 19.833,67	R\$ 26.031,69	0,77	95,78
Operário especializado	Mão de obra	SINAPI-C	88262	h	695,19	R\$ 24,82	R\$ 17.254,57	R\$ 22.646,63	0,67	96,45

TABELA 44 – CURVA ABC DE SERVIÇOS

(conclusão)

Item	Tipo	Fonte (1)	Código (2)	Unidade	Quantidade total	Custo unitário	Custo total	Preço total (3)	%	% acumulada
Plantio de estacas	Composição	SINAPI-C	98509*	unid.	5752,08	R\$ 2,57	R\$ 14.783,59	R\$ 19.403,47	0,57	97,02
Escavação	Composição	SICRO-C	5501710*	m³	8251,12	R\$ 1,45	R\$ 11.985,55	R\$ 15.731,04	0,46	97,49
Estaca de madeira (115 cm)	Insumo	SINAPI-I	4491	m	3166,64	R\$ 2,96	R\$ 9.373,25	R\$ 12.302,39	0,36	97,85
Estaca de madeira (40 cm)	Insumo	SINAPI-I	4513	m	3538,28	R\$ 2,59	R\$ 9.164,13	R\$ 12.027,93	0,35	98,21
Hidrogel	Insumo	Agrosolo (2019) e Paio verde (2019)	-	kg	97,03	R\$ 88,98	R\$ 8.633,38	R\$ 11.331,30	0,33	98,54
Motosserra portátil	Equipamento	SICRO-E	E9585*	h	1430,21	R\$ 4,96	R\$ 7.094,58	R\$ 9.311,63	0,27	98,82
Disposição de geotêxtil	Composição	SINAPI-C	73881/1	m²	1372,93	R\$ 5,15	R\$ 7.071,94	R\$ 9.281,92	0,27	99,09
Estaca de madeira (60 cm)	Insumo	SINAPI-I	4513	m	2275,45	R\$ 2,59	R\$ 5.893,41	R\$ 7.735,10	0,23	99,32
Reaterro manual	Composição	SINAPI-C	96995	m³	68,31	R\$ 46,05	R\$ 3.145,70	R\$ 4.128,73	0,12	99,44
Corde de sisal	Insumo	SINAPI-I	20250	kg	295,26	R\$ 10,00	R\$ 2.952,57	R\$ 3.875,25	0,11	99,55
Reaterro	Composição	SICRO-C	4915671*	m³	173,65	R\$ 15,99	R\$ 2.777,28	R\$ 3.645,18	0,11	99,66
Retroescavadeira	Composição	SINAPI-C	5678	h	29,26	R\$ 89,33	R\$ 2.613,42	R\$ 3.430,11	0,10	99,76
Madeira roliça d = 8 cm L = 2,2 m	Insumo	SINAPI-I	21138	m	802,45	R\$ 2,89	R\$ 2.319,80	R\$ 3.044,74	0,09	99,85
Limpeza da vegetação	Composição	SINAPI-C	73672	m²	5514,95	R\$ 0,33	R\$ 1.846,07	R\$ 2.422,97	0,07	99,92
Escavação de vala	Composição	SINAPI-C	90105	m³	143,42	R\$ 6,45	R\$ 925,60	R\$ 1.214,85	0,04	99,96
Trator de pneus	Composição	SINAPI-C	89035	h	6,09	R\$ 112,75	R\$ 686,88	R\$ 901,53	0,03	99,99
Brita 4	Insumo	SINAPI-I	4723	m³	6,84	R\$ 50,92	R\$ 348,35	R\$ 457,21	0,01	100,00

FONTE: O autor (2019).

NOTAS: (1) SINAPI-I: preços de insumos (CAIXA, 2019a). SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b). SICRO-C: relatório analítico de composições de custos (DNIT, 2019a). SICRO-E: relatório sintético de equipamentos (DNIT, 2019b);

(2) Códigos com asterisco indicam composições adaptadas para o projeto;

(3) Preço final considerando a margem de 5% de segurança e o BDI de 25%.

TABELA 45 – CURVA ABC DE INSUMOS

(continua)

Item	Tipo	Fonte (1)	Código (2)	Unidade	Quant. total	Custo total	Preço total (3)	%	% acumulada
Enrocamento	Insumo	SINAPI-I	4730	m³	8193,62	R\$ 399.848,62	R\$ 524.801,31	15,49	15,49
Escavadeira hidráulica com caçamba de garras	Equipamento	SINAPI-C	95714	h	2955,41	R\$ 365.820,84	R\$ 480.139,85	14,17	29,65
Servente	Mão de obra	SINAPI-C	88316	h	13706,73	R\$ 263.169,27	R\$ 345.409,67	10,19	39,85
Caminhão basculante 18 m³	Equipamento	SINAPI-C	89883 e 89884	h	1135,95	R\$ 220.458,78	R\$ 289.352,14	8,54	48,38
Madeira roliça d = 25 cm L = 6,5 m	Insumo	SINAPI-I	2794	m	21922,96	R\$ 206.143,30	R\$ 270.563,08	7,98	56,37
Biorretentor	Insumo	Minas Gramados (2019)	-	unid.	5507,20	R\$ 174.394,63	R\$ 228.892,95	6,75	63,12
Areia média	Insumo	SINAPI-C	370	m³	1650,93	R\$ 102.440,39	R\$ 134.453,01	3,97	67,09
Operário qualificado	Mão de obra	SINAPI-C	88239	h	4813,90	R\$ 99.792,14	R\$ 130.977,18	3,86	70,95
Operador de marteleto	Mão de obra	SINAPI-C	88298	h	4755,37	R\$ 97.199,79	R\$ 127.574,73	3,76	74,72
Aço CA-50, 16 mm, dobrado e cortado	Insumo	SINAPI-I	34443	kg	20723,26	R\$ 95.327,00	R\$ 125.116,68	3,69	78,41
Operário comum	Mão de obra	SINAPI-C	88316	h	4585,90	R\$ 88.049,20	R\$ 115.564,58	3,41	81,82
Operador de escavadeira	Mão de obra	SINAPI-C	88294	h	2989,76	R\$ 73.697,55	R\$ 96.728,04	2,85	84,67
Geotêxtil	Insumo	SINAPI-I	4011	m²	11649,73	R\$ 52.889,76	R\$ 69.417,81	2,05	86,72
Caminhão toco 185 CV	Equipamento	SINAPI-C	5890	h	491,16	R\$ 46.940,42	R\$ 61.609,30	1,82	88,54
Marteleto ou rompedor pneumático manual	Equipamento	SINAPI-C	5795 e 5952	h	4755,37	R\$ 40.181,07	R\$ 52.737,66	1,56	90,10
Trator de esteiras com lâmina – 259 kW	Equipamento	SICRO-C	E9541	h	105,75	R\$ 37.928,21	R\$ 49.780,78	1,47	91,57
Gramma em placa	Insumo	SINAPI-I	3322	m²	7018,27	R\$ 35.091,34	R\$ 46.057,39	1,36	92,93
Pedreiro	Mão de obra	SINAPI-C	88309	h	1362,76	R\$ 34.055,35	R\$ 44.697,65	1,32	94,24
Motorista de basculante	Mão de obra	SINAPI-C	88281	h	1135,95	R\$ 22.843,98	R\$ 29.982,73	0,88	95,13
Meio-fio pré-moldado	Insumo	SINAPI-C	4059	m	963,47	R\$ 19.269,47	R\$ 25.291,18	0,75	95,88
Operário especializado	Mão de obra	SINAPI-C	88262	h	695,19	R\$ 17.254,57	R\$ 22.646,63	0,67	96,54
Brita 4	Insumo	SINAPI-I	4723	m³	242,08	R\$ 12.326,94	R\$ 16.179,11	0,48	97,02

TABELA 45 – CURVA ABC DE INSUMOS

(conclusão)

Item	Tipo	Fonte (1)	Código (2)	Unidade	Quant. total	Custo total	Preço total (3)	%	% acumulada
Motorista de caminhão	Mão de obra	SINAPI-C	88282	h	491,16	R\$ 10.334,06	R\$ 13.563,46	0,40	97,42
Estaca de madeira (115 cm)	Insumo	SINAPI-I	4491	m	3166,64	R\$ 9.373,25	R\$ 12.302,39	0,36	97,78
Estaca de madeira (40 cm)	Insumo	SINAPI-I	4513	m	3538,28	R\$ 9.164,13	R\$ 12.027,93	0,35	98,14
Hidrogel	Insumo	Agrosolo (2019) e Paiol verde (2019)	-	kg	97,03	R\$ 8.633,38	R\$ 11.331,30	0,33	98,47
Motosserra portátil	Equipamento	SICRO-E	E9585	h	1430,21	R\$ 7.094,58	R\$ 9.311,63	0,27	98,75
Jardineiro	Mão de obra	SINAPI-C	88441	h	252,75	R\$ 6.101,45	R\$ 8.008,15	0,24	98,98
Rolo compactador liso autopropelido vibratório	Equipamento	SICRO-C	E9530	h	33,46	R\$ 5.961,63	R\$ 7.824,63	0,23	99,22
Estaca de madeira (60 cm)	Insumo	SINAPI-I	4513	m	2275,45	R\$ 5.893,41	R\$ 7.735,10	0,23	99,44
Tratorista	Mão de obra	SINAPI-C	88324	h	122,87	R\$ 3.161,40	R\$ 4.149,33	0,12	99,57
Corda de sisal	Insumo	SINAPI-I	20250	kg	295,26	R\$ 2.952,57	R\$ 3.875,25	0,11	99,68
Retroescavadeira sobre rodas com carregadeira	Equipamento	SINAPI-C	5678 e 5679	h	34,35	R\$ 2.476,48	R\$ 3.250,37	0,10	99,78
Madeira roliça d = 8 cm L = 2,2 m	Insumo	SINAPI-I	21138	m	802,45	R\$ 2.319,80	R\$ 3.044,74	0,09	99,87
Trator de esteiras com lâmina – 112 kW	Equipamento	SINAPI-C	5851	h	11,03	R\$ 1.382,27	R\$ 1.814,22	0,05	99,92
Operador de rolo compactador	Mão de obra	SINAPI-C	88303	h	33,46	R\$ 714,08	R\$ 937,23	0,03	99,95
Trator de pneus 85 CV	Equipamento	SINAPI-C	89035	h	6,09	R\$ 530,13	R\$ 695,80	0,02	99,97
Argamassa traço 1:3	Insumo	SINAPI-C	88629	m³	0,96	R\$ 425,11	R\$ 557,95	0,02	99,98
Compactador manual com soquete vibratório	Equipamento	SICRO-C	E9647	h	61,80	R\$ 404,21	R\$ 530,53	0,02	100,00

FONTE: O autor (2019).

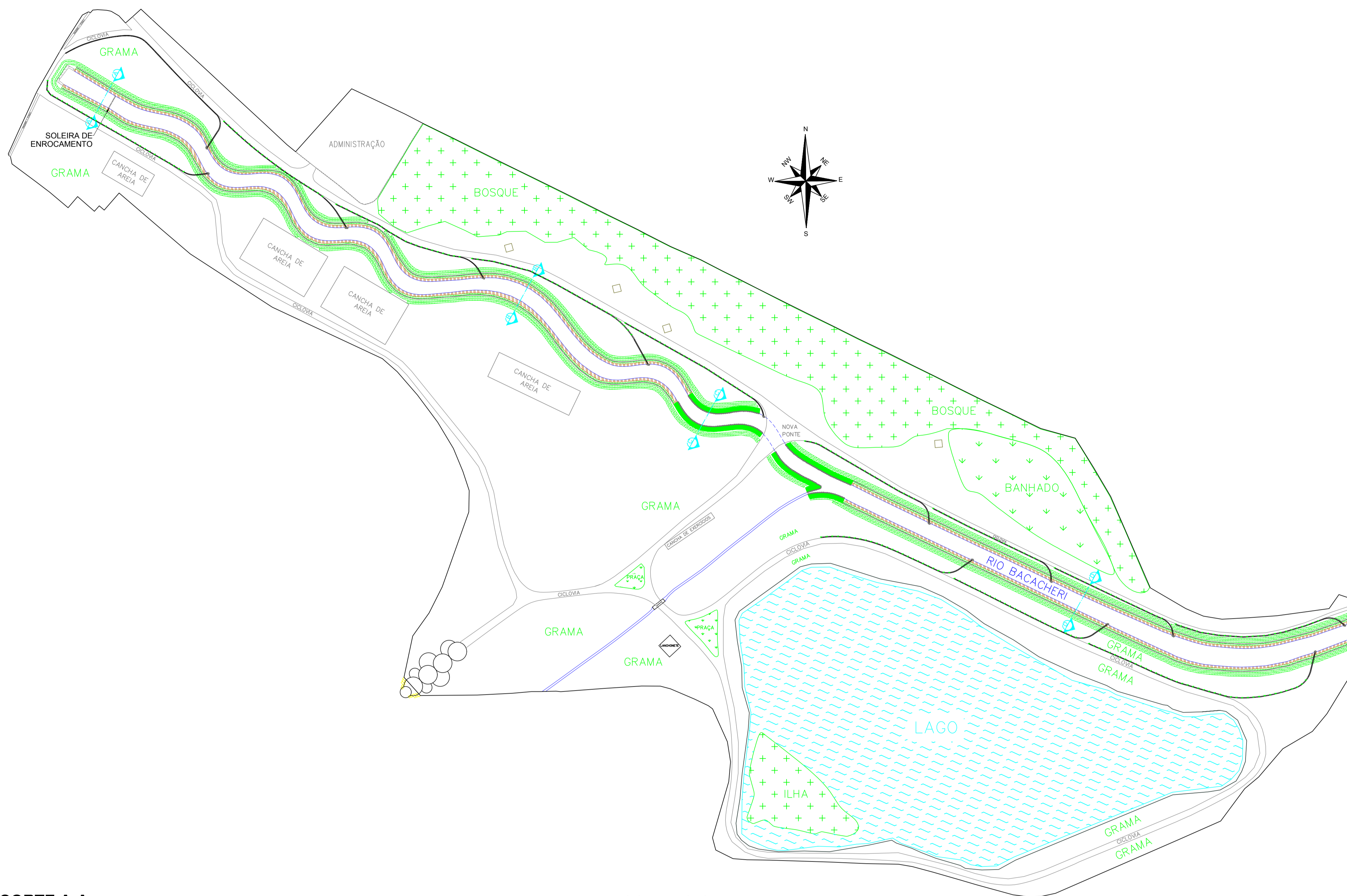
NOTAS: (1) SINAPI-I: preços de insumos (CAIXA, 2019a). SINAPI-C: custos de composições analítico (CAIXA, 2019b). SICRO-C: relatório analítico de composições de custos (DNIT, 2019a). SICRO-E: relatório sintético de equipamentos (DNIT, 2019b);

(2) Os equipamentos com dois códigos indicam as composições referentes ao CHP e ao CHI. Considerou-se a soma ponderada de ambas as parcelas para o cálculo do preço parcial;

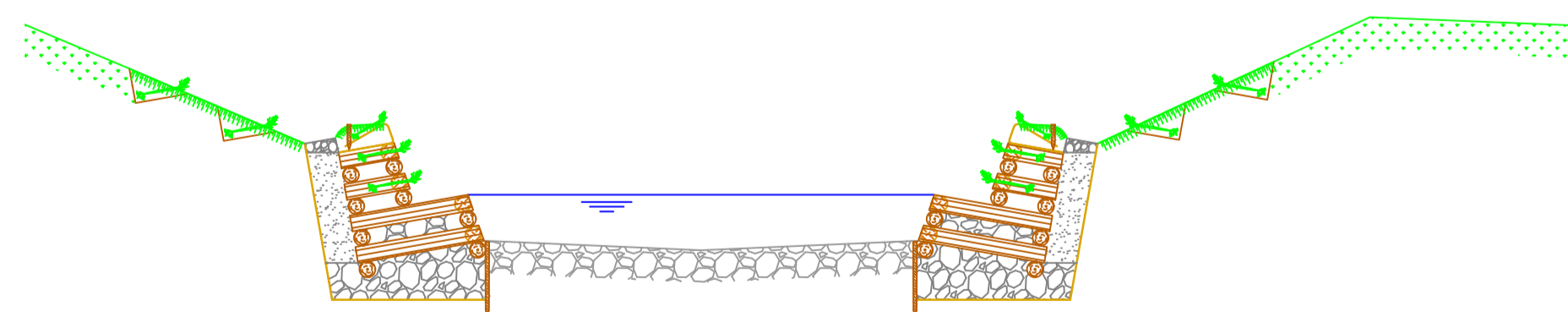
(3) Preço final considerando a margem de 5% de segurança e o BDI de 25%.

**APÊNDICE 4 – PLANTA BAIXA, CORTES E DETALHAMENTO DAS
INTERVENÇÕES PROPOSTAS**

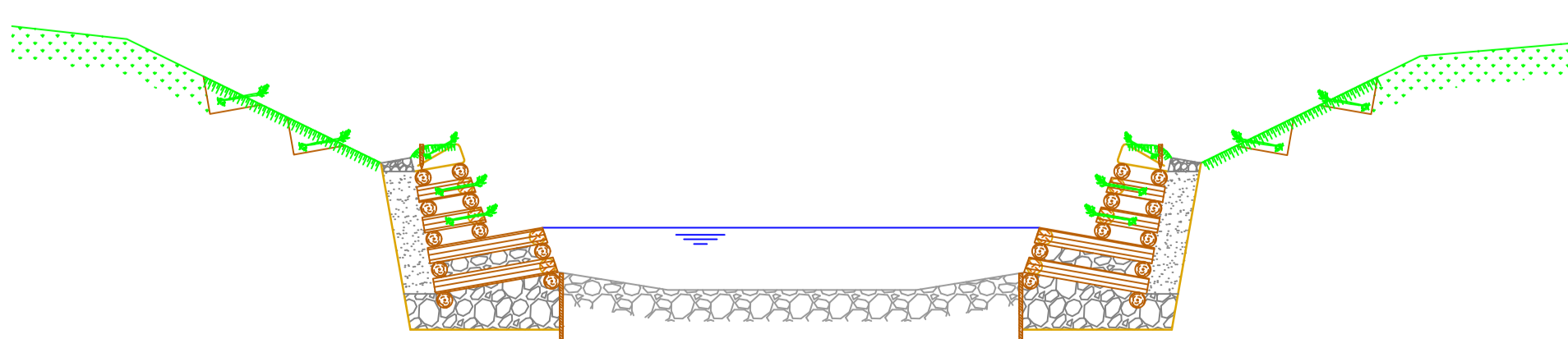
PLANTA DO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS
 ESCALA 1:1.250



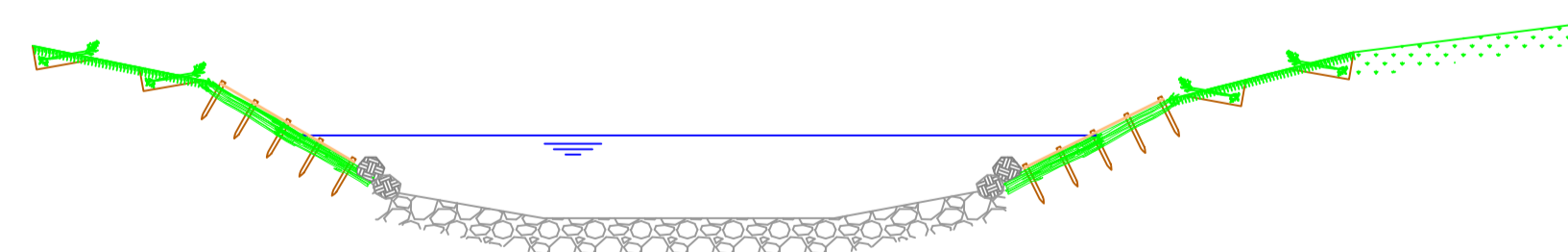
CORTE A-A
 ESCALA 1:100



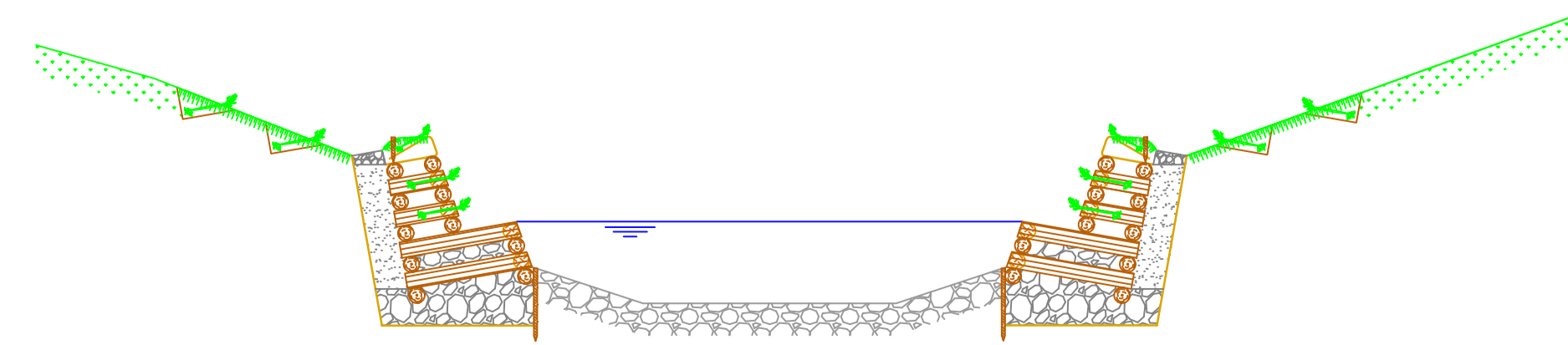
CORTE B-B
 ESCALA 1:100



CORTE C-C
 ESCALA 1:100



CORTE D-D
 ESCALA 1:100



CONVENÇÕES

	BANQUETA VEGETADA
	CANALETA DE AREIA DA PAREDE KRAINER
	ENROCAMENTO
	PAREDE KRAINER
	ESTEIRA VIVA
	BIORRETENTOR
	CANALETA VEGETADA
	CANALETA ESCALONADA
	DESCIDA D'ÁGUA
	ESTACA (VEGETAÇÃO)
	ESTACA DE MADEIRA (40 cm x 5 cm)
	ESTACA DE MADEIRA (60 cm x 5 cm)
	ESTACA DE MADEIRA (115 cm x 7,5 cm)

QUANTITATIVO

MATERIAIS DIVERSOS	
MATERIAL	QUANTIDADE
AÇO CA-50, 16 mm, DOBRADO E CORTADO	20723,26 kg
GRAVO (0,4 m)	11015 unid.
GRAMPO "U" (0,8 m)	10909 unid.
AREIA MÉDIA	1650,93 m³
ARGAMASSA TRAÇO 1:3	0,96 m³
BIORRETENTOR	5508 unid.
BRITA 4	242,08 m³
CORDA DE SISAL	295,26 kg
ENROCAMENTO	8193,62 m³
GEOTÊXTEL	11649,73 m²
GRAMA EM PLACA	7018,27 m²
HIDROGEL	97,03 kg
MEIO-FIO PRÉ-MOLDADO	963,47 m

MADEIRA	
MATERIAL	QUANTIDADE
ESTACA DE MADEIRA (115 cm x 7,5 cm)	3166,64 m
ESTACA DE MADEIRA (40 cm x 5 cm)	3538,28 m
ESTACA DE MADEIRA (60 cm x 5 cm)	2275,45 m
MADEIRA ROLIÇA D = 25 cm L = 6,5 m	21922,96 m
LONGARINA (6,5 m x 25 cm)	2102 unid.
TRANSVERSINA (1 m x 25 cm)	2754 unid.
TRANSVERSINA (2 m x 25 cm)	2754 unid.
MADEIRA ROLIÇA D = 8 cm L = 2,2 m	802,45 m

MATERIAL VEGETATIVO (unid.)							
ESPÉCIE	PAREDE KRAINER			ESTEIRA VIVA	BANQUETA VEGETADA	CANALETA VEGETADA	TOTAL
	SEÇÃO I	SEÇÃO II	SEÇÃO IV				
Abutilon megapotamicum (estaca)	371	5193	4075		9139		18778
Calliandra brevipes (estaca)	371	5193	4075		9139	2877	21655
Fuchsia regia (estaca)	159	2226	1747		9139		13271
Salix humboldtiana (galho)				5852			5852
Sebastiania schottiana (estaca)	371	5193	4075		9139	2877	21655
Sebastiania schottiana (galho)				5852			5852
Tibouchina granulosa (estaca)	212	2968	2329				5509
Total	1484	20773	16301	11704	36556	5754	92572

OBSERVAÇÕES:

- 1 - MEDIDAS DADAS EM METROS OU CONFORME INDICADO EM DETALHE
- 2 - OS LOCAIS AFETADOS PELA OBRA DEVERÃO SER RECUPERADOS COM PLANTIO DE GRAMAS EM PLACA
- 3 - CANALETAS COM DECLIVIDADE SUPERIOR A 2% DEVEM SER ESCALONADAS
- 4 - AS BANQUETAS NÃO DEVEM POSSUIR ESPAÇAMENTO SUPERIOR A 1,5 m
- 5 - AS CANALETAS VEGETADAS, AS CANALETAS ESCALONADAS E AS DESCIDAS D'ÁGUA DEVEM SER PREENCHIDAS COM MATERIAL DRENANTE (BRITA 4)

RO	EMIÇÃO INICIAL	26/11/2019
REVISÃO	DESCRIÇÃO	DATA

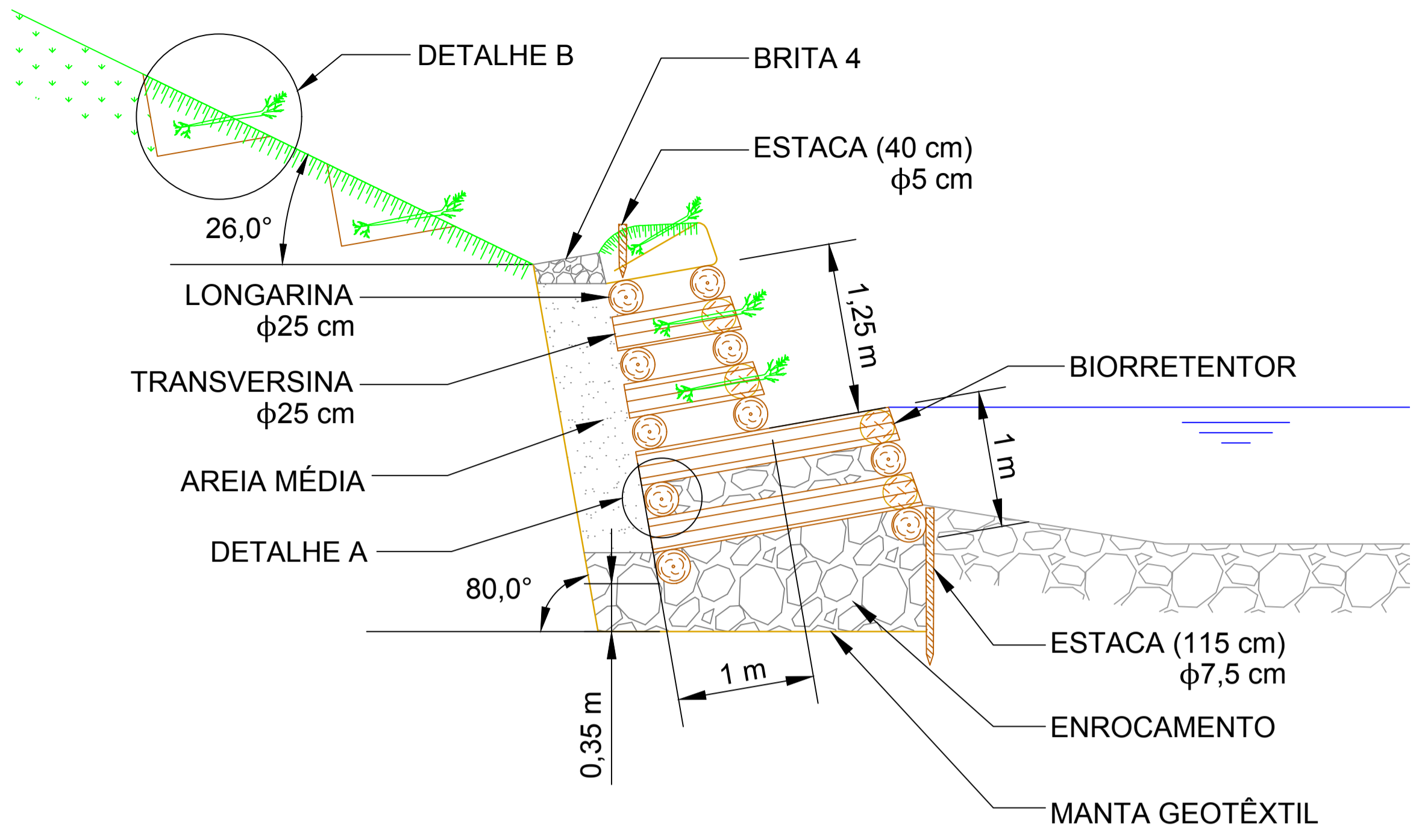
PROJETO BÁSICO

OBRAS	REVITALIZAÇÃO DO TRECHO DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS	FRANCHA	01
RESPONSÁVEL TÉCNICO	MARCELO SEFRIN NASCIMENTO PINTO		02
CLIENTE	PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA		
CONTEÚDO	PLANTA BAIXA E CORTES DAS INTERVENÇÕES PROPOSTAS		R0
ESCALA	DATA	DESENHO	
Indicada	NOVEMBRO/2019	MSNP	

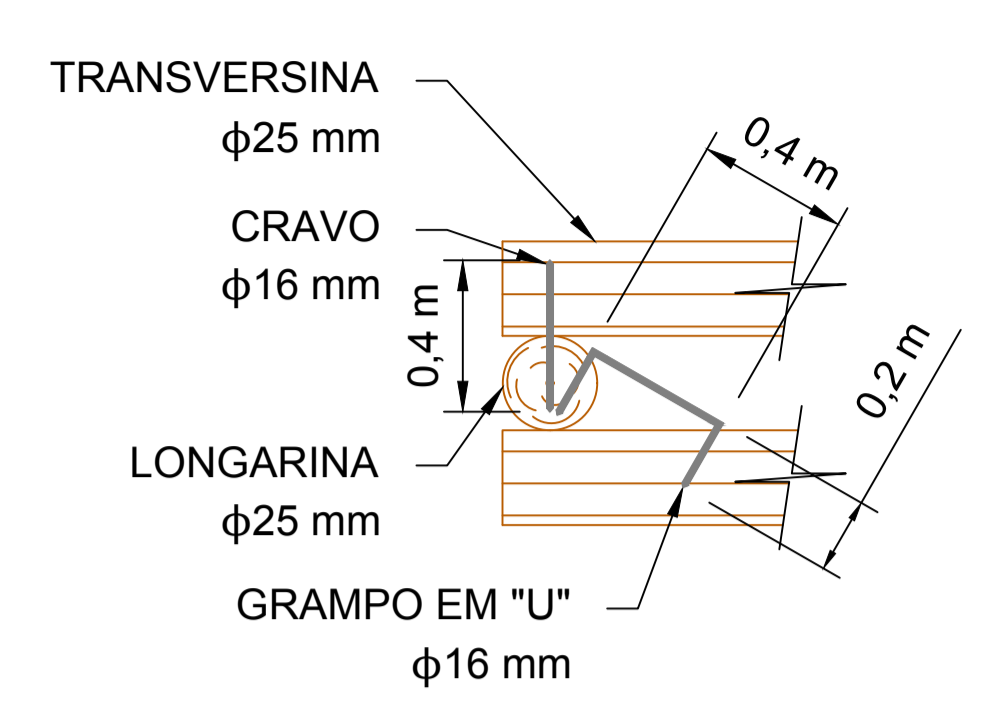
PRODUZIDO POR UMA VERSÃO DO AUTODESK PARA ESTUDANTES

PRODUZIDO POR UMA VERSÃO DO AUTODESK PARA ESTUDANTES

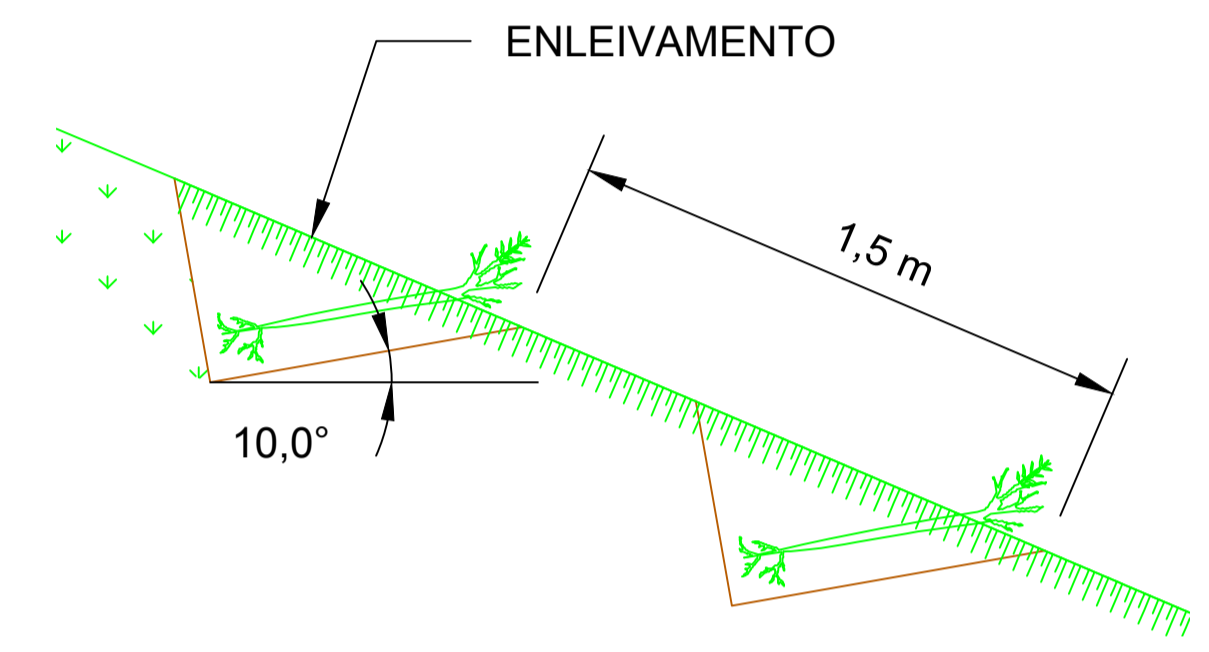
SEÇÃO TRANSVERSAL – PAREDE KRAINER
SEM ESCALA



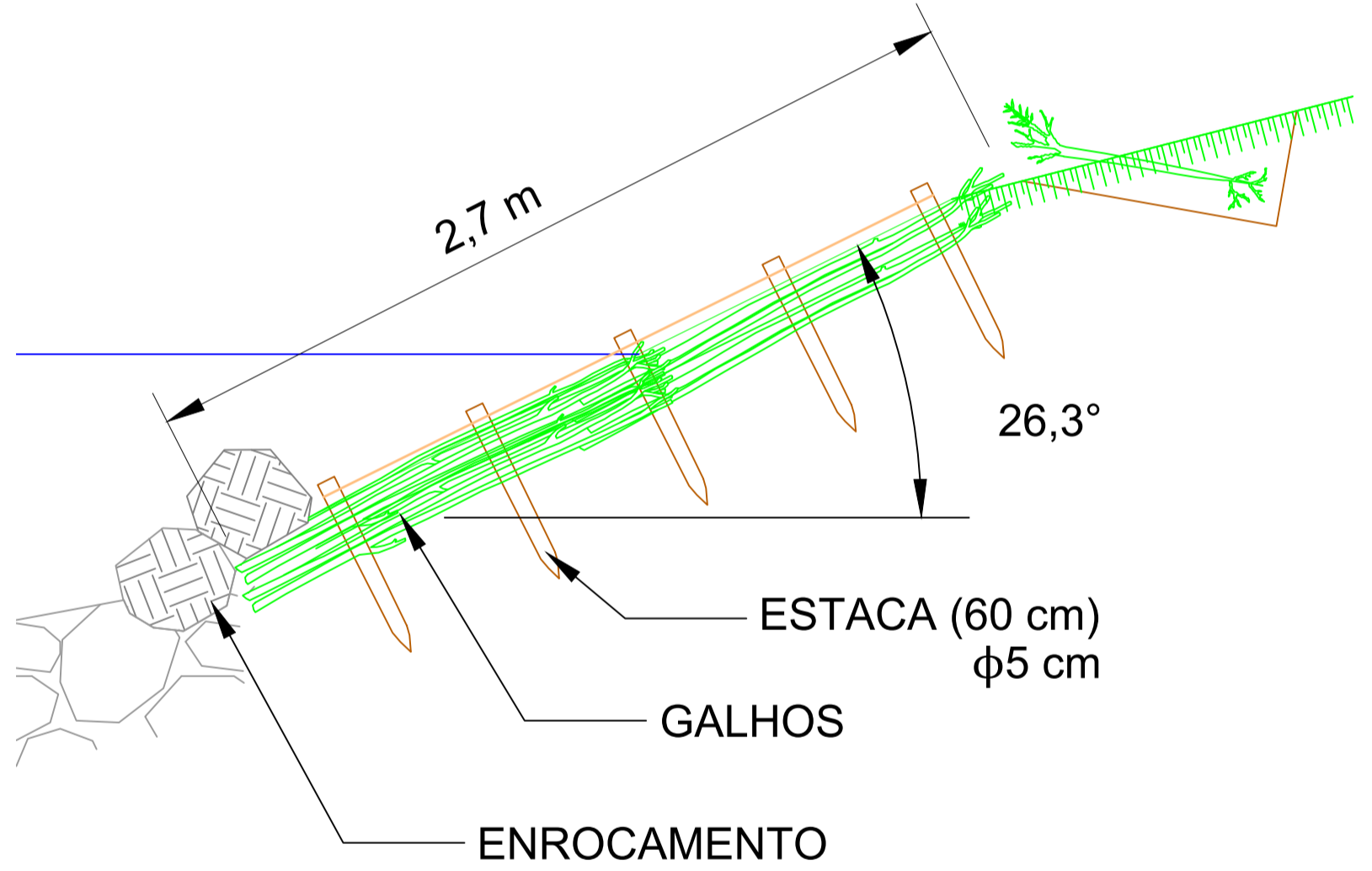
DETALHE A – AMARRAÇÃO DA PAREDE KRAINER
ESCALA 1:20



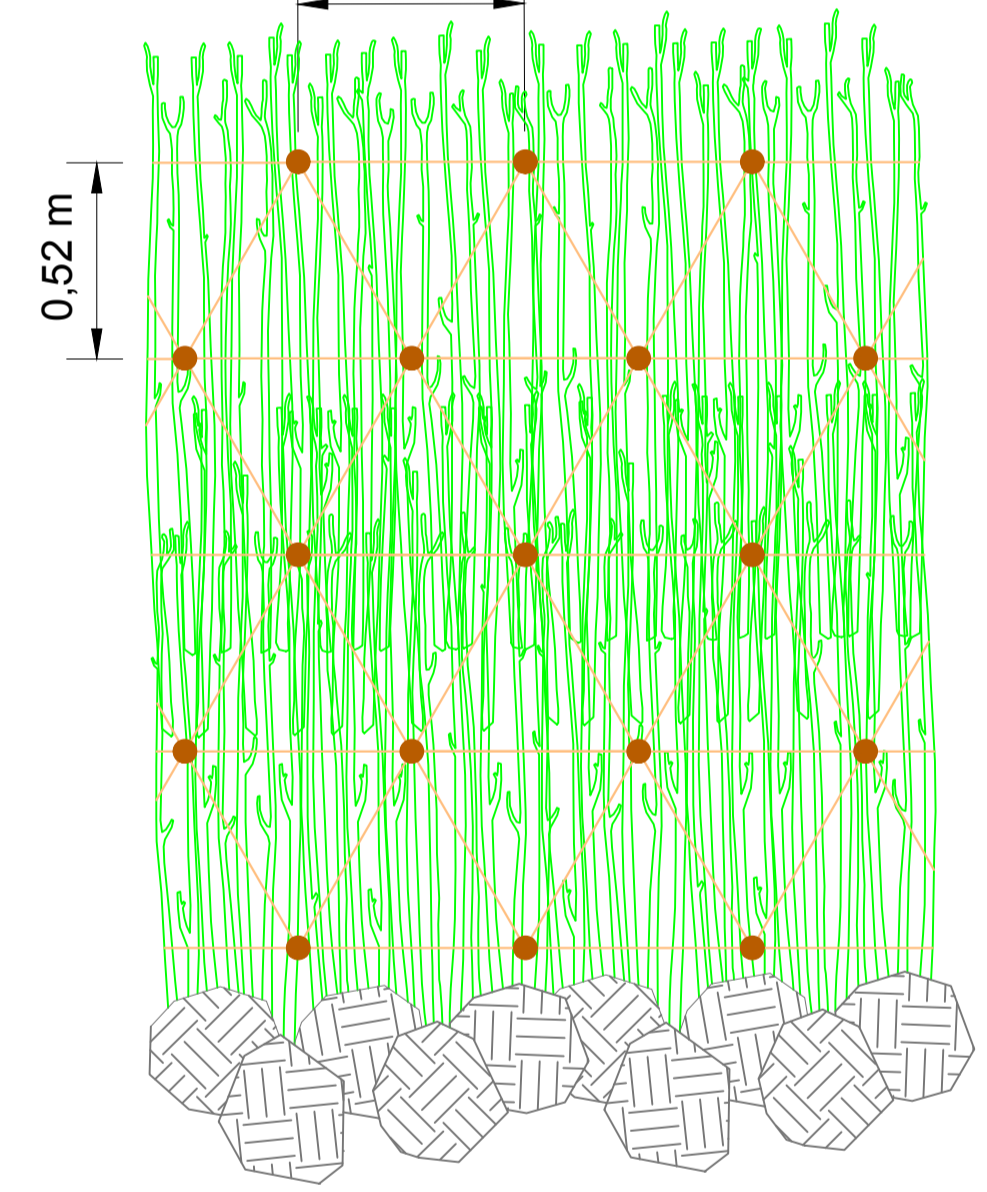
DETALHE B – BANQUETA VEGETADA
ESCALA 1:20



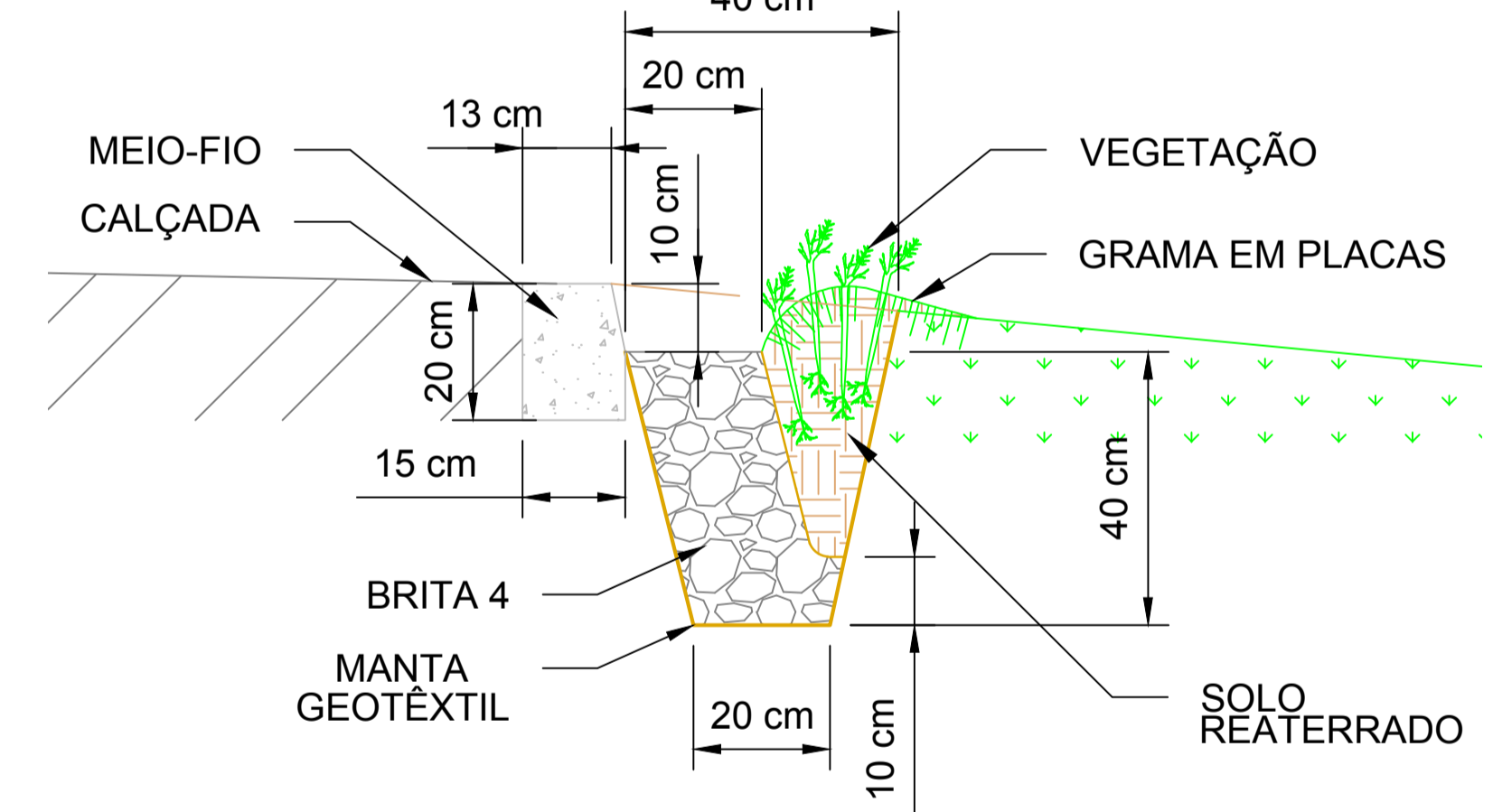
SEÇÃO TRANSVERSAL – ESTEIRA VIVA
ESCALA 1:20



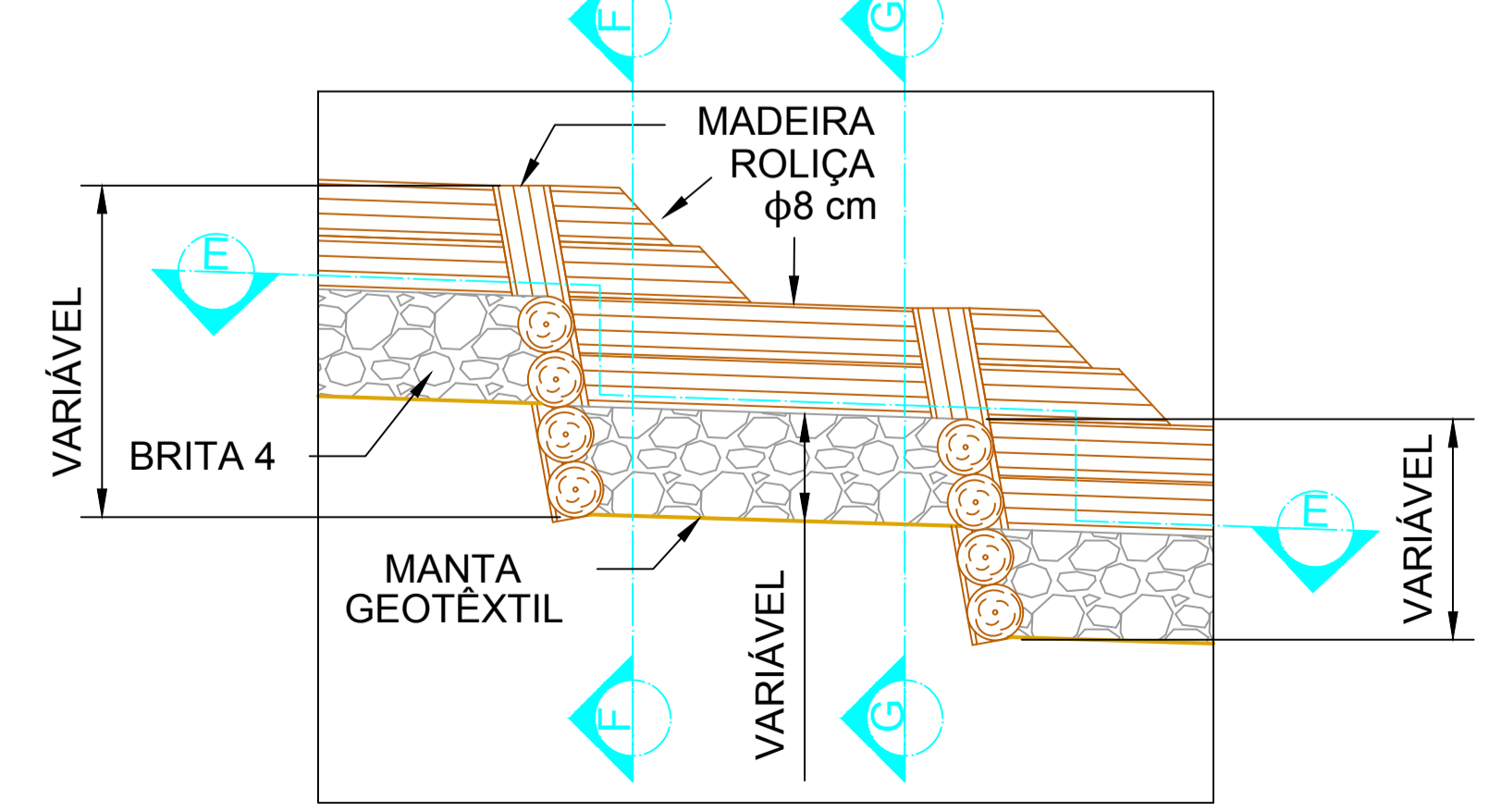
VISTA FRONTAL – ESTEIRA VIVA
ESCALA 1:20



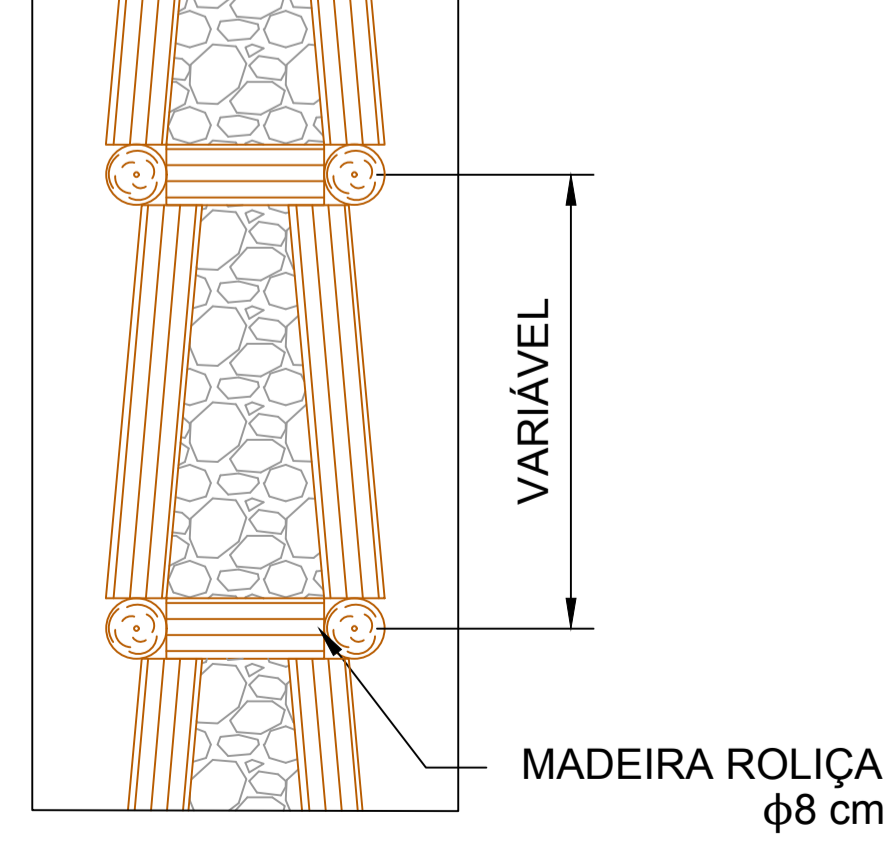
SEÇÃO TRANSVERSAL – CANALETA VEGETADA
ESCALA 1:10



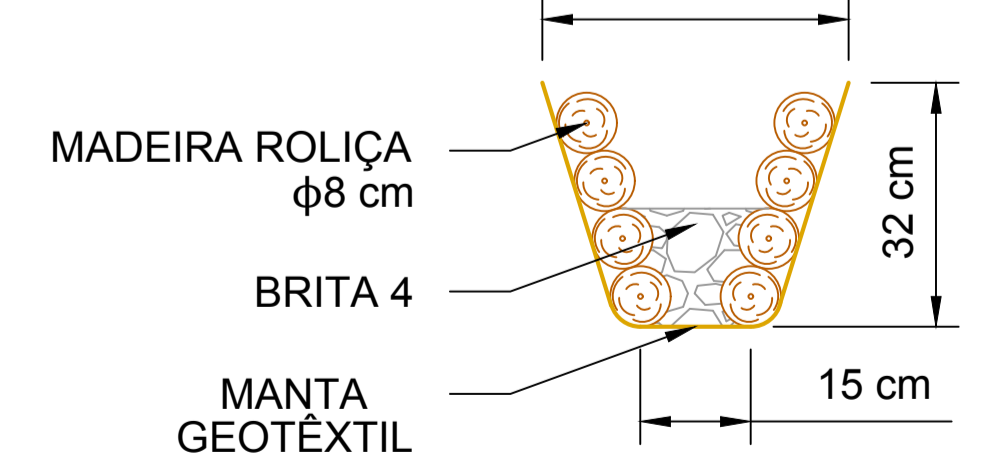
SEÇÃO TRANSVERSAL – CANALETA ESCALONADA E DESCIDA D'ÁGUA
ESCALA 1:10



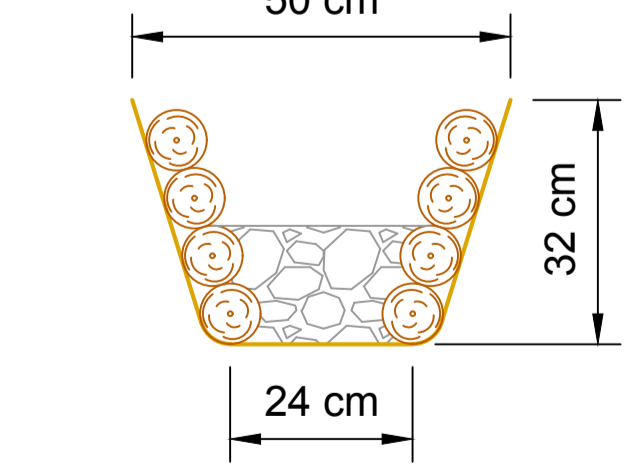
CORTE E-E
ESCALA 1:10



CORTE F-F
ESCALA 1:10



CORTE G-G
ESCALA 1:10



CONVENÇÕES

	BANQUETA VEGETADA
	CANALETA DE AREIA DA PAREDE KRAINER
	ENROCAMENTO
	PAREDE KRAINER
	ESTEIRA VIVA
	BIORRETENTOR
	CANALETA VEGETADA
	CANALETA ESCALONADA
	DESCIDA D'ÁGUA
	ESTACA (VEGETAÇÃO)
	ESTACA DE MADEIRA (40 cm x 5 cm)
	ESTACA DE MADEIRA (60 cm x 5 cm)
	ESTACA DE MADEIRA (115 cm x 7,5 cm)

QUANTITATIVO

MATERIAIS DIVERSOS		MADEIRA	
MATERIAL	QUANTIDADE	MATERIAL	QUANTIDADE
AÇO CA-60, 16 mm, DOBRADO E CORTADO	20723,26 kg	ESTACA DE MADEIRA (115 cm x 7,5 cm)	3166,64 m
CRAVO (0,4 m)	11015 unid.	ESTACA DE MADEIRA (40 cm x 5 cm)	3538,28 m
GRAMPO "U" (0,8 m)	10909 unid.	ESTACA DE MADEIRA (60 cm x 5 cm)	2275,45 m
AREIA MÉDIA	1650,93 m³	MADEIRA ROLIÇA D = 25 cm L = 6,5 m	21922,96 m
ARGAMASSA TRAÇO 1:3	0,96 m³	LONGARINA (6,5 m x 25 cm)	2102 unid.
BIORRETENTOR	5508 unid.	TRANSVERSINA (1 m x 25 cm)	2754 unid.
BRITA 4	242,08 m³	TRANSVERSINA (2 m x 25 cm)	2754 unid.
CORDA DE SISAL	295,26 kg	MADEIRA ROLIÇA D = 8 cm L = 2,2 m	802,45 m
ENROCAMENTO	8193,62 m³		
GEOTÊXTIL	11649,73 m²		
GRAMA EM PLACA	7018,27 m²		
HIDROGEL	97,03 kg		
MEIO-FIO PRÉ-MOLDADO	963,47 m		

ESPÉCIE	MATERIAL VEGETATIVO (unid.)					TOTAL
	SEÇÃO I	SEÇÃO II	SEÇÃO IV	ESTEIRA VIVA	BANQUETA VEGETADA	
Abutilon megapotamicum (estaca)	371	5193	4075		9139	18778
Calliandra brevipes (estaca)	371	5193	4075		9139	21655
Fuchsia regia (estaca)	159	2226	1747		9139	13271
Salix humboldtiana (galho)				5852		5852
Sebastiania schottiana (estaca)	371	5193	4075		9139	21655
Sebastiania schottiana (galho)				5852		5852
Tibouchina granulosa (estaca)	212	2968	2329		5509	5509
Total	1484	20773	16301	11704	36556	92572

- OBSERVAÇÕES:**
- 1 - MEDIDAS DADAS EM METROS OU CONFORME INDICADO EM DETALHE
 - 2 - OS LOCAIS AFETADOS PELA OBRA DEVERÃO SER RECUPERADOS COM PLANTIO DE GRAMAS EM PLACA
 - 3 - CANALETAS COM DECLIVIDADE SUPERIOR A 2% DEVEM SER ESCALONADAS
 - 4 - AS BANQUETAS NÃO DEVEM POSSUIR ESPAÇAMENTO SUPERIOR A 1,5 m
 - 5 - AS CANALETAS VEGETADAS, AS CANALETAS ESCALONADAS E AS DESCIDAS D'ÁGUA DEVEM SER PREENCHIDAS COM MATERIAL DRENANTE (BRITA 4)

RO	EMIÇÃO INICIAL	26/11/2019
REVISÃO	DESCRIÇÃO	DATA

PROJETO BÁSICO

OBRA	REVITALIZAÇÃO DO TRECHO DO RIO BACACHERI NO PARQUE GENERAL IBERÊ DE MATTOS	FRANCHA	02
RESPONSÁVEL TÉCNICO	MARCELO SEFRIN NASCIMENTO PINTO		02
CLIENTE	PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA		
CONTEÚDO	DETALHAMENTO DAS INTERVENÇÕES PROPOSTAS		R0
ESCALA	DATA	DESENHO	
Indicada	NOVEMBRO/2019	MSNP	