

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**METODOLOGIA PARA PROJETOS DE  
ENGENHARIA NATURAL PARA OBRAS DE  
INFRAESTRUTURA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Charles Rodrigo Belmonte Maffra**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**



**METODOLOGIA PARA PROJETOS DE  
ENGENHARIA NATURAL PARA OBRAS DE  
INFRAESTRUTURA**

**Charles Rodrigo Belmonte Maffra**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado  
do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal,  
Área de Concentração em Manejo Florestal,  
da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),  
como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal.**

**Orientador: Prof. Dr. Fabrício Jaques Sutili**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

Esse trabalho utilizou bolsa de estudos concedida pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) via Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes) e foi apoiado com recursos financeiros da Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência (FATEC).

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

---

Maffra, Charles Rodrigo Belmonte

Metodologia para projetos de engenharia natural para obras de infraestrutura / Charles Rodrigo Belmonte Maffra. – 2014.

150 p.; 30 cm

Orientador: Fabrício Jaques Sutili

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2014

1. Bioengenharia de solos 2. Travessia de dutos 3. Estabilidade de taludes I. Sutili, Fabrício Jaques II. Título.

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**METODOLOGIA PARA PROJETOS DE  
ENGENHARIA NATURAL PARA OBRAS DE INFRAESTRUTURA**

elaborada por  
**Charles Rodrigo Belmonte Maffra**

como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. Fabrício Jaques Sutili (Presidente/Orientador)**

---

**Prof. Dr. Rafaelo Balbinot – UFSM**

---

**Prof. Dr. Francisco Sandro Rodrigues Holanda – UFS**

**Santa Maria, 28 de fevereiro de 2014.**



## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Santa Maria, minha casa, pelas inúmeras oportunidades de aprendizado e também de convívio com pessoas realmente especiais.

Ao professor Fabrício Jaques Sutili, amigo e orientador, pelos ensinamentos constantes e lições que transcendem os assuntos acadêmicos. Sem dúvida seus ensinamentos me auxiliaram a ter uma visão diferenciada do ambiente à minha volta.

Ao professor Elvídio Gavassoni Neto, amigo e coorientador, pelos ensinamentos, paciência e disponibilidade, e pelas palavras sinceras nos momentos mais adequados. Sem seu auxílio este trabalho não seria o mesmo. Obrigado Professor!

À Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), pela bolsa concedida via Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes). À Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência (FATEC), pelo apoio financeiro. Sem estes auxílios seria mais difícil dedicar-me exclusivamente à pesquisa.

Aos professores da pós-graduação (Engenharia Florestal e Civil), pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos.

A todos os colegas de pós, pelos momentos compartilhados e pela troca de ideias sempre convenientes a peculiaridade de cada momento.

Aos amigos Rita, Suelen e Wagner, pela amizade e companheirismo que, com certeza, tornaram mais interessantes e fáceis os dias de pós-graduação.

À Greici (especialmente).

À minha família, sempre especial, por todo o apoio e pelo amor puro e sincero.

Aos amigos que fizeram parte deste processo, torcendo e/ou incentivando.

**Muito Obrigado a Todos!**





## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria

### **METODOLOGIA PARA PROJETOS DE ENGENHARIA NATURAL EM OBRAS DE INFRAESTRUTURA**

AUTOR: Charles Rodrigo Belmonte Maffra  
ORIENTADOR: Fabrício Jaques Sutili  
Local da Defesa e Data: Santa Maria, fevereiro de 2014.

A engenharia natural é bastante difundida e comumente utilizada na Europa e América do Norte para a estabilização de sistemas naturais como taludes fluviais, encostas e áreas sob processo erosivo. É uma disciplina técnica relativamente recente que tem conceitos, do ponto de vista prático-aplicativo, bem desenvolvidos. Contudo, possui questões, principalmente de caráter teórico-técnico, que ainda devem ser respondidas. Uma dessas questões diz respeito à falta de metodologias analíticas e procedimentadas para o desenvolvimento de projetos de engenharia natural em obras de infraestrutura. Neste sentido, a proposta do presente trabalho consiste em desenvolver uma metodologia para a elaboração de projetos de engenharia natural para obras de infraestrutura e demonstrar sua aplicação no desenvolvimento de um projeto de estabilização fluvial em travessia de dutos terrestres. A metodologia desenvolvida apresenta um procedimento hierarquizado composto por três fases de projeto: Conceitual, Básica e Executiva, sendo, cada uma, composta por objetivos e atividades de desenvolvimento. Na concepção do projeto a metodologia mostrou-se importante para a organização das informações em uma sequência racionalizada de obtenção e análise, facilitando, desse modo, a compreensão da fenomenologia dos problemas envolvidos, a escolha e o dimensionamento das técnicas mais adequadas a cada problema, bem como a descrição e quantificação da logística necessária à implantação da obra projetada. A metodologia se mostra uma ferramenta eficiente na uniformização e universalização das atividades de projeto de engenharia natural em aplicações de maior responsabilidade.

**Palavras-chave:** Bioengenharia de Solos. Travessia de dutos. Estabilidade de Taludes Fluviais.



# **ABSTRACT**

Mater Course Dissertation  
Post-Graduate Program in Forestry Engineering  
Federal University of Santa Maria

## **METHODOLOGY FOR SOIL BIOENGINEERING DESIGNS**

**AUTHOR:** Charles Rodrigo Belmonte Maffra  
**ADVISER:** Fabrício Jaques Sutili  
**Defense Place and Date:** Santa Maria, February 28, 2014.

Soil bioengineering is a widespread science which is usually applied in Europe and North America for natural systems stabilization such as streambanks, slopes and eroded areas. It is a relatively new technical discipline, that has well developed concepts, from a practical point of view. Nevertheless, it still has some theoretical and technical issues that should be addressed. One of those issues is related with the lack of analytical methodologies and procedures for the elaboration of projects based on soil bioengineering techniques. Taking this issue into consideration, the purpose of this dissertation is to accomplish the development of a project methodology for the application of soil bioengineering techniques in infrastructure works, and to show its use in one case study for river stabilization in pipeline stream crossing. The developed methodology presents an hierarchical procedure with three project phases: conceptual, basic and executive, each of which is composed by objectives and development activities. During project elaboration this methodology has proved to be relevant to acquire, manage and analyze information in a rationalized sequence, and hence, facilitating the understanding of the problem phenomenology, the choice of techniques and the design method for each problem, as well as logistic description and quantification required for the execution of the one projected case study. This methodology has proved to be an efficient tool to standardize and generalize soil bioengineering project activities for greater responsibility applications.

**Keywords:** Soil Bioengineering. Pipeline Stream Crossings. Streambank Stabilization.



## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

### Figuras:

Figura 2.1 – Esquema que ilustra a “lei do mínimo” em intervenções de engenharia natural.	30
Figura 3.1 – Objetivos da fase conceitual de projeto.	39
Figura 3.2 – Objetivos da fase básica de projeto.	42
Figura 3.3 – Objetivos da fase executiva de projeto.	45
Figura 3.4 – Atividades da fase conceitual de projeto.	49
Figura 3.5 – Atividades da fase básica de projeto.	53
Figura 3.6 – Atividades da fase executiva de projeto.	57
Figura 3.7 – Fluxograma dos procedimentos gerais de projeto.	59
Figura 4.1 – Localização da região de estudo no município de Cariacica, ES, Brasil.	62
Figura 4.2 – Problemas desencadeados na área de projeto.	64
Figura 4.3 – Perfil longitudinal esquemático conceitual da obra transversal.	66
Figura 4.4 – Cinto basal saliente, em vista frontal e em cortes transversais, onde: 1 – retilíneo, 2 – inclinado e 3 – sinoidal.	67
Figura 4.5 – Remodelagem de talude (ou retaludamento).	70
Figura 4.6 – Exemplos da aplicação de biomanta combinada com estaquia vegetativa, base mantida com enrocamento (esquerda), com estrutura de madeira (centro) e detalhe da estaquia (direita).	71
Figura 4.7 – Plantio em banquetas. Esquema conceitual e exemplo de aplicação.	72
Figura 4.8 – Muro simples de prumo frontal: exemplo de aplicação e esquema conceitual.	73
Figura 4.9 – Esteira viva sendo construída (esquerda) e resultado após um ano (direita).	74

Figura 4.10 – Esquema conceitual de uma parede krainer dupla com base enrocada e montada em peças de madeira. ....	75
Figura 4.11 – Bacia hidrográfica da travessia e perfil longitudinal do talvegue de um afluente do Rio Bubu, no município de Cariacica, ES. ....	80
Figura 4.12 – Rochas que direcionam o fluxo a margem esquerda onde o talude encontra-se rompido. ....	89
Figura 4.13 – Drenagem dos excedentes pluviais diretamente sobre o talude durante eventos pluviométricos intensos.....	89
Figura 4.14 – Aspectos do perfil de compensação a ser formado naturalmente devido à posição e à altura do cinto basal saliente. ....	102
Figura 4.15 – Aspectos executivos do cinto basal saliente. ....	103
Figura 4.16 – Aspectos executivos do perfil de compensação a ser construído a montante do cinto basal saliente. ....	104
Figura 4.17 – Aspectos executivos da parede krainer dupla em vista frontal.....	105
Figura 4.18 – Aspectos executivos da parede krainer dupla e banquetas vegetadas, ambas em corte transversal. ....	105
Figura 4.19 – Planta esquemática de localização das soluções. Na margem esquerda (parte superior da figura) parede krainer e banquetas, na margem direita (parte inferior) plantio de mudas e cordão de biorretentores em sua base e, mais a jusante, o cinto basal saliente. ....	107
Figura 4.20 – Aspecto executivos dos grampos e cravos na amarração entre longarinas e transversinas.....	109
Figura 4.21 – Aspectos executivos das estruturas provisórias de contenção.....	112
Figura 4.22 – Rochas que devem ser retiradas do leito e reacomodadas na construção do perfil de compensação. ....	112
Figura 4.23 – Aspecto executivo do plantio de mudas associado a biorretentores nas alas do cinto basal saliente. ....	113
Figura 4.24 – Aspectos executivos do sistema de drenagem em planta (posicionamento em relação as demais estruturas e extensão).....	115
Figura 4.25 – Aspectos executivos de plantio das mudas na margem direita.....	117

Figura 4.26 – Série histórica de precipitações para o município de Viana, ES (valores de 2013, somente até o mês agosto).....	119
Figura 4.27 – Custos totais em percentual dos principais serviços que compõem a execução da obra. ....	122
Figura 4.28 – Comparativo percentual entre os principais custos para realização dos serviços de implantação da obra. ....	123
Figura 4.29 – Percentual dos custos totais de implantação para cada técnica projetada. ....	124

**Tabelas:**

Tabela 4.1 – Condições hidráulicas atuais para o curso de água, considerando a vazão de projeto.....	85
Tabela 4.2 – Condições de escoamento atuais para o curso de água, considerando a vazão de projeto.....	87
Tabela 4.3 – Condições hidráulicas para o novo perfil do curso de água, considerando a vazão de projeto.....	93
Tabela 4.4 – Condições de escoamento para o novo perfil do curso de água, considerando a vazão de projeto.....	94
Tabela 4.5 – Cronograma das atividades envolvidas na execução da obra.....	120
Tabela 4.6 – Quantificação e orçamento das atividades, materiais e máquinas necessárias a implantação da obra.....	121





## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – PRANCHA B-01. Levantamento planialtimétrico (posição do duto).....	143
Apêndice B – PRANCHA B-02. Levantamento planialtimétrico (seções transversais da faixa e do curso de água).....	144
Apêndice C – PRANCHA B-03. Levantamento planialtimétrico (seções transversais da faixa).....	145
Apêndice D – PRANCHA B-04. Levantamento planialtimétrico (vista em planta, seções longitudinais e transversais do curso de água).....	146
Apêndice E – PRANCHA B-05. Levantamento planialtimétrico (seções transversais do curso de água).....	147
Apêndice F – PRANCHA E-01. Detalhes e localização das intervenções transversais e longitudinais.....	148
Apêndice G – PRANCHA E-02. Perfil de compensação e aspecto das seções transversais.....	149
Apêndice H – PRANCHA E-03. Detalhes do sistema de drenagem.....	150



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
1.1	Objetivos .....	24
1.2	Organização do trabalho .....	24
<b>2</b>	<b>A ENGENHARIA NATURAL COMO DISCIPLINA TÉCNICA.....</b>	<b>27</b>
2.1	Evolução histórica.....	27
2.2	Características e princípios .....	29
2.3	Funções e efeitos.....	31
2.4	Vantagens e desvantagens .....	32
2.5	Limites de aplicação .....	33
2.6	Requisitos de projetos .....	34
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTO DE PROJETO .....</b>	<b>37</b>
3.1	Objetivos .....	37
3.1.1	Conceitual .....	38
3.1.2	Básica .....	39
3.1.3	Executiva .....	42
3.2	Atividades de projeto .....	45
3.2.1	Conceitual .....	45
3.2.2	Básica .....	49
3.2.3	Executiva .....	53
<b>4</b>	<b>PROJETOS NA INFRAESTRUTURA DUTOVIÁRIA.....</b>	<b>61</b>
4.1	Localização e aspectos gerais da área de estudo.....	62
4.2	Exemplo de aplicação .....	63
4.2.1	Projeto conceitual .....	64
4.2.2	Projeto básico .....	77

4.2.3	Projeto executivo.....	100
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>129</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>133</b>
<b>7</b>	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>141</b>

# 1 INTRODUÇÃO

---

A engenharia natural<sup>1</sup> é definida como uma disciplina da engenharia que possui objetivos técnicos, ecológicos e estéticos utilizando-se, sobretudo, de materiais vivos, ou seja, sementes, plantas, partes de plantas e associações vegetais (SCHIECHTL, 1985). As técnicas que compõem a engenharia natural empregam materiais vivos como elementos construtivos (que têm funções e propriedades técnicas) em conjunto, ou não, com materiais inertes<sup>2</sup> (palha, rocha, madeira, aço, etc.) para perenizar cursos de água e para proteger, estabilizar e consolidar<sup>3</sup> os solos em obras de engenharia em geral (GRAY e LEISER, 1982; SCHIECHTL, 1992; CORNELINI e SAULI, 2005). Em comparação com técnicas tradicionais de engenharia, a engenharia natural oferece vantagens, como por exemplo: custo geralmente menor, manutenção reduzida (dependendo da localização e objetivo da obra), estruturas de menor impacto ambiental, aumento do valor estético e ecológico e também da funcionalidade<sup>4</sup> da obra (GRAY e LEISER, 1982; MORGAN e RICKSON, 1995).

A engenharia natural por seu caráter simples – quando comparada às intervenções tradicionais da engenharia civil – tem sido usada em ambientes rurais e urbanos, em obras de pequeno porte, de modo quase artesanal, onde a seleção das técnicas para a solução dos problemas é realizada de maneira subjetiva, quase sempre sem critérios analíticos e procedimentos definidos de escolha, baseando-se mais na intuição e na experiência prévia de quem desempenha a atividade (MORGAN e RICKSON, 1995; FLORINETH, 1998). Essas características artesanais constituem uma vantagem quando se trata de aplicações de menor responsabilidade, pois os problemas decorrentes de falhas das intervenções são pequenos e,

---

<sup>1</sup> **Engenharia** – enquanto são utilizados dados técnicos e científicos com fins construtivos, de consolidação e anti-erosivos; **Natural** – enquanto são utilizados materiais vivos, predominantemente plantas de espécies locais com a finalidade de reconstrução do ecossistema natural próximo do original e o aumento da biodiversidade – também se considera o emprego de materiais mortos de origem vegetal (MENEGAZZI e PALMERI, 2013).

<sup>2</sup> São materiais mortos que têm função estrutural e que conferem estabilidade e proteção inicial às obras de engenharia natural até que a vegetação esteja efetivamente estabelecida e desempenhando seu papel. São esses materiais que geralmente fornecem os parâmetros para os dimensionamentos estruturais das obras. Sua aplicação adequada pode garantir a qualidade de uma intervenção.

<sup>3</sup> **Proteger**: técnicas de cobertura para o controle da erosão superficial; são exemplos hidrossemeadura, biomantas e geomalha tridimensional. **Estabilizar**: técnicas para movimentos de massa superficiais; são exemplos estacaria viva, feixes vivos e entrançados vivos. **Consolidar**: Técnicas para movimentos de massa profundos; são exemplos todas as variantes de muros de suporte vivo ou parede krainer (FLORINETH, 2004).

<sup>4</sup> Isso ocorre porque as plantas continuam a se desenvolver e a aumentar os efeitos das propriedades que conferem proteção e estabilidade ao solo, ao contrário das estruturas constituídas de materiais inertes, que, em geral, deterioram-se ao longo do tempo (PETRONE e PRETI, 2009).

quando ocorrem, não envolvem grandes perdas econômicas ou ambientais. Além disso, são simples e rápidas de serem reconstruídas. Trata-se, portanto, de intervenções que, em geral, apresentam baixo custo, pois dependem apenas da disponibilidade de materiais locais, bem como dos conhecimentos empíricos e da experiência do construtor.

Por outro lado, quando se trata da aplicação dessas técnicas em obras de infraestrutura, como é o caso dos problemas de erosão e perda de estabilidade em dutovias, rodovias, ferrovias, faixas de servidão de redes elétricas e de dados, taludes fluviais e lagos de barragens, por exemplo, a situação é mais complexa. Isso porque, esses casos geralmente possuem níveis mais elevados de riscos associados e devem responder a exigências legais com maiores consequências de caráter econômico e ambiental. Essas aplicações, portanto, demandam uma abordagem mais analítica, constituída por um procedimento hierarquizado de projeto que auxilie o engenheiro na escolha da solução mais otimizada dentro das restrições de uma determinada intervenção, bem como o correto dimensionamento das estruturas constituintes da solução de engenharia adotada.

Esse procedimento de projeto deve orientar o engenheiro na determinação das alternativas que melhor respondam aos vários requisitos de viabilidade de uma obra de engenharia, tais como: segurança, economia e exequibilidade. Deve agregar também as importantes funções marcadamente desempenhadas pelas soluções baseadas em engenharia natural: impacto reduzido e melhor integração estética e ecológica com o ambiente natural. Desse modo, além de constituir uma metodologia de identificação e escolha de alternativas de solução, o procedimento de projeto deve incluir mecanismos de auxílio na especificação dos materiais necessários para a aplicação da solução escolhida. Deve também, descrever e sequenciar os passos executivos das intervenções e prescrever o período e o procedimento de monitoramento da obra após sua implantação. Além disso, deve atentar para os procedimentos executivos de manutenção e recuperação dessas obras se necessário. Em suma, todas as fases do ciclo de vida de um empreendimento devem ser contempladas em seu projeto.

Uma vez que a engenharia natural combina elementos inertes comumente usados nas soluções convencionais com materiais vegetais vivos, o procedimento de projeto para obras de infraestrutura deve atentar para as peculiaridades e a interação de ambos os materiais (inertes e vivos).

Um processo de projeto racionalizado tem às suas atividades adequadamente ordenadas na forma de fluxo de trabalho claro, com as etapas principais hierarquicamente organizadas, para que possam ser planejadas e controladas (PAHL et al., 2005). Em obras de infraestrutura, todas essas especificações são indispensáveis porque os serviços e atividades

devidamente elaborados e com procedimentos bem definidos podem ser então prescritos, acompanhados, avaliados e terem o seu desempenho assegurado por meio de critérios objetivos e passíveis de quantificação.

O desenvolvimento de uma metodologia planejada, bem definida e procedimentada contribui para a prevenção de erros deontológicos e erros técnicos<sup>5</sup> nos projetos de engenharia natural. Contribui também para a uniformidade de resultados em projetos realizados por diferentes profissionais, pois fornece uma sequência padronizada com os principais requisitos de elaboração que devem ser atendidos. As vantagens de um procedimento de projeto em aplicações de maior responsabilidade decorrem diretamente dos seguintes fatores: procedimentação da caracterização dos processos identificados no local de tratamento, análise dos fenômenos relacionados a esses processos, quantificação dos parâmetros-chaves na fenomenologia analisada, dimensionamento das intervenções, especificação criteriosa dos materiais, quantificação dos níveis de segurança e risco associados às estruturas dimensionadas e descrição objetiva sequencial das atividades executivas. Conforme destaca Pahl et al. (2005), em geral, no processo de concepção de um projeto de engenharia os procedimentos de elaboração iniciam-se de forma qualitativa e tornam-se cada vez mais específicos e, portanto, quantitativos.

Para intervenções em obras de infraestrutura, os procedimentos de abordagem e análise dos problemas encontrados e de escolha dentre as possíveis alternativas baseadas em técnicas de engenharia natural ainda não são analiticamente satisfatórios. Essa carência analítica de procedimentos é comum a todas as disciplinas técnicas em estágio de desenvolvimento como campo científico (STRAUB, 1960). Esta característica, atualmente, constitui um dos principais entraves para a larga aceitação e a ampla especificação das soluções técnicas de engenharia natural por parte dos engenheiros (MICKOVSKI e VAN BEEK, 2007).

Existe, portanto, na engenharia natural a demanda por metodologias de projeto tal qual aquelas já existentes para outras áreas analiticamente desenvolvidas da engenharia.

Neste sentido, o presente trabalho busca contribuir com informações para a elaboração de projetos de engenharia natural em obras de infraestrutura. Para a sintetização das informações geradas serão utilizados como exemplos projetos em obras de infraestrutura dutoviária. Essa escolha se justifica devido à importância do empreendimento e também pela

---

<sup>5</sup> **Erro deontológico** ocorre por excesso ou superestimativa ao usar uma intervenção cuja resistência excede em muito a máxima solicitação atuante durante toda a vida útil de projeto. **Erro técnico** em oposição ao erro deontológico, ocorre por falta ou subestimativa, ou seja, usa-se uma intervenção cuja resistência fica aquém das solicitações (CORNELINI e SAULI, 2005).

compatibilidade das soluções de engenharia natural na correção de problemas específicos que ocorrem nas faixas de dutos terrestres.

Atualmente o Brasil conta com mais de 14.000 km de dutos destinados ao transporte de óleo e gás, sem incluir dutos de transferência e distribuição (PETROBRAS TRANSPORTES S.A., 2012). Ao longo de toda a malha dutoviária, e especialmente nas áreas onde os dutos cruzam cursos de água (travessias de dutos terrestres), a exposição de dutos é um problema que gera grandes preocupações às transportadoras. Dutos expostos em áreas de travessia são mais suscetíveis a riscos decorrentes da ação de terceiros, fenômenos hidráulico-geotécnicos (perda de suportabilidade, vibração em decorrência de vórtices, corrida de detritos e outros movimentos de massa) e de deterioração da integridade mecânica (variação térmica e danos aos elementos de proteção catódica). O grau desses riscos é ainda potencializado pelas consequências de eventuais rupturas, o que pode resultar em perdas humanas e materiais e ainda impactos ambientais altamente nocivos.

Diante da possibilidade desses acontecimentos, as medidas cabíveis de prevenção e/ou correção dos problemas devem ser tomadas. As soluções de engenharia natural, frente a essas necessidades, constituem uma alternativa técnica potencial para realizar a proteção dos dutos e da faixa, e também para melhorar as condições ambientais e ecológicas locais.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo deste trabalho é desenvolver e apresentar uma metodologia para elaboração de projetos de engenharia natural em obras de infraestrutura e demonstrar como a metodologia proposta pode ser empregada na concepção de projetos, usando técnicas e abordagens de engenharia natural.

## **1.2 Organização do trabalho**

Inicialmente apresenta-se o desenvolvimento histórico da engenharia natural como disciplina técnica, suas características e princípios, suas vantagens e desvantagens em relação às técnicas tradicionais de engenharia, efeitos e limites de aplicação e as principais informações que são requisitos em projetos da área.



Em seguida apresenta-se a proposta de metodologia para a elaboração de projetos de engenharia natural em obras de infraestrutura, constituída de um procedimento hierarquizado organizado em três fases de projeto: a conceitual, a básica e a executiva. Cada fase é discutida especificamente abordando-se as práticas, procedimentos e ações que tornam o procedimento de projeto um processo mais analítico.

Na sequência a aplicação da metodologia é exemplificada utilizando-se um projeto de intervenção de erosão fluvial em travessia de dutos terrestres.

Por fim são abordadas as conclusões e considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.



## 2 A ENGENHARIA NATURAL COMO DISCIPLINA TÉCNICA

---

Uma disciplina é um campo do conhecimento que possui conceitos, dados e termos próprios (OCDE, 2013). A engenharia natural atende a esses requisitos e é complementada, em grande medida, por conceitos oriundos de vários campos do conhecimento técnico-científico. Em suma, se caracteriza como uma disciplina essencialmente transversal, onde além de conceitos próprios, utiliza de informações da geologia, geomorfologia, geotecnia, pedologia, hidrologia, hidráulica, botânica e fitossociologia, engenharia da paisagem e tecnologia de materiais (CORNELINI e SAULI, 2005). Desse modo, a engenharia natural não é apenas um conjunto de técnicas de engenharia, pois propõe abordagens multidisciplinares para a formulação de soluções mais eficazes na correção de problemas de instabilidade oriundos, principalmente, de processos erosivos e movimentos de massa pouco profundos (MENEZZI e PALMERI, 2013).

### 2.1 Evolução histórica

Há muito a engenharia natural é utilizada para prevenir e controlar efeitos dos processos de erosão e movimentos de massa. No período romano plantas mortas ou vivas já eram utilizadas para garantir proteção adequada às margens de cursos de água e também de encostas (ERCOLINI, 2005; CORNELINI e SAULI, 2005); a aplicação das técnicas era realizada de modo empírico, não ciente de conceituações e/ou terminologias técnicas, tampouco de considerações científicas.

Somente na primeira metade do século XX a engenharia natural começou a ser desenvolvida como disciplina. O caráter técnico da disciplina teve início com os trabalhos de Kraebel<sup>6</sup> (1936) e de Kruedener e Becker<sup>7</sup> (1941). No entanto, considera-se como marco inicial, a publicação da obra de Kruedener (1951), intitulada *Ingenieurbiologie* (Engenharia

---

<sup>6</sup> Trabalho no qual aplicou técnicas de construção com plantas vivas para resolver problemas de erosão em taludes de estradas em montanhas no sul da Califórnia, EUA – não definiu nenhuma nomenclatura específica para a atividade construtiva que desenvolveu com as plantas.

<sup>7</sup> Publicado pelo centro de investigação em engenharia natural de Munique, para o departamento de estradas alemão. Trabalho que realiza a caracterização de diferentes espécies de plantas e indica a aplicação mais adequada em obras de estradas – os autores usaram pela primeira vez o termo *Ingenieurbiologie*, mas não o definiram.

Natural), onde se define pela primeira vez um conceito para a atividade. A partir dessa publicação uma sucessão de trabalhos foi desenvolvida principalmente na Europa e também na América do Norte. Dentre os autores merece destaque Schiechtl<sup>8</sup>, considerado por muitos o pai da engenharia natural pela relevância e pioneirismo de suas inúmeras contribuições para desenvolvimento e aplicação prática da engenharia natural como disciplina técnica.

Nos sessenta<sup>9</sup> anos de evolução da engenharia natural como disciplina distinguem-se duas fases de desenvolvimento: a primeira acontece durante as quatro primeiras décadas e a segunda entre os 20 e 30 anos finais. A primeira fase foi dedicada a identificar as características biológicas das plantas que conferem as propriedades biotécnicas desejáveis para o uso nas intervenções, bem como em formular e descrever as técnicas e intervenções apropriadas, considerando os materiais, as configurações e os locais de aplicação. Nessa fase a vegetação começa a ser entendida como material construtivo que pode, isoladamente ou por meio do suporte de estruturas inertes, corrigir, mitigar e/ou prevenir problemas de erosão e movimentos de massa. É nítido, nesse período, o esforço para fixar as bases iniciais necessárias para tornar a disciplina apropriada para o uso do ponto de vista técnico, econômico, ecológico e paisagístico. A obra de Schiechtl (1973) – *Bioingegneria Forestale* – é um exemplo característico dessa abordagem.

Na segunda fase, a engenharia natural já é reconhecida como uma disciplina com resultados satisfatórios de aplicação em vários tipos de intervenção. Esse período se caracteriza pela busca de maior fundamentação técnica para a disciplina, tornando-a mais analítica como outras áreas da engenharia. Nessa fase dedica-se maior importância à regulamentação das atividades e critérios para a elaboração de projetos, surgem as primeiras leis na Itália em 1988, 1990, 1998 (CORNELINI e SAULI, 2005), com a evidente preocupação de padronizar os métodos exigindo pré-requisitos para a aprovação dos mesmos. O período marca, também, o início da regulamentação técnica da disciplina com as normas elaboradas pela ASTM (*American Society for Testing and Materials*), padronizando formas de aplicação de algumas técnicas interventivas e também testes; são exemplos a construção de feixes vivos em taludes (ASTM D6599 – 00, 2008), estaqueamento vivo (ASTM D6765 – 02, 2008), esteira viva (ASTM D6939 – 03, 2003), teste para laminados de controle de erosão (ASTM D7322, 2013) e teste de avaliação de germinação em grande escala (ASTM WK21836, 2008).

---

<sup>8</sup> Arquiteto, engenheiro, botânico, professor e pintor Austríaco (\* 1922 – † 2002).

<sup>9</sup> Decorridos desde a publicação de Kruedner (1951).

Outra iniciativa que marca este segundo estágio evolutivo da engenharia natural é a criação de instituições de formação de pessoal na área. Surge nesse período o primeiro instituto de engenharia natural na Áustria em 1994, na *Universität für Bodenkultur* (BOKU), e subsequentemente convênios entre países e cursos de especialização na Itália, México, Nicarágua e Nepal (CORNELINI e SAULI, 2005), e também em países da América do Norte e América do Sul. Na mesma fase, a transversalidade disciplinar da área é enriquecida com uma sucessão de trabalhos técnicos para descrever e quantificar os efeitos hidráulicos e hidrológicos<sup>10</sup> das plantas, bem como seus efeitos mecânicos<sup>11</sup> no solo, aproximando a disciplina cada vez mais do enfoque analítico que marcadamente caracteriza as disciplinas tradicionais da engenharia. Começam a ser desenvolvidos softwares para suporte na tomada de decisão em obras de recuperação e estabilidade de taludes (MICKOVSKI e VAN BEEK, 2007). Os engenheiros passam a reconhecer a importância das plantas em trabalhos de construção e recuperação de áreas geotecnicamente instáveis (COPPIN e RICHARDS, 1990; MORGAN e RICKSON, 1995; GRAY e SOTIR, 1996). Atualmente, essa tendência progride com iniciativas que buscam um enfoque mais técnico para a engenharia natural, fortalecendo-se os procedimentos técnicos e métodos analíticos de dimensionamento (NORRIS et al., 2008; MENEGAZZI e PALMERI, 2013).

## 2.2 Características e princípios

A engenharia natural é uma disciplina que preconiza o conhecimento das exigências e características biológicas da vegetação e, especialmente, a capacidade desta em solucionar problemas técnicos de estabilização de margens e encostas em combinação com estruturas inertes de grande simplicidade (DURLO e SUTILI, 2012).

As plantas, nessa disciplina, têm caráter fundamental, e por isso, não são consideradas somente do ponto de vista estético e ecológico, mas também funcional e técnico, como materiais de construção vivos e eficazes. Essa peculiaridade é o que diferencia a disciplina daquelas que fazem uso apenas de materiais inertes – engenharia tradicional – ou que usam

---

<sup>10</sup> O assunto abordado em trabalhos como o de Coppin e Richards, 1990; Morgan e Rickson, 1995; Florineth, 1998, entre outros.

<sup>11</sup> O assunto abordado em trabalhos como o de Wu, 1995; Coppin e Richards, 1990; Morgan e Rickson, 1995; Gray e Sotir, 1996; Gray e Leiser, 1982, Norris et al., 2008, entre outros.

plantas apenas com fins paisagísticos e de restauração ecológica (CORNELINI e SAULI, 2005; CORNELINI, 2008).

Nas soluções de engenharia natural, tenta-se, sempre que possível, evitar construções grandes e rígidas, procurando-se modificar o mínimo as condições naturais preexistentes no local de intervenção. O princípio básico nas escolhas de projeto é adotar técnicas que apresentem um nível de energia mais baixo (complexidade, artificialidade, rigidez, custo), empregando soluções de menor impacto para a resolução de um determinado problema (SAULI et al., 2003). A Figura 2.1 explica esse princípio, também conhecido como “lei do mínimo”, onde não intervir é sempre a primeira alternativa de projeto e as técnicas, sempre que necessárias, são usadas para corrigir apenas o que o problema demanda, evitando-se faltas (erros técnicos) ou excessos (erros deontológicos) na definição das intervenções.

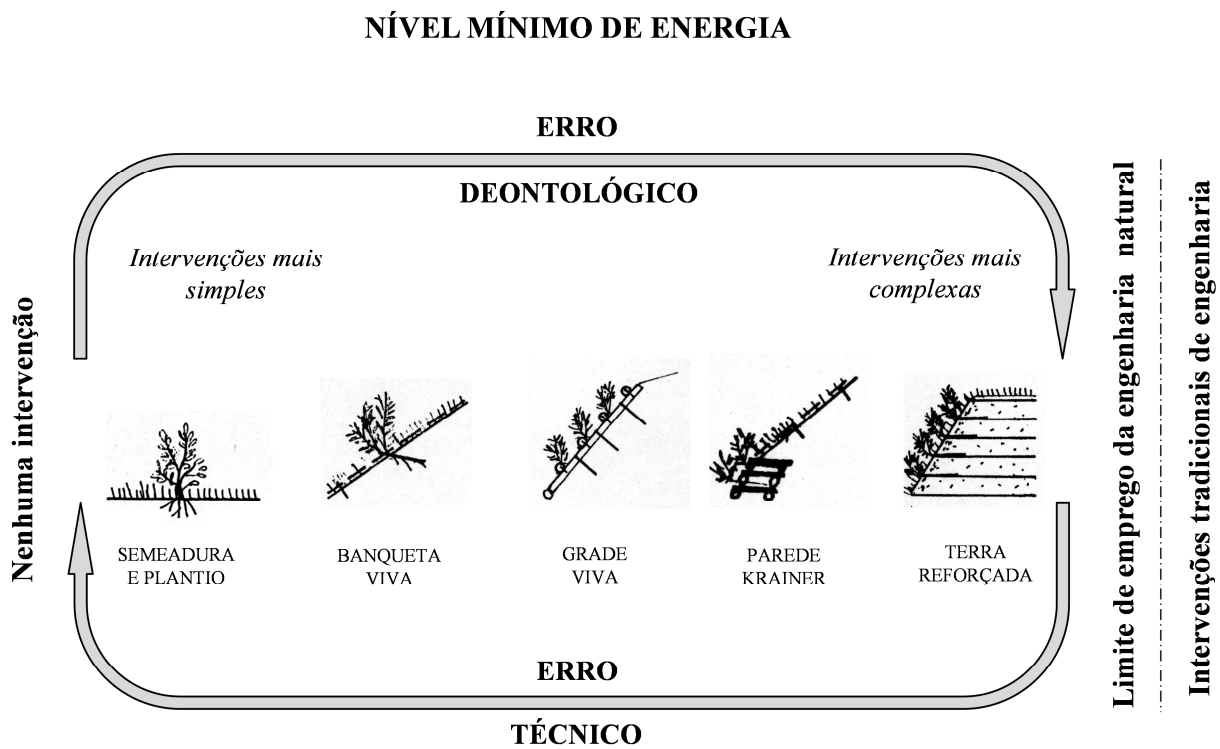


Figura 2.1 – Esquema que ilustra a “lei do mínimo” em intervenções de engenharia natural.

Fonte: Adaptado de Sauli et al. (2003).

Sendo assim, a disciplina, além da solução técnica para os problemas, procura considerar os critérios ecológicos, econômicos e estéticos envolvidos. De modo geral, os efeitos proporcionados e os resultados conseguidos são dependentes das escolhas tanto do tipo

de material e modelo de construção, quanto das espécies vegetais e formas de revegetação que são combinadas com as estruturas (DURLO e SUTILI, 2012).

### 2.3 Funções e efeitos

De acordo com Schiechl e Stern (1996, 1997), as principais funções da engenharia natural podem ser resumidas da seguinte maneira:

#### a) *Função Geotécnica*

- Proteção da superfície do solo da erosão causada pela precipitação, vento e gelo;
- Proteção de margens e encostas contra a erosão causada pelo fluxo e ação da água;
- Aumento da estabilidade do talude pelo estabelecimento de uma matriz solo-raiz e modificação do conteúdo de umidade;
- Proteção contra a ação do vento e a queda de rochas.

#### b) *Função Ecológica*

- Modificação dos extremos de temperatura e umidade do ar próximo à superfície do solo, criando assim melhores condições para o crescimento;
- Aumento da formação de húmus no solo;
- Criação de habitats para animais e plantas;
- Sombreamento das margens de rios e áreas de desova pela copa de arbustos e árvores;
- Purificação da água pela retenção de poluentes no sistema radicial;
- Proteção contra a ação do vento.

#### c) *Função Econômica*

- Redução dos custos de construção e manutenção;
- Criação de áreas utilizáveis para a agricultura, silvicultura, indústria, habitação e recreação.

#### d) *Função Estética*

- Melhoria dos aspectos visuais da paisagem;
- Integração e harmonização das intervenções e elementos de construção com a paisagem local.

Essas funções e efeitos atendem tanto aplicações realizadas em rios e áreas ribeirinhas, como em vertentes e taludes secos (que não são influenciados constantemente por um fluxo de água).

## 2.4 Vantagens e desvantagens

De acordo com Menegazzi e Palmeri (2013), as principais vantagens e desvantagens das obras de engenharia natural, em relação às tradicionais de engenharia, são as seguintes:

### *Vantagens*

- Deformabilidade e capacidade de regenerar partes danificadas;
- Capacidade de se adaptar as mudanças ambientais;
- Redução do impacto ambiental e melhoria da qualidade ambiental;
- Geralmente mais econômicas e com melhor balanço energético;
- Funcionalidade aumenta ao longo do tempo.

### *Desvantagens*

- Menor opção de materiais;
- Parâmetros de projeto menos precisos e procedimentos construtivos ainda não padronizados;
- Períodos mais prolongados para entrar em plena funcionalidade<sup>12</sup>;
- Limites técnicos, biológicos e temporais; maior influência dos fatores ambientais;

---

<sup>12</sup> Imediatamente após a implantação de uma obra de engenharia natural a vegetação inserida ainda não desempenha a função efetiva de estabilizar o solo. A vegetação somente começa a desempenhar sua função técnica quando consegue se estabelecer no local e desenvolver um denso sistema aéreo e radicial.



- Manutenção regular e contínua por alguns anos após a execução, mesmo que com intensidade decrescente<sup>13</sup>.

## 2.5 Limites de aplicação

Uma vez que a vegetação é o principal material utilizado nas intervenções de engenharia natural, os limites de aplicação de suas técnicas estão diretamente associados às necessidades desse material. De acordo com Schiechtl e Stern (1996, 1997), materiais vivos geralmente possuem limites biológicos, técnicos e temporais de aplicação.

- *Limites biológicos* – áreas que são inadequadas para certas plantas; limites de distribuição; poluição excessiva, e demais condições que podem restringir ou impedir o desenvolvimento das plantas.
- *Limites técnicos* – a estabilização de taludes somente é possível se o substrato tem a capacidade de suportar física e quimicamente o crescimento da raiz. Os movimentos do solo em profundidade podem ser evitados somente de maneira indireta pelas intervenções de engenharia natural. Em âmbito fluvial, os limites são as velocidades de fluxo, forças de tração e turbulência excessivas;
- *Limites temporais* – os trabalhos são realizados durante o período de dormência vegetativa ou no período de crescimento das plantas.

Essas limitações realçam que as técnicas de engenharia natural não tem a função de substituir aquelas empregadas pela engenharia tradicional, mas de ser um complemento aos métodos puramente convencionais.

Com frequência existem situações em que se pode trabalhar exclusivamente com as técnicas de engenharia natural, e outras em que, por questão de segurança pública e/ou por características climáticas locais, é necessário agir de acordo com os padrões da engenharia tradicional (PROVINCIA DI TERNI, 2003).

---

<sup>13</sup> A realização obrigatória de manutenção varia conforme o tipo de obra e, em alguns casos particulares, pode ser dispensável.

Apesar das qualidades e do potencial que a disciplina apresenta, deve existir a consciência de que ela não é uma panaceia que resolverá todas as questões e problemas (BIFULCO, 2013).

## **2.6 Requisitos de projetos**

A aplicação das soluções de engenharia natural em obras de infraestrutura, indispensavelmente, precisa de um projeto para definir e hierarquizar as etapas e atividades em uma sequência de desenvolvimento. A quantidade de informações geradas nesses empreendimentos é muito grande, e por isso, é praticamente impossível manter o controle de qualidade – segurança, econômica e ambiental – sem lançar mão de um documento escrito que sirva como base de referência a ser seguida. A falta desse documento aumenta a chance de equívocos e reduz a qualidade das obras como um todo, pois fomenta a tomada de decisões subjetivas e leva os procedimentos de implantação a conclusões empíricas.

O desenvolvimento de um procedimento de projeto inicia-se pelo reconhecimento de seus requisitos. Na engenharia natural, boa parte desses requisitos são os mesmos utilizados em projetos tradicionais de engenharia, sendo que a principal diferença encontra-se nas informações relativas à vegetação, o material diferencial empregado em suas técnicas.

Conforme indicações realizadas nos trabalhos de Schiechtl (1973, 1980, 1996, 1997), Gray e Leiser (1982), Coppin e Richards (1990), Gray e Sotir (1996), Sauli et al. (2003), Cornellini e Sauli (2005), Florineth (2004), Petrone e Preti (2005), Norris et al. (2008), Menegazzi e Palmeri (2013), um projeto de engenharia natural necessita do aporte das seguintes informações para ser elaborado:

- a) Características topoclimáticas e microclimáticas do local de intervenção (temperatura, precipitações, altitude e exposição);
- b) Mapas topográficos, fotos aéreas e ortofotos (fotografias retificadas) e/ou imagens orbitais;
- c) Análise pedológica com referência às características orgânicas, químicas, físicas e hidrológicas do solo natural do local e/ou aquele disponível para a intervenção;
- d) Análise das características geológicas e geomorfológicas;
- e) Verificações geotécnica, hidráulica e hidrológica;
- f) Informações disponíveis sobre a ecologia local;

- g) Avaliação da possibilidade de interferência das intervenções em alguma infraestrutura local (pontes, estradas, etc.);
- h) Conhecimentos sobre a florística e fitossociologia da vegetação existente na área de projeto (com ênfase a avaliação das características biotécnicas<sup>14</sup> das plantas);
- i) Disponibilidade regional de materiais vegetativos vivos e mortos, bem como materiais de inertes;
- j) Características mecânicas dos materiais inertes e vivos (peso específico, resistência à tração e a compressão, módulo de elasticidade, coeficientes de atrito, resistência ao arranquio, etc.);
- k) Aspectos legais de implantação da obra (propriedade, uso, responsabilidade, etc.);

Dada à grande quantidade e diversidade de informações necessárias a elaboração de projetos de engenharia natural dispostas na literatura, torna-se necessário e fundamental que estas sejam organizadas em uma sequência racionalizada de obtenção e análise. Tal sequência deve facilitar a elaboração do projeto desde a compreensão da fenomenologia dos problemas envolvidos até a escolha e dimensionamento das técnicas mais adequadas a sua correção.

---

<sup>14</sup> São propriedades eco-morfo-fisiológicas (botânicas) que algumas espécies vegetais possuem e que desempenham funções técnicas de auxílio, direto ou indireto, no aumento da resistência e/ou redução às solicitações aplicadas aos solos dos sistemas naturais durante processos dinâmicos, sejam eles mecânicos ou hidráulicos. Pequeno porte, ramada flexível e resistente, assim como sistema radicial desenvolvido e resistente, são propriedades eco-morfo-fisiológicas que conduzem a características biotécnicas muito importantes para obras de engenharia natural. Propagação vegetativa, seminal ou o uso de mudas prontas, são exemplos de requisitos que variam conforme o tipo de obra.



### 3 PROCEDIMENTO DE PROJETO

---

O procedimento de projeto de engenharia natural para aplicação em obras de infraestrutura aqui apresentado é constituído por três etapas: a conceitual, a básica e a executiva. Essa sequência de fases é comum nas aplicações tradicionais de engenharia.

Na *fase conceitual* os problemas e os objetivos do projeto são identificados, as alternativas viáveis de tratamento são formuladas e a aquisição das informações específicas e necessárias para a elaboração das fases subsequentes é prescrita.

Na *fase básica* são selecionadas as intervenções mais adequadas, a fenomenologia do problema é estudada e considerada no dimensionamento das intervenções, os riscos, bem como as considerações estética e ecológica das intervenções, são analisadas.

Na *fase executiva* abordam-se as informações necessárias para a implantação da obra, para isso são descritas detalhadamente as atividades e serviços. Nessa fase é descrita a forma como as estruturas devem ser construídas, incluindo-se os desenhos detalhados e as plantas de projeto, são especificados o cronograma executivo e as formas de monitoramento e manutenção da obra, além disso, são especificados, quantificados e orçados os materiais e a mão-de-obra necessários para tal.

Para que as três etapas sejam plenamente desenvolvidas, existem objetivos específicos para cada uma delas que, quando cumpridos, constituem-se numa orientação objetiva e analítica no processo decisório do engenheiro.

Primeiramente, são apresentados e descritos os objetivos que devem ser alcançados em cada uma das três fases de projeto. Após isso, são definidas e descritas, em tópicos, as atividades a se realizar para atingir os objetivos de cada fase de projeto. Ao longo da seção, os tópicos principais são organizados em esquemas, e ao seu término, é apresentado um fluxograma que condensa a sequência do método de abordagem proposto (Figura 3.7).

#### 3.1 Objetivos

Cada uma das fases de projeto tem o objetivo de responder a diferentes questões durante o processo decisório envolvido na prática de engenharia natural aplicada em obras de infra-

estrutura.

### 3.1.1 Conceitual

A fase conceitual busca atingir três objetivos: identificar os objetivos do projeto, identificar as alternativas de tratamento e prescrever a aquisição de informações adicionais ao projeto. Os objetivos da fase conceitual são reunidos de forma esquemática na Figura 3.1.

#### *I – Identificar os objetivos do projeto*

O primeiro objetivo da fase conceitual é identificar, ou seja, nomear e classificar, bem como descrever qualitativamente, quais são as demandas da intervenção. É preciso identificar claramente quais requisitos técnicos (proteção, estabilização e/ou consolidação) são necessários ao sistema objeto do projeto, que, quando se trata de engenharia natural, quase sempre consiste de um sistema natural<sup>15</sup>.

#### *II – Identificar as alternativas de tratamento*

Depois de identificadas as necessidades para se alcançar a estabilidade do sistema, esse conjunto de informações constitui a base para iniciar a identificação e a escolha das alternativas de engenharia natural viáveis, que atendam aos objetivos requeridos pelo projeto. Nesta fase, a viabilidade das alternativas é analisada, contudo, apenas qualitativamente, uma vez que neste estágio ainda são incipientes as informações quantitativas sobre os processos em questão. Quando apropriado ou necessário, também podem ser formuladas novas sugestões de intervenção de modo empírico e qualitativo, principalmente quando a situação analisada tiver peculiaridades cujos requisitos não são plenamente atendidos pelos métodos de engenharia natural já estabelecidos.

---

<sup>15</sup> Como sistema natural entende-se os locais de interesse de um determinado projeto, bem como suas feições, elementos inertes e vivos e sua interação com o entorno. Podem ser citados como exemplo de sistemas naturais os ecossistemas em geral, os sistemas fluviais, as bacias hidrográficas, encostas ou vertentes, fundos de vales e qualquer um de seus subsistemas em qualquer nível desejado.

### III – Prescrever a aquisição de informações adicionais ao projeto

Para que se possa tornar analítico o estudo preliminar de viabilidade feito quando se identificam, de modo qualitativo, as alternativas com viabilidade de aplicação, é necessária a prescrição de aquisição de informações que propiciem nas próximas etapas do projeto, uma precisa fundamentação teórica. Essa prescrição constitui o terceiro objetivo da fase conceitual e compreende a descrição das informações a serem obtidas, os métodos para sua obtenção, as quantidades necessárias de dados, de ensaios, e as formas de apresentação dos seus resultados. De modo geral, esse conjunto de prescrições engloba, sem, contudo, se limitar a estes: levantamentos e ensaios de campo, laboratório, informações documentais e outros dados que se entendam necessários de acordo com a tipologia da área e as especificidades do problema.

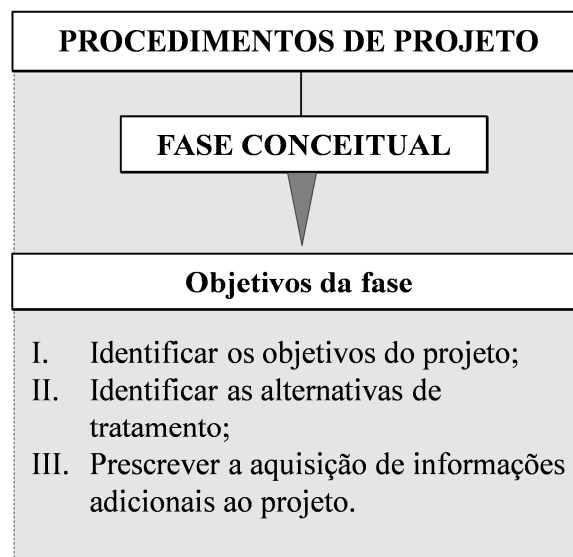


Figura 3.1 – Objetivos da fase conceitual de projeto.

#### 3.1.2 Básica

A fase básica busca atingir cinco objetivos principais: escolher a abordagem de projeto, dimensionar as intervenções, estimar os custos, analisar os riscos associados e avaliar esteticamente e ambientalmente as intervenções. Ao término desta subseção, os objetivos são reunidos em esquema na Figura 3.2.

### *I – Escolher a abordagem de projeto*

A partir das soluções apontadas na fase conceitual, o primeiro objetivo da fase básica de projeto é escolher aquela que seja a mais viável quanto aos critérios técnicos, econômicos, de exequibilidade, ecológicos, estéticos, de manutenção e de segurança. Nesta fase, este processo é conduzido analiticamente, ou seja, as inferências feitas na fase conceitual são fundamentadas por informações numéricas obtidas por cálculos específicos, baseadas em leis empíricas ou formulações analíticas que descrevam a fenomenologia identificada. O processo que envolve essa tomada de decisão é flexível, e por isso, conforme novas análises quantitativas (principalmente os dimensionamentos da fase posterior) são realizadas e diferentes condições são constatadas, a definição das alternativas pode ser adaptada ou substituída para melhor atender as necessidades de projeto.

### *II – Dimensionar as intervenções*

O segundo objetivo da fase de projeto básico é determinar a forma de intervenção, o tipo de material (vivo e/ou inerte), as dimensões, as configurações e o conjunto de todos os elementos constituintes da intervenção. A determinação desse conjunto de informações é comumente chamada de dimensionamento. É nesta etapa, portanto, que são realizados os dimensionamentos hidrológico, hidráulico, estrutural, geotécnico e vegetacional (escolha e uso de plantas com as características biotécnicas adequadas para cada tipo de intervenção em específico). Os resultados do dimensionamento também podem apontar que uma alternativa já escolhida não é a mais adequada para a correção do problema indicando que precisa ser realizada uma reconsideração na abordagem de projeto – adaptar ou substituir a técnica interventiva.

### *III – Estimar os custos*

A estimativa de custos tem por finalidade atestar a viabilidade econômica da solução tecnicamente dimensionada. Nesta fase a questão econômica é ainda avaliada de modo aproximado, sendo por essa razão denominada estimativa de custos, uma vez que somente o detalhamento executivo fornece a informação essencial para uma análise de viabilidade



econômica mais precisa. Contudo, essa estimativa é suficiente para orientar e confirmar, ou não, a escolha da(s) alternativa(s) cuja viabilidade técnica já está confirmada.

#### *IV – Analisar os riscos associados*

Mesmo que analítico, o dimensionamento de obras em sistemas naturais envolve incertezas, uma vez que estes são regidos por fenômenos complexos, erráticos e randômicos<sup>16</sup>. Assim, deve-se avaliar quantitativamente o risco associado a essas incertezas, ou seja, quais as possibilidades da obra vir a falhar no caso de uma solicitação predeterminada (solicitação tomada com base nos dimensionamentos). Essas informações remetem à segurança da obra e ao custo financeiro necessário para sua implantação, e que, por essa razão, revestem-se de importância fundamental no processo que define a escolha de uma configuração em detrimento de outra.

#### *V – Avaliar estética e ambientalmente as intervenções*

Por fim é necessário avaliar estética e ambientalmente as intervenções<sup>17</sup>, estimando-se os ganhos advindos de sua implementação. Além disso, deve-se analisar os impactos para além do ponto de intervenção e descrever a evolução da obra com o tempo e sua integração ao ecossistema<sup>18</sup> e a paisagem. Deve-se ter em mente que, mesmo nos casos onde as funções estéticas e ecológicas não são tratadas prioritariamente como objetivo do projeto, em maior ou

---

<sup>16</sup> Na engenharia natural essas considerações são mais acentuadas uma vez que o material construtivo, por ser vivo, traz mais incertezas do que as aplicações puramente com materiais inertes, tal como as realizadas em técnicas tradicionais de engenharia. Os materiais inertes manufaturados têm suas propriedades intrínsecas, principalmente de resistência, bem determinadas, e por essa razão, cálculos acurados para o dimensionamento de estruturas podem ser realizados. O conhecimento das propriedades técnicas da vegetação ainda não está nesta fase analítica, e, portanto, não permite exatamente as mesmas descrições e aplicações quantitativas.

<sup>17</sup> Os princípios orientadores da engenharia natural também apresentam finalidades não técnicas, as quais estão ligadas à composição da paisagem e contribuição aos aspectos ambientais.

<sup>18</sup> O ecossistema é a unidade funcional básica da ecologia, inclui tanto os organismos vivos quanto o ambiente abiótico onde sobrevivem (ODUM, 1985). Nesse âmbito, a engenharia natural projeta fitocenoses que gradualmente são incorporadas ao ecossistema local, possibilitando a união dos pontos fragmentados e as condições necessárias para o aumento da biodiversidade florística e faunística. Para Cornelini e Sauli (2005), a engenharia natural projeta ecossistemas paranaturais mediante o emprego de espécies vegetais de ocorrência local.

menor medida uma composição vegetal ou fitocenose<sup>19</sup>, que evoluirá e será integrada aos poucos ao ecossistema, está sendo projetada (MORGAN e RICKSON, 1995). Ecossistemas paranaturais (ou seja, que são semelhantes ao original), tais como os projetados pela engenharia natural, são sistemas dinâmicos que se desenvolvem ao longo do tempo e, por isso, previsões de sua formação e desenvolvimento devem ser realizadas.



Figura 3.2 – Objetivos da fase básica de projeto.

### 3.1.3 Executiva

A fase executiva é a última fase de projeto e busca atingir sete objetivos principais: otimizar as intervenções, detalhar as soluções, especificar os materiais, descrever os serviços, elaborar o cronograma executivo, especificar o monitoramento e a manutenção das intervenções. Ao término desta subseção, os objetivos são reunidos em esquema na Figura 3.3.

---

<sup>19</sup> Conjunto de espécies vegetais que ocupam um determinado habitat.

### *I – Otimizar as intervenções*

Uma vez dimensionadas as intervenções, o primeiro objetivo da fase executiva concentra-se na otimização das mesmas. O detalhamento torna possível que o gasto de materiais, o impacto da execução e os demais recursos envolvidos sejam minimizados. Deve-se atentar para que sejam aplicados apenas os recursos necessários para a mitigação e/ou solução dos problemas encontrados.

### *II – Detalhar as soluções adotadas*

O detalhamento minucioso das soluções adotadas compreende as descrições tipológica, de material e geométrica dos arranjos, elementos conjuntos e individuais. Essas informações também são sintetizadas em desenhos e plantas detalhadas e precisas, que constituem uma ferramenta indispensável de consulta a campo no momento da implantação. Esse detalhamento torna possível a interpretação das intervenções planejadas e dimensionadas durante as fases anteriores, e possibilita que as soluções sejam descritas, orçadas e finalmente executadas.

### *III – Especificar os materiais*

Este objetivo consiste na listagem das propriedades físicas, químicas e biológicas, bem como dos requisitos mínimos de desempenho, dos critérios de aceitação, estocagem, manuseio e emprego na obra de acordo com o tipo de material – vivo e/ou inerte – a ser empregado.

### *IV – Descrever os serviços*

A descrição dos serviços compreende tanto as atividades em si, quanto à sequência cronológica de cada etapa dos serviços. Abrange todas as etapas das obras de implantação de uma intervenção e geralmente são apresentadas na forma de um documento denominado Memorial Descritivo.

#### V – *Elaborar o cronograma e o orçamento*

A descrição dos serviços constitui a base para a elaboração do cronograma de atividades e também de orçamento que inclua os custos dos materiais e das atividades necessárias para a implantação das obras. O cronograma planifica o tempo necessário para elaboração das atividades que envolvem a execução dos trabalhos, bem como define a época do ano mais apropriada para a implantação, considerando as necessidades fisiológicas dos materiais vivos utilizados. No orçamento são especificados os custos e valores unitários e totais de todas as atividades, serviços e materiais que a obra necessita para ser executada.

#### VI – *Especificar o monitoramento*

A especificação do monitoramento se constitui em mais um objetivo relacionado à dinâmica do ecossistema. A especificação do monitoramento tem a função de garantir que o conjunto de estruturas constituídas pela associação de elementos estruturais inertes e vivos evolua conforme o esperado. Deve-se assegurar que as estruturas inertes (que conferem a estabilidade inicial ao terreno e suporte a vegetação) mantenham sua integridade por tempo suficiente – no mínimo – ao estabelecimento do material vivo, que passa, então, a assumir a função de estabilização e/ou consolidação da área afetada. Assim, a importância do monitoramento reside no diagnóstico das inconformidades encontradas imediatamente após a instalação das intervenções, bem como as encontradas ao longo do processo de estabelecimento do sistema dinâmico implantado. O atendimento desses requisitos fornece as bases necessárias para que as atividades de manutenção possam ser planejadas, seja em caráter emergencial ou de rotina periódica e pré-programada. Para isso são definidos prazos, periodicidade e as ações que devem ser realizadas durante as verificações *in situ*.

#### VII – *Especificar a manutenção*

A manutenção tem o objetivo de garantir que todos os trabalhos planejados e executados, mantenham sua qualidade no período imediatamente posterior às obras, bem como mantenham ou mesmo propiciem o aumento gradual das qualidades do sistema dinâmico implantado.

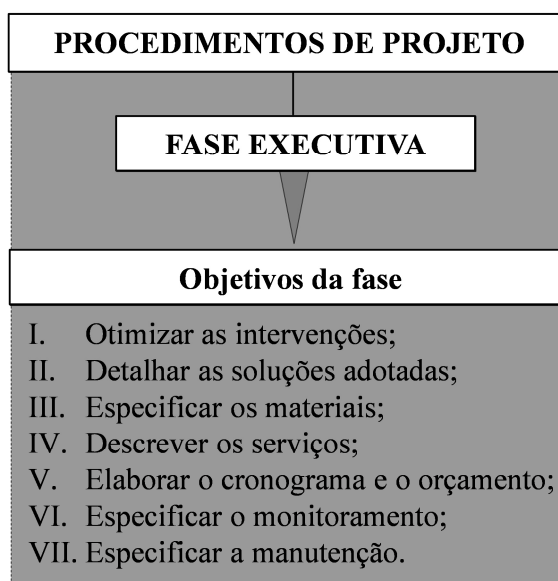


Figura 3.3 – Objetivos da fase executiva de projeto.

## 3.2 Atividades de projeto

A identificação da relação entre atividades e ações práticas das fases de projeto e os seus objetivos é indispensável para a elaboração de uma metodologia hierarquizada de projeto. Portanto, uma vez que os objetivos específicos de cada fase estejam definidos, é necessário analisar quais atividades devem ser desenvolvidas para que os mesmos sejam alcançados. Com esse intuito, as atividades correspondentes aos objetivos das três fases de projeto – conceitual, básica e executiva – são detalhadas e, ao final de cada uma, são identificados os respectivos produtos gerados, ou seja, as informações resultantes.

### 3.2.1 Conceitual

Para atender aos objetivos dessa fase as seguintes atividades são desenvolvidas: visita de avaliação em campo, medições expeditas de campo, análise de informações de escritório, análise qualitativa da fenomenologia, identificação e formulação das intervenções e especificação dos mecanismos de aquisição de informações detalhadas. Ao término desta subseção, as atividades são reunidas em esquema na Figura 3.4.

*i – Avaliação inicial em campo*

Observar as feições do problema, as características do local e do entorno, perceber as interações dessas características com os processos desencadeados, bem como avaliar as condições da bacia hidrográfica ou área de contribuição que o problema envolve. Observar as características da vegetação local buscando identificar, ou não, a ocorrência de espécies com propriedades biotécnicas comprovadas ou com características potenciais para a aplicação em obras de engenharia natural. Caso sejam encontradas, verificar a possibilidade de coleta de material vegetativo em quantidade suficiente para a aplicação direta, ou se existe necessidade de propagar maior quantidade em local apropriado. Caso não sejam identificadas *in situ* espécies com atributos biotécnicos necessários para as aplicações, devem ser buscadas informações sobre espécies regionais. As espécies devem ser nativas e preferencialmente ocorrer na mesma região fitoecológica e/ou bioma. Observar também se nas proximidades existe a disponibilidade de materiais inertes (madeira, rochas, cascalho, etc.) que prontamente possam ser utilizados nas intervenções. Informações preliminares como essas fornecem indicadores de quais intervenções podem ser empregadas e que recursos necessariamente devem ser mobilizados para a realização da obra.

*ii – Medições expeditas de campo*

Embora a fase conceitual seja essencialmente qualitativa, medições expeditas realizadas em campo constituem uma orientação inicial para o engenheiro compreender a fenomenologia e as relações que são responsáveis pelos processos desencadeados. Como medições expeditas citam-se, por exemplo, as avaliações de gradientes de margens de rios e encostas, estimativas de velocidades e vazões de escoamento, medições das feições erosivas e a caracterização tátil-visual da textura dos solos.

*iii – Análise de informações documentais*

Essa atividade consiste em coletar e reunir informações em documentos existentes que auxiliem na caracterização dos processos e também da área e seu entorno, tais como:

relatórios prévios, imagens de satélite, bases cartográficas, dados climáticos e bancos de dados de órgãos públicos e/ou privados. Também podem ser reunidas – se disponíveis – informações de séries históricas de dados hidrológicos, uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, bem como de geologia, geomorfologia, sedimentologia do curso de água e informações prévias sobre a vegetação local com potencial biotécnico (espécies ocorrentes e localização). Informações que não são séries históricas, e que não estão disponíveis, devem ser obtidas em atividades específicas *in situ*.

#### *iv – Análise qualitativa da fenomenologia*

Com base nas informações obtidas nas atividades anteriores são identificados os objetivos técnicos do projeto, ou seja, são definidas as propriedades de engenharia do sistema natural envolvido que precisam ser corrigidas por meio de proteção, estabilização e/ou consolidação. Como exemplos dessas propriedades podem ser destacados os aspectos relativos ao solo (o tipo de textura, a desagregação, a cobertura superficial, diagnóstico visual da estabilidade, etc.), ao escoamento (o regime de fluxo e os pontos onde este afeta a estabilidade das margens) e ao transporte de sedimentos (dimensão das partículas transportadas). A análise conjunta dessas propriedades propicia as bases necessárias para descrição qualitativa do problema encontrado e é indispensável para a formulação inicial das intervenções que possam atender as necessidades diagnosticadas.

#### *v – Identificação e formulação das intervenções*

Com base nas necessidades identificadas na análise qualitativa da fenomenologia, podem ser listadas as possíveis formas de tratamento utilizando-se técnicas de engenharia natural para tratar o problema. Para isso, são levados em conta os seguintes fatores:

- Atendimento aos requisitos técnicos – procurar esquemas construtivos constituídos por materiais inertes e vivos cuja associação responda as necessidades requeridas, com a mínima alteração possível do ambiente;

- Atendimento aos requisitos não técnicos – considerar as funções ecológicas e estéticas que devem ser agregadas ao projeto de acordo com a área de implantação (zona rural ou urbana, ambiente natural ou alterado);
- Restrições quanto aos materiais – identificar a disponibilidade local de materiais inertes e vivos, bem como a interação entre eles (como podem ser utilizados em conjunto). Sempre que possível utilizar materiais de ocorrência local ou regional (um dos princípios guia da engenharia natural), recorrendo-se a fontes externas apenas em situações necessárias (ausência local materiais vivos ou inertes).
- Restrições quanto ao ambiente – condições de desenvolvimento do material vivo, conservação dos materiais inertes e vivos e manutenção das combinações entre estes;
- Restrições econômicas – avaliação da mão de obra, dos materiais, da execução, da manutenção – a partir dessa avaliação prévia, optar por soluções economicamente justificáveis;
- Restrições de impacto ambiental – avaliação dos impactos dentro e fora dos limites do local de intervenção, limitando-se à escolha das alternativas qualitativamente definidas como menos impactantes;
- Restrições locais – existência de infraestrutura ou benfeitorias, ocupação humana, e quaisquer outros objetos ou condições locais que limitem as intervenções previstas.

vi – *Especificação dos mecanismos de aquisição de informações detalhadas*

O último objetivo da fase conceitual diz respeito à prescrição específica dos métodos de aquisição de informações em nível quantitativo que são utilizadas nas próximas fases de projeto. Essas informações devem ser listadas em conformidade e em complemento às informações qualitativas já obtidas, também devem ser evidenciados o grau de exatidão e detalhamento, suas quantidades, locais e formas de obtenção. De modo geral, a prescrição quantitativa abrange levantamentos topográficos, ensaios geotécnicos, levantamentos



florísticos, fitossociológicos e faunísticos (quando for o caso), análises químicas e físicas do solo, obtenção de séries históricas de dados hidrológicos, etc.

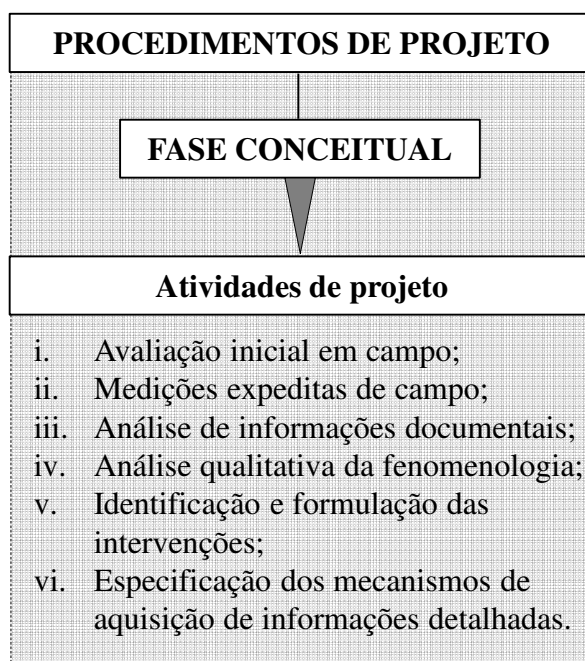


Figura 3.4 – Atividades da fase conceitual de projeto.

### *Produtos da fase conceitual*

Ao final da fase de projeto conceitual as seguintes informações são geradas: relatório conceitual com fotografias, esquemas e descrição dos objetivos, descrição qualitativa dos fenômenos e apresentação e descrição das possíveis alternativas de correção dos problemas fazendo uso de imagens e/ou plantas esquemáticas.

### 3.2.2 Básica

Para atender aos objetivos dessa fase as seguintes atividades são desenvolvidas: análise quantitativa da fenomenologia, definição das medidas de tratamento, dimensionamentos, consideração e avaliação dos critérios ambientais e estéticos. Ao término desta subseção, as atividades são reunidas em esquema na Figura 3.5.

*i – Análise quantitativa da fenomenologia*

A partir das informações adquiridas nos levantamentos quantitativos são realizadas as análises específicas do local e dos problemas encontrados para a obtenção de modelos que expliquem o comportamento e levem a um entendimento das causas dos problemas. Os principais agentes e suas propriedades, bem como os processos em que estes atuam precisam ser identificados e caracterizados. Para isso, as condições hidrológicas da bacia hidrográfica são consideradas para um tempo de retorno consistente aos objetivos do projeto e associadas às suas condições físicas também determinadas. Determinam-se as condições hidráulicas do canal, bem como as condições geotécnicas<sup>20</sup> e edafológicas<sup>21</sup> do solo local. Esses fatores são associados e analisados conjuntamente, e, então, são realizadas as inferências acerca da fenomenologia, da criticidade e da evolução dos processos desencadeados. Por meio da análise explicitada, se alcança o entendimento das causas do problema, e pode-se então definir as soluções tecnicamente mais apropriadas e as variáveis para atender os objetivos de correção requisitados.

*ii – Definição das medidas de tratamento*

A compreensão analítica da fenomenologia, da criticidade e da evolução dos processos desestabilizantes do sistema natural objeto do projeto possibilita a escolha definitiva das soluções de tratamento, pois fornece critérios de escolha. A definição das medidas de tratamento deve ser fundamentada nas informações qualitativas obtidas na fase conceitual, mas, principalmente nos parâmetros quantitativos reunidos durante as atividades de projeto básico. As informações específicas advindas de análise quantitativa quanto a aspectos hidrológicos e hidráulicos, condições do solo (estabilidade mecânica e suporte para as plantas), diagnóstico de recomposição e estabilização de leito e/ou taludes, somadas ao conhecimento da disponibilidade regional de materiais inertes e vivos adequados, informações

---

<sup>20</sup> Ramo da engenharia que faz uso da mecânica de solos e das rochas (descreve a resposta das massas aos sistemas de força) para encontrar soluções de planejamento, projeto, construção e operação de obras que envolvem fundação de construções sobre materiais inalterados (escavações e cortes) ou ainda o uso dos materiais terrosos e rochosos como matérias-primas para a construção (preenchimentos e aterros) (SOWERS, 1979).

<sup>21</sup> O termo edafologia (do grego *edaphos* = terra ou terreno) é algumas vezes usado como sinônimo de pedologia aplicada ao estudo do solo, sendo este entendido como o meio onde se cultivam as plantas (LEPSCH, 2002) – tem, por essa razão, relação direta com as disciplinas que tratam dos cultivos florestais e agrícolas.

qualitativas da ecologia da paisagem (florística, fitossociologia e fauna quando for o caso), bem como a estimativa prévia dos custos associados, compõem as medidas gerais para a escolha definitiva dos tratamentos que serão implantados. Em resumo, todas as informações levantadas na fase qualitativa (conceitual) são complementadas pelas informações da fase quantitativa (básica), constituindo os fundamentos necessários para a escolha da(s) medida(s) mais adequada(s) de tratamento dos problemas conforme as exigências ambientais, econômicas e de segurança de cada projeto.

### iii – *Dimensionamento*

Nesta etapa determinam-se as solicitações para possibilitar o dimensionamento das estruturas, dos elementos e de seus arranjos, inclusive considerando-se as estimativas de custos, níveis de segurança e desenvolvimento da vegetação e seus efeitos. As intervenções são dimensionadas e modeladas de acordo com as solicitações mais desfavoráveis encontradas tanto na situação atual quanto nos cenários de evolução durante toda a vida útil do sistema natural projetado.

A partir do momento que a demanda crítica (solicitação mais desfavorável) for determinada, têm-se então, as bases para o dimensionamento das estruturas interventivas, respeitando-se que: os esforços máximos<sup>22</sup> nas estruturas, elementos e arranjos utilizados devem ser menores ou iguais aos esforços admissíveis. Para isso são necessárias análises hidrológica, hidráulica, geotécnica e da vegetação. São essas informações que possibilitam projetar estruturas e configurações compatíveis à resolução do problema. É ainda com essa atividade que se alcança o objetivo de estimar os riscos, quer pelos tempos de retorno, probabilidades de falha ou fatores de segurança para todos os períodos representativos da vida útil de uma estrutura<sup>23</sup>.

---

<sup>22</sup> Fala-se aqui de modo generalizado quanto aos esforços, não só os puramente mecânicos, ou mesmo os hidromecânicos, mas sempre as solicitações que os processos naturais extremos (normalmente chuvas intensas) impõem aos sistemas naturais (sistemas fluviais representados pelo curso de água e seus componentes ecossistêmicos bióticos e abióticos), o que os obriga a encontrar novas configurações de equilíbrio (novos leitos de fluxo onde prevaleça a menor quantidade de energia).

<sup>23</sup> A vida útil de uma intervenção de engenharia natural é indeterminada, pois a vegetação se estabelece e continua a se desenvolver ao longo dos anos e a proporcionar melhorias às condições que fornecem proteção aos sistemas naturais. Determinável ou estimável, através de um tempo de retorno (TR), por exemplo, é a vida útil de estruturas inertes que complementam as intervenções fornecendo as condições necessárias de estabilidade enquanto as plantas estão em processo de desenvolvimento. As estruturas associadas que são protegidas pelas intervenções de engenharia natural, tais como estradas, pontes, gasodutos, etc., também são construídas com base em uma estimativa de durabilidade.

O dimensionamento, neste caso, resulta da aplicação das leis de equilíbrio para um sistema dinâmico. As combinações de solicitações que refletem situações de instabilidade podem ser diversas. Deste modo, procura-se não somente dimensionar estruturas resistentes aos estágios em que as solicitações são as mais desfavoráveis, mas que também tenham graus de liberdade<sup>24</sup> suficientes para acomodar apropriadamente as configurações de equilíbrio que um sistema dinâmico apresenta ao longo do tempo.

Por fim, com os dimensionamentos realizados, os custos da obra podem ser estimados e a solução adotada pode ser avaliada quanto a sua viabilidade econômica. Além disso, torna-se possível afirmar se os níveis de segurança são aceitáveis ou não, bem como realizar previsões da ação da vegetação ao longo do tempo.

#### *iv – Consideração e avaliação dos critérios ambientais e estéticos*

As obras de engenharia natural, além de corrigirem a instabilidade dos solos pelo aumento da sua resistência e redução do impacto das solicitações sobre os mesmos, também proporcionam o aumento gradual da qualidade ambiental da área tratada. Para amplificar as qualidades da obra para além dos aspectos econômicos e de segurança, os critérios ambientais e estéticos devem ser considerados.

Os projetos devem satisfazer condições que vão desde o uso preferencial de um conjunto diversificado de espécies vegetais autóctones<sup>25</sup> da região de intervenção, até à formulação de combinações que se assemelhem, ou muito se aproximem, da paisagem potencial do local, fornecendo as condições iniciais necessárias para o aumento da biodiversidade natural. Em larga medida, deve-se evitar o que é estranho ao ambiente local e que segundo os preceitos ecológicos pode ser prejudicial às interações ocorrentes no meio, como por exemplo, o uso de espécies vegetais invasoras (normalmente exóticas) que podem reduzir a biodiversidade do ambiente<sup>26</sup> tratado. Em engenharia natural os aspectos técnicos, ambientais e estéticos não se dissociam e, portanto, a avaliação das obras deve atentar para a constituição de um ambiente que possibilite o desenvolvimento e a diversidade da biocenose (flora e fauna).

---

<sup>24</sup> Trata-se de um acréscimo de segurança flexível as condições de equilíbrio que normalmente ocorrem ao longo do tempo em sistemas dinâmicos, tais como os cursos de água e suas áreas de influência.

<sup>25</sup> Vegetação que tem sua origem na região onde é encontrada (HOUAISS, 2004).

<sup>26</sup> Reduzir a biodiversidade do ambiente significa reduzir os graus de liberdade na manutenção do equilíbrio dinâmico.

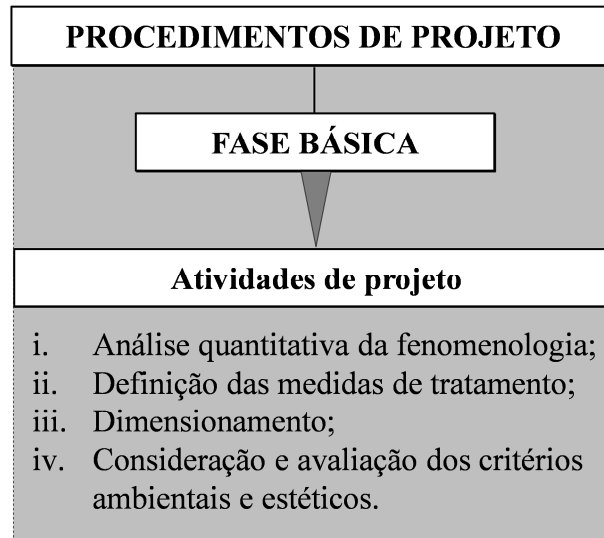


Figura 3.5 – Atividades da fase básica de projeto.

### *Produtos da fase básica*

Ao final da fase de projeto básico as seguintes informações são geradas: memorial de cálculo que descreve os fenômenos e o ecossistema envolvido de modo quantitativo (aspectos morfométricos da bacia hidrográfica, hidrologia, hidráulica do canal e vegetação), apresentação dos modelos de intervenção e os cálculos de dimensionamento (hidráulico, geotécnico, estrutural, riscos associados, configuração e fatores de segurança das estruturas) acompanhados das plantas esquemáticas das intervenções (somente a forma inicial e parcialmente desenvolvida, uma vez que plantas e desenhos detalhados e com especificações fazem parte do projeto executivo).

### 3.2.3 Executiva

Para atender aos objetivos dessa fase as seguintes atividades são desenvolvidas: detalhamento das soluções, serviços, cronograma de implantação e orçamento, monitoramento e manutenção. Ao término desta subseção, as atividades são reunidas em esquema na Figura 3.6.

*i – Detalhamento das soluções*

Definidas e dimensionadas as estruturas que compõem as intervenções de engenharia natural, pode-se então, realizar o detalhamento de cada uma delas, atentando para a otimização, especificação e quantificação dos materiais necessários para que sejam construídas. Nesta etapa é realizada a descrição minuciosa de cada estrutura, especificando cada tipo de material que a compõe (ex.: madeira, vergalhões de aço, pregos, grampos, material vegetal [estacas, mudas, estolões, rizomas, bulbos, sementes], etc.), e ao mesmo tempo, se descreve como exatamente cada uma deve ser implantada, indicando-se sequencialmente o procedimento de instalação, inclusive com a elaboração de desenhos e plantas com as medidas e localização detalhadas e em escala de cada intervenção na área de trabalho.

Esse detalhamento fornece as bases necessárias para que as intervenções sejam orçadas e o cronograma para sua implantação seja constituído (pois se identifica o tamanho e o grau de complexidade que influenciam diretamente no tempo dispensado à construção). Do mesmo modo, são fornecidas as informações necessárias à execução e a posterior fiscalização da obra. O detalhamento das intervenções ao nível em que técnicos alheios ao processo de elaboração do projeto possam compreendê-lo e realizá-lo autonomamente se reveste de fundamental importância para a execução bem sucedida de uma obra, pois nem sempre o projetista (que participa de todas as fases de elaboração do projeto) pode estar presente para prestar esclarecimentos durante as atividades de execução.

*ii – Serviços*

Os serviços são listados por categorias abordando-se os materiais, as atividades e equipamentos que são utilizados na execução. São apresentados e descritos os serviços iniciais (preparo e limpeza da área, canteiro e atividades de apoio, obras provisórias de controle de erosão e sedimentos), serviços auxiliares (terraplanagem, desmonte de rochas, etc.), serviços de implantação das intervenções propriamente ditas, serviços complementares às estruturas principais de estabilização (tal como estruturas de drenagem), serviços finais (limpeza final, recomposição de áreas afetadas pelo trânsito de veículos e equipamentos de construção, e do canteiro de obra), plano de monitoramento e manutenção de estruturas inertes e material vivo.

### iii – Cronograma de implantação e orçamento

Na definição do cronograma são previstas todas as atividades relacionadas à execução da obra considerando-se o período mais adequado para cada atividade e o tempo de duração das mesmas. Como as intervenções são realizadas com material vivo – muitas vezes estacas de plantas – deve-se ter especial atenção, sempre que possível, para realizá-las durante o período de dormência vegetativa, pois assim o índice de pega e enraizamento pode alcançar maior êxito<sup>27</sup>. Quando não realizadas com estacas, mas com mudas ou sementes, a amplitude temporal de execução das intervenções pode ser um pouco maior, especialmente se houver recurso à irrigação.

Todos os serviços apresentados no item anterior devem ser organizados sequencialmente de acordo com as atividades que são pré-requisitos para outras de modo a facilitar o processo e evitar erros grosseiros de logística e/ou implantações em períodos desfavoráveis. No que diz respeito ao orçamento, o computo minucioso de valores reais de mercado deve ser condizente a tudo o que for mobilizado para a realização da obra, seja material, maquinário ou pessoal. Esse conhecimento é imprescindível para avaliar a viabilidade financeira da execução, bem como para realizar a programação financeira do órgão responsável pela contratação dos serviços e evitar inconformidades que podem interromper o bom andamento da obra. O licenciamento ambiental e demais trâmites legais junto aos órgãos competentes são imprescindíveis para que as datas de execução das atividades sejam estabelecidas e, portanto, devem ser realizados com antecedência. Os pedidos de licença devem ser encaminhados já nas primeiras fases de projeto. Normalmente o projeto conceitual é suficiente para os esclarecimentos exigidos pelos órgãos ambientais.

### iv – Monitoramento e manutenção

Ambas as atividades são interdependentes e realizadas *in situ*. O monitoramento avalia as condições da obra como um todo, a partir da análise individual e conjunta dos componentes inertes e vivos, sendo que sua periodicidade de realização é consistente aos objetivos da obra. As atividades de manutenção, por sua vez, dependem dos diagnósticos realizados durante os

---

<sup>27</sup> O maior índice de pega pode ser explicado pelo fato das reservas nutricionais de uma planta, no período de dormência, estarem disponíveis ao mesmo tempo e em maior quantidade para a emissão de raízes e brotos. O contrário ocorre com as estacas coletadas na primavera, quando parte das reservas da planta já foram disponibilizadas para a emissão de novas raízes, brotos e floração.

monitoramentos para constituir as diretrizes de abordagem das inconformidades (se estas existirem) e correção das mesmas, buscando retornar as condições previstas em projeto.

A periodicidade de monitoramento da obra geralmente deve ser ajustada ao atendimento das necessidades das plantas utilizadas nas intervenções. Isso ocorre porque as plantas dependem de maiores cuidados iniciais para garantir o seu estabelecimento do que as estruturas inertes que, ao serem implantadas, têm condições praticamente imediatas de atender às solicitações para que foram dimensionadas.

No primeiro mês pós-implantação, a vegetação encontra-se em processo de adaptação ao novo ambiente ao qual foi inserida e, por isso, os monitoramentos necessariamente devem ter frequência semanal (uma ou mais vezes). O período inicial é o mais crítico ao estabelecimento vegetação. Uma vez constatada a pega da vegetação e também sinais de seu desenvolvimento (normalmente no segundo mês isso é bastante visível) o monitoramento pode ter sua frequência reduzida (mas não suspensa) a um número que corresponda ao comportamento da vegetação ou aos acontecimentos que podem interferir em seu estabelecimento (no mínimo duas visitas ao ano, uma na estação seca e outra na estação das chuvas). Sempre que ocorrer um evento climático extremo (evento pluviométrico intenso, seca, etc.) ou ataque de insetos (especialmente formigas) o monitoramento deve ser imediatamente reajustado (antecipado e intensificado). Deve-se ter em mente que os monitoramentos são realizados simultaneamente para os elementos vivos e inertes que compõem as intervenções.

No monitoramento das estruturas inertes avalia-se a integridade estrutural, o aparecimento de sinais e pontos de fraqueza que antecedem ou indicam uma ruptura, a ruptura propriamente dita, o surgimento de processos erosivos ou qualquer inconformidade capaz de enfraquecer a estrutura tornando-a instável ou que inviabilize o seu funcionamento conforme a finalidade para qual foi projetada. Quanto à vegetação, todas as espécies plantadas ou semeadas devem ser verificadas quanto à sobrevivência, sanidade (alterações fisiológicas causadas por pragas, deficiência nutricional ou hídrica) e desenvolvimento (avaliação do diâmetro de caule e ramos e altura total por meio de procedimentos de amostragem que represente todo o plantio, ou seja, apenas parte das plantas são medidas). Com base nessas informações são realizadas as devidas apurações e registros manuscritos e fotográficos das inconformidades para possibilitar o planejamento das atividades de manutenção. Os registros fotográficos devem ser realizados sempre a partir de ponto fixos da obra, para possibilitar comparações cronológicas e avaliar a evolução das intervenções e a interação entre elementos



inertes e vivos. As inconformidades diagnosticadas devem ser fotografadas em detalhes de modo a representar as características do problema.

Na manutenção, quaisquer inconformidades que possam resultar na instabilidade das estruturas inertes devem ser corrigidas, assim como as plantas que morrem (novo plantio ou semeadura), não se desenvolvem (correção na irrigação, adubação de manutenção, cuidado com as pragas) ou se desenvolvem excessivamente (raleio ou poda) também devem ser devidamente tratadas.

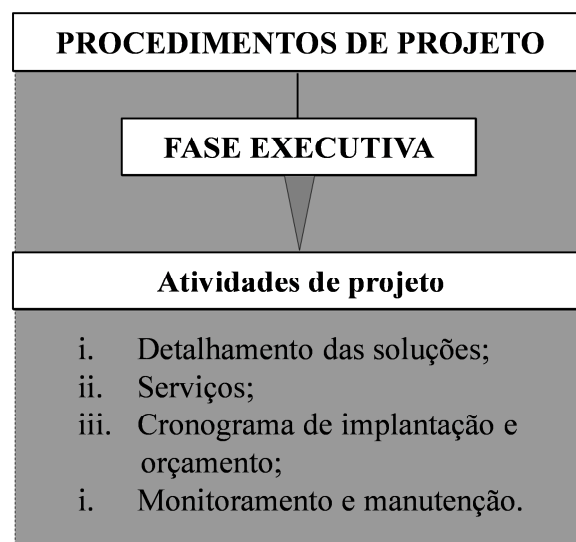


Figura 3.6 – Atividades da fase executiva de projeto.

#### *Produtos da fase executiva*

Ao final da fase de projeto executivo é gerado o documento denominado Memorial Descritivo, onde constam as seguintes informações: atividades auxiliares, materiais utilizados, forma como devem ser construídas as estruturas, diretrizes do monitoramento e ações de manutenção, previsão de execução das atividades, custos unitários e totais de materiais e atividades, desenhos explicativos e plantas executivas.

*Resumo do processo*

Ao longo da seção 3, os tópicos principais compostos por objetivos e atividades foram organizados em esquemas, através dos quais, agora é possível formar um fluxograma que condensa a sequência da metodologia proposta. A Figura 3.7 realiza essa compilação.

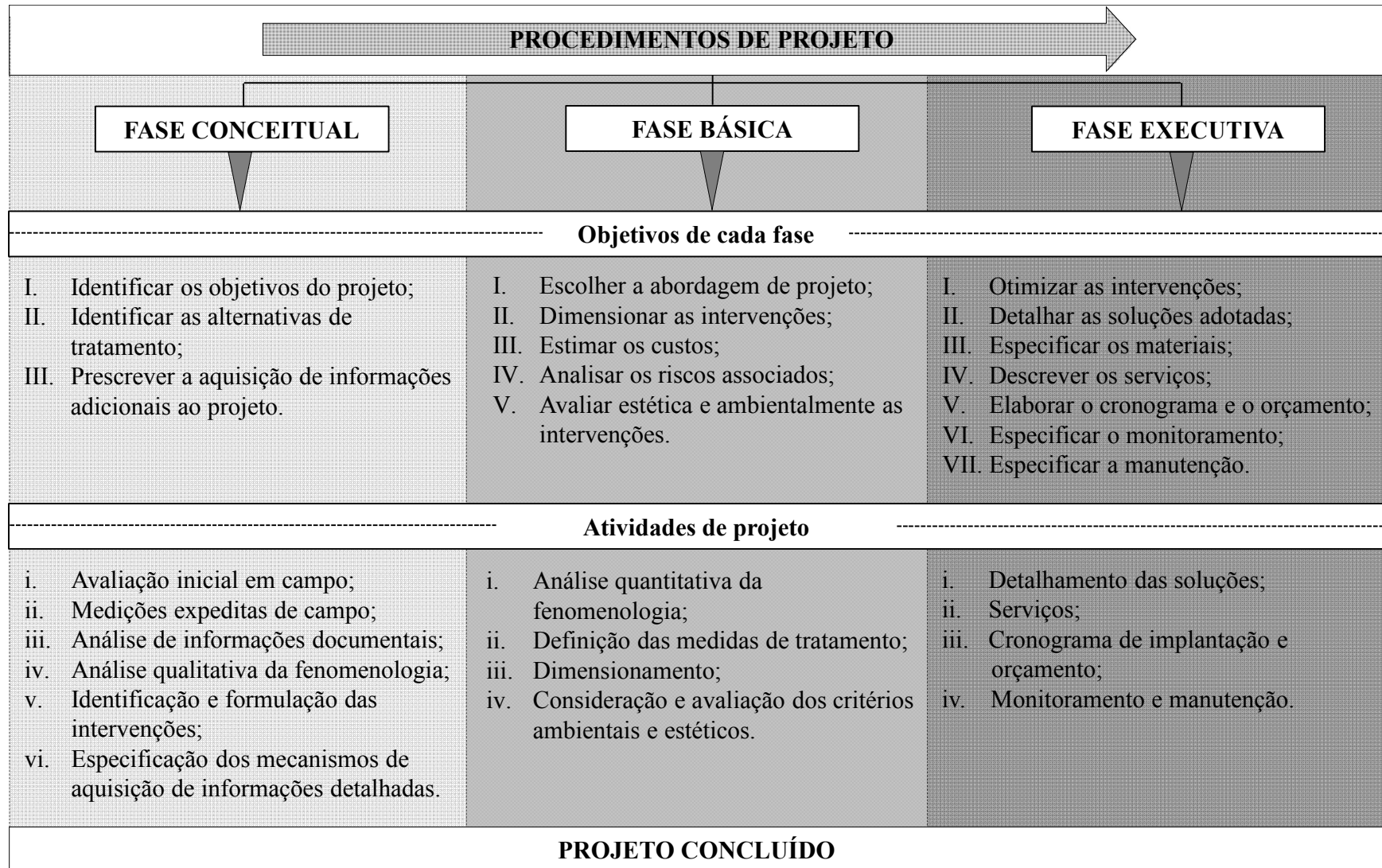


Figura 3.7 – Fluxograma dos procedimentos gerais de projeto.

Nesta seção apresentou-se a proposta geral de elaboração de projetos de engenharia natural para aplicação em obras de infraestrutura. Na sequência é apresentado o exemplo de projeto elaborado a partir do método proposto. O exemplo trata de problemas desencadeados por processos erosivos em travessia de dutos, incluindo desde a abordagem dos problemas até a adoção das tratativas mais adequadas a sua correção.

## 4 PROJETOS NA INFRAESTRUTURA DUTOVIÁRIA

---

A implantação de dutovias envolve impactos consideráveis nas áreas onde as faixas de dutos são implantadas. A degradação gerada pelos serviços de construção e montagem de dutos é mitigada pelas atividades de recuperação ou reabilitação (ABNT NBR 10703, 1989) que são empregadas antes, durante e após as obras. Essas medidas recebem o nome de recomposição de faixas, que além da reabilitação ambiental, buscam atender as questões de segurança exigidas para a operação dos dutos.

O principal objetivo da recomposição de faixas, que envolve atividades de sinalização, cobertura mínima dos dutos, recobertura vegetal, estabilização geotécnica, entre outras, é manter a integridade dos dutos. As soluções de engenharia natural podem ser utilizadas como alternativas para a prevenção e/ou correção de problemas decorrentes de processos de perda de estabilidade dos solos que afetam, inclusive, as áreas de travessias de dutos.

As travessias são pontos onde os dutos cruzam rios, lagos, açudes, canais e áreas permanentemente ou eventualmente alagadas ou por onde a passagem do duto é necessariamente aérea (PETROBRAS N 2726, 2012). Esses locais são condicionados pela dinâmica fluvial, e frequentemente são modificados pela instabilidade de leitos e taludes constituindo situações de risco à integridade dos dutos e também, eventualmente, dos cabos de fibra ótica que compartilham as mesmas faixas.

As travessias de dutos podem ser implantadas de duas formas: aéreas ou submersas. Travessias aéreas são constituídas geralmente por pontes onde os dutos ficam expostos e suscetíveis às solicitações externas. Já as travessias submersas são realizadas por furos direcionais ou cavalotes. Furos direcionais consistem na perfuração de um furo-guia onde o segmento de duto é inserido. Os cavalotes consistem na abertura de uma vala no leito, na qual o duto é acomodado e envolto por uma camada de concreto armado que evita a sua movimentação sendo a vala e o duto, em seguida, recobertos com solo. A grande maioria dos problemas de exposição de dutos por erosão de leitos e taludes ocorre nas travessias realizadas por cavalotes.

A seguir, um exemplo de projeto de engenharia natural em área de travessia de dutos terrestres é utilizado para demonstrar como a metodologia de projeto proposta pelo presente trabalho pode ser empregada.

Inicialmente apresenta-se a localização e os aspectos gerais da área de projeto e, em seguida, o exemplo é apresentado considerando os seus três projetos constituintes: conceitual, básico e executivo.

#### 4.1 Localização e aspectos gerais da área de estudo

O projeto foi elaborado no ano de 2012 em área que constitui faixa de servidão de transporte dutoviário de gás no estado do Espírito Santo, região sudeste do Brasil. A área de estudo localiza-se especificamente em um trecho da faixa nas coordenadas 28°16'41,36" Sul e 40°27'37,06 Oeste, a aproximadamente 106 msnm<sup>28</sup>, no município de Cariacica (Figura 4.1).

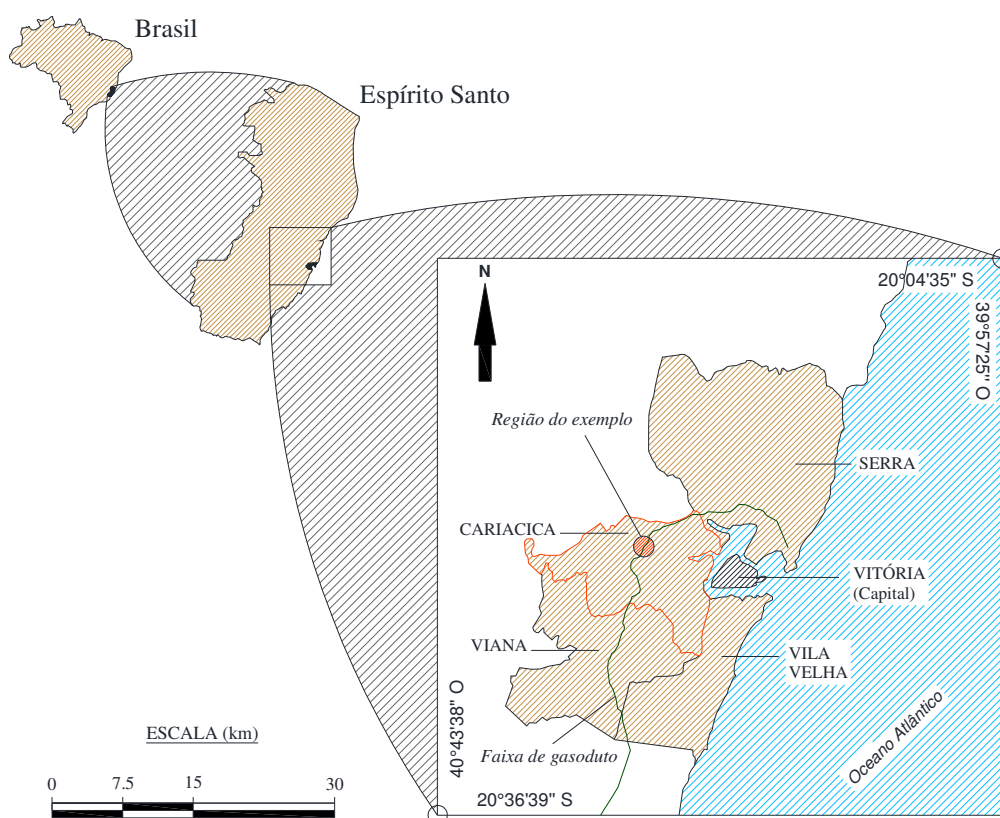


Figura 4.1 – Localização da região de estudo no município de Cariacica, ES, Brasil.

Fonte: Adaptado de TRANSPETRO (2012).

<sup>28</sup> Metros sobre o nível do mar.

O gasoduto, objeto principal das obras de proteção e recuperação da área, tem 71,12 cm (28”) de diâmetro e, exceto nos pontos problemáticos, está enterrado a uma profundidade que varia entre 1,0 e 1,5 m<sup>29</sup> (PETROBRAS N 464, 2012), com extensão total de 300 km. A capacidade de transporte projetada é de 20.000 m<sup>3</sup> de gás natural por dia, extraído de áreas de produção *off-shore*<sup>30</sup> do sul do Espírito santo e da Bacia de Campos, no Rio de Janeiro (PETROBRAS TRANSPORTES S.A., 2012).

O relevo da região caracteriza-se pela ocorrência de terrenos planos e ondulados. Na área em estudo, especificamente, ocorre um estreitamento da faixa plano-ondulada devido à influência da serra do mar (nomeadamente, Serra do Castelo), formando vales encaixados e rampas muito íngremes (GAVASSONI et al., 2009).

O clima da região é classificado como é tropical Aw (KÖPPEN, 1948), com temperatura média anual de 24,2 °C, e estação chuvosa bem definida entre os meses de outubro e janeiro com média pluviométrica mensal de 106,00 mm (EMBRAPA, 2013).

## 4.2 Exemplo de aplicação

Este estudo de caso trata da correção de problemas erosivos, em travessia de dutos, desencadeados por eventos pluviométricos intensos ocorridos no início do ano de 2012. Os eventos resultaram na perda de cobertura do gasoduto (que ficou praticamente exposto) e na exposição dos cabos óticos associados ( Figura 4.2).

---

<sup>29</sup> Essa profundidade é mantida em toda a extensão do gasoduto. Sempre que constatada uma profundidade menor ou exposição do gasoduto, intervenções de regularização são realizadas.

<sup>30</sup> Extração de petróleo a partir de uma plataforma no mar.



Figura 4.2 – Problemas desencadeados na área de projeto.

A seguir apresenta-se a forma como os objetivos que constituem o desenvolvimento dos projetos conceitual, básico e executivo foram atendidos para solucionar os problemas.

#### 4.2.1 Projeto conceitual

Na fase conceitual conforme a metodologia desenvolvida na seção 3 deve-se identificar os objetivos do projeto, as alternativas de tratamento e prescrever a aquisição de informações adicionais necessárias ao desenvolvimento dos demais projetos.

##### I – Identificação dos objetivos do projeto

Por meio da análise qualitativa da situação e diante das obrigações exigidas da transportadora do gasoduto pela ANP (Agência Nacional do Petróleo) através do Regulamento de Dutos Terrestres (RTDT, 2010), evidencia-se a necessidade de estabilização do trecho conferindo proteção ao gasoduto e também aos cabos óticos expostos. Para isso, a área degradada precisa ser recuperada e as características dos taludes fluviais e de drenagem do entorno devem ser melhoradas. Isso se justifica uma vez que os taludes encontram-se instáveis e desprovidos de cobertura vegetal adequada para diminuir a energia do fluxo, bem



como pela inclinação do leito, que atualmente busca equilíbrio através do escavo do fundo, o que põe em risco a segurança do duto.

Essas necessidades devem fundamentar a identificação das alternativas de tratamento e solução dos problemas, feitas de modo qualitativo na fase conceitual do projeto.

## II – *Identificação das alternativas de tratamento*

O duto encontra-se esconso ao curso de água e começa a funcionar, pela exposição parcial no fundo do leito, como um ressalto de fundo. Essa situação tende a aumentar a perda de cobertura do duto e também dos cabos óticos uma vez que aumenta o turbilhonamento da água, potencializando o escavo do leito e o desconfinamento das margens.

Para um sistema natural não intervir<sup>31</sup> é sempre a primeira alternativa a ser analisada. No presente caso, como existem estruturas associadas – duto e cabos óticos – que necessitam de proteção emergencial para evitar danos de integridade estrutural, essa alternativa é de antemão desconsiderada. Não existe a possibilidade de esperar que o próprio sistema natural corrija os problemas de instabilidade encontrando uma condição de equilíbrio.

A aplicação de intervenções que corrijam os problemas de imediato, e que aumentem o efeito protetivo ao longo do tempo, é uma necessidade premente.

Frente a isso, são indicadas intervenções de engenharia natural e também de manejo de bacias hidrográficas transversais ao curso de água para estabilizar o leito e intervenções longitudinais para estabilizar as margens.

### *Estabilização transversal da travessia*

A principal alternativa para proporcionar proteção às instalações (gasoduto e cabos óticos) é a instalação, a jusante da travessia, de uma obra transversal de consolidação. Esse tipo de intervenção pode ser um cinto basal saliente ou uma barragem de consolidação. Tais intervenções tem a função de provocar o depósito de sedimentos criando um perfil de

---

<sup>31</sup> A travessia de dutos está alocada em uma área onde a instabilidade de leito e margens são respostas naturais a eventos pluviométricos mais intensos. A quantidade de energia gerada nesses eventos faz com que sistema busque condições de equilíbrio, ou seja, de gasto de energia (erodindo, desconfinando, etc). Muitas vezes, ao longo do tempo, o próprio sistema consegue encontrar uma condição de estabilidade.

compensação. Esse efeito estabiliza o curso de água e aumenta a cobertura do duto e dos cabos de fibra ótica, conforme destaca a Figura 4.3.

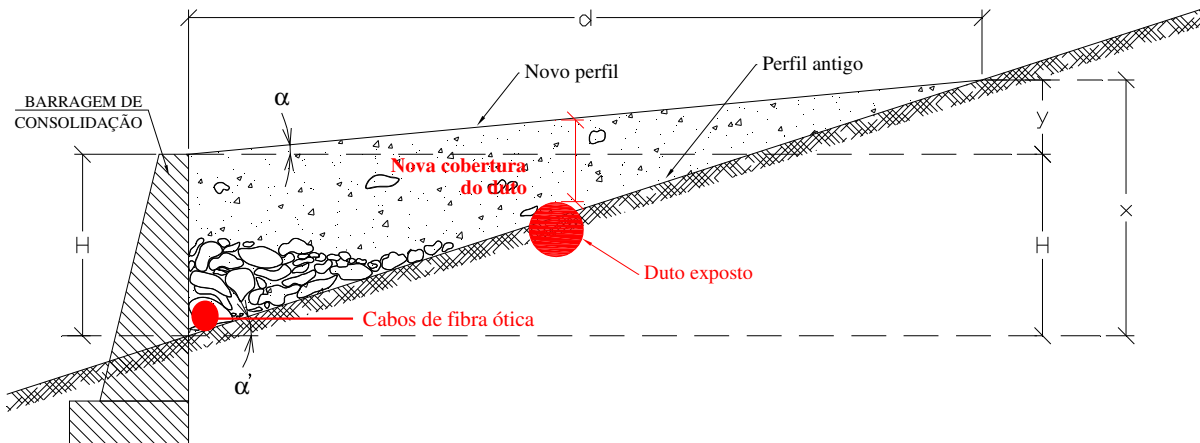


Figura 4.3 – Perfil longitudinal esquemático conceitual da obra transversal.

A viabilidade da obra transversal para as condições apresentadas da travessia se justifica uma vez que atende as necessidades quanto à integridade do duto e cabos óticos com estruturas de construção relativamente simples e de baixo custo (associado à pequena dimensão requerida). Além disso, pode-se optar pela implantação artificial do perfil de compensação para conferir imediata proteção ao duto e aos cabos óticos – pode-se utilizar material rochoso abundante no local, o que contribui para a redução dos custos da obra.

A norma PETROBRAS N 464 (2012) exige coberturas de 1,0 e 1,5 m para o duto, dependendo da localização. Esse requisito, a princípio, pode ser atendido com um cinto basal saliente, uma estrutura transversal de pequeno porte que forma uma queda de água com menos de 1,5 m de altura. Caso exista a necessidade de uma estrutura de maior porte, pode ser empregada, então, uma barragem de consolidação – essa necessidade pode ser verificada no projeto básico, por meio do dimensionamento do perfil de compensação e a cobertura gerada pelo mesmo sobre o gasoduto.

Um cinto basal saliente visto em corte pode apresentar formas retilíneas, inclinadas, senoidais ou escalonadas (Figura 4.4). Essas formas possuem a função de diminuir a zona máxima da erosão por escavo do fundo, impedindo que a estrutura venha a tombar. Os limites da zona de escavo são dependentes das características da obra e do local e podem ser conhecidos por meio do dimensionamento na fase de projeto básico. A construção de uma

contra estrutura de consolidação, ou seja, uma segunda estrutura transversal posicionada a jusante da primeira, com o objetivo de conferir estabilidade à estrutura transversal principal, deve ser avaliada.

A seção de vazão da estrutura transversal pode ser dimensionada com base em informações hidrológicas locais. A forma trapezoidal normalmente é a mais indicada aos canais naturais uma vez que atende as exigências técnicas de suporte e vazão da água. Além disso, é de fácil execução, adapta-se a uma grande diversidade de solos e também a diversos tipos de revestimento (ORTEGA, 2012).

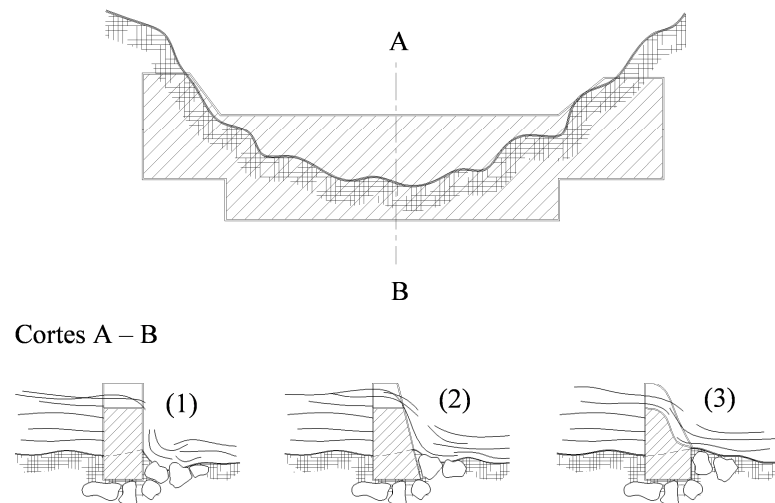


Figura 4.4 – Cinto basal saliente, em vista frontal e em cortes transversais, onde: 1 – retilíneo, 2 – inclinado e 3 – sinoidal.

Fonte: Durlo e Sutili (2012).

A construção da estrutura pode ser realizada em diferentes materiais, como por exemplo, concreto, pedra argamassada, peças pré-fabricadas em concreto, gabião, madeira com preenchimento em pedra ou totalmente em madeira. Dentre essas, a melhor alternativa deve ser avaliada a partir da disponibilidade de materiais inertes locais e também em função de requisitos estruturais.

O posicionamento, configuração e disposição das estruturas transversais devem considerar os quatro aspectos seguintes:

## 1 – Comprimento do trecho corrigido pelo perfil de compensação

Cada estrutura transversal construída tem um trecho de ação limitado (ver cota  $d$  na Figura 4.3). Sendo assim, o alcance da ação corretiva e protetiva depende fundamentalmente das seguintes variáveis:

- Materiais que se depositam a montante (já que destes depende a inclinação do perfil de compensação);
- Inclinação original do leito;
- Altura da estrutura transversal.

Assim, para o dimensionamento da altura da estrutura transversal no projeto básico, deve-se conhecer informações relativas às três variáveis acima mencionadas.

Além disso, deve-se atentar para a integridade do duto, pois quanto mais próxima a este for construída a obra, maior será o recobrimento proporcionado, atingindo-se com maior facilidade o necessário estipulado pela PETROBRAS N 464 (2012).

## 2 – Segurança da construção

A decisão da distância mínima entre obra e duto deve respeitar critérios de segurança e de viabilidade quanto ao local de instalação. Por esse critério deve-se guardar uma distância mínima entre o gasoduto e o local de construção. Busca-se, sempre que possível, situar o local de construção em trecho cujas margens sejam mais estáveis. São preferíveis os trechos do curso de água com menor largura, geotecnicamente mais estáveis e com leitos rochosos ou com a presença de grandes blocos rochosos que correspondam a uma velocidade limite de transporte superior a de ocorrência local em momentos de cheia (valores específicos devem ser tomados no projeto básico).

A estabilidade das margens contribui para a estabilidade e segurança das estruturas transversais.

Essas considerações fundamentam o atendimento às imposições do projeto, pois uma vez atendidas, podem garantir a segurança da obra de estabilização e, portanto, a proteção ao gasoduto e também aos cabos óticos.

## 3 – Aspectos econômicos da construção

As obras transversais devem ser construídas em pontos mais estáveis e estreitos que

proporcionem maior economia, tanto de material como de mão-de-obra.

A estabilidade do solo permite que as fundações e a ancoragem lateral sejam menores. A largura do curso de água no ponto escolhido também está diretamente relacionada às dimensões da obra. Locais mais estreitos e estáveis permitem construções mais leves, mas, mesmo assim, suficientemente resistente para desempenhar sua função.

De modo geral deve-se buscar um local de construção que resulte em uma obra de menores dimensões possíveis, que utilize materiais locais – se disponíveis em qualidade e quantidade – e que cumpra com as expectativas técnicas.

#### 4 – Adequação ambiental

Uma menor altura da obra é preferível tanto por motivos técnico-econômicos (custo e logística de execução), bem como por motivo ambiental, pois a mesma não deve constituir elemento intransponível para a ictiofauna<sup>32</sup> local.

Pode-se, em detrimento à economia, ser encontrada uma melhor alternativa ambiental à medida que se opte pela construção de estruturas menores e sequenciais e que possam responder tecnicamente da mesma maneira que uma única intervenção que, por sua vez, venha a criar barreira para o fluxo gênico local.

Importante considerar que a transportadora de gás não tem a posse da área por onde cruza a faixa, apenas a concessão da servidão e, portanto, a obra também não pode criar dificuldades ao proprietário que detêm o direito a alguns usos da terra (cultivos agrícolas e pecuária, ambos com limitações).

#### *Estabilização longitudinal da travessia*

Quanto à estabilização longitudinal pode ser realizada uma revegetação com arbustos de pequeno e médio porte com aptidão biotécnica. Deve-se dar preferência a espécies de ocorrência regional. A implantação das espécies pode ser realizada tanto por estacas como por mudas. Essas são as formas mais indicadas para a situação em função da disponibilidade local

---

<sup>32</sup> Conjunto das espécies de peixes existentes numa determinada região biogeográfica.

de material, além de terem maior potencial quanto ao sucesso e à agilidade de pega (algo que a situação emergencial de estabilização dos taludes necessita).

Na região foram encontradas as seguintes espécies nativas com possível potencial biotécnico<sup>33</sup>: *Calliandra haematocephala* Hassk., *Chloroleucon tortum* (Mart.) Pittier e *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. Caso sejam encontradas ou produzidas em quantidades suficientes essas espécies podem ser empregadas nas intervenções (provavelmente por mudas, pois não se dispõe de informações que comprovem a propagação vegetativa).

Além das espécies arbóreo-arbustivas encontradas, pode-se considerar também a utilização de herbáceas como *Hedychium coronarium* Koehne e de outras Zingiberales da família Cannaceae que já ocupam o local. Estas espécies apesar de nem sempre alóctones<sup>34</sup> já se encontram a décadas asselvajadas ao ambiente natural local sem representarem ameaça às espécies autóctones.

A julgar a análise qualitativa dos taludes, antes das intervenções serem realizadas, as margens tanto direita como esquerda, devem ser remodeladas. A Figura 4.5 mostra um exemplo de conformação, onde um talude abrupto e de inclinação elevada tem suas feições suavizadas. Como a área trabalhada é pequena e constituída por solo residual (fácil de ser trabalhado), recomenda-se que a inclinação resultante da conformação seja menor que 45°. Isto facilita a implantação da vegetação constituinte das técnicas de engenharia natural.

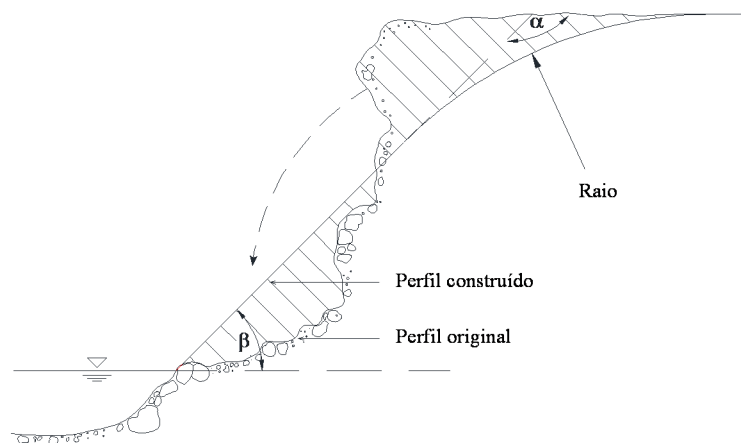


Figura 4.5 – Remodelagem de talude (ou retaludamento).

Fonte: Durlo e Sutili (2012).

<sup>33</sup> Foram avaliadas como propriedades eco-morfo-fisiológicas interessantes ramos flexíveis, boa fixação radicial e porte reduzido devido ao duto e a seção transversal do curso de água (ocupar menos espaço na seção de vazão). Essa orientação foi considerada na escolha de espécies para todas as alternativas.

<sup>34</sup> Vegetação que não tem sua origem no lugar onde ocorre.

Após a atividade de remodelagem, procura-se definir a técnica mais adequada e viável a implantação da vegetação.

As alternativas visam proporcionar estabilidade aos taludes da travessia para, em conjunto com a intervenção transversal conferir proteção adequada e efetiva ao gasoduto e aos cabos óticos, impedindo a evolução das erosões sobre os mesmos.

Para a margem direita, onde a inclinação dos taludes e os processos desestabilizantes são menores podem ser empregados métodos de tratamento mais simples, como por exemplo, biomanta vegetada, plantio em banquetas e muro simples de prumo frontal. Já para a margem esquerda, onde os taludes fluviais são mais altos e os processos desestabilizantes sobre o duto são de maiores proporções, métodos como esteira viva ou parede krainer podem ser empregados.

A biomanta vegetada pode ser aplicada nos pontos em que a inclinação da margem puder ser reduzida a menos de 45° (DURLO E SUTILI, 2012). Sua fixação local deve ser realizada com material vegetal, de preferência estacas, mas podem ser utilizadas mudas se a fixação for feita com grampos de aço ou estacas de madeira. A base pode ser fixada com pedras ou madeira, como mostra o exemplo na Figura 4.6.



Figura 4.6 – Exemplos da aplicação de biomanta combinada com estaquia vegetativa, base mantida com enrocamento (esquerda), com estrutura de madeira (centro) e detalhe da estaquia (direita).

Fonte: Florineth (2004).

O plantio em banquetas é indicado para os pontos de margem retaludados com baixa inclinação ( $< 45^\circ$ ) e mais distantes da ação potencial das águas do curso, ou seja, para as partes mais altas do talude. Essa técnica cria um efeito de retenção dos sedimentos que descem os taludes e pode ser construída com estacas com capacidade de enraizamento e

brotação ou mesmo mudas prontas. Imediatamente após sua implantação se consegue uma proteção física do terreno, o que tende a aumentar com o desenvolvimento da vegetação. Quanto maior a quantidade de material vegetativo empregado maior e mais rápido é o efeito protetivo. A Figura 4.7 mostra o aspecto da banqueteta vegetada.

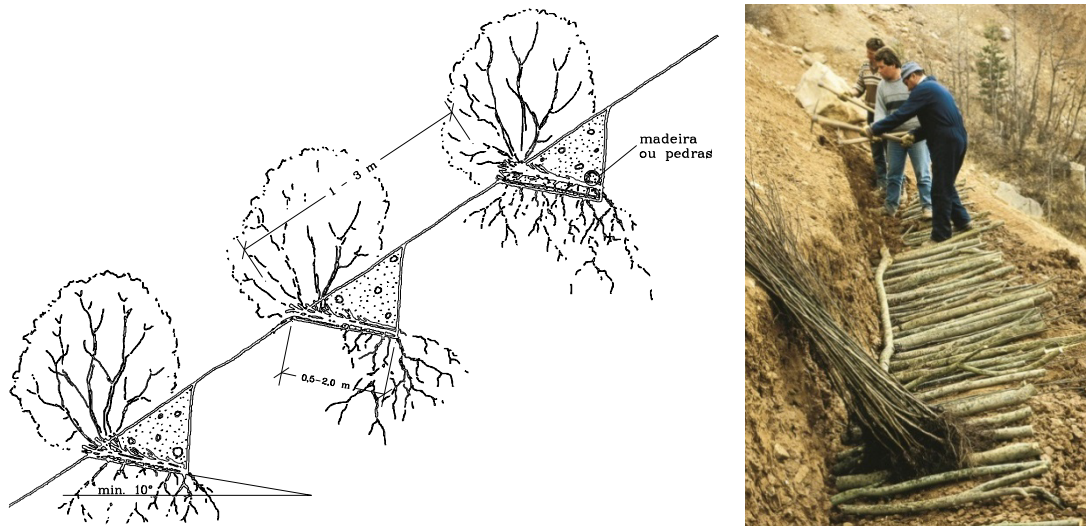


Figura 4.7 – Plantio em banquetetas. Esquema conceitual e exemplo de aplicação.

Fonte: Begeman e Schiechtl (1994); Florineth, (2004).

O muro simples de prumo frontal pode servir de apoio para a base de tratamentos com biomanta vegetada ou com esteira viva. É construído em madeira roliça com 15 a 30 cm de diâmetro, tratada ou de boa durabilidade natural. Um conjunto de longarinas, transversinas e estacas de ancoragem ou calços são dispostos conforme exemplificado na Figura 4.8. Os espaços entre as transversinas são preenchidos com feixes vivos ou retentores de sedimentos. Sua função principal é evitar o contato direto da água com a base dos taludes para prevenir o desconfinamento.



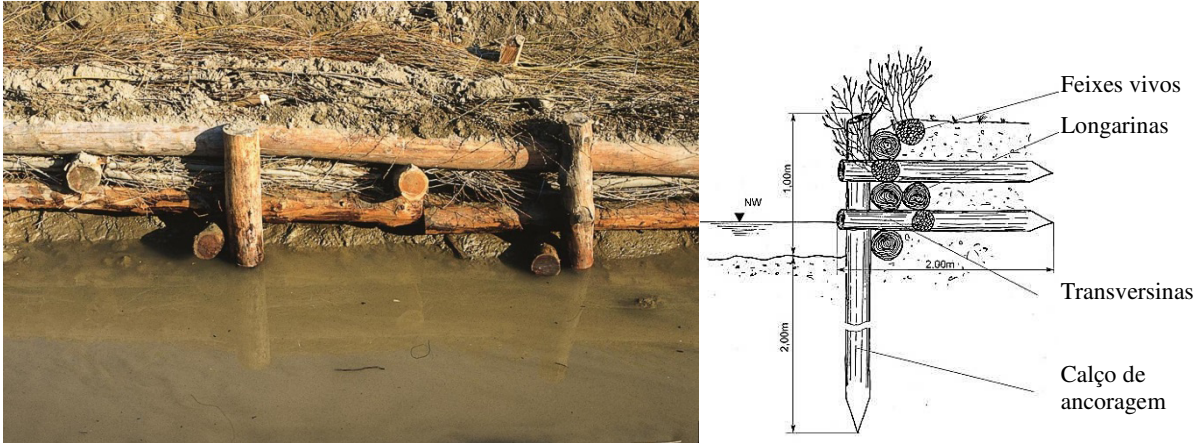


Figura 4.8 – Muro simples de prumo frontal: exemplo de aplicação e esquema conceitual.

Fonte: Florineth (2004).

Devido ao caráter emergencial de estabilização da margem esquerda (encontra-se bastante instável), a esteira viva pode ser uma alternativa recomendável, uma vez que imediatamente após ser implantada se consegue um efeito protetivo muito grande (aumentando com o desenvolvimento da vegetação). De acordo com Bagemann e Schiechl (1994), a resistência ao cisalhamento (este provocado pela força trativa do fluxo da água sobre a obra) pode ser de até 50 Pa logo após a construção, aumentando para até 150 Pa, após dois períodos vegetativos. Entretanto, a aplicação desta técnica condiciona-se à disponibilidade de grande quantidade de material vegetal com potencial de enraizamento e brotação. Esse material deve ser constituído preferencialmente por ramos inteiros que possam ser estendidos sobre todo o comprimento da rampa do talude reconfigurado, assim como demonstra a Figura 4.9. Portanto, informações sobre a disponibilidade desse material na região devem ser obtidas.



Figura 4.9 – Esteira viva sendo construída (esquerda) e resultado após um ano (direita).

Fonte: Florineth (2004).

A parede krainer, assim como a esteira viva, é uma alternativa de estabilização imediata para a margem esquerda. Isso ocorre porque sua estrutura é, em grande parte, composta por materiais inertes como solo, madeira e rochas montadas em forma de muro de arrimo que estabiliza o talude. A vegetação com aptidão biotécnica, que deve ser plantada nas camadas da parede, quando estabelecida, atua reforçando ainda mais a estrutura.

A parede krainer pode ser simples ou dupla. No caso de maior disponibilidade local de material inerte, principalmente solo e madeira, deve-se optar pela parede dupla, uma vez que esta apresenta maior capacidade de suporte. Uma qualidade da parede krainer, face à esteira viva, é que mudas de porte adequado produzidas em viveiro podem ser usadas, dispensando o emprego de estacas ou ramos para a propagação vegetativa se não existirem em quantidade suficiente na região. A Figura 4.10 exemplifica os aspectos de uma parede krainer dupla.

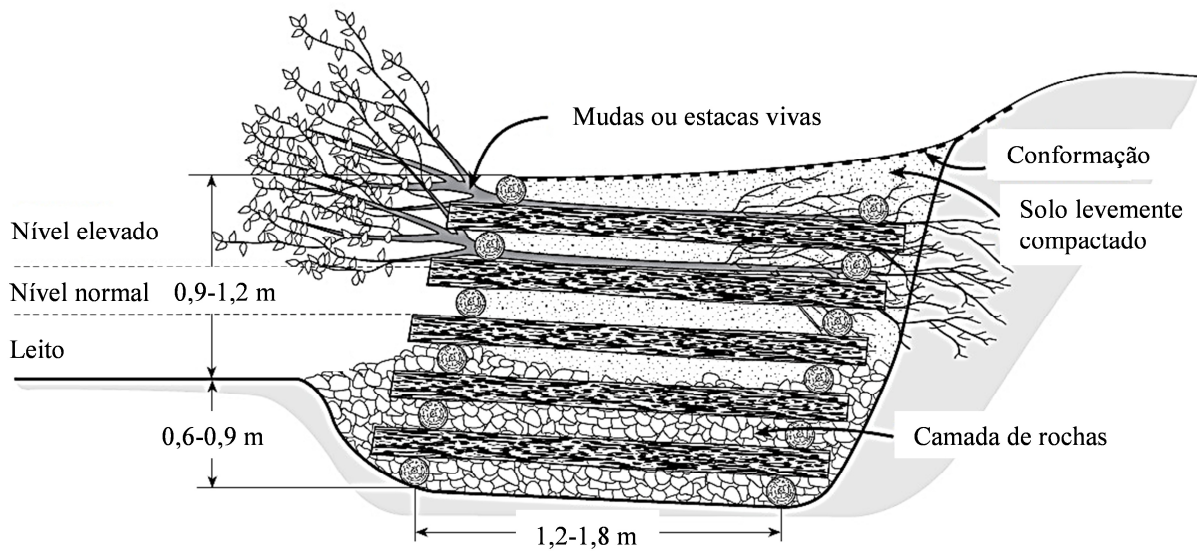


Figura 4.10 – Esquema conceitual de uma parede krainer dupla com base enrocada e montada em peças de madeira.

Fonte: USDA (1992).

Dentre as alternativas apresentadas apenas as mais viáveis – de acordo com análises técnica, ecológica, econômica e estética – são implantadas. A análise qualitativa da fase conceitual do projeto, não fornece subsídios suficientes para a determinação da técnica mais apropriada. Realizar essa escolha, bem como iniciar o desenvolvimento dos demais projetos (básico e executivo) exige, portanto, dados e informações de cunho quantitativo (principalmente), o que torna necessária a obtenção de informações adicionais, as quais devem ser especificadas.

Identificadas às alternativas de tratamento, passa-se então a prescrição das informações adicionais, ou seja, aquelas que são essenciais ao desenvolvimento das demais fases de projeto.

### III – Prescrição da aquisição de informações adicionais ao projeto

As informações adicionais necessárias às demais fases de projeto dizem respeito à caracterização quantitativa dos processos desestabilizantes identificados na fase conceitual e têm relação direta com as alternativas de intervenção.

A definição de quais dimensões a estrutura transversal deve ter para suportar determinadas cargas e tensões trativas (ou de arraste) depende da aquisição das seguintes

informações detalhadas: topografia da travessia, comportamento hidrológico local ou regional (o que estiver disponível), séries históricas dos processos fluviais atuantes na travessia, dados de sedimentologia (transporte de materiais), aspectos físicos da bacia hidrográfica, inclusive de seu uso e ocupação. Essas informações são igualmente importantes para as alternativas de intervenção longitudinal.

Outras informações de fundamental importância que devem ser obtidas e das quais depende o sucesso das alternativas e da obra como um todo, são relativas à disponibilidade e qualidade de material vegetal (principalmente) e também inerte (solo, madeira e rochas) na região da obra. Essas informações devem ser obtidas e analisadas conjuntamente com as demais informações supracitadas para melhor fundamentar a tomada de decisão quanto à abordagem e as alternativas de projeto.

Como a maior parte das intervenções depende da qualidade da vegetação bem como do seu desenvolvimento depois de implantada, é muito importante que seja realizada a análise química do solo para verificar a necessidade de correção da acidez e/ou nutricional.

A disposição de todos os elementos (intervenções) depende do levantamento topográfico com os seguintes critérios:

- Demarcação precisa do atual eixo da torrente (para a disposição dos elementos estruturais do projeto);
- Localização do eixo do duto e dos locais de exposição deste e da fibra ótica (para o posicionamento adequado das estruturas interventivas);
- Localização dos principais blocos de rochas presentes nas margens em um trecho de 20 metros imediatamente à jusante do duto exposto (para verificar se podem ser utilizados nas intervenções ou se devem retirados);
- Elaboração de pelo menos 10 perfis transversais (a cada 5 m) do trecho em tratamento (travessia esconsa), 6 a montante e 4 a jusante do duto (detalhamento essencial para a compreensão da fenomenologia e o dimensionamento e locação das estruturas) ;
- Levantamento detalhado do entorno com vistas a reconhecer a drenagem local (inclusive para o conhecimento das cotas máximas de inundação);
- Perfil longitudinal do curso de água no trecho em tratamento (para a compreensão da fenomenologia [localização das menores e maiores perdas de energia e pontos de escavo] e dimensionamento e posicionamento das estruturas).

A disponibilidade de espécies nativas e volume de material vegetal é determinante na escolha das melhores alternativas de intervenção. Por isso, preferencialmente, devem ser

buscadas espécies de ocorrência regional com potencial biotécnico e espécies com hábito reófilo.

Nessa busca devem ser realizadas consultas em departamentos de botânica de instituições de pesquisa e ensino, incursões a campo por água e/ou terra com o intuito de encontrar lugares naturais de coleta e visitas a viveiros locais para verificar a disponibilidade comercial das espécies.

Atendidos e apresentados os três objetivos do projeto conceitual, é possível então, demonstrar como são atendidos os objetivos que constituem o projeto básico.

### *Resultados da fase de projeto conceitual*

Ao final da fase de projeto conceitual gera-se o documento denominado Relatório Conceitual. Deste fazem parte as fotografias, esquemas e descrição dos objetivos, descrição qualitativa dos fenômenos e apresentação e descrição das possíveis alternativas de correção dos problemas.

#### 4.2.2 Projeto básico

Na fase de projeto básico conforme a metodologia desenvolvida na seção 3 deve-se escolher a abordagem de projeto, dimensionar as intervenções, estimar os custos, analisar os riscos associados e avaliar estética e ambientalmente as intervenções.

##### *I – Escolha da abordagem de projeto*

Utilizando-se da análise das informações quantitativas torna-se possível escolher de modo analítico e objetivo as intervenções de projeto conceitualmente já elencadas.

A escolha de uma alternativa em detrimento de outra, inicialmente, depende do conhecimento e da compreensão da fenomenologia dos problemas, ou seja, como ocorrem e devido a que continuam a progredir. Isso deve ser realizado através da análise das condicionantes interdependentes que regem as alterações em cursos de água, tais como os aspectos morfométricos da bacia hidrográfica, as características do curso de água, os aspectos

hidrológicos da região e as condições hidráulicas do canal. Por meio dessas informações específicas, descreve-se o processo erosivo e avalia-se a criticidade e evolução dos problemas, possibilitando então, a definição da abordagem de projeto para posterior dimensionamento.

Para o presente exemplo, a verificação hidráulica (e tudo mais o que sua realização envolve) é indispensável na descrição analítica dos processos deletérios e preponderante no dimensionamento das estruturas interventivas. Outras informações além dessas, como por exemplo, as relacionadas aos cálculos estruturais e geotécnicos, são apenas adicionais – neste caso –, e por não fazerem parte do processo de escolha das intervenções, os mesmos foram aqui tratados de modo sucinto.

### *Características da bacia hidrográfica*

A bacia hidrográfica trabalhada faz parte de um afluente do Rio Bubu, no município de Cariacica, ES.

O relevo da bacia é bastante acidentado e caracterizado geotecnicamente pela presença de talus e blocos de rocha de granulometria irregular provenientes da queda dos maciços rochosos das vertentes ou transportados pelo curso de água responsável pela drenagem da área.

A bacia, que foi delimitada a partir do local de ocorrência do problema (seção de controle), apresenta uma área ( $A$ ) pequena igual a  $0,84 \text{ km}^2$ , um perímetro total de  $3.662,93 \text{ m}$ , um talvegue ( $L$ ) curto de  $1,21 \text{ km}$  e uma inclinação de caráter mediano igual a  $11,60\%$  (VILLELA e MATTOS, 1975). O índice de circularidade<sup>35</sup> é alto ( $0,78$ ), o que caracteriza uma bacia com forma arredondada (VILLELA e MATTOS, 1975). Essas características e também o uso e ocupação do solo da bacia, as características do relevo e o comportamento do talvegue em vista superior (sinuosidade) e em perfil longitudinal (mostrando as diferenças de nível entre nascente e seção de controle – entorno de  $140,00 \text{ m}$ ), podem ser observados na Figura 4.11.

O fator de forma da bacia<sup>36</sup> é definido como:

---

<sup>35</sup> Valores próximos à unidade correspondem a bacias circulares, e, portanto, com tendência a maiores enchentes (CARDOSO et al., 2006).

<sup>36</sup> Uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior (VILLELA e MATTOS, 1975).

$$K_f = \frac{A}{L^2} = \frac{0,835 \text{ km}^2}{(1,21 \text{ km})^2} = 0,57 \quad (4.1)$$

Já a densidade de drenagem é expressa por:

$$D_d = \frac{L}{A} = \frac{1,21 \text{ km}}{0,835 \text{ km}^2} = 1,45 \text{ km}^{-1} \quad (4.2)$$

O fator de forma resultante da Equação (4.1) e a densidade de drenagem da Equação (4.2), associados ao formato arredondado da bacia indicam uma área excepcionalmente bem drenada, com tempo de concentração pequeno, podendo apresentar grandes picos de cheias em resposta a eventos pluviométricos mais intensos (VILLELA e MATTOS, 1975; TUCCI, 2009). O tempo de concentração, também chamado de resposta<sup>37</sup> ( $t$ ), adotado como tempo de duração para determinação da chuva de projeto<sup>38</sup>, foi estimado de acordo com o método Califórnia Culvert Practice (RUSSO JUNIOR, 2011):

$$t = 57 \left( \frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} = 57 \left( \frac{1,21^3}{140} \right)^{0,385} = 11 \text{ min} \quad (4.3)$$

Onde:  $\Delta h$  é o desnível do talvegue em metros.

As características físicas da bacia, principalmente a pequena área, justificam o emprego desse método frente às demais alternativas de cálculo existentes.

O resultado da Equação (4.3) indica uma rápida resposta da bacia a um evento pluviométrico, relacionando-se com o observado a campo após os eventos que culminaram com a exposição do duto. O tempo de retorno de 11 minutos é, portanto, adotado na determinação da chuva de projeto.

A cobertura da bacia hidrográfica se caracteriza pela ocorrência de remanescentes secundários de Mata Atlântica e algumas áreas de plantio de bananeiras e pastagens. O conhecimento dessas características de uso da bacia permite que um coeficiente de deflúvio adequado seja escolhido para o cálculo da precipitação efetiva. Com base nisso e por meio da consulta de valores tabelados adotou-se o valor de 0,4 (DNIT, 2006). Esse valor indica que

<sup>37</sup> É o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua com água para a vazão na seção em estudo (VILLELA e MATTOS, 1975).

<sup>38</sup> Vazão obtida para um determinado período de tempo ou retorno, sob a qual, parte das estruturas interventivas são dimensionadas.

40% de uma precipitação que ocorre na área pode contribuir diretamente para o fluxo do curso de água no ponto da travessia.

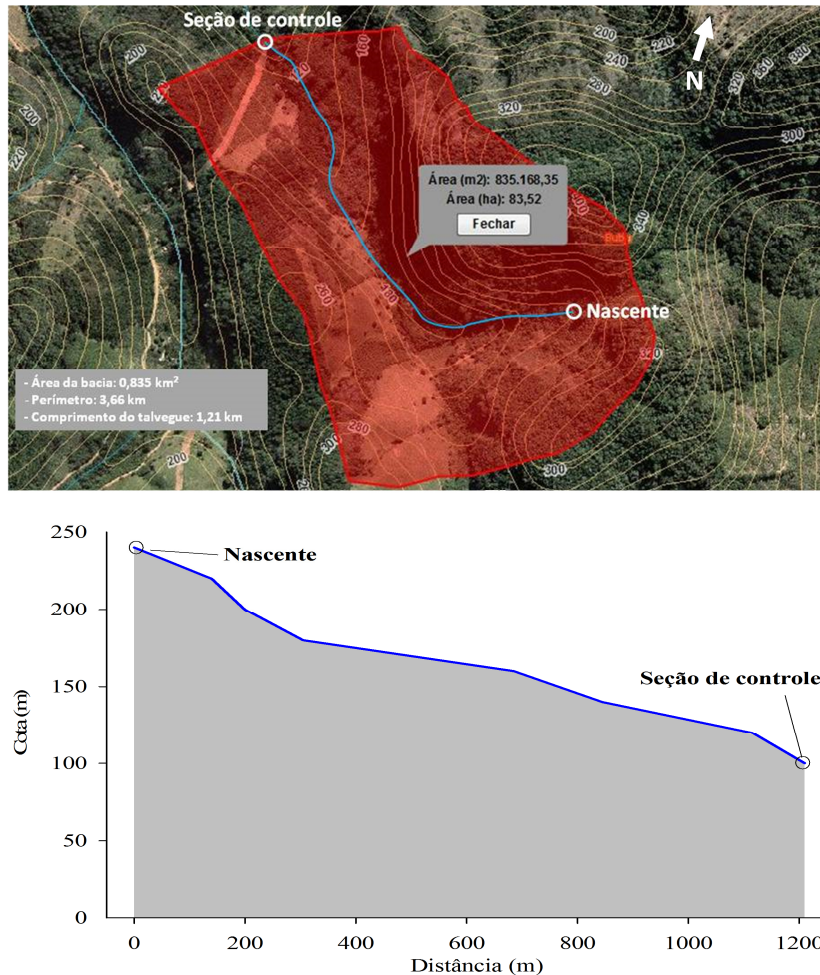


Figura 4.11 – Bacia hidrográfica da travessia e perfil longitudinal do talvegue de um afluente do Rio Bubu, no município de Cariacica, ES.

Fonte: Navegador Geobases, 2012.

### *Descrição do curso de água*

Conforme constatado nas visitas a campo o curso de água apresenta ampla variação da vazão em função da rápida resposta às chuvas intensas. Quanto à continuidade do fluxo, o rio é classificado como perene, apresentado grandes picos de cheia também em função da rápida resposta às chuvas intensas. Informações dos relatórios da transportadora indicam que em períodos de estiagem a vazão do curso de água se reduz a níveis que podem ser desprezados



no dimensionamento hidráulico do problema. Essas características configuram um comportamento torrencial de montanha, e indicam que possíveis correções das condições hidráulicas do canal sejam necessárias para a redução da energia cinética da água e conseqüentemente de seu potencial erosivo eventual. Além disso, de maneira associada, pode ser necessária a escolha de intervenções com grande capacidade de suporte e/ou resistência às tensões trativas proporcionadas pela água.

O curso de água em questão é subsequente<sup>39</sup> e de primeira ordem, caracterizando-se pela reduzida largura que mesmo em períodos de cheia é menor que 20 m. Quanto ao vale em que se encaixa o talvegue, as vertentes possuem desníveis superiores a 100 m, que associados às características físicas da bacia (área, inclinação e comprimento) resultam em um aspecto encaixado e profundo.

Os leitos de inundação tem largura reduzida e os picos de cheias atingem cotas elevadas de inundação (observado nas visitas pelas marcas de material carregado e também de vegetação inclinada e danificada), embora efêmeras, em função da forte declividade do leito. Pelo fato do trecho problemático encontrar-se em zona de escavação, as características de incisão no leito são marcantes (caixa do canal bem demarcada), os depósitos aluvionares são praticamente inexistentes, com exceção de matações de granulometria variada, sendo a maior parte transportada somente em eventos de cheias extremas devido as suas proporções.

Ao longo do curso de água a presença de mata ciliar é descontínua, havendo trechos em que a vegetação nativa cede espaço a plantios de bananeiras e pastagens.

Quanto à sinuosidade o curso de água intercala trechos aproximadamente retos com trechos sinuosos, em função de obstruções do talvegue por grandes blocos de rochas, ou pela própria caracterização geológica do fundo de vale, sem, contudo apresentar trechos de fato meandrantés. O eixo da torrente é singular (não apresenta bifurcações) em todo o trecho de interesse. O trecho do curso de água em tratamento apresenta padrão retilíneo, que associado às demais características físicas da bacia hidrográfica constitui uma condição favorável ao fluxo de água com grande quantidade energia. O índice de sinuosidade foi determinado pelo método de Schumm (1963):

$$I_s = \frac{L (km)}{Dv (km)} \quad (4.4)$$

---

<sup>39</sup> Trata-se de um rio que é controlado pela estrutura rochosa e acompanha as linhas de fraqueza – falha, junta, diáclase (HORTON, 1945 apud CHRISTOFOLETTI, 1980).

Onde:  $L$  é o comprimento do talvegue entre início e fim do trecho considerado e  $Dv$  é a distância vetorial desse mesmo trecho. Os padrões podem ser reto (1,1), em transição (1,3) ou meandro regular (a partir de 1,7).

### *Condições hidráulicas do curso de água*

As feições de torrente de montanha identificadas anteriormente levam a necessidade específica de descrever o regime de escoamento em função das características do leito, das condições geométricas das seções e da rugosidade das margens e do fundo do leito. Isso se faz necessário porque torrentes de montanha apresentam elevadas velocidades de fluxo e regimes de grande turbulência, o que não é favorável à estabilidade da travessia, tampouco a proteção do duto. Essas condições devem ser identificadas quantitativamente para possibilitar a escolha e dimensionamento das medidas corretivas.

As condições hidráulicas descrevem o regime do escoamento em função das características de inclinação do leito, das condições geométricas da seção e da rugosidade (indica a resistência ao escoamento) dos taludes de margem e do fundo do leito.

A estabilidade do fluxo do curso da água é afetada diretamente por fatores hidrológicos e por fatores locais. No caso dos fatores hidrológicos cita-se o regime de torrentes provocado principalmente pelas condições climáticas tropicais com verões chuvosos e pelas características montanhosas da bacia hidrográfica. A associação dessas características induzem fluxos torrenciais, cuja instabilidade leva à erosão do leito e das margens do curso de água.

As condições hidráulicas do canal foram verificadas utilizando-se a equação de Manning, que normalmente é empregada no caso de escoamentos uniformes e permanentes, em canais com inclinação pequena e seção prismática. Apesar dessas hipóteses não refletirem de forma exata as condições reais do curso de água, assim como outras alternativas teoricamente mais complexas, o método é compatível com as condições apresentadas e permite uma abordagem objetiva dos processos envolvidos no problema de exposição do duto.

A fórmula de Manning é um desenvolvimento empírico para determinação do coeficiente de rugosidade da equação de escoamento analítica de Chézy, e pode ser escrita como segue (PORTO, 1999):

$$Q_{ad} = vA_m = \frac{1}{n} I^{\frac{1}{2}} R_h^{\frac{2}{3}} A_m \quad (4.5)$$

Onde:  $Q_{ad}$  é a vazão admissível (m<sup>3</sup>/s),  $v$  é a velocidade do escoamento (m/s),  $A_m$  é a área molhada da seção transversal (m<sup>2</sup>),  $n$  é o coeficiente de rugosidade de Manning (s.m<sup>1/3</sup>),  $I$  é a inclinação do fundo do leito (m/m) e  $R_h$  é o raio hidráulico da seção transversal (m), calculado como:

$$R_h = \frac{A_m}{P_m} \quad (4.6)$$

Onde:  $P_m$  é o perímetro molhado.

Além disso, para a verificação hidráulica utilizou-se o princípio dos canais siameses (ou canal de seções compostas), uma vez que, pela observação de campo, verificou-se que durante grandes vazões o canal natural extravasa em certas seções e o escoamento se comporta como um fluxo em canais de diferentes características (geométricas e de rugosidade).

Com base nas características da bacia hidrográfica e do curso de água estimou-se a vazão de projeto utilizando-se o método racional, o qual é válido para bacias com área menor que 5 km<sup>2</sup> (PRUSKI et al., 2004). Matematicamente o método é expresso por:

$$Q = \frac{ciA}{3,6} \quad (4.7)$$

Onde:  $Q$  é a vazão (m<sup>3</sup>/s),  $c$  é o coeficiente de deflúvio (adimensional),  $i$  a intensidade da chuva de projeto (mm/h) e  $A$  é a área da bacia (km<sup>2</sup>).

A intensidade da chuva de projeto em mm/h foi estimada com a curva IDF (intensidade-duração-frequência) da região (SILVA et. al., 1999):

$$i = \frac{4003,611T^{0,203}}{(t + 49,997)^{0,931}} \quad (4.8)$$

Onde:  $t$  é o tempo de concentração e  $T$ , o período de retorno<sup>40</sup> da chuva para a qual se calcula a intensidade.

A vazão de projeto foi determinada utilizando-se a Equação (4.7) e a Equação (4.8) para uma chuva com período de retorno de 25 anos (valor mínimo utilizado em obras de dutos em área rural [RUSSO JUNIOR, 2011]), e resultou numa vazão de projeto igual a  $Q = 15,4 \text{ m}^3/\text{s}$ . As características das seções foram obtidas por meio do levantamento topográfico na área de interesse, com seções distribuídas a cada 5 m – e em distâncias menores quando considerado necessário – ao longo do eixo do curso de água (informação de grande importância indicada para obtenção ainda no projeto conceitual). O coeficiente de Manning adotado foi típico para os casos de córregos e rios com bancos e poços pouco profundos, presença de blocos de rochas e margens em más condições, assumindo-se o valor de 0,04 para o fundo do leito e 0,075 para as margens com ocorrência de vegetação gramínea e herbácea (PORTO, 1999). Essas informações são importantes no cálculo das vazões de cada seção e por isso, preferencialmente, são selecionados os coeficientes mais próximos das condições encontradas no local para a obtenção de valores coerentes.

O coeficiente de Manning equivalente<sup>41</sup> ( $n_e$ ) foi calculado assumindo-se que a força total de resistência ao escoamento, originada pelo efeito de cisalhamento junto ao perímetro ( $P_m$ ), é igual a soma de todas as forças de resistência em cada subárea de perímetro ( $P_{mi}$ ). Desse modo, a rugosidade equivalente é dada por (PORTO, 1999):

$$n_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{mi} n_i^2)}{P}} \quad (4.9)$$

Também foram estimadas as condições de transporte do fluxo, por meio do cálculo das dimensões máximas do material transportado durante uma cheia com a vazão de projeto, no caso das características atuais do curso de água. Para esse fim utilizou-se a seguinte equação (MAYER, 1941):

<sup>40</sup> É o período de tempo médio, expresso em anos, em que certo evento (uma determinada vazão) é igualado ou superado, pelo menos uma vez (PRUSKI et al., 2004). O seu valor serve de base para o dimensionamento de diferentes estruturas. A segurança e economia de uma obra estão diretamente associados ao valor de  $T$  utilizado.

<sup>41</sup> Considera que as superfícies do leito e das margens do curso de água (onde ocorre o escoamento) apresentam diferentes rugosidades; a equação sintetiza as diferentes rugosidades em um único valor para efeito de cálculo.

$$b = \frac{v^2 \mu \gamma}{2gf(\gamma_1 - \gamma) \cos \alpha} \quad (4.10)$$

Onde:

$b$ , dimensão dos blocos transportados no sentido do fluxo (m);

$v$ , velocidade do fluxo de água (m/s);

$\mu$ , fator de forma – 1,46;

$g$ , aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>);

$f$ , coeficiente de atrito entre o sólido e o leito – 0,76;

$\gamma$ , peso específico da água – 10 kN/m<sup>3</sup>;

$\gamma_1$ , peso específico da rocha – 26,75 kN/m<sup>3</sup> (granito);

$\alpha$ , ângulo de inclinação do leito.

Os resultados são expressos na Tabela 4.1, somente para as seções nos trechos modificados, e revelam altas velocidades de escoamento (média de 3,34 m/s) e competência para transporte de rochas de grandes dimensões (média de 0,73 m) em função principalmente de uma inclinação elevada e também de valores altos de raios hidráulicos, apresentando seções transversais não otimizadas. A perda dessa energia ocorre diretamente no leito e nas margens do curso de água desencadeando os processos erosivos e resultando na instabilidade das margens. De acordo com Porto (1999), as velocidades médias no fundo do leito e nas margens para se evitar erosão do material (em locais sem cobertura vegetal), devem ser inferiores a 1,83 m/s no caso de material cascalhado. Portanto, a velocidade em todas as seções transversais e especialmente a do duto (3+16,61, velocidade de 2,79 m/s), precisam ser reduzidas.

Tabela 4.1 – Condições hidráulicas atuais para o curso de água, considerando a vazão de projeto.

Seção	$y$ (m)	$Pm$ (m)	$Am$ (m <sup>2</sup> )	$n$ (s.m <sup>1/3</sup> )	$I$ (m/m)	$Rh$ (m)	$v$ (m/s)	$b$ (m)	Cota final de inundação (m)
2+5	1,33	4,38	2,73	0,060	0,214	0,62	5,63	1,86	199,44
2+10	1,60	6,16	5,29	0,060	0,038	0,86	2,91	0,49	199,60

Continua...

Tabela 4.1 – Continuação.

Seção	$y$ (m)	$Pm$ (m)	$Am$ (m <sup>2</sup> )	$n$ (s.m <sup>1/3</sup> )	$I$ (m/m)	$Rh$ (m)	$v$ (m/s)	$b$ (m)	Cota final de inundação (m)
2+15	1,50	6,03	5,14	0,052	0,031	0,85	3,00	0,52	199,40
3	1,12	4,87	3,28	0,063	0,150	0,67	4,69	1,28	198,62
3+5	3,12	9,60	13,06	0,066	0,004	1,36	1,18	0,08	200,52
3+10	1,94	6,96	6,91	0,069	0,024	0,99	2,23	0,28	199,22
3+15	0,80	7,44	4,68	0,073	0,108	0,63	3,29	0,62	198,02
3+16.61	0,94	7,99	5,53	0,063	0,050	0,69	2,79	0,45	198,51
4	0,61	6,83	3,54	0,068	0,209	0,52	4,35	1,11	197,51
4+5	1,30	6,02	4,61	0,070	0,078	0,77	3,34	0,64	197,97
Valores médios					0,091	0,80	3,34	0,73	198,88

Onde:  $y$ , altura da lâmina de água;  $Pm$ , perímetro molhado;  $Am$ , área molhada;  $n$ , coeficiente de rugosidade Manning;  $I$ , inclinação do leito;  $Rh$ , raio hidráulico;  $v$ , velocidade de fluxo;  $b$ , dimensão da rocha deslocada no sentido do fluxo.

O escoamento foi classificado quanto à rugosidade em função dos parâmetros geométricos e de velocidade. Para isso utilizou-se o Número de Reynolds<sup>42</sup> de rugosidade, o qual verifica a aplicabilidade da equação de Manning ao problema. A seguinte expressão foi utilizada:

$$Re_r = \left( \frac{n}{0,039} \right)^6 \frac{v_a}{10^{-3}} \quad (4.11)$$

Onde:  $v_a$  é a velocidade de atrito dada por:

$$v_a = \sqrt{gR_h I} \quad (4.12)$$

Quando  $Re_r > 70$ , o escoamento é dito rugoso, sendo válida a Equação de Manning. Em cursos de água naturais o Número de Reynolds normalmente apresenta valores extremamente grandes, constituindo fluxos rugosos; é raro encontrar fluxos laminares em

<sup>42</sup> Trata-se de um coeficiente adimensional expresso pela relação entre as forças de inércia e as forças de viscosidade que atuam no fluido. Quando o n° de Re for menor que 5 as forças viscosas são dominantes e o fluxo é dito laminar; quando n° de Re é maior que 70 as forças de inércia são dominantes e o fluxo é dito rugoso ou turbulento; o fluxo de transição ocorre quando os valores de Re estão entre 5 e 70 (PORTO, 1999).

condições naturais. Na condição de fluxo rugoso as forças de inércia são sempre maiores que as forças viscosas, e a energia do escoamento é dissipada sempre em maior quantidade. Para saber se isso ocorre devido à energia potencial acumulando água e gerando cisalhamento nas margens, ou devido à energia cinética, muita velocidade e atrito, emprega-se o Número de Froude<sup>43</sup>, que é dado pela seguinte expressão:

$$Fr = \frac{v}{v_{cr}} = \frac{v}{\sqrt{gy}} \quad (4.13)$$

Onde:  $v_{cr}$  é a velocidade crítica.

O escoamento é torrencial quando  $Fr > 1$  e fluvial quando  $Fr < 1$ . A Tabela 4.2 mostra a classificação do regime de escoamento em cada uma das 10 seções do perfil do curso de água no local do evento.

Observa-se que o escoamento atende a condição de rugosidade para todas as seções, e é fluvial em seis delas. Contudo, o regime é torrencial em quatro seções, sendo duas na região do duto (estacas 4 e 3+15). Desse modo algumas seções têm velocidade de escoamento, para a vazão de projeto, maiores que a velocidade crítica, o que caracteriza um fluxo com grande quantidade de energia cinética, alto poder erosivo e competência para deslocar materiais sólidos de grandes proporções. Durante as cheias a descarga gerada tende a ter uma grande quantidade de energia cinética devido ao aumento da velocidade, constituindo condições desfavoráveis a estabilidade do local e a proteção do duto e cabos de fibra ótica.

Tabela 4.2 – Condições de escoamento atuais para o curso de água, considerando a vazão de projeto.

Seção	Número de Reynolds de Rugosidade	Escoamento	Número de Froude	Regime
2+5	15181	Rugoso	1,56	Torrencial
2+10	7846	Rugoso	0,73	Fluvial
2+15	2959	Rugoso	0,78	Fluvial

Continua...

<sup>43</sup> Trata-se de um coeficiente adimensional obtido pela relação entre as forças de inércia e as forças gravitacionais. Considera que três regimes de fluxo podem ocorrer em um curso de água: Fluvial ( $Fr < 1$ ), Transição ( $Fr = 1$ ) e Torrencial ( $Fr > 1$ ) (PORTO, 1999).

Tabela 4.2 – Continuação.

Seção	Número de Reynolds de Rugosidade	Escoamento	Número de Froude	Regime
3	18472	Rugoso	1,41	Torrencial
3+5	5342	Rugoso	0,21	Fluvial
3+10	15197	Rugoso	0,51	Fluvial
3+15	36028	Rugoso	1,17	Torrencial
3+16.61	9916	Rugoso	0,92	Fluvial
4	28369	Rugoso	1,78	Torrencial
4+5	25652	Rugoso	0,94	Fluvial

Diante dessas informações torna-se possível descrever as características do processo erosivo e também da criticidade dos problemas.

Antes do evento pluviométrico intenso que desencadeou o problema, o duto encontrava-se enterrado a profundidade média de 1,00 m, em trecho esconso ao curso de água. Devido ao regime torrencial, fruto das chuvas e das características físicas da bacia hidrográfica (pequena área, forma circular e relevo acidentado), ocorreu a perda de estabilidade do eixo do curso de água que ao buscar uma nova configuração de equilíbrio passou a escavar o fundo do leito entre a estaca 3+15 e o duto. As alterações do fundo do leito em vista desse escavo, diminuíram a cobertura do duto, expondo sua geratriz superior. O escavo ocorreu de modo que o terreno passou a apresentar uma pequena elevação onde o duto se encontra, em função da maior resistência do mesmo em relação ao material do leito. Assim, o regime é fluvial na estaca que coincide com a geratriz superior do duto (estaca 3+16,61), uma vez que o mesmo tem funcionado como estrutura de controle transversal ao fluxo.

Na margem esquerda, o pequeno deslizamento de geomassa apresenta-se com 7,50 m de comprimento e 2,25 m de altura. A instabilidade ocorreu devido à confluência de alguns fatores. Primeiro, na altura da estaca 2+5, existe um estrangulamento e um ressalto natural causado por um grupo de blocos de rocha; logo após, o fluxo sofre uma expansão num trecho aproximadamente retilíneo de 25,00 m de extensão, onde ocorreu o escavo no terreno não consolidado. Justamente no final desse trecho, na altura da estaca 3+15, está o início do deslizamento. Existe nesse trecho da margem direita, um grupo formado por dois blocos rochosos de dimensões maiores, que durante as cheias direcionam o fluxo diretamente para a



margem oposta, ocasionando a corrosão da base do talude (desconfinamento) e, em decorrência, a queda do maciço (Figura 4.12).



Figura 4.12 – Rochas que direcionam o fluxo a margem esquerda onde o talude encontra-se rompido.

O fato supracitado se potencializa pela característica não consolidada do solo de tálus da região, acrescido ainda, de uma fragilidade causada pela instalação do cavalote durante a obra de implantação da travessia do duto. Além disso, os excedentes pluviais drenados da faixa a montante da margem esquerda são diretamente direcionados sobre o trecho do talude rompido (Figura 4.13).

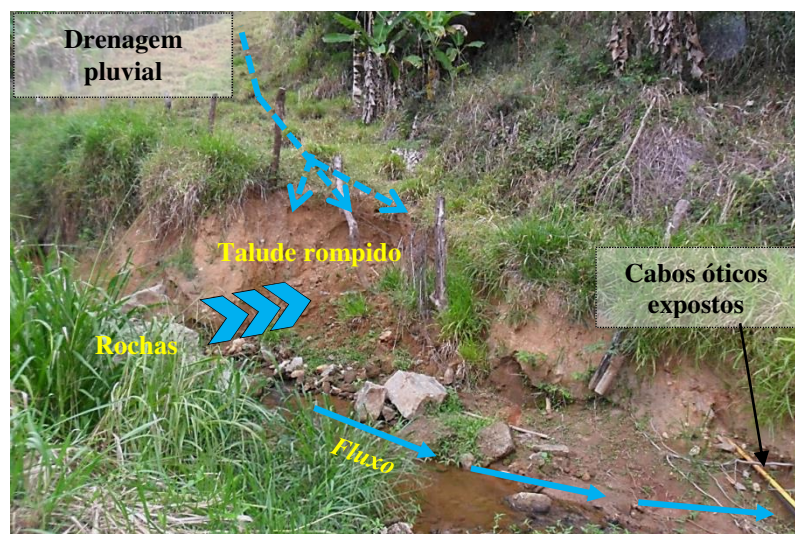


Figura 4.13 – Drenagem dos excedentes pluviais diretamente sobre o talude durante eventos pluviométricos intensos.

Num trecho a jusante, entre a estaca 4 e o duto, numa extensão de aproximadamente 7,00 m, onde os cabos óticos foram expostos, as velocidades ultrapassam em muito (4,35 m/s) os valores admissíveis para o material das margens, condição que pode ter desencadeado o processo de exposição.

O escoamento direto do curso de água sobre o duto aumenta a criticidade do problema caso o processo persista. Essa condição pode fazer com que o duto sofra tensões adicionais de turbilhonamento e forças trativas de fluxo. É possível que vórtices do fluxo em picos de cheia excitem o duto dinamicamente próximo à sua frequência natural e causem deformações em suas paredes. O alargamento das margens pode continuar aumentando a instabilidade da travessia e porções maiores do duto podem ser expostas. Além disso, a exposição do duto é uma desconformidade frente ao regulamento das agências reguladoras da transportadora (ANP – RTDT, 2010).

#### *Abordagem de projeto*

Diante dessas informações, e também das alternativas apresentadas no projeto conceitual, podem ser definidas as melhores alternativas de abordagem e tratamento. Para a correção do problema de instabilidade do leito e para proporcionar proteção ao duto e aos cabos óticos, a implantação do cinto basal saliente é a mais indicada. Isso se justifica uma vez que o uso da estrutura transversal pode, com facilidade, corrigir a inclinação do leito e diminuir as velocidades críticas e de alto potencial erosivo apresentado pelo curso de água no ponto de exposição. O próprio curso de água tem buscado esse equilíbrio uma vez que o duto tem funcionado como uma espécie de soleira.

Para a estabilização da margem esquerda, devido ao porte da instabilidade (7,50 m de comprimento e 2,25 m de altura) e também pela exigência que a estrutura escolhida deve ter devido à carga e a tensão trativa provocadas pela vazão de 15,40 m<sup>3</sup>/s, a parede krainer dupla é a mais indicada (tem também maior capacidade de suporte). Além disso, existe a disponibilidade local de madeira para a construção da estrutura, bem como podem ser utilizadas mudas produzida em viveiro (uma vez que não foram encontradas plantas em quantidade suficiente para coleta de estacas e posterior propagação vegetativa). Para garantir a estabilidade da parede krainer face ao escoamento superficial deve ser construída uma estrutura de drenagem na encosta (acima da parede) com a função de redirecionar os excedentes pluviais. Além disso, a aplicação de banquetas vegetadas acima da parede serve

como complemento importante à qualidade da estrutura, a estabilidade solo e a retenção de sedimentos. Esse complemento é viável uma vez que mais espécies vegetais com características biotécnicas interessantes foram encontradas.

Quanto à margem direita, como o talude é pequeno (menos de 1,00 m) e com menor inclinação (em média 45°) – o que faz sobrar mais espaço para a água se deslocar e distribuir a perda de energia cinética ao invés de concentra-la em um único ponto –, justifica-se o plantio mudas em grande densidade a partir de sua base até a cota máxima que a água pode alcançar. Depois de estabelecidas, as plantas atuam no aumento das condições de rugosidade e na redução da energia cinética do fluxo de água que, associadas ao reforço do solo proporcionado pelas raízes, tendem a aumentar as condições de estabilidade da margem.

Definida a abordagem de projeto, as intervenções escolhidas devem ser dimensionadas e os seus elementos constituintes devem ser identificados. Caso seja constatada alguma incompatibilidade nas alternativas selecionadas, mudanças ou adaptações podem ser empregadas.

## II – Dimensionamento das intervenções

Para atender as necessidades de proteção da margem esquerda a parede krainer dupla foi projetada em peças de *Corymbia citriodora* (eucalipto) tratadas, com 0,25 m de diâmetro, largura de 2,25 m e comprimento total de 7,50 m. Uma distância horizontal entre os eixos das longarinas de 2,00 m, e entre os eixos das transversinas de 1,85 m. O espaçamento vertical entre longarinas e transversinas utilizado foi de 0,25 m. A parede foi dimensionada quanto ao tombamento, deslizamento e tensão admissível, e as peças de madeira tiveram sua resistência à flexão verificada conforme métodos estabelecidos de geotécnica e de mecânica estrutural (BRAJA, 2013; CORNELINI, 2008; MOLITERNO, 1994). Todas as verificações resultaram em fatores de segurança<sup>44</sup> maiores que 1,5.

A altura calculada para o cinto basal saliente foi de 1,25 m, utilizando-se como referência de cálculo a inclinação do perfil de compensação formado e da necessidade de proteger e aumentar a cobertura atual do duto e cabos óticos. A sua instalação deve ser

---

<sup>44</sup> Neste cálculo a razão entre as forças de resistência e as forças solicitantes, por motivos de estabilidade estrutural, deve, preferencialmente, ser igual ou maior que 1,5. As forças de resistência sempre devem ser superiores as solicitantes.

realizada na altura da estaca 4, em posição perpendicular ao eixo da torrente, uma vez que nesse local proporciona uma cobertura mínima de proteção ao duto e aos cabos de fibra ótica.

Como não se dispõe de informações hidrossedimentológicas para o local, utilizou-se a Equação (4.10) para estimar a dimensão mínima do material depositado a montante do cinto basal saliente, o que resultou num valor de 0,23 m (utilizando a vazão de projeto). O estudo detalhado para determinar a velocidade de formação natural do perfil de compensação é mais oneroso do que a sua construção. Além disso, a situação emergencial em que se encontra a travessia requer uma correção imediata. Assim, o perfil de compensação deve ser construído imediatamente após a instalação do cinto basal saliente com rochas de tamanho superior a velocidade limite de transporte (no caso 0,37 m na seção 2+5, expressa na Tabela 4.3). A inclinação resultante desse perfil foi calculada pela equação empírica de Ferro e Porto (2011):

$$I_e = \frac{0,056(\gamma_1 - \gamma)D_s}{\gamma R_h} \quad (4.14)$$

Onde:  $I_e$  é a inclinação de equilíbrio do leito e depende das características geométricas do fluxo, do tamanho característico do material do leito ( $D_s$ ) e das condições hidráulicas da seção do curso de água.

O perfil de compensação a ser construído deve ter uma inclinação resultante de 4%.

A seção de vazão do vertedouro foi dimensionada utilizando-se a equação de Cipoletti (PORTO, 1999).

$$Q = 1,861L_v h_v^{\frac{3}{2}} \quad (4.15)$$

Onde:  $L_v$  é a largura e  $h_v$  é a altura da lâmina de água sobre o vertedouro.

Foi adotada uma largura do vertedouro de 5,00 m, o que resultou numa lâmina de água de 1,40. Contudo, o vertedouro é dimensionado com uma altura de lâmina de água de 1,00 m (o que atende as necessidades técnicas exigidas), sendo que o excedente é entendido como cota de inundação. Esse subdimensionamento trata-se de uma decisão consciente que não oferece riscos a benfeitorias ou residências, já que estas se encontram distantes do local da obra.

Uma vez construído o perfil de compensação logo após a implantação do cinto basal saliente, para verificar se essa intervenção é adequada frente aos esforços, realiza-se a

descrição do regime de fluxo, agora com as novas condições de leito e margens, mas sem o efeito da vegetação, pela equação de Manning, o que resulta nos valores da Tabela 4.3. Destacam-se principalmente a redução da velocidade (média de 2,36 m/s) em todas as seções e a diminuição do tamanho do material transportado (média de 0,32 m). Percebe-se também que a cota de inundação fica mais elevada (alcance superior à cota 200,00 m), o que é permitido uma vez que não existem benfeitorias ou residências no entorno.

Essas características observadas confirmam que a solução escolhida é capaz de estabilizar o curso de água e seu emprego se justifica.

Tabela 4.3 – Condições hidráulicas para o novo perfil do curso de água, considerando a vazão de projeto.

Seção	$y$ (m)	$Pm$ (m)	$Am$ (m <sup>2</sup> )	$n$ (s.m <sup>1/3</sup> )	$I$ (m/m)	$Rh$ (m)	$v$ (m/s)	$b$ (m)	Cota final de inundação (m)
2+5	1,57	6,63	6,10	0,075	0,04	0,92	2,51	0,37	200,82
2+10	1,23	7,45	6,39	0,075	0,04	0,86	2,41	0,33	200,38
2+15	1,35	7,01	6,24	0,075	0,04	0,89	2,47	0,35	200,02
3	1,36	6,94	6,21	0,075	0,04	0,90	2,48	0,36	200,20
3+5	1,40	6,88	6,20	0,075	0,04	0,90	2,49	0,35	199,99
3+10	1,22	7,34	6,35	0,075	0,04	0,87	2,42	0,34	199,63
3+15	1,04	8,92	6,87	0,075	0,04	0,77	2,24	0,29	198,68
4	0,94	8,92	6,87	0,075	0,04	0,77	2,24	0,29	198,87
4+5	0,91	12,17	7,78	0,075	0,04	0,64	1,98	0,23	198,83
Valores médios					0,04	0,83	2,36	0,32	199,71

\*Onde:  $y$ , altura da lâmina de água;  $Pm$ , perímetro molhado;  $Am$ , área molhada;  $n$ , coeficiente de rugosidade de Manning;  $I$ , inclinação do leito;  $Rh$ , raio hidráulico;  $v$ , velocidade de fluxo;  $b$ , dimensão da rocha deslocada no sentido do fluxo.

A Tabela 4.4 apresenta informações que corroboram com a redução da velocidade em todas as seções, em todo o trecho tratado, o regime de fluxo torna-se fluvial e, portanto, com baixa capacidade erosiva.

A condição torrencial, em si, não é algo ruim, já que os cursos de água naturais conseguem encontrar, sob tais condições, uma configuração de equilíbrio. Entretanto, para a presente situação, o escavo do leito e o alargamento das margens acontece em função da condição de fluxo torrencial, e isso, se mantido, coloca o duto em perigo. Diante disso, a

escolha de intervenções para a correção imediata dos problemas de instabilidade e para a proteção da infraestrutura se justifica e deve ser realizada.

Tabela 4.4 – Condições de escoamento para o novo perfil do curso de água, considerando a vazão de projeto.

Seção	Número de Reynolds de Rugosidade	Escoamento	Número de Froude	Regime
2+5	30401	Rugoso	0,64	Fluvial
2+10	29356	Rugoso	0,69	Fluvial
2+15	29897	Rugoso	0,68	Fluvial
3	29987	Rugoso	0,68	Fluvial
3+5	30059	Rugoso	0,67	Fluvial
3+10	29491	Rugoso	0,70	Fluvial
3+15	27814	Rugoso	0,70	Fluvial
4	27811	Rugoso	0,74	Fluvial
4+5	25335	Rugoso	0,66	Fluvial

Para garantir a estabilidade das obras transversais, admite-se que a erosão de fundo não deve escavar além da base da fundação da estrutura. A profundidade de escavo foi calculada pela fórmula (JULIEN, 2002):

$$d_s = \left\{ 1,80 \left[ \frac{\text{sen}\phi}{\text{sen}(\phi + \theta_j)} \right]^{0,8} \frac{q^{0,6} V_1 \text{sen}\theta_j}{[(G-1)g]^{0,8} D_s^{0,4}} \right\} - h_d \quad (4.16)$$

Onde:  $\phi$  é o ângulo de repouso do material (adotou-se 40°),  $\theta_j$  é o ângulo de inclinação da face de jusante do cinto basal,  $q$  é a vazão unitária (vazão de afogamento da seção do vertedouro [9,31 m<sup>3</sup>/s] dividida pela largura do escoamento),  $V_1$  é a velocidade sobre a soleira (admitida igual à crítica),  $G$  é o peso específico do material do leito e  $D_s$  o seu diâmetro (adotado 50 cm),  $h_d$  é a altura de queda da lâmina vertente.

O escavo do fundo do leito ocorre em profundidade e também em distância ao longo do perfil longitudinal. Por meio da Equação (4.16) a profundidade de escavo a jusante do cinto basal resultou em 0,15 m, sendo adotada para essa estrutura, por segurança, uma sapata

de 0,70 m de profundidade, com colocação de blocos de rocha maiores que 0,50 m numa profundidade de 0,10 m (acomodação das rochas) e na distância de 0,70 m. Essa distância que corresponde ao alcance horizontal do escavo foi obtida pela seguinte equação (PORTO, 1999):

$$L_1 = 3,55 \left( \frac{q^2}{g} \right)^{\frac{3}{2}} + 0,34h_d \quad (4.17)$$

A estabilidade do cinto basal saliente quanto ao deslizamento, tombamento e tensão admissível foi verificada e alcançou o fator de segurança mínimo de 1,5.

Para garantir a estabilidade da parede krainer dimensionou-se a estrutura de drenagem (em concreto armado devido necessidades técnicas) para lançar excedentes pluviais à jusante do cinto basal. As canaletas foram dimensionadas com inclinações máximas de 2%, utilizando a mesma chuva de projeto, e resultaram em dimensões de 30 x 30 cm. A inclinação deve ser garantida por degrau ou escalonamento.

Quanto à vegetação a ser utilizada (resultantes das pesquisas indicadas no projeto conceitual), devem ser produzidas e empregadas mudas das seguintes espécies: *Calliandra haematocephala* Hassk., *Chloroleucon tortum* (Mart.) Pittier, *Tibouchina moricandiana* Baill., *Miconia cinnamomifolia* (DC.) Naudin, *Ludwigia nervosa* (Poir.) Hara, *Senna reticulata* Willd., *Mimosa pigra* L. e *Cordia verbenaceae* DC.. Todas essas espécies, exceto *Senna reticulata* (Willd.) (devido ao porte um pouco maior, cerca de 5,00 m), podem ser empregadas na construção da parede krainer e também das banquetas vegetadas. As mudas para essas intervenções devem ter entre 0,80 e 1,50 m de altura. No plantio da margem direita todas as espécies, sem exceção, podem ser empregadas e devem ter a partir 0,50 m de altura. O plantio nessa margem pode se estender além da cota 200,00 m, uma vez que esse é ponto que marca o limite de inundação para o período de retorno e que deve sofrer pequena ampliação com a presença de vegetação.

Os efeitos da vegetação também foram considerados no projeto hidráulico para verificar a influência de seu caráter dinâmico, pois tendem a aumentar a rugosidade do canal, refletindo diretamente em aspectos importantes à manutenção da estabilidade de leito e margens. As espécies selecionadas para as intervenções foram escolhidas também pelas suas características morfológicas (pequeno porte e ramada densa) capazes de contribuir positivamente no regime de escoamento local através, principalmente, do aumento da rugosidade do canal. Considera-se no perímetro das seções transversais tratadas o coeficiente

de rugosidade Manning igual a 0,09 (acrescido pelo efeito da vegetação – em pleno desenvolvimento esse valor pode chegar a 0,145). O resultado é uma redução nas velocidades médias (abaixo de 1,83 m/s) e no tamanho dos materiais deslocados em todas as seções, bem como um aumento do raio hidráulico e da cota média de inundação (passando da cota 200,00 m).

A especificação de correção do solo, adubação e outras necessidades são detalhadas em projeto executivo, juntamente com a especificação final e a relação quantitativa da vegetação a ser utilizada. Detalhes e especificidades das estruturas também são apresentados em projeto executivo.

### III – *Estimativa de custos*

Uma vez que as alternativas escolhidas atendem de modo singular as necessidades técnicas exigidas pelos problemas, e por apresentarem custos relativamente baixos, estimativas de custos com a intenção de comparar e possivelmente escolher alternativas mais econômicas, mas não tecnicamente mais interessantes, são dispensadas. Isso ocorre porque todas as alternativas indicadas na fase de projeto conceitual, com exceção da parede krainer (custo relativamente maior), apresentam custos relativamente semelhantes, e por isso, para este caso, a questão de escolha de uma alternativa em detrimento de outra, não foi estritamente econômica, mas devido às necessidades técnicas e de disponibilidade de materiais naturais locais ou regionais.

A possibilidade de aplicação de intervenções tradicionais como gabionagem e concretagem também foi considerada. Os custos dessas intervenções mostraram-se superiores a todas as alternativas apresentadas no projeto conceitual, o que se explica devido à abordagem de engenharia natural usar materiais mais baratos e disponíveis nas proximidades da obra (madeira, rochas, solo e vegetação), bem como ter custos reduzidos de manutenção<sup>45</sup> tanto das estruturas como da vegetação implantada.

A especificação detalhada dos custos das intervenções definidas é realizada diretamente na fase de projeto executivo.

---

<sup>45</sup> Por se tratar de uma travessia de dutos terrestres, a manutenção da faixa deve ser obrigatoriamente realizada. Nas situações em que não existem estruturas a serem protegidas ou prioridades de visibilidade e limpeza da área, as atividades de manutenção podem ser suspensas após o estabelecimento da vegetação.



#### IV – Análise dos riscos associados

De acordo com os dimensionamentos realizados, os riscos associados podem ser matematicamente avaliados em dois momentos distintos: primeiro com a ação apenas das estruturas inertes e depois com a ação conjunta da vegetação sobre as margens. Essa estimativa de falha também serve para embasar a escolha das intervenções para correção dos problemas evidenciados.

A estimativa do grau de risco associa-se ao tempo de retorno (no caso 25 anos) e este, por sua vez, a uma vazão de projeto. Assim, a probabilidade ( $P$ ), em porcentagem, de não ser excedida a mesma descarga do evento de projeto ( $Q_d = 15,40 \text{ m}^3/\text{s}$ ), pode ser obtida pela expressão abaixo:

$$P(Q > Q_d) = 100 - \frac{100}{T} \quad (4.18)$$

Já o risco ( $R$ ) associado a um eventual problema durante o período de retorno considerado (25 anos) e durante a vida útil do duto (20 anos) (ASME B31.8, 2003) é obtido pela expressão:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{20} \quad (4.19)$$

Sendo que, quanto mais próximo de um (1) for o valor, maior é o risco associado a um evento.

Diante disso, constata-se que, para as intervenções implantadas apenas com os elementos inertes, a probabilidade do evento não ser excedido de acordo com a Equação (4.18) é de 96% e o risco associado a esse evento é pela Equação (4.19) igual a 0,558. As intervenções apresentam, portanto, um nível satisfatório mesmo no período entre a implantação da obra e o pleno estabelecimento da vegetação, ou mesmo no caso de insucesso destas. É importante que as soluções de engenharia natural tenham níveis de segurança atestados em todas as suas fases, pois sendo uma obra de caráter dinâmico, reflete também a necessidade de uma resposta adequada aos efeitos puramente dinâmicos e randômicos que governam a estabilidade dos sistemas naturais onde, neste caso, ocorre a travessia do duto.

Para demonstrar a condição na qual a vegetação tem ação efetiva sobre as margens, deve-se estimar um novo período de retorno da obra, sem, contudo, considerar os efeitos das raízes sobre a estabilidade dos taludes e também o efeito protetivo da parte aérea das plantas, mas somente o aumento da rugosidade proporcionado. Para isso, considera-se a menor vazão capaz de mobilizar uma rocha de 0,37 m (correspondente à velocidade limite de transporte), utilizada na formação do perfil e também na base da parede krainer. A velocidade limite é de 2,51 m/s e é atingida com menor vazão no caso da seção 2+5, com um valor de  $Q = 25,32 \text{ m}^3/\text{s}$ . Utilizando-se a Equação (4.7) determina-se uma chuva de projeto equivalente a essa vazão igual a 226,35 mm/h e com a Equação (4.8) chega-se a um período de retorno igual a 110 anos (mantendo-se fixas as demais variáveis). Observa-se que o uso da vegetação adequada do ponto de vista biotécnico aumenta em muito os níveis de segurança da obra.

Através desses valores, calcula-se à maneira das Equações (4.18) e (4.19), novas probabilidades e riscos associados ao evento de 110 anos (esse valor ultrapassa a série histórica de dados e por isso deve ser tomado apenas como valor indicativo) considerando a ação ideal da vegetação sobre a intervenção. Isso resulta numa probabilidade de 99,09% do evento não ser excedido e um risco associado durante a vida útil do empreendimento (no caso 20 anos) de 0,167, valores mais seguros que os da primeira condição.

Os resultados apresentados evidenciam que o uso da vegetação proporciona considerável aumento na segurança da obra (e que pode substituir parte das estruturas inertes com o tempo), e que por essa razão, o emprego de materiais mais baratos e de menor resistência, como no caso das peças de madeira da parede krainer (ao invés de peças de concreto armado, por exemplo), se justifica tecnicamente. Contudo, deve-se ter em conta que, para o presente caso, o aumento de segurança proporcionado pelo uso da vegetação não representa que os materiais inertes têm função secundária, pelo contrário, o sucesso da obra resulta de sua qualidade, e, mais ainda, dos efeitos que resultam de sua integração com as plantas, de modo que estas tenham as condições adequadas para se estabelecer e desempenhar os efeitos desejados.

Verifica-se ainda, pelos resultados obtidos, que as possibilidades das estruturas virem a falhar em eventos extremos existem, porém, são bastante pequenas.

#### *V – Avaliação estética e ambiental das intervenções*

O uso de espécies nativas da região, e que já fazem parte do ambiente natural onde de-

vem ser empregadas, contribui ao atendimento dos critérios estéticos e ambientais uma vez que limita a inserção de componentes e elementos estranhos à paisagem local. A mesma contribuição tem o emprego de materiais inertes que se encontram disponíveis na região, como no caso das rochas para a construção do perfil de compensação do leito e do uso de madeira e solo do local para a parede krainer. Também importante é o aproveitamento das condições locais, buscando que os efeitos proporcionados pelas intervenções fiquem confinados ao local de tratamento e não alterem porções ainda maiores da área. Isso é alcançado uma vez que os efeitos estimados do perfil de compensação ocorrem apenas no ponto problemático, ficando limitados a montante por um conjunto de rochas e a jusante pela ocorrência de um poço natural. Além disso, as dimensões pequenas das intervenções tem impacto reduzido no fluxo gênico e ictiofauna local.

O uso das espécies selecionadas, associado à forma e o ponto onde devem ser implantadas, constituem condições favoráveis para que a vegetação se desenvolva (onde antes não havia) e se integre facilmente ao ecossistema e a paisagem. A compatibilidade existente entre as espécies e o ambiente natural deve contribuir para o aumento da biodiversidade nesse ponto da faixa, que normalmente não contam com um conjunto de espécies vegetais variadas, já que a quantidade e o porte da vegetação são limitados de modo possibilitar o acesso eventual à área.

As soluções apresentadas garantem que as espécies e os materiais inertes a serem utilizados integrem-se ao ecossistema de modo próximo ao natural (paranatural). Isso é importante, pois não se tem a intenção de fazer com que a travessia volte às condições naturais pré-existentes, mas sim, de proporcionar as melhores condições de estabilidade do terreno e de proteção da infraestrutura, com o mínimo impacto e gasto de energia possível.

#### *Produtos da fase de projeto básico*

Ao término da fase de projeto básico foram geradas plantas (desenhos) com detalhamentos da área de travessia e de seu entorno. Essas plantas de projeto básico possibilitam a obtenção de informações quantitativas imprescindíveis à realização das descrições e dimensionamentos. No total foram geradas 5 plantas. As PRANCHAS B-01, B-02, B-03, B-04 e B-05, correspondem ao levantamento planialtimétrico da área. Destaca-se que as duas últimas pranchas apresentam o perfil longitudinal do curso de água na região da travessia e também as suas seções transversais em detalhes. As pranchas encontram-se

respectivamente nos Apêndices A, B, C, D e E. Além disso, o projeto conceitual gera um documento chamado Memorial de Cálculo.

#### 4.2.3 Projeto executivo

Na fase de projeto executivo conforme a metodologia desenvolvida na seção 3 deve-se otimizar as intervenções, detalhar as soluções adotadas, especificar os materiais, descrever os serviços, elaborar o cronograma e o orçamento e especificar o monitoramento e a manutenção.

##### I – *Otimização das intervenções*

A otimização das intervenções já projetadas em nível básico é realizada por meio de informações quantitativas adicionais provenientes do detalhamento descritivo dos elementos de projeto, típico dessa fase. Esse detalhamento inclui posicionamento e configuração de intervenções, racionalização do uso de materiais e logística executiva. No caso do exemplo em questão, isso se dá inicialmente pela verificação da disponibilidade de materiais inertes na região (madeira e rochas) e também da vegetação com potencial biotécnico (quantidade produzida e disponível em viveiros de fornecedores), que possam ser empregados na construção das intervenções. Além disso, é indispensável que sejam consideradas as necessidades específicas que cada técnica interventiva deve atender. Nesse sentido, a configuração detalhada do posicionamento do cinto basal saliente e modificações em suas dimensões dependem da posição do duto e cabos de fibra ótica, bem como da camada de proteção que deve ser proporcionada aos mesmos (atendimento das necessidades técnicas), sem, contudo, provocar grandes impactos na área tratada (atendimento as questões ambientais e econômicas). A parede krainer tem sua configuração e posicionamento definidos em função das dimensões do problema da margem esquerda, buscando atender o suporte e estabilização de que a mesma necessita. A configuração e disposição das banquetas vegetadas são determinadas pelo comprimento da parede krainer e o espaço existente entre esta e o sistema de drenagem (uma obra complementar). Já o plantio normal é otimizado pela delimitação dos pontos da margem direita, inclusos na travessia, que se encontram desprotegidos e precisam

de uma cobertura que proporcione proteção e estabilidade ao solo em um tempo relativamente curto.

No caso do cinto basal saliente, o perfil compensação artificial não foi construído em toda a extensão estimada para a formação do perfil natural. Essa prática foi possível uma vez que a necessidade técnica de proteção do duto foi atendida estendendo-se a construção do perfil a uma posição logo a montante do duto. Além disso, essa prática também possibilitou importante economia de material e redução de custos.

Tomando-se por base as considerações apresentadas, na sequência é possível desenvolver o detalhamento das soluções.

## II – *Detalhamento das soluções adotadas*

O detalhamento é discutido de forma separada entre a intervenção transversal e as intervenções longitudinais.

### *Intervenção transversal*

Referente à construção do cinto basal saliente, a opção de material escolhida a sua constituição é o concreto simples. Nessa decisão foi preponderante a consideração do pequeno porte que resulta a estrutura devido ao alto peso específico do concreto simples ( $24 \text{ kN/m}^3$ ) em relação a outros materiais. Assim, por ser um tipo de estrutura de gravidade, o peso do concreto contribui para a estabilidade do cinto basal. Dessa escolha resultam: pouco volume de material utilizado, menor alcance do impacto do perfil de compensação e da ação da curva de remanso, menor potencial de ação do escavo a jusante da obra e impacto reduzido na conectividade do curso de água. Além disso, o acesso existente ao ponto de travessia permite uma concretagem ágil e simples, utilizando-se de caminhão betoneira.

Quanto ao posicionamento do cinto basal saliente, este foi determinado na altura da estaca 4+7,30, e pode ser visualizado na Figura 4.14. Essa decisão fundamenta-se principalmente na necessidade de proteção do duto e cabos óticos e de respeito aos limites impostos pela faixa. Esse posicionamento do cinto basal, bem como sua altura (1,25 m) proporcionam condições mais estáveis para o escoamento em toda a extensão da faixa devido ao seu efeito de redução da inclinação do leito (estimada em 4%). Os efeitos da estrutura

sobre o regime fluvial estendem-se até 45,00 m a montante, e são limitados por um conjunto de blocos rochosos existentes no talvegue. Essa altura, associada à inclinação estimada de formação do perfil de 4%, proporciona uma camada de proteção sobre o duto de 0,30 m, a qual é considerada tecnicamente suficiente pela TRANSPORTADORA (ao invés de 1,00 m) devido ao regime de escoamento que passa a ser fluvial em todo o trecho após a instalação da obra (menor potencial de escavo). A Figura 4.14 representa os aspectos do efeito proporcionado pela construção do cinto basal saliente na posição e altura definidas (maiores especificações podem ser visualizadas na PRANCHA E-02, Apêndice G).

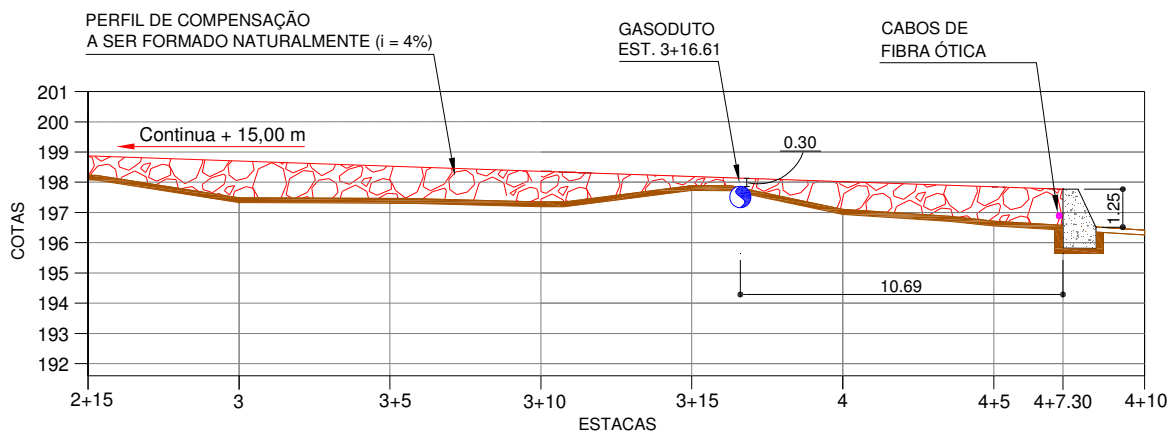


Figura 4.14 – Aspectos do perfil de compensação a ser formado naturalmente devido à posição e à altura do cinto basal saliente.

O cinto basal tem seção transversal trapezoidal, o que contribui para a estabilidade (aumento do momento estabilizante) e reduz a energia de escavo a jusante. A largura da soleira do cinto basal é de 0,50 m e a da base, que fica no fundo do leito escavado, deve ser de 1,10 m. Essa base deve ser retangular e inserida a profundidade de 0,70 m. As alas da estrutura tem largura constante de 0,50 m. O vertedouro tem seção trapezoidal com base menor de largura igual a 5,00 m, base maior de 10,50 m e altura igual a 0,85 m. Esses aspectos são apresentados na Figura 4.15, e maiores detalhes podem ser observados em desenhos na PRANCHA E-01 (Apêndice F).

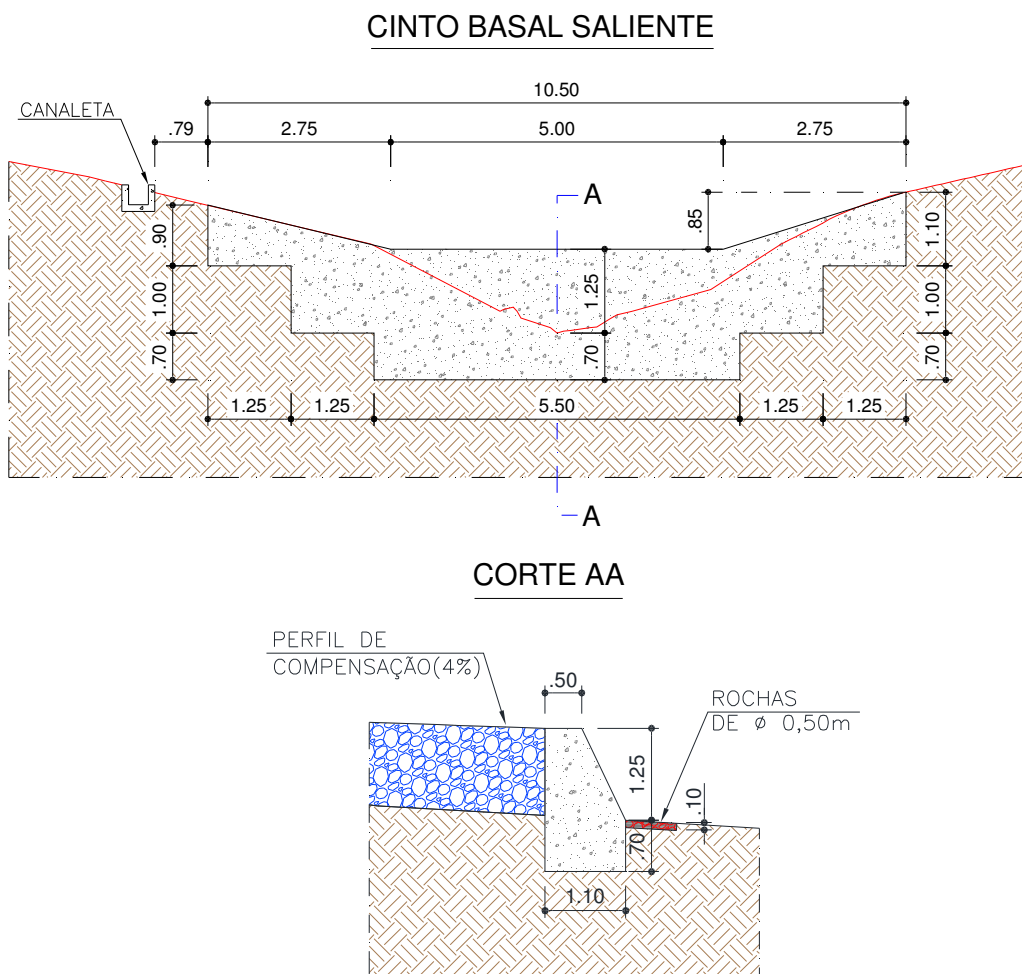


Figura 4.15 – Aspectos executivos do cinto basal saliente.

Conforme as estimativas do dimensionamento, o barramento provocado pela estrutura transversal pode, ao longo do tempo, propiciar a formação natural de um perfil de compensação de 4%. Por outro lado, o tempo requerido para essa formação é desconhecido. Diante disso e também da necessidade emergencial de proteção do duto, o processo deve ser acelerado por meio da construção do perfil até a altura da estaca 3+10 (extensão aproximada de 17,00 m) utilizando-se para isso rochas de dimensão 0,37 m (corresponde à velocidade limite de transporte) ou maior – a extremidade do perfil deve ser terminada com uma inclinação semelhante a 30°, favorecendo a acomodação das rochas. A extensão de construção do perfil foi determinada principalmente em função do posicionamento do duto (na estaca 3+16.61), buscando-se aumentar a sua proteção e segurança. Essas indicações podem ser observadas na Figura 4.16, e em maiores detalhes na PRANCHA E-02 (Apêndice G).





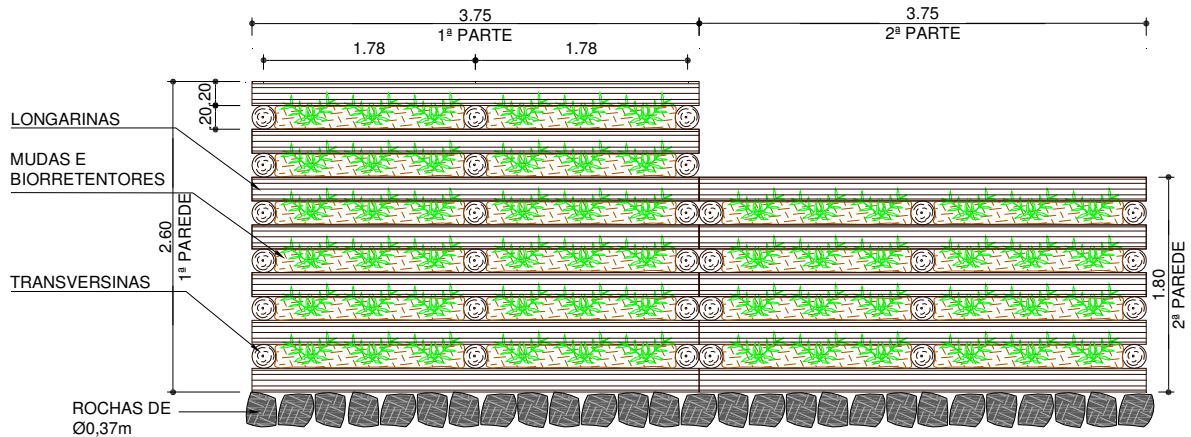


Figura 4.17 – Aspectos executivos da parede krainer dupla em vista frontal.

Ainda na margem esquerda, acima da parede krainer, devem ser implantadas as banquetas vegetadas. Busca-se com isso a retenção de sedimentos e a redução do escoamento superficial sobre a estrutura de contenção. Conforme indicações de Schiechl e Stern (1996), as banquetas devem ser escavadas no solo com inclinação mínima da base de  $10^\circ$ , a uma profundidade de 0,60 m e distanciadas entre si por aproximadamente 0,90 m – de acordo com esse espaçamento devem ser empregadas três banquetas. As mudas das espécies selecionadas são acomodadas na base das banquetas. A Figura 4.18 apresenta os aspectos das banquetas sobre a parede krainer (maiores detalhes podem ser observados na PRANCHA E-01, Apêndice F).

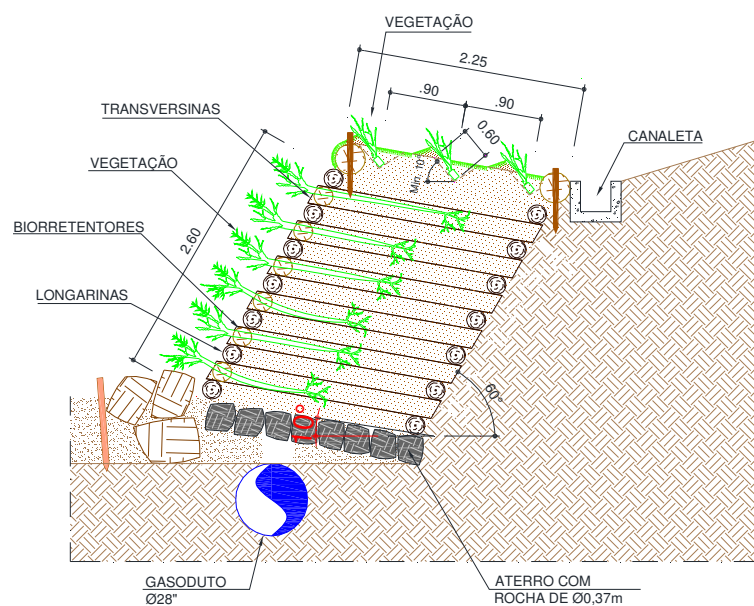


Figura 4.18 – Aspectos executivos da parede krainer dupla e banquetas vegetadas, ambas em corte transversal.

Para a margem direita se estabelece que dois tipos de plantios normais densos devem ser realizados. Essa escolha foi definida pela necessidade de proteção e estabilização do solo em um tempo relativamente curto. Uma vez que os problemas dessa margem são menores do que os do leito e da margem esquerda estruturas inertes são dispensáveis. Contudo, um acréscimo de proteção superficial do solo deve ser proporcionado por biorretentores na base da margem e por uma camada de biomanta, ambos associados aos plantios. Portanto, acompanhando a base da margem deve ser realizado o plantio de 5 a 6 mudas por metro linear até a estaca 3+10 (Figura 4.19), onde terminam os problemas da margem e também o perfil de compensação a ser construído. No restante da margem, numa distância de 6,00 m a partir de sua base, e na extensão compreendida entre a estaca 4+10 e a estaca 3+10 (Figura 4.19), realiza-se o plantio de 1 muda/m<sup>2</sup>. A densidade elevada de plantio se justifica tecnicamente devido à implantação de material com características biotécnicas, e economicamente devido à disponibilidade desse material nas proximidades. A Figura 4.19 mostra os aspectos desse plantio em planta, assim como a localização das demais intervenções (maiores detalhes são apresentados na PRANCHA E-01, Apêndice F).



### III – Especificação dos materiais

Conforme a descrição das soluções realizadas acima, o cinto basal saliente deve ser construído em concreto simples com peso específico de 24 kN/m<sup>3</sup>. Ensaio devem assegurar que esse material tenha uma resistência característica ( $f_{ck}$ ) mínima à compressão de 20 Mpa, para suportar a acomodação das rochas do perfil. Amostras de concreto para os corpos de prova devem ser obtidos diretamente no campo considerando a NBR 5738 - 2003 (Modelagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos de concreto) e os testes realizados de acordo com a NBR 5739 - 2007 (Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos). Essas especificações devem atestar a qualidade do material empregado na construção do cinto basal saliente, garantindo sua segurança e estabilidade.

As rochas utilizadas para a construção do perfil de compensação podem ser obtidas no próprio local e devem atender a dimensão mínima especificada nos dimensionamentos, ou seja, a partir de 0,37 m. Essa dimensão é considerada com a rocha posicionada no sentido da correnteza de modo a oferecer maior resistência ao fluxo. O emprego de rochas menores deve ser evitado.

As peças de madeira para a construção da parede krainer devem atender especificações de durabilidade e de dimensão das peças. Nesse sentido, as peças de madeira preferencialmente devem ser de *Corymbia citriodora* (Eucalipto) – devido à sua durabilidade natural – e, se possível, tratadas (aumento de durabilidade). Caso não sejam encontradas madeiras com tratamento preservativo adequado, peças de madeira sem tratamento, porém descascadas (a casca reduz a durabilidade da madeira), podem ser empregadas. As peças devem ser cilíndricas com 0,20 m de diâmetro. Deve-se atentar para o emprego de peças de diâmetros semelhantes, pois estes, se muito variáveis, podem prejudicar a qualidade estrutural da parede (alteram-se as especificações de dimensionamento), além de dificultar sua construção. Pelos mesmos motivos as peças devem ter boas condições de lenho, não devem apresentar rachaduras ou partes apodrecidas e serem isentas de nós (se apresentarem nós, estes devem ser pequenos e poucos). Considerando os módulos individuais da parede, as longarinas devem ter o comprimento de 3,75 m (Figura 4.17) e as transversinas de 2,25 m (Figura 4.18). Uma vez na obra essa madeira deve ser abrigada do sol e da chuva para evitar deformações (empenamentos, rupturas, etc.) que comprometam o seu uso. As peças com problemas e defeitos devem ser substituídas.

Os grampos e cravos para prender as longarinas as transversinas são dimensionados conforme a NBR 7190 – 1997 (Projetos de estruturas de madeira). Como garantia de

resistência à flexão e também ao corte, ambas as peças metálicas devem ter diâmetro de 10 mm. Os grampos (que tem formato de “u”) devem ter 40 cm de comprimento e 10 cm em cada extremidade, os cravos devem ter 15 cm de comprimento com uma divisão metálica de 1 cm no centro de modo separar as longarinas e transversinas no momento de inserção (Figura 4.20). Esses Grampos e cravos devem ser pontiagudos para facilitar a inserção na madeira.

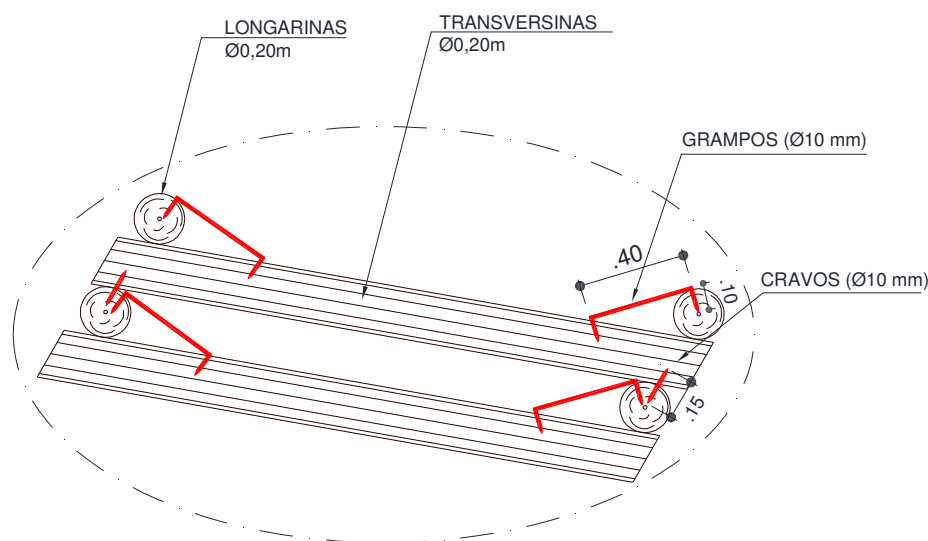


Figura 4.20 – Aspecto executivos dos grampos e cravos na amarração entre longarinas e transversinas.

Conforme indicações das pesquisas sobre a vegetação com características biotécnicas, na parede krainer devem ser empregadas mudas das espécies *Calliandra haematocephala*, *Chloroleucon tortum*, *Tibouchina moricandiana*, *Miconia cinnamomifolia*, *Ludwigia nervosa*, *Mimosa pigra* e *Cordia verbenaceae*. Essas mudas devem ter de 0,80 m a 1,50 m de comprimento para que em poucos ciclos vegetativos enraízem no tardoz e proporcionem maior ancoragem à estrutura. Os biorretentores (de fibras vegetais) a serem utilizados devem ter diâmetro de 0,30 m e comprimento de 1,60 m. Essas dimensões se justificam uma vez que nas “gavetas” da parede não devem resultar espaços para a perda de sedimentos e também para fixar adequadamente as mudas. Os arames para prender biorretentores as longarinas e transversinas devem ser galvanizados (nº 26), uma vez que possuem durabilidade relativamente maior e resistência compatível as necessidades requeridas.

O solo utilizado na parede krainer para preenchimento dos “berços” e para o plantio das mudas deve ser do próprio local, e preferencialmente deve ser desprovido matacões

grandes, de modo que as plantas tenham melhores condições de adaptação e estabelecimento. A caracterização visual permite determinar se o solo contém quantidades suficientes de porção fina, para manter umidade na zona radicial das mudas, bem como quantidade suficiente de material granular que proporcione drenagem adequada à parede krainer durante eventos pluviométricos mais intensos.

Nas banquetas vegetadas são empregadas mudas das mesmas espécies empregadas na parede krainer, além da espécie *Senna reticulata* – a técnica e a posição onde deve ser inserida permitem o uso dessa espécie que apresenta porte (pós-estabelecimento) pouco maior que as demais (aproximadamente 5,00 m). Atendendo as exigências das dimensões das banquetas escavadas em solo, as mudas para essa intervenção devem tamanho de 0,50 m a 0,80 m. Os biorretentores complementares que devem ser utilizados nessa técnica têm as mesmas características daqueles empregados na parede krainer.

Para o plantio normal e denso da margem direita, são utilizadas as mesmas espécies empregadas nas banquetas vegetadas. Contudo, o porte das mudas dessas espécies pode ser menor (0,50 m), uma vez que as condições da margem, o plantio denso e o menor custo de aquisição, justificam o emprego de mudas menores. Além disso, devido ao pequeno porte, a atividade de tutoramento das mudas – para que se mantenham em pé – pode ser dispensada. Quanto à biomanta a ser empregada nessa margem, a mesma deve ser de palha biodegradável (rede superior de polipropileno fotodegradável – biomanta unidimensional) com durabilidade mínima de 12 meses para garantir maior proteção ao solo ao longo do estabelecimento da vegetação. Os biorretentores para esta aplicação têm as mesmas especificações daqueles aplicados na parede krainer. As estacas para prender a biomanta e também os biorretentores devem ser de madeira com dimensões de 0,50 x 0,05 m, uma vez que estas cumprem com a função e apresentam custo reduzido se comparados a grampos de metal.

Referente aos cuidados com o material vivo, atenta-se para que as mudas levadas a obra estejam sadias e que apresentem o porte pré-determinado. Aquelas que estiverem secas, quebradas ou com algum tipo de dano que limite o seu estabelecimento e desenvolvimento devem ser substituídas. É importante que a logística de fornecimento e a execução permitam que as mudas sejam implantadas logo após o transporte a obra. Caso exista a necessidade de serem armazenadas no local, as mudas devem ficar abrigadas do sol, chuva e vento, e devem ser irrigadas com frequência. Devido às limitações nutricionais e hídricas do substrato, essa condição não deve se estender por muito tempo (se possível, não mais de uma semana).

Em intervenções onde o plantio de mudas for realizado (parede krainer, banquetas e plantio normal), a aplicação de adubo químico (correção nutricional) e também de polímero

hidroretentor ou hidrogel (hidratação das mudas) é importante. De acordo com as análises químicas do solo local, o adubo a ser utilizado deve corresponder à formulação de NPK 10-20-20. Quanto ao hidrogel – usado para hidratar as mudas e evitar as regas diárias –, as principais especificações do produto são relativas às quantidades que devem ser aplicadas nas mudas.

A partir dessas especificações de materiais, juntamente com as demais descrições já realizadas, torna-se possível apresentar a descrição dos serviços envolvidos na execução do projeto.

#### *IV – Descrição dos serviços*

Para a implantação das soluções descritas, inicialmente devem ser realizadas atividades de limpeza e preparação do terreno, montagem do canteiro de obras e a indicação das atividades de apoio e medidas provisórias para controle de erosões e controle de sedimentos no curso de água. Para evitar danos em áreas lindeiras, procura-se, se possível, realizar o acesso à obra exclusivamente pela faixa do gasoduto.

O canteiro provisório de obras deve ser montado na faixa próximo ao local das atividades. Para evitar danos ao meio ambiente, o concreto a ser utilizado deve ser usinado em caminhão betoneira, e se necessário, transportado até o ponto de aplicação por meio de retroescavadeira. Durante as atividades de implantação, para que sejam controlados os sedimentos de margem e também dentro do curso de água, devem ser construídas estruturas provisórias de contenção conforme demonstra a Figura 4.21. Três dessas barreiras devem ser instaladas logo a jusante do cinto basal saliente, considerando-se a distância de 5,00 m entre uma e outra, o que constitui um sistema de redundância para aumentar a eficiência ao barramento de sedimentos (Figura 4.24). Maiores detalhes dessas estruturas podem ser observados na PRANCHA E-03 (Apêndice H).

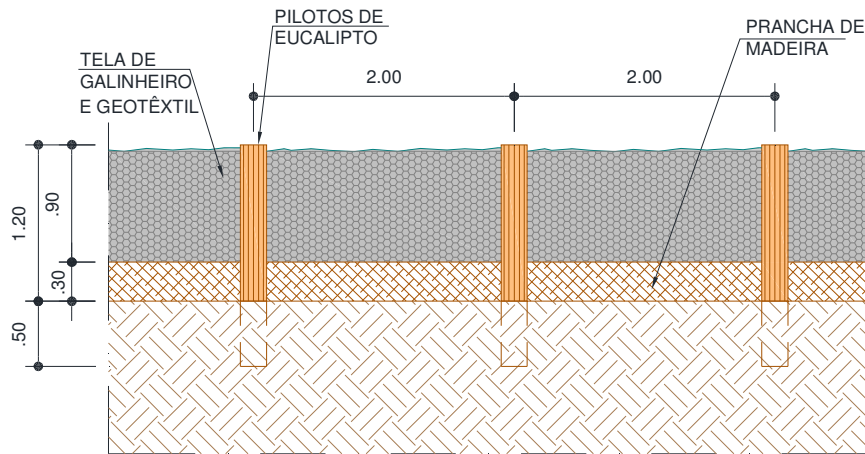


Figura 4.21 – Aspectos executivos das estruturas provisórias de contenção.

Nas atividades de terraplanagem deve-se utilizar uma retroescavadeira. Do leito do curso de água, entre as estacas 3+10 e 4+10, devem ser retiradas as rochas de grandes dimensões (Figura 4.22) e reutilizadas seguindo as indicações da construção do perfil de compensação. Na altura da estaca 4+7,30 (Figura 4.16), para que o cinto basal seja construído, o leito e as margens (alas para o cinto basal) devem ser escavados seguindo as dimensões da estrutura que é indicada na Figura 4.15. Para possibilitar a construção da parede krainer, a inclinação do tardo do talude da margem esquerda deve ser corrigida para  $60^\circ$  e a inclinação de sua base para  $10^\circ$ . Essas indicações podem ser observadas na Figura 4.18, e em detalhes na PRANCHA E-01 (Apêndice F). O solo excedente das atividades de terraplanagem deve ser utilizado na própria intervenção.



Figura 4.22 – Rochas que devem ser retiradas do leito e reacomodadas na construção do perfil de compensação.



Durante a escavação do leito para a implantação do cinto basal, no caso do encontro com blocos de rochas difíceis de serem retirados, estes devem ser perfurados e transpassados por barras de aço para a ancoragem. Para evitar a perda excessiva de sedimentos a partir da extremidade das alas do cinto basal saliente, devem ser instalados nesses locais, biorretentores associados ao plantio de mudas das espécies selecionadas. Essas alas devem ser continuadas em direção ao terreno numa extensão de 1,00 m para maior proteção. Isso resulta em 4 biorretentores de sedimentos e 6,40 m lineares de mudas (5 mudas para cada lado das alas), assim como indica a Figura 4.23 (maiores detalhamentos são apresentados na PRANCHA E-01 (Apêndice F).

Para a proteção do cinto basal saliente contra a ação da erosão por escavo deve-se lançar um enrocamento numa extensão de 0,70 m com rochas de diâmetro mínimo de 0,50 m a uma profundidade de 0,10 m (para acomodar as rochas), o que corresponde a 0,50 m<sup>3</sup> de rocha.

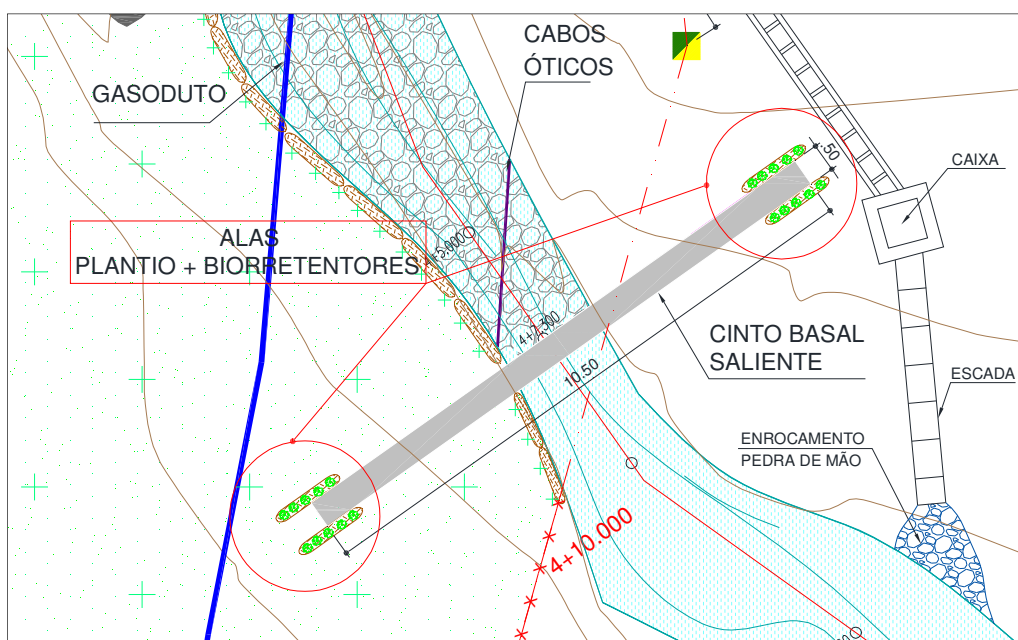


Figura 4.23 – Aspecto executivo do plantio de mudas associado a biorretentores nas alas do cinto basal saliente.

Uma vez construído o cinto basal saliente, a partir de sua posição (estaca 4+7,30), inicia-se a construção do perfil de compensação numa extensão total de 17,00 m. Para isso são empregadas somente rochas de dimensão maior que 0,37 m, de modo que sua acomodação

(pedras lançadas) resulte numa inclinação semelhante a 4%, tomando-se como base de nivelamento a altura de 1,25 m do cinto basal saliente (como já indicado na Figura 4.16).

Após a implantação da intervenção transversal iniciam-se os serviços e atividades para a implantação das intervenções longitudinais. A primeira margem a ser tratada deve ser a esquerda, já que o acesso à área se dá pela margem direita. Essa decisão se justifica por evitar retrabalhos devido a possíveis danificações provocadas pela movimentação de operários e máquinas.

Para iniciar a construção da parede krainer (considerando-se um módulo por vez), na base remodelada do talude devem ser alocadas duas longarinas, uma escorada ao talude e, logo à frente a uma distância de 2,00 m entre eixos, a outra (Figura 4.18). Acima dessas longarinas, a partir de suas extremidades, são alocadas três transversinas distanciadas entre eixos por 1,78 m (Figura 4.17). As longarinas e transversinas são presas por grampos e cravos conforme a Figura 4.20 – para facilitar a inserção dos cravos e grampos devem ser realizados furos prévios na madeira com o auxílio de furadeira. Cravos e grampos devem ser inseridos na madeira com auxílio de marreta de aço. Nos “berços” formados pelo cruzamento de longarinas e transversinas adiciona-se o solo, e em seguida, inserem-se as espécies selecionadas na quantia de 15 mudas por “gaveta” (indicações quantitativas são apresentadas em tabela na PRANCHA E-01, Apêndice F). Sobre as mudas aplica-se o biorretentor, este é firmemente amarrado com arame galvanizado as longarinas e transversinas. Na base das mudas, em proximidade com as raízes, deve ser adicionado inicialmente o hidrogel na quantia de 300 ml por muda e depois o adubo NPK (10-20-10) na quantia de 50 g por muda (de acordo com as informações das análises químicas de solo). Como complemento a estabilidade e reforço da parede, em sua base devem ser cravadas estacas de madeira de 0,20 m de diâmetro e de 2,25 m de comprimento a cada 1,00 m de distância. Com a mesma intenção de reforço a parede, rochas de maior porte (aproximadamente 0,50 m de dimensão) também devem ser acomodadas em sua base, entre as estacas. Os aspectos de construção da parede krainer podem ser observados em maiores detalhes na PRANCHA E-01 (Apêndice F).

Acima da parede krainer são implantados o sistema de drenagem e as banquetas vegetadas, ambas como complementos a estabilidade dessa estrutura de contenção. Primeiramente deve ser instalado o sistema de drenagem consistindo de 25,00 m de canaletas, escada hidráulica, e enrocamento com pedra lançada de 0,50 m de diâmetro, com detalhamento em projeto. Os detalhes de localização e dimensão do sistema de drenagem são mostrados na Figura 4.24, e maiores detalhes podem ser observados na PRANCHA E-03 (Apêndice H).

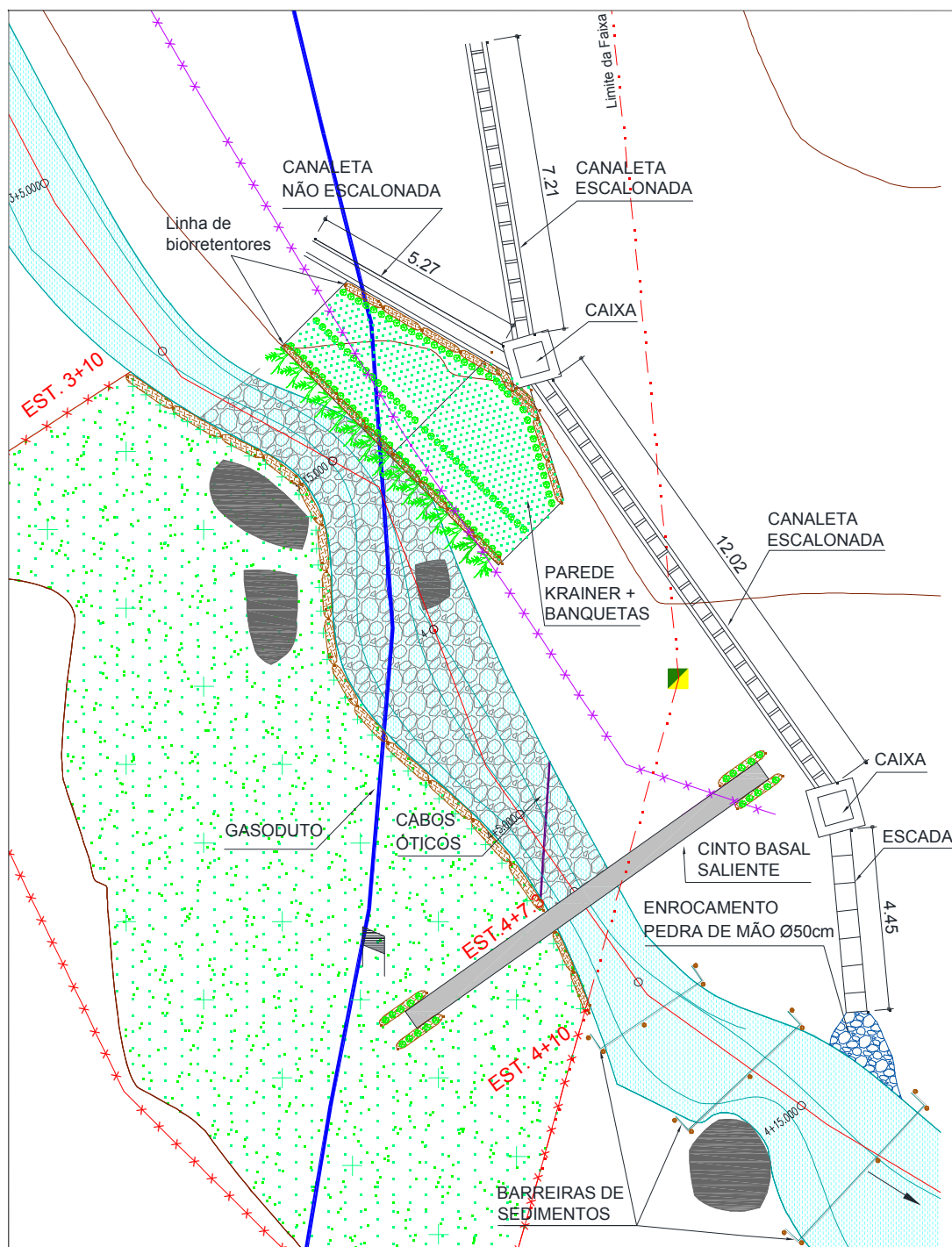


Figura 4.24 – Aspectos executivos do sistema de drenagem em planta (posicionamento em relação as demais estruturas e extensão).

Após instalado o sistema de drenagem, no espaço existente entre este e a parede krainer são implantadas as banquetas vegetadas. A escavação para a construção das banquetas deve ser realizada de maneira manual, uma vez que o solo nesse local é oriundo de outras escavações. Para evitar a perda excessiva de sedimentos, as banquetas das extremidades

devem receber uma fileira de biorretentores sobre os quais as mudas devem ser acomodadas – são necessários 10 biorretentores a cada banquetta. Esse detalhe pode ser observado na Figura 4.24, e em detalhes na PRANCHA E-01 (Apêndice F).

Encerradas as atividades e serviços na margem esquerda do curso de água, iniciam-se os serviços na margem direita. Inicialmente deve ser aplicada e grampeada em toda a área delimitada para o plantio de mudas, a biomanta de palha. Na base da margem, as rochas do perfil devem ser utilizadas para auxiliar na fixação da biomanta. Uma vez realizada essa atividade, inicia-se o plantio das mudas das espécies selecionadas, primeiro o plantio denso e linear juntamente com a aplicação de biorretentores, acompanhando a margem numa extensão de 17,00 m a montante do cinto basal saliente (início na altura da estaca 4+7,30 e final na estaca 3+10). Após isso, inicia-se o plantio denso em toda a margem numa extensão de 20,00 m (entre as estacas 4+10 e 3+10) até a altura da cota 200,00 m, que é o nível estimado de ação da água em períodos de cheia. Essas considerações podem ser observadas na Figura 4.19, e na PRANCHA E-01 (Apêndice F) com maiores detalhes.

As covas de plantio, no caso de mudas, devem ser abertas respeitando-se as dimensões do sistema radicial apresentado pelas plantas. Nas covas, aplica-se 50 g de adubo NPK (10-20-10) por muda, o qual deve ser minimamente incorporado ao solo com o uso de ferramentas adequadas (pá, enxada, etc.) para não entrar em contato direto com as raízes. Com o adubo misturado no fundo da cova deve ser adicionada uma solução preparada de 300 ml de hidrogel, para hidratação das plantas por períodos prolongados e assim evitar a necessidade de regas diárias. Aplicados os dois insumos, a muda deve ser inserida na cova com a inclinação de 45° no sentido do fluxo da torrente (principalmente as mais próximas à linha da água). Isso se justifica uma vez que as plantas inclinadas reduzem os esforços e solicitações transferidas durante os fluxos de cheia, e também proporcionam maior proteção ao solo já que ficam estendidas sobre a margem formando uma camada de proteção. A Figura 4.25 sintetiza as orientações que devem ser consideradas no plantio das mudas.

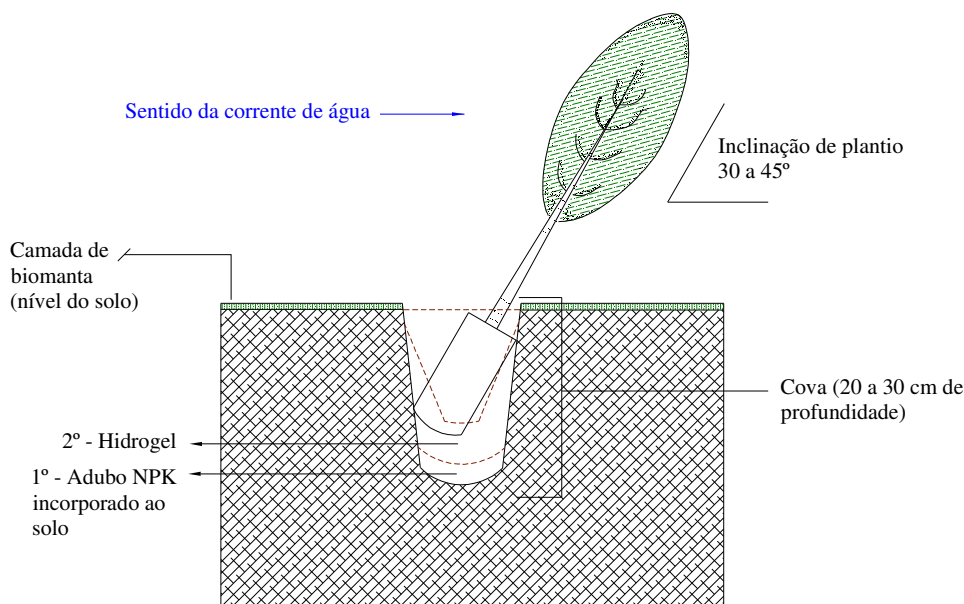


Figura 4.25 – Aspectos executivos de plantio das mudas na margem direita.

Durante os plantios (no caso da parede krainer) ou ao término dos mesmos, as mudas necessariamente devem ser irrigadas. Para maior aproveitamento da umidade pelas plantas é preferível que a irrigação seja realizada nos horários do dia em que a temperatura é amena, ou seja, no início da manhã ou no final da tarde – em dias nublados a irrigação pode ser feita a qualquer momento do dia. A irrigação deve consistir na adição de 1,00 l de água por planta (tem função adicional uma vez que a solução preparada de hidrogel já contém água). Caso não chova no primeiro mês seguinte ao plantio, uma nova irrigação nos mesmos moldes deve ser realizada para garantir a hidratação das mudas. Isso deve ser definido no plano das atividades de monitoramento.

Ao término das atividades de implantação procede-se à limpeza da área de obras. As estruturas danificadas e retiradas devem ser refeitas. Para que a vegetação se desenvolva sem interferências externas (animais domésticos ou ação de terceiros), a área da obra deve ser cercada até a altura da cota 200,00 m (onde termina o plantio). Detalhes de localização são indicados em planta na Figura 4.19, e em detalhes na PRANCHA E-01 (Apêndice F).

Uma vez apresentadas e descritas as soluções adotadas, especificados os detalhes dos materiais a serem empregados e também apresentados e descritos os serviços que possibilitam a implantação da obra, pode-se então, apresentar o cronograma de implantação condizente com as necessidades evidenciadas. Da mesma forma torna-se possível quantificar os materiais

e atividades e apresentar o orçamento com custos unitários e totais relativos ao empreendimento.

#### *V – Elaboração do cronograma e orçamento*

A implantação da obra foi definida para um período em que as precipitações são relativamente menores na região. O início desse período corresponde ao mês de abril, no qual de acordo com as séries históricas de 1981 a 2012, em média precipitam 115 mm (Figura 4.26). Cabe destacar que não somente o mês de abril interessa a implantação da obra, mas todo o período compreendido entre abril e setembro, já que este, historicamente, apresenta as menores precipitações (Figura 4.26).

A decisão de realizar a obra nesse período se justifica porque, na ausência de chuvas intensas, menores são as possibilidades de interrupção das atividades e também de realização de retrabalhos devido a danos em estruturas inacabadas e em plantios ainda não estabelecidos. Além disso, as atividades quando realizadas sobre o solo muito úmido, potencializam problemas de compactação e também de erosão. Por outro lado, deve-se levar em conta que o período com menor umidade é menos favorável a pega das mudas devido a um possível déficit hídrico. Nessas condições, medidas para corrigir deficiências hídricas como a aplicação de hidrogel e a realização de monitoramentos, garantem a pega e o sucesso inicial dos plantios.

O período de pega efetiva das mudas foi estimado em aproximadamente três meses. Este período deve ser integralmente contemplado pelas atividades de monitoramento. Tal estimativa foi definida com base em princípios silviculturais, contudo, se possível, o monitoramento deve ser continuado por mais tempo – mesmo com visitas menos frequentes – com a intenção de verificar o desempenho e evolução das intervenções – indicações específicas são realizadas nas atividades de monitoramento.

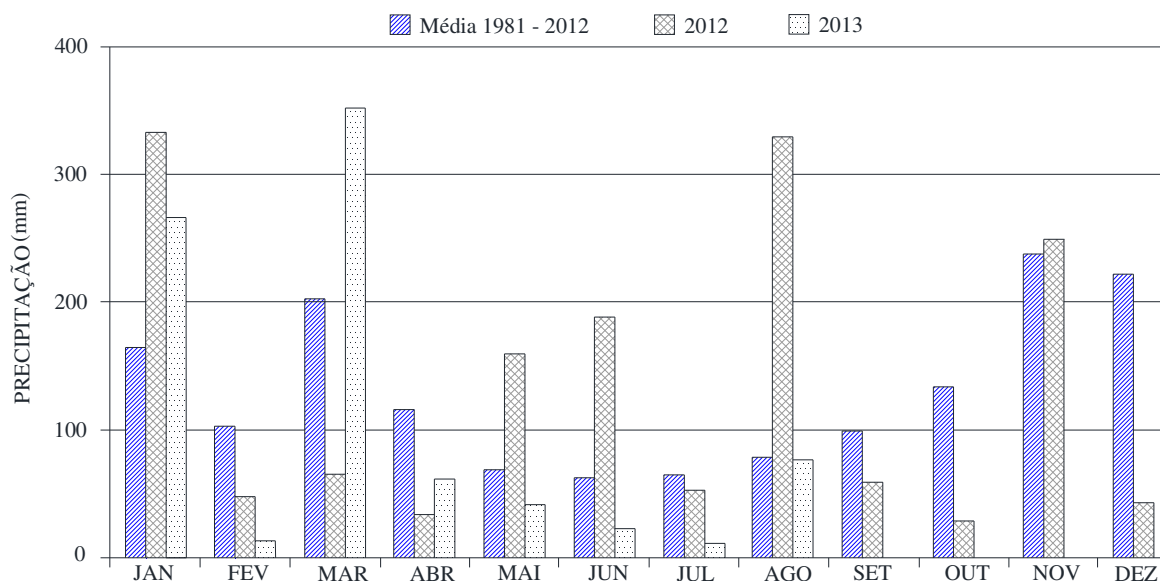


Figura 4.26 – Série histórica de precipitações para o município de Viana, ES (valores de 2013, somente até o mês agosto).

Fonte: Adaptado do INCAPER (2013).

O volume de atividades relacionadas à implantação das intervenções, bem como o seu nível de complexidade possibilitam que a execução da obra seja relativamente rápida. Uma vez organizados previamente todos os aportes requeridos (pessoal, material, maquinário, licença ambiental, etc.), estima-se que sejam necessários 9,5 dias de trabalho efetivo para a implantação da obra (sem considerar possíveis interrupções). Assim, nos serviços iniciais que incluem limpeza da área, drenagem provisória, controle de sedimentos e terraplanagem, emprega-se 1,5 dia. Já na intervenção transversal é necessário o emprego de 1,5 dia para a implantação do cinto basal saliente e 1,5 dia para a construção do perfil de compensação. Nas intervenções longitudinais empregam-se 2 dias para construção da parede krainer, 0,5 dia para as banquetas vegetadas e 1 dia para os plantios com biorretentor e biomanta. No serviço complementar de drenagem, considera-se o emprego de 1 dia. Já nos serviços finais que incluem limpeza da área, recomposição e construção de cerca, emprega-se 0,5 dia. Nessa estimativa considera-se que a equipe responsável pela realização dos trabalhos tenha experiência em obras de engenharia e um responsável com conhecimentos específicos de engenharia natural, bem como experiência nessa área para otimizar o tempo de realização das operações.

A Tabela 4.5 sintetiza as atividades em ordem de desenvolvimento, de modo que a maioria é prevista para o mês de abril ficando a monitoramento para o período pós-obra

correspondente aos meses de maio, junho e julho (deve ser iniciado logo após a implantação da obra).

Tabela 4.5 – Cronograma das atividades envolvidas na execução da obra.

Atividades	Mês de Realização			
	Abr	Mai	Jun	Jul
Mobilização	x			
Serviços iniciais	x			
Instalação do canteiro	x			
Obras provisórias de drenagem e controle de sedimentos	x			
Terraplanagem	x			
Cinto basal saliente	x			
Parede krainer e proteção das margens	x			
Drenagem	x			
Limpeza final	x			
Monitoramento		x	x	x

Tomando-se por base o detalhamento das soluções, a especificação dos materiais e a descrição dos serviços, torna-se possível realizar a quantificação de materiais necessários a execução da obra. A Tabela 4.6 contempla todas as atividades de que depende a execução do projeto, especificando os seus valores unitários e totais, indicando a operação a ser realizada, juntamente com os materiais empregados e o uso de máquinas quando necessário.

Para a realização de todos os serviços considera-se o emprego de uma equipe fixa (5 operários) e também de uma retroescavadeira, além de pessoal ligado às atividades de segurança do trabalho, meio ambiente, fiscalização e encarregado.



Tabela 4.6 – Quantificação e orçamento das atividades, materiais e máquinas necessárias a implantação da obra.

<b>Atividades</b>	<b>Quant.</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor Unitário</b>	<b>Valor Total</b>
<b>Limpeza Inicial</b>				
Equipe Fixa	0,5	dia	R\$ 3.332,55	R\$ 1.666,28
Retroescavadeira	4	hora	R\$ 103,51	R\$ 414,02
<b>Drenagem Provisória</b>				
Barreira de sedimentos	13,50	m	R\$ 23,84	R\$ 321,84
<b>Terraplanagem</b>				
Equipe Fixa	1	dia	R\$ 3.332,55	R\$ 3.332,55
Retroescavadeira	8	hora	R\$ 103,51	R\$ 828,04
<b>Obras Transversais</b>				
Equipe Fixa	3	dia	R\$ 3.332,55	R\$ 9.997,65
Restroescavadeira	4	hora	R\$ 103,51	R\$ 414,04
Concreto simples	12,96	m³	R\$ 763,02	R\$ 9.888,74
Biorretentor de sedimento de 30 cm de diâmetro	4	Unidade	R\$ 70,00	R\$ 280,00
Plantio de mudas nas alas do cinto basal	20,00	Unidade	R\$ 4,00	R\$ 80,00
Enrocamento de pedra de mão de 0,37 m	18,70	m³	R\$ 168,69	R\$ 3.154,50
Enrocamento de pedra de mão de 50 cm	0,50	m³	R\$ 168,69	R\$ 84,35
Tubo corrugado Ø 15 cm (proteção cabos óticos)	4,00	m	R\$ 13,00	R\$ 52,00
<b>Obras longitudinais</b>				
Equipe Fixa	3,5	dia	R\$ 3.332,55	R\$ 11.663,93
Retroescavadeira	8	hora	R\$ 103,51	R\$ 828,04
Plantio de mudas na parede krainer	300	Unidade	R\$ 8,00	R\$ 2.400,00
Plantio de mudas nas banquetas	200	Unidade	R\$ 4,00	R\$ 800,00
Plantio de mudas+biorretentor	100	Unidade	R\$ 4,00	R\$ 400,00
Plantio de mudas+biomanta	250	Unidade	R\$ 4,00	R\$ 1.000,00
Mourões de eucalipto tratado 20 cm	62	Unidade	R\$ 13,84	R\$ 858,08
Biorretentor de sedimento de 30 cm de diâmetro	43	Unidade	R\$ 70,00	R\$ 3.010,00
Aterro sem compactação	33,50	m³	R\$ 40,88	R\$ 1.369,48
Enrocamento de pedra de mão de 0,37 cm	8,44	m³	R\$ 168,69	R\$ 1.423,74
Grampos	146,1	kg	R\$ 2,07	R\$ 302,43
Biomanta de palha	250,00	m²	R\$ 8,97	R\$ 2.242,50
Arame galvanizado	10	kg	R\$ 2,07	R\$ 20,70
Adubo	44,5	kg	R\$ 20,00	R\$ 890,00
Hidrogel	265	ℓ	R\$ 0,50	R\$ 132,50
<b>Drenagem</b>				
Equipe Fixa	1	dia	R\$ 3.332,55	R\$ 3.332,55
Concreto Armado	2,29	m³	R\$ 1.719,49	R\$ 3.937,63
Concreto simples	0,6	m³	R\$ 763,02	R\$ 457,81
Alvenaria	11,22	m²	R\$ 34,77	R\$ 390,12
Enrocamento pedra de mão de 50 cm	0,50	m³	R\$ 168,89	R\$ 84,45
<b>Serviços Finais</b>				
Equipe Fixa	0,5	dia	R\$ 3.332,55	R\$ 1.666,28
Retroescavadeira	4	hora	R\$ 103,51	R\$ 414,04
Recomposição	528,00	m²	R\$ 2,02	R\$ 1.066,56
Cerca de arame liso com mourões de eucalipto	30,00	m	R\$ 8,67	R\$ 260,10
<b>Total</b>				<b>R\$ 69.464,93</b>

Observação: Os valores tabelados correspondem ao ano de 2012, portanto podem não corresponder aos valores atuais.

De acordo com o orçamento da Tabela 4.6, o custo total de implantação da obra é de R\$ 69.464,93. Com base nos valores apresentados na mesma tabela pode-se obter um comparativo de custos por serviços, como mostrado na Figura 4.27.

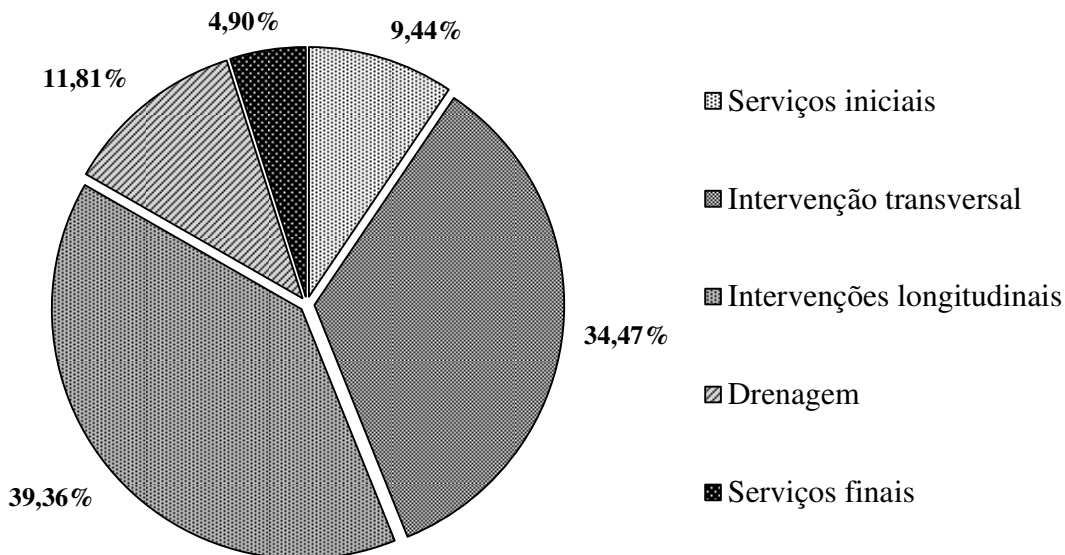


Figura 4.27 – Custos totais em percentual dos principais serviços que compõem a execução da obra.

Observação: Percentuais elaborados com base no valor total de R\$ 69.464,93.

Observa-se a partir da Figura 4.27, que os maiores custos de implantação são destinados as intervenções longitudinais (39,36%). Essas intervenções empregam materiais mais baratos que os da intervenção transversal, porém a quantidade empregada é relativamente maior em função da área tratada. Isso reflete diretamente na diferença de custo. O mesmo ocorre com os serviços iniciais e finais, onde a diferença de custos (4,54%) se deve especificamente ao maior tempo requisitado de equipe fixa e também de hora/máquina (retroescavadeira). Já o percentual de custos representados pela drenagem (11,81%) associa-se principalmente ao tipo de material empregado e ao seu valor (concreto simples e concreto armado).

Para cada serviço que compõe a obra é possível estabelecer um comparativo que indica as principais despesas. Comparam-se, nesse sentido, as despesas com mão-de-obra, materiais e também de maquinário (nesse caso, o uso de retroescavadeira na terraplanagem). A Figura 4.28 sintetiza essas informações.

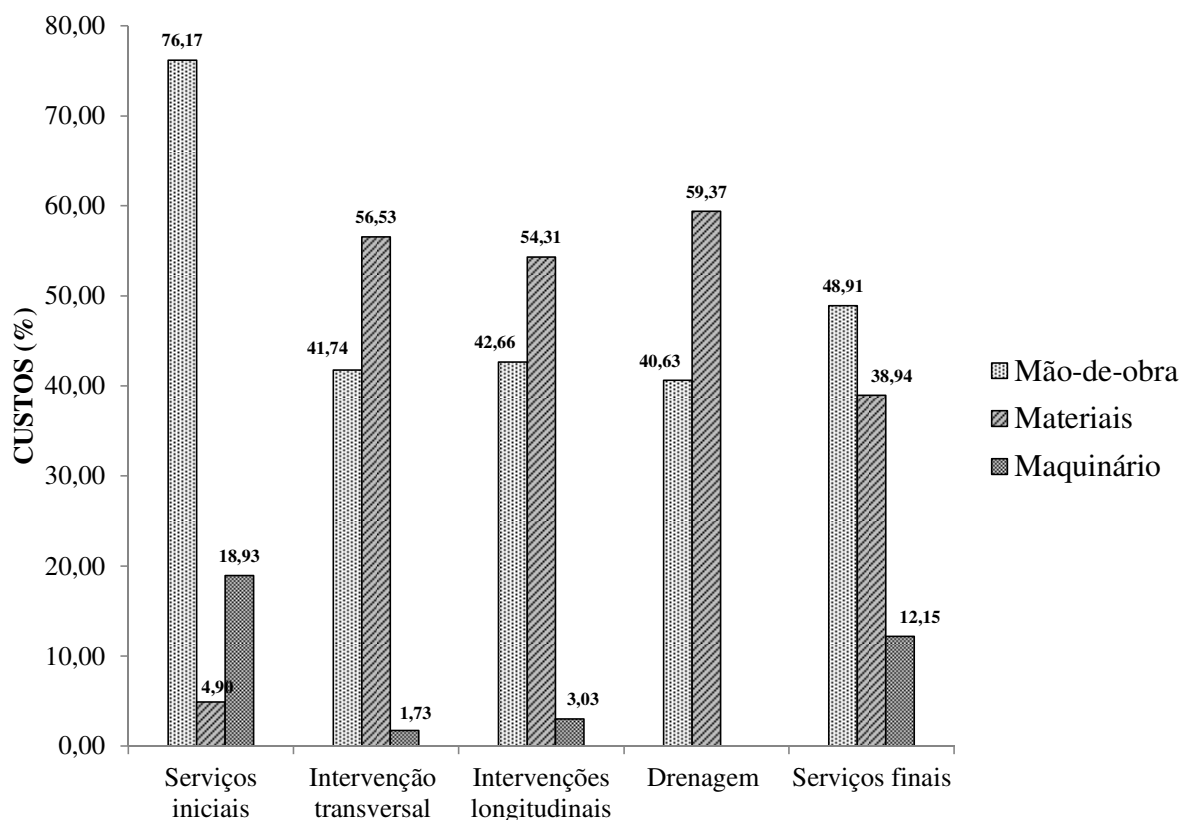


Figura 4.28 – Comparativo percentual entre os principais custos para realização dos serviços de implantação da obra.

Observação: Percentuais elaborados com base no valor total de R\$ 69.464,93.

Percebe-se pela Figura 4.28, que a maior parte dos custos das intervenções transversais e longitudinais, e também para o serviço complementar de drenagem, se deve a aquisição de materiais (respectivamente 56,53%, 54,31% e 59,37%). Já nos serviços iniciais e finais, as maiores despesas ficam por conta da mão-de-obra (respectivamente 76,17% e 48,91%), uma vez que poucos materiais são necessários à realização de ambas. De acordo com Petrone e Preti (2005), em obras realizadas na Europa (Itália) e também na América Central (Guatemala e Nicarágua), os maiores custos normalmente são atribuídos à mão-de-obra, já que boa parte do material empregado nas intervenções (madeira, rochas e material vegetativo) é encontrado na região, sem custos de aquisição. No exemplo em questão, devido à existência de poucos materiais naturais na região com as características adequadas, boa parte necessariamente deve ser adquirida por compra, como no caso de mudas produzida em viveiro, fazendo com que os custos das intervenções sejam mais elevados.

Também por meio dos valores apresentados na Tabela 4.6 é possível obter os custos totais destinados a cada técnica interventiva, bem como definir os custos para uma unidade

comparativa usual. Isso permite comparações de custos entre técnicas semelhantes, em outras regiões ou países. A Figura 4.29 apresenta os custos percentuais de cada técnica.

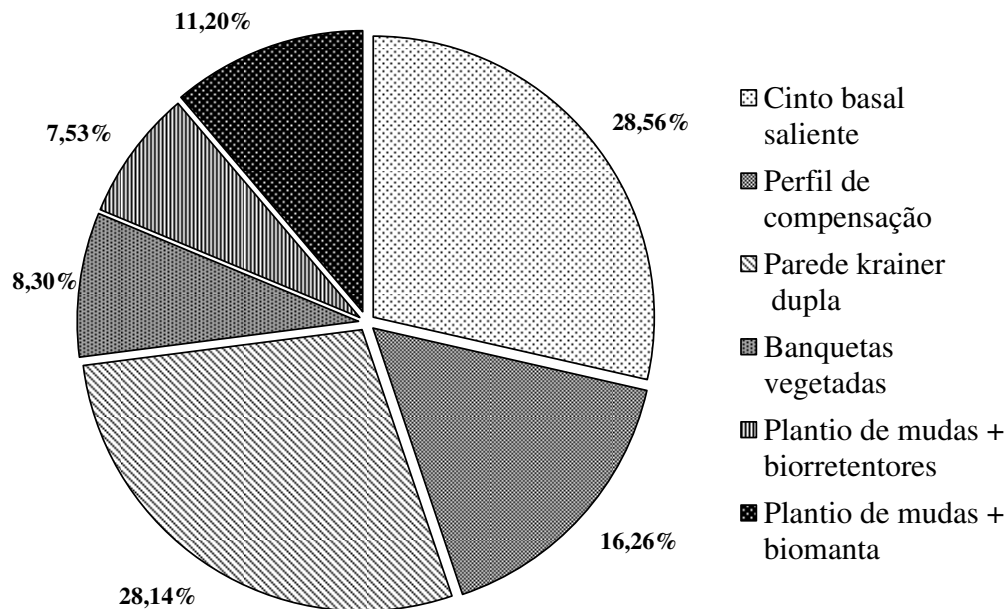


Figura 4.29 – Percentual dos custos totais de implantação para cada técnica projetada.

Observação: Nestes percentuais são considerados apenas os serviços, materiais, mão-de-obra e maquinário necessários à implantação de cada intervenção. Não são considerados os serviços de drenagem complementar, serviços finais, e também alguns materiais complementares. Assim, o valor total resultante que serve de referência é de R\$ 57.398,36.

Observando-se a Figura 4.29, constata-se que dentre todas as intervenções, o cinto basal saliente é a que apresenta o maior custo (28,56%). Isso se deve a maior quantidade de materiais e do maior tempo de mão-de-obra e maquinário requeridos. Com relação à pequena diferença de custos entre cinto basal saliente e parede krainer, esta se deve a diferença de valores dos materiais empregados, já que o tempo requerido de mão-de-obra e maquinário, para ambas as intervenções, é bastante semelhante.

Com vistas a possibilitar comparações futuras entre técnicas iguais, é possível por meio dos percentuais apresentados na Figura 4.29 e também das dimensões de cada técnica, indicar o custo de cada uma por unidade comparativa. Isso resulta nos seguintes valores: cinto basal saliente R\$ 1265,08 m<sup>3</sup>, perfil de compensação (enrocamento) R\$ 486,01 m<sup>3</sup>, parede krainer dupla R\$ 435,13 m<sup>3</sup> ou 979,05 m<sup>2</sup>, banquetas vegetadas R\$ 207,22 m, plantio de mudas + biorretentores R\$ 216,15 m e plantio de mudas + biomanta de palha R\$ 25,71 m<sup>2</sup>.

Vale ressaltar que comparações com esses valores (ou uso para qualquer tipo de estimativa), somente devem ser realizadas para obras que empreguem técnicas semelhantes ou iguais. Além disso, os custos devem ser atualizados para valores correntes de mercado.

#### VI – *Especificação do monitoramento*

Após implantada, a obra deve ser monitorada em todos os seus aspectos considerando as estruturas e os materiais vivos e inertes empregados em sua execução.

Independente de qualquer acontecimento climático extraordinário são as plantas que necessitam de maiores cuidados iniciais para garantir a pega, estabelecimento e desempenho das funções esperadas. Quanto aos materiais inertes, os problemas normalmente decorrem de solicitações externas maiores do que aquelas para as quais as estruturas foram dimensionadas, uma vez que os fenômenos responsáveis pela solicitação são randômicos, e há risco associado ao tempo de retorno escolhido no dimensionamento.

A frequência dos monitoramentos, portanto, é determinada pelas necessidades fisiológicas dos materiais vivos. Como as plantas são extremamente suscetíveis aos eventos climáticos (seca, chuva, granizo, etc.), injúrias mecânicas (animais, limpeza da área, esmagamento no transporte, etc.), danos por insetos (formigas especialmente) ou ainda plantio mal realizado, a frequência de monitoramento no primeiro mês deve ser composta por no mínimo duas visitas semanais, já que este é o período mais crítico à pega das mudas. É recomendável que as duas primeiras semanas devam ser monitoradas ainda com maior frequência. No segundo mês, se as condições de desenvolvimento forem satisfatórias, uma visita por semana deve ser realizada (modificações podem ser realizadas conforme os acontecimentos pós-obra). Durante esse período, no caso da ocorrência de eventos pluviométricos extraordinários, as visitas devem ser antecipadas.

As estruturas compostas por materiais inertes devem ser avaliadas quanto à sua integridade, observando-se o deslocamento e movimentação de blocos, a integridade (rupturas, rachaduras, deslocamentos de peças, etc.) do cinto basal saliente, da parede kramer dupla e do sistema de drenagem. Os problemas observados (se existirem) devem ser descritos, mensurados e localizados em croqui. Registros fotográficos de enquadramentos fixos também devem ser obtidos em cada visita. Esse acompanhamento fotográfico deve contar com visualizações que permitam a avaliação da intervenção como um todo e também em detalhes (das anormalidades especialmente).

A vegetação implantada na área (seja no plantio normal ou na parede krainer dupla) inicialmente deve ser monitorada quanto à sobrevivência, ataques de insetos (formigas devem receber atenção especial, uma vez que podem provocar sérios danos às plantas) e alterações fisiológicas (perda de folhas, folhas e caules secos, etc.), buscando-se constatar, ou não, a necessidade de replantios ou atividades de manejo complementar, como o controle de insetos. A análise da sobrevivência deve ser continuada a cada visita para analisar os aspectos de estabelecimento das plantas e as novas condições propiciadas à área pela composição vegetal. Com esse mesmo intuito, também deve ser avaliado o desenvolvimento do plantio através de medições de diâmetros e alturas de algumas plantas por procedimentos amostragem, buscando-se representar o todo (também contribuem para avaliar o aspecto da composição vegetal formada). O surgimento de espécies vegetais novas na área também deve ser registrado (isso é importante para a compreensão do processo de recomposição). O registro fotográfico contínuo é também importante para compreender o comportamento e o desenvolvimento da formação vegetal como um todo, bem como os aspectos de cada espécie.

## VII – *Especificação da manutenção*

Os procedimentos de manutenção são estritamente dependentes das atividades de monitoramento e, portanto, somente podem ser realizadas se forem diagnosticadas inconformidades em períodos que sucedam à implantação da obra. A ocorrência de qualquer problema que comprometa o desempenho das intervenções deve ser analisada e tratada com as medidas corretivas adequadas buscando-se restaurar as condições previstas em projeto.

Atividades de manutenção possíveis são relacionadas ao replantio de plantas mortas ou danificadas por algum motivo, a irrigação e adubação de manutenção, o combate a insetos – principalmente formigas (diante dessa situação devem ser utilizados formicidas de ação imediata disponíveis no mercado) –, ou ainda raleio ou poda devido ao desenvolvimento das plantas além do esperado (no caso de interromper a seção de vazão). Também podem acontecer problemas com as intervenções que demandem manutenção estrutural seja a reposição de peças de madeira (problemas nas uniões), realocação de rochas ou correções com aplicação de concreto. Contudo, esses acontecimentos tem menor possibilidade de ocorrer uma vez que seguem dimensionamentos prévios, e espera-se que a vegetação uma vez desenvolvida desempenhe em maior parte a ação estabilização da intervenção.

*Produtos da fase executiva*

No desenvolvimento da fase de projeto executivo foram geradas as plantas executivas onde são apresentados em detalhes às dimensões, materiais, configurações e localização das estruturas que compõem a obra. A PRANCHA E-01 (Apêndice F) apresenta detalhes específicos do cinto basal saliente e também da parede de krainer dupla. A PRANCHA E-02 (Apêndice G) apresenta os aspectos das seções transversais da área juntamente com a localização das intervenções. A PRANCHA E-03 (Apêndice H) trata especificamente do detalhamento do sistema de drenagem. Além disso, gera-se o memorial descritivo com descrições específicas e detalhadas que possibilitam a implantação da obra. Todas essas informações associadas são utilizadas como base para a contratação de serviços e licitação.

Utilizando-se o método proposto, a engenharia natural é tratada como em qualquer outro projeto de engenharia tradicional, contudo, levando em conta todos os aspectos inerentes a parte viva da obra – as plantas.





## 5 CONCLUSÃO

---

As soluções técnicas propostas pela engenharia natural para a prevenção e/ou correção de problemas decorrentes da perda de estabilidade de sistemas naturais, aos poucos, no caso do Brasil, passam a ser adotadas. Trata-se do reconhecimento de que estas soluções são alternativas viáveis, ao complemento ou substituição, daquelas já consolidadas pela engenharia tradicional.

A evolução desse processo de reconhecimento e adoção depende de um desenvolvimento mais técnico e analítico da disciplina. Essa necessidade deve ser atendida para permitir que o engenheiro empregue uma abordagem de projeto, semelhante àquela que habitualmente já se usa na engenharia tradicional.

No caso de obras de infraestrutura, a abordagem analítica é ainda mais importante que no caso de pequenas intervenções rurais e urbanas, onde a abordagem descritiva ou mesmo artesanal pode ser perfeitamente justificável. Isso ocorre porque as obras de infraestrutura têm elevados níveis de exigência de mitigação de riscos a elas associados, bem como requisitos legais decorrentes de possíveis consequências de caráter social, econômico e ambiental no caso de uma eventual falha dessas estruturas. Os estudos que visam contribuir para a contínua evolução da disciplina do ponto de vista técnico e também teórico são, portanto, muito importantes.

O uso da metodologia de projeto aqui desenvolvida é exemplificado em uma obra de infraestrutura dutoviária, mais especificamente em área de travessia de dutos terrestres. A metodologia proposta mostrou-se eficaz na concepção do projeto, uma vez que propiciou a organização das informações em uma sequência racionalizada de obtenção e análise. Essa organização, por sua vez, tornou mais fácil a compreensão da fenomenologia dos problemas envolvidos levando o engenheiro às soluções mais apropriadas do ponto de vista técnico, econômico e ecológico. A metodologia também se mostra útil nas atividades de descrição e quantificação do processo executivo da obra.

Por meio das indicações de organização e apresentação de requisitos indispensáveis, a metodologia proposta, mostra-se uma ferramenta eficiente na uniformização<sup>47</sup> e

---

<sup>47</sup> Significa tomar por base os mesmos princípios para a elaboração de um projeto.

universalização<sup>48</sup> das atividades de projeto de engenharia natural em aplicações de maior responsabilidade. Ao mesmo tempo, demonstra como uma abordagem analítica fundamentada em informações quantitativas é importante e facilita o processo de concepção.

O emprego dessa metodologia não se restringe necessariamente às obras de infraestrutura ou às de maior responsabilidade técnica. Pode, do mesmo modo, ser empregada em obras de menor porte e requisitos técnicos, sempre que a melhor compreensão das características dos problemas e a procedimentação das operações for considerada importante e viável.

A situação exemplificada ao emprego da metodologia tratou de correções em ambiente fluvial (travessia de dutos terrestres), contudo, sua aplicação estende-se a todas as demais áreas onde as soluções de engenharia natural são compatíveis.

Maiores estudos podem ser realizados no sentido de complementar os assuntos aqui abordados. Nesse sentido, merecem destaque as pesquisas de vegetação com potencial biotécnico e também o aperfeiçoamento dos procedimentos técnicos de projeto. Especialmente importante é à obtenção de informações sobre dimensionamentos (hidrológico, hidráulico, geotécnico e da vegetação), orçamentação, monitoramento e manutenção das obras de engenharia natural.

Para a vegetação com potencial biotécnico, por exemplo, pesquisas podem ser desenvolvidas no sentido de compreender e formular métodos para incluí-las nos dimensionamentos geotécnicos – quanto e de que modo contribuem aos fatores de segurança na estabilização de taludes. Para estas também podem ser estudadas as condições mais adequadas ao armazenamento de seus propágulos, o que é importante para o canteiro de obras e também ao transporte quando necessário.

Com frequência as soluções de engenharia natural são consideradas mais econômicas que as de engenharia tradicional. Contudo, ainda se carece de estudos mais aprofundados que comprovem esse fato. Da mesma forma, faltam informações que demonstrem quais são os custos específicos necessários ao emprego de cada técnica.

Quanto ao monitoramento e a manutenção, ambas necessitam de especificações e procedimentos mais analíticos. A frequência de visitas e a determinação dos principais problemas pós-implantação, bem como as medidas corretivas a serem adotadas, são exemplos de informações importantes e que ainda devem ser melhor abordadas.

---

<sup>48</sup> Ser aplicada por qualquer engenheiro ou pessoa responsável por projeto, chegando a resultados semelhantes.

Todas essas informações colaboram para aumentar a importância da vegetação no desenvolvimento de projetos de engenharia natural em obras de infraestrutura, tornam mais analíticos os procedimentos de projeto e fundamentam melhor a tomada de decisão do engenheiro.

O desenvolvimento futuro de uma ou mais especificações técnicas de projeto é, portanto, uma necessidade indispensável para possibilitar a adoção de procedimentos padronizados.



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10703**: Degradação do solo. Rio de Janeiro, 1989.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Regulamento Técnico De Dutos Terrestres para Movimentação de Petróleo, Derivados e Gás Natural (RTDT)**. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

ASME. AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B31.8**: Gas transmission and distribution piping systems. New York, 2003.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D6599 – 00**: Standard practice for construction of live fascines on slopes. West Conshohocken, PA, 2008.

\_\_\_\_\_. **ASTM D6765 – 02**: Standard practice for live staking. West Conshohocken, PA, 2008.

\_\_\_\_\_. **ASTM D6939 – 03**: Standard practice for brushmattressing. West Conshohocken, PA, 2003.

\_\_\_\_\_. **ASTM D7322**: Standard test method for determination of rolled erosion control product (RECP) ability to encourage seed germination and plant growth under bench-scale conditions. West Conshohocken, PA, 2013.

\_\_\_\_\_. **ASTM WK21836**: New test method for large scale germination, vegetation establishment and measurement. West Conshohocken, PA, 2008.

BEGEMANN, W.; SCHIECHTL, H. M. **Ingenieurbiologie – Handbuch zum ökologischen wasser und erdbau**. Neubearbeitete Auflage. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GMBH, 1994.

BIFULCO, C.; CORREIA, F. Seleção de espécies lenhosas adequadas às técnicas de engenharia natural. **Silva Lusitana**, vol. 20, n° 1-2, p.15-38, Oeiras, Portugal, 2013.

BRAJA, M. D. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. Tradução da 7ª ed. Norte-Americana. São Paulo – Cengage Learning, 2013.

CORNELINI, P.; SAULI, G. **Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di ingegneria naturalistica**. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio – Direzione Generale per la Difesa del Suolo – PODIS, Roma, 389 p., 2005.

CORNELINI, P.; FERRARI, R. **Manuale di ingegneria naturalistica per le scuole secondarie**, Regione Lazio, 2008.

COPPIN, N. J.; RICHARDS, I. J. **Use of vegetation in civil engineering**. Construction Industry Research and Information Association, Butterworths, London, 1990.

CARDOSO, C. A. et. al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n° 2, p. 241-248, 2006.

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

CUNHA, S. B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia – uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 472 p., 2001.

DURLO, M. A; SUTILI, F. J. **Bioengenharia: Manejo biotécnico de cursos de água**. Porto Alegre: EST Edições, 198 p, 2005.

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

HOUAISS, A. **Dicionário da língua portuguesa**. 2ª ed. rev. e aum., ed. Objetiva, Rio de Janeiro, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Monitoramento por satélite. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 10 de novembro de 2013.

ERCOLINI, M. **Dalle esigenze alle opportunità: La difesa idraulica fluviale occasione per un progetto di paesaggio terzo**. Dottorato di Ricerca in Progettazione Paesistica, Università degli Studi di Firenze. Firenze University Press, Firenze, 2005.

FERRO, V., PORTO, P. Predicting the equilibrium bed slope in natural streams using a stochastic model for incipient sediment motion. **Earth Surface Processes and Landforms**, vol. 36, issue 8, p. 1007 – 1022, 2011.

FLORINETH, F. L'Eficacia e il comportamento di opere di ingegneria naturalistica su corsi d'acqua. In: MAIONE, U; BRATH, A. **L' Ingegneria naturalistica nella sistemazione dei corsi d'acqua**. Editoriale BIOS, 1998.

FLORINETH, F. **Pflanzen statt Beton**. Handbuch zur ingenieurbilogie und vegetationstechnik. Patzer Verlag Berlin – Hannover, 2004.

GAVASSONI, E.; COSTA, V.; ZAMBON, A. Potencial Erosivo da Faixa de Dutos do Gasoduto Cabiúnas-Vitória (GASCAV). **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Campo Grande, MS, 2009.

GRAY, D. H.; LEISER A. J. **Biotechnical Slope Protection and Erosion Control**. Van Nostrand Reinhold, New York, 1982.

GRAY, D. H.; SOTIR, R. B. **Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control**. Wiley & Sons, Inc., New York, 1996.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (INCAPER). Disponível em: < <http://www.incaper.es.gov.br>>. Acesso em: 20 de novembro de 2013.

SOWERS, F. G. **Introductory Soil Mechanics and Foundations: Geotechnical Engineering**. Fourth edition, ed. Macmillan Publishing Co., Inc – New York, 1979.

JULIEN, P. Y. **River mechanics**. Reino Unido: Cambridge University Press, 2002.

KÖPPEN, W. **Climatologia: com un estudio de los climas de la tierra**. Mexico: Fondo de Cultura Economica, 478p, 1948.

KRUEDENER, A. F.; BECKER, A. **Atlas standortkennzeichnender pflanzen**. Wiking Verlag GmbH, Berlin, 1941.

KRUEDENER A. **Ingenieurbiologie**. Verl. E. Reinhardt, Munich-Basel, 1951.

KRAEBEL, C. J. **Erosion control mountain roads**. United States Department of Agriculture (USDA), Circular n° 380, 1936.

NAVEGADOR DATA GEOBASES. Disponível em <<http://www.geobases.es.gov.br/>>. Acesso em 5 de outubro de 2013.

NORRIS, E. J. et al. **Slope stability and erosion control: Ecotechnological solutions**. Published by Springer, Dordrecht, Netherlands, 2008.

MENEGAZZI, G.; PALMERI, F. **Il dimensionamento delle opera di ingegneria naturalistica**. Direzione Regionale Infrastrutture, Ambiente e Politiche abitative – Regione Lazio, Roma, 2013.

MICKOVSKI, S. B.; VAN BEEK, L. P. H. Decision support systems in eco-engineering: the case of the SDSS. Eco and ground bio-engineering: The use of vegetation to improve slope stability. **Springer**, p. 231–238, 2007.

MOLITERNO, A. **Caderno de muros de arrimo**. 2ª ed., editora Blucher, São Paulo, 1994.

MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J. (Ed.). **Slope stabilization and erosion control: A bioengineering approach**. London: E & FN SPON, 274 p., 1995.

NORRIS, J. E. et. al. Hazard Assessment of Vegetated Slopes. In: NORRIS, J. E. et. al. **Slope stability and erosion control: Ecotechnological solutions**. Published by Springer, Dordrecht, Netherlands, 2008.

NORMAS TÉCNICAS PETROBRAS. N 2726: Terminologia de dutos. Rio de Janeiro, 2012.

NORMAS TÉCNICAS PETROBRAS. N 464: Construção, montagem, e condicionamento de duto terrestre. Rio de Janeiro, 2012.



ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Interamericana, 434 p., 1985.

OCDE. ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Disponível em: < <http://www.oecd.org>>. Acesso em 13 de novembro de 2013.

ORTEGA, T. B. **Dimensionamento otimizado de canal trapezoidal pelo critério de custo global**. 2012. 222 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

PETROBRAS TRANSPORTES S.A. (TRANSPETRO). Disponível em: <<http://www.transpetro.com.br>>. Acesso em 15 de dezembro de 2012.

PETRONE A.; PRETI F. **Ingeniería naturalística en Centroamérica**. Manuali tecnici per la cooperazione allo sviluppo – Istituto Agronomico per L’Oltremare, Società Editrice Fiorentina, Florencia, 2005.

PETRONE, A.; PRETI, F. **Capitalización de la experiencia de ingeniería naturalística en Jipijapa, Manabí, Ecuador**. Proyecto reducción de riesgos por desastres en el sur de Manabí, CRIC – Terranueva, V Plan de Acción Dipecho Capitulo Ecuador, 2009.

PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. 2ª ed., São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 519 p., 1999.

PROVINCIA DI TERNI. **Manuale tecnico di ingegneria naturalistica**. Servizio Assetto del Territorio – Agenzia Umbria Ricerche (AUR), Terni, Italia, 2003.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. **Escoamento superficial**. 2ª ed. Editora UFV, 87 p., 2004.

RUSSO JR, W. **Hidrologia aplicada e projeto de drenagem para faixas de dutos**, Rio de Janeiro, 2011.

MAYER, R. **Noções de hidráulica florestal**. Direção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas. Tipografia Alcobacense Ltda., 132 p. Alcobaca, Portugal, 1941.

SAULI, G.; CORNELINI, P.; PRETI, F. **Manuale di ingegneria naturalistica. Applicabile ai settori delle strade, cave, discariche e coste sabbiose** – vol. 2. Università degli Studi della Tuscia, Regione Lazio, Roma, 2003.

SCHIECHTL, H. M. **Bioingegneria forestale**. Basi – materiali da costruzioni vivi – metodi. Tipolitografia Castaldi-Feltre, 263 p., 1973.

SCHIECHTL, H.M. **Bioengineering for land reclamation and conservation**. University of Alberta Press, Alberta, 1980.

SCHIECHTL, H.M. **Vegetative and Soil Treatment Measures**. FAO – Watershed Management Field Manual. FAO Conservation Guide 13/1, 1985.

SCHIECHTL, H. M.; STERN, R. **Ground Bioengineering Techniques for Slope Protection and Erosion Control**. Blackwell Science Publications, Oxford, 1996.

SCHIECHTL, H. M.; STERN, R. **Water bioengineering techniques for watercourse, bank and shoreline protection**. Blackwell Science Publications, Oxford, 1997.

SILVA, D. D.; PINTO, F. R. L. P.; PRUSKI, F. F.; PINTO, F. A. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.18, p.11-21, 1999.

SCHUMM, S. A. Sinuosity of Alluvial Rivers on the Great Plains. **Geological society of america bulletin**. v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963.

STRAUB, H. A. **History of civil engineering – an outline from ancient to modern times** -, London, Leonard Hill Limited, 1960.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 943 p., 2009

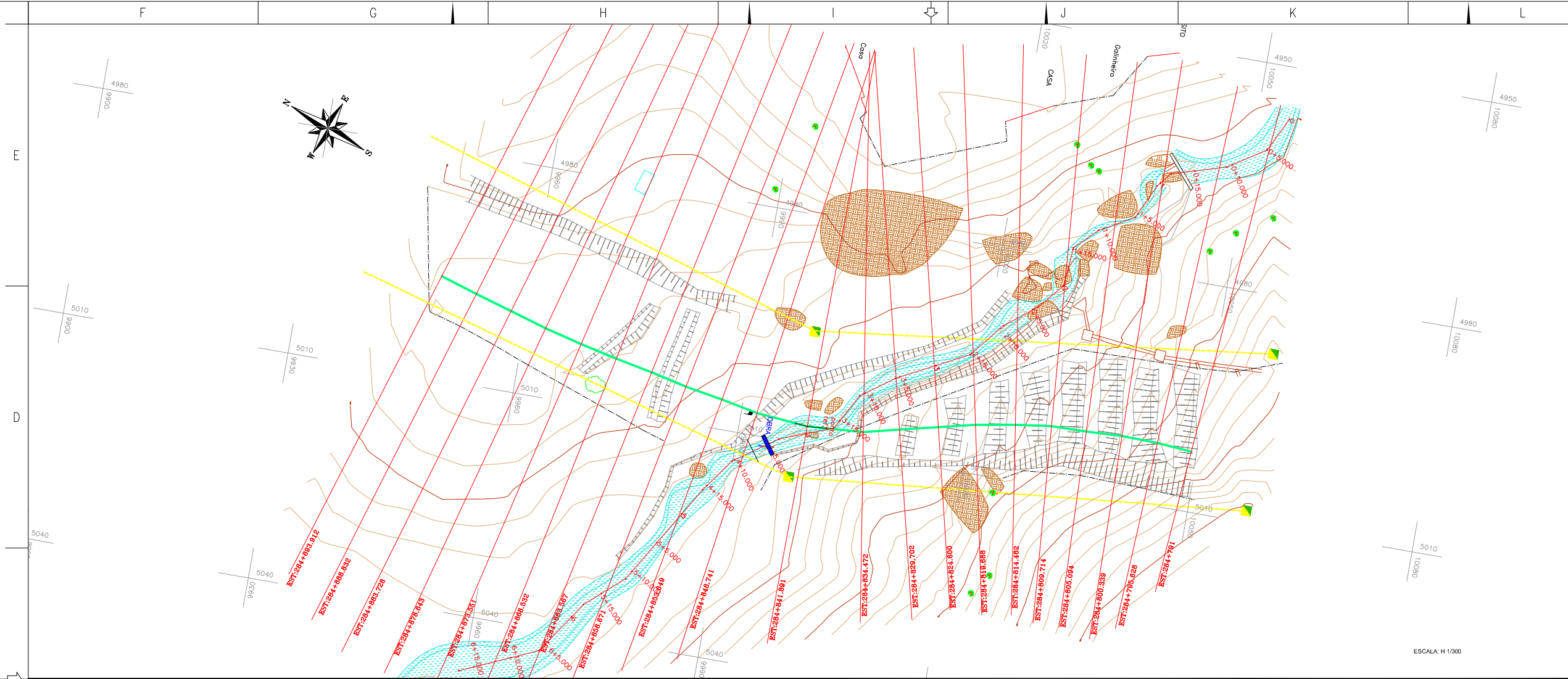
UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Engineering field handbook**. Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction. Chapter 18, 61 p., 1992.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 245 p., 1975.

WU, T. H. Slope stabilization. In: MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J. (Ed.). **Slope Stabilization and Erosion Control: a Bioengineering Approach**. London: E & FN SPON, 274 p., 1995.



## **7 APÊNDICES**



DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

NOTAS GERAIS

- 1-SISTEMA DE COORDENADAS ARBITRADO;
- 2 - MUNICÍPIOS DESTA PLANTA: CARIACICA
- 3 - DIMENSÕES EM METROS, EXCETO ONDE INDICADO EM CONTRÁRIO;
- 4 - LEVANTAMENTO DE CAMPO EXECUTADO DIAS 22/06/2012 E 27/06/2012 ATÉ 29/06/2012;
- 5 - A EDIÇÃO DESTE DESENHO FOI REALIZADA EM AUTOCAD VERSÃO 2012 E SALVO PARA A VERSÃO 2004;
- 6 - AS MEDIDAS DE COBERTURA DO GASODUTO, NESTA PLANTA, FORAM EXECUTADAS POR GEODARAR.

LEGENDA

	MARCO		TALUDE
	CAIXA		CANALETA
	CURVAS DE NIVEL		SERVIDÃO
	ROCHA		RIO
	MALHA		MOITA
	ARVORE		PLACA
	EIXO GASODUTO		TANQUE
	FIBRA ÓPTICA		CERCA
	TUBO DE FERRO		MANILHA
	MURO-BARRAGEM		GASODUTO

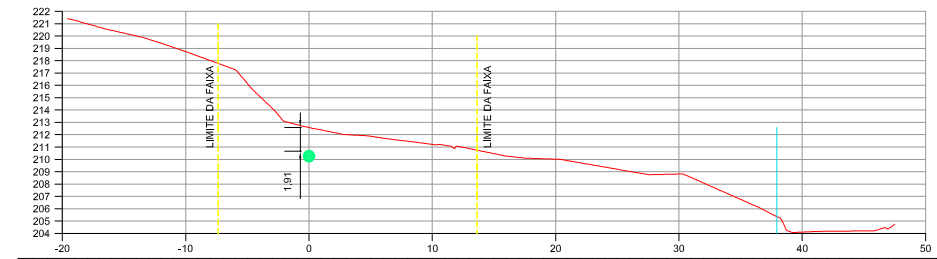
ESCALA: H 1/300

PERFIL DO GASODUTO



ESTACA	PROGRESSIVA	COTAS	PROFUNDIDADE DO DUTO
284+791	0,000	212,574	1,914
284+795,628	4,628	210,985	2,074
284+800,338	9,339	208,774	1,824
284+805,094	14,094	206,989	1,744
284+809,714	18,714	205,584	1,564
284+814,462	23,462	204,464	1,384
284+819,088	28,088	203,271	1,464
284+824,600	33,600	202,454	2,054
284+829,702	38,702	201,670	2,824
284+834,472	43,472	200,512	2,754
284+841,891	50,891	196,902	0,000
284+848,741	57,741	198,424	1,504
284+853,640	62,640	199,258	1,834
284+858,671	67,671	200,232	2,444
284+863,567	72,567	201,168	2,914
284+868,532	77,532	201,884	3,224
284+873,551	82,551	202,039	2,754
284+878,643	87,643	202,200	2,454
284+883,728	92,728	202,435	2,484
284+888,832	97,832	202,555	2,534
284+893,912	102,912	202,666	2,584

SEÇÕES DO GASODUTO



PRIMITIVO	DISTÂNCIA
204,289	-19,000
220,983	-18,000
220,714	-17,000
220,461	-16,000
220,005	-14,000
219,736	-13,000
219,464	-12,000
219,090	-11,000
218,735	-10,000
218,373	-9,000
217,642	-7,000
217,276	-6,000
216,152	-4,000
214,151	-3,000
213,064	-2,000
212,574	0,000
212,385	1,000
211,950	2,000
211,873	3,000
211,504	4,000
211,468	5,000
211,342	6,000
211,148	7,000
211,078	8,000
210,974	9,000
210,855	10,000
210,296	11,000
210,090	12,000
210,049	13,000
209,918	14,000
209,716	15,000
209,543	16,000
209,223	17,000
208,850	18,000
208,737	19,000
208,811	20,000
208,325	21,000
207,197	22,000
206,638	23,000
206,331	24,000
204,104	25,000
204,145	26,000
204,188	27,000
204,177	28,000
204,377	29,000

EST: 284+791

APÊNDICE A

PRANCHA B-01

LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO (posição do duto)

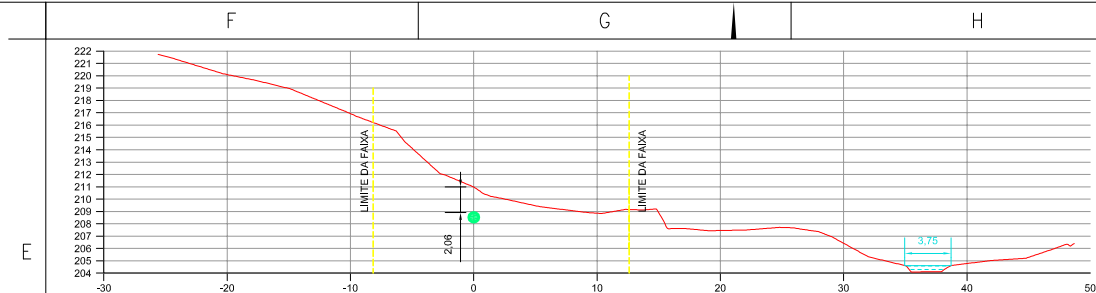
CLIENTE:

PROGRAMA:

ÁREA:

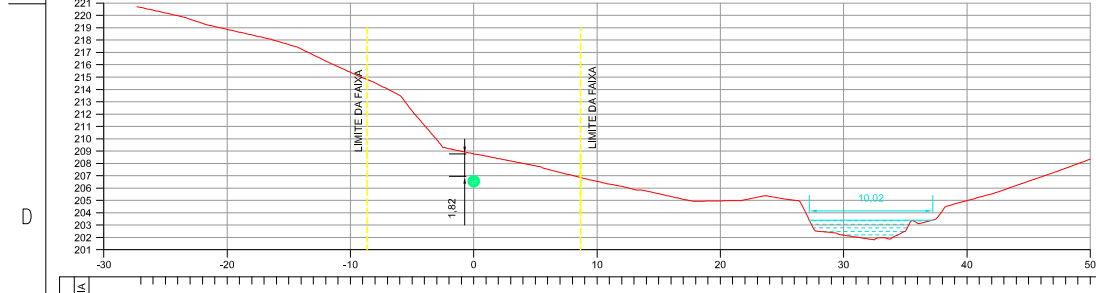
PROJ.	EXEC.	VERIF.	APROV.
ESCALA	INDICADA		FOLHA

DATA: N°:



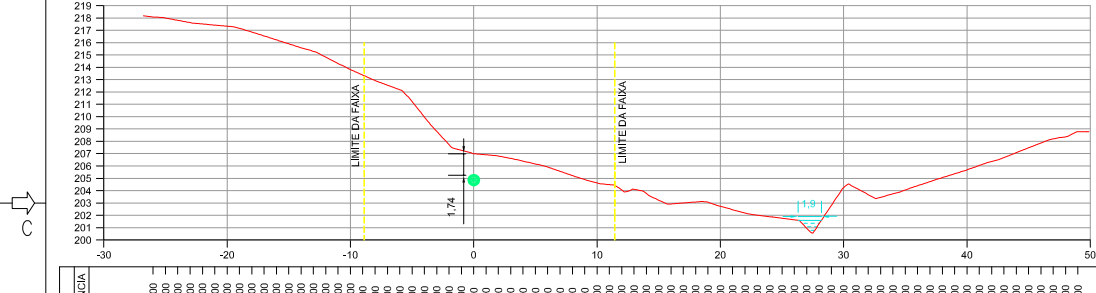
PRIMITIVO	DISTANCIA	COTAS
221.597	-25.000	221.597
221.594	-24.000	221.594
221.590	-23.000	221.590
221.586	-22.000	221.586
221.582	-21.000	221.582
221.578	-20.000	221.578
221.574	-19.000	221.574
221.570	-18.000	221.570
221.566	-17.000	221.566
221.562	-16.000	221.562
221.558	-15.000	221.558
221.554	-14.000	221.554
221.550	-13.000	221.550
221.546	-12.000	221.546
221.542	-11.000	221.542
221.538	-10.000	221.538
221.534	-9.000	221.534
221.530	-8.000	221.530
221.526	-7.000	221.526
221.522	-6.000	221.522
221.518	-5.000	221.518
221.514	-4.000	221.514
221.510	-3.000	221.510
221.506	-2.000	221.506
221.502	-1.000	221.502
221.498	0.000	221.498
221.494	1.000	221.494
221.490	2.000	221.490
221.486	3.000	221.486
221.482	4.000	221.482
221.478	5.000	221.478
221.474	6.000	221.474
221.470	7.000	221.470
221.466	8.000	221.466
221.462	9.000	221.462
221.458	10.000	221.458
221.454	11.000	221.454
221.450	12.000	221.450
221.446	13.000	221.446
221.442	14.000	221.442
221.438	15.000	221.438
221.434	16.000	221.434
221.430	17.000	221.430
221.426	18.000	221.426
221.422	19.000	221.422
221.418	20.000	221.418
221.414	21.000	221.414
221.410	22.000	221.410
221.406	23.000	221.406
221.402	24.000	221.402
221.398	25.000	221.398
221.394	26.000	221.394
221.390	27.000	221.390
221.386	28.000	221.386
221.382	29.000	221.382
221.378	30.000	221.378
221.374	31.000	221.374
221.370	32.000	221.370
221.366	33.000	221.366
221.362	34.000	221.362
221.358	35.000	221.358
221.354	36.000	221.354
221.350	37.000	221.350
221.346	38.000	221.346
221.342	39.000	221.342
221.338	40.000	221.338
221.334	41.000	221.334
221.330	42.000	221.330
221.326	43.000	221.326
221.322	44.000	221.322
221.318	45.000	221.318
221.314	46.000	221.314
221.310	47.000	221.310
221.306	48.000	221.306
221.302	49.000	221.302
221.298	50.000	221.298

EST: 284+795.628



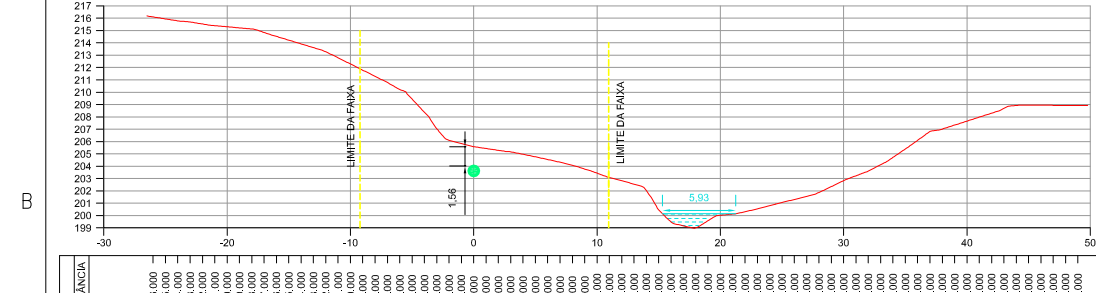
PRIMITIVO	DISTANCIA	COTAS
220.645	-27.000	220.645
220.641	-26.000	220.641
220.637	-25.000	220.637
220.633	-24.000	220.633
220.629	-23.000	220.629
220.625	-22.000	220.625
220.621	-21.000	220.621
220.617	-20.000	220.617
220.613	-19.000	220.613
220.609	-18.000	220.609
220.605	-17.000	220.605
220.601	-16.000	220.601
220.597	-15.000	220.597
220.593	-14.000	220.593
220.589	-13.000	220.589
220.585	-12.000	220.585
220.581	-11.000	220.581
220.577	-10.000	220.577
220.573	-9.000	220.573
220.569	-8.000	220.569
220.565	-7.000	220.565
220.561	-6.000	220.561
220.557	-5.000	220.557
220.553	-4.000	220.553
220.549	-3.000	220.549
220.545	-2.000	220.545
220.541	-1.000	220.541
220.537	0.000	220.537
220.533	1.000	220.533
220.529	2.000	220.529
220.525	3.000	220.525
220.521	4.000	220.521
220.517	5.000	220.517
220.513	6.000	220.513
220.509	7.000	220.509
220.505	8.000	220.505
220.501	9.000	220.501
220.497	10.000	220.497
220.493	11.000	220.493
220.489	12.000	220.489
220.485	13.000	220.485
220.481	14.000	220.481
220.477	15.000	220.477
220.473	16.000	220.473
220.469	17.000	220.469
220.465	18.000	220.465
220.461	19.000	220.461
220.457	20.000	220.457
220.453	21.000	220.453
220.449	22.000	220.449
220.445	23.000	220.445
220.441	24.000	220.441
220.437	25.000	220.437
220.433	26.000	220.433
220.429	27.000	220.429
220.425	28.000	220.425
220.421	29.000	220.421
220.417	30.000	220.417
220.413	31.000	220.413
220.409	32.000	220.409
220.405	33.000	220.405
220.401	34.000	220.401
220.397	35.000	220.397
220.393	36.000	220.393
220.389	37.000	220.389
220.385	38.000	220.385
220.381	39.000	220.381
220.377	40.000	220.377
220.373	41.000	220.373
220.369	42.000	220.369
220.365	43.000	220.365
220.361	44.000	220.361
220.357	45.000	220.357
220.353	46.000	220.353
220.349	47.000	220.349
220.345	48.000	220.345
220.341	49.000	220.341
220.337	50.000	220.337

EST: 284+800.339



PRIMITIVO	DISTANCIA	COTAS
218.077	-26.000	218.077
218.073	-25.000	218.073
218.069	-24.000	218.069
218.065	-23.000	218.065
218.061	-22.000	218.061
218.057	-21.000	218.057
218.053	-20.000	218.053
218.049	-19.000	218.049
218.045	-18.000	218.045
218.041	-17.000	218.041
218.037	-16.000	218.037
218.033	-15.000	218.033
218.029	-14.000	218.029
218.025	-13.000	218.025
218.021	-12.000	218.021
218.017	-11.000	218.017
218.013	-10.000	218.013
218.009	-9.000	218.009
218.005	-8.000	218.005
218.001	-7.000	218.001
217.997	-6.000	217.997
217.993	-5.000	217.993
217.989	-4.000	217.989
217.985	-3.000	217.985
217.981	-2.000	217.981
217.977	-1.000	217.977
217.973	0.000	217.973
217.969	1.000	217.969
217.965	2.000	217.965
217.961	3.000	217.961
217.957	4.000	217.957
217.953	5.000	217.953
217.949	6.000	217.949
217.945	7.000	217.945
217.941	8.000	217.941
217.937	9.000	217.937
217.933	10.000	217.933
217.929	11.000	217.929
217.925	12.000	217.925
217.921	13.000	217.921
217.917	14.000	217.917
217.913	15.000	217.913
217.909	16.000	217.909
217.905	17.000	217.905
217.901	18.000	217.901
217.897	19.000	217.897
217.893	20.000	217.893
217.889	21.000	217.889
217.885	22.000	217.885
217.881	23.000	217.881
217.877	24.000	217.877
217.873	25.000	217.873
217.869	26.000	217.869
217.865	27.000	217.865
217.861	28.000	217.861
217.857	29.000	217.857
217.853	30.000	217.853
217.849	31.000	217.849
217.845	32.000	217.845
217.841	33.000	217.841
217.837	34.000	217.837
217.833	35.000	217.833
217.829	36.000	217.829
217.825	37.000	217.825
217.821	38.000	217.821
217.817	39.000	217.817
217.813	40.000	217.813
217.809	41.000	217.809
217.805	42.000	217.805
217.801	43.000	217.801
217.797	44.000	217.797
217.793	45.000	217.793
217.789	46.000	217.789
217.785	47.000	217.785
217.781	48.000	217.781
217.777	49.000	217.777
217.773	50.000	217.773

EST: 284+805.094








PRIMITIVO	DISTANCIA	COTAS
216.103	-26.000	216.103
216.099	-25.000	216.099
216.095	-24.000	216.095
216.091	-23.000	216.091
216.087	-22.000	216.087
216.083	-21.000	216.083
216.079	-20.000	216.079
216.075	-19.000	216.075
216.071	-18.000	216.071
216.067	-17.000	216.067
216.063	-16.000	216.063
216.059	-15.000	216.059
216.055	-14.000	216.055
216.051	-13.000	216.051
216.047	-12.000	216.047
216.043	-11.000	216.043
216.039	-10.000	216.039
216.035	-9.000	216.035
216.031	-8.000	216.031
216.027	-7.000	216.027
216.023	-6.000	216.023
216.019	-5.000	216.019
216.015	-4.000	216.015
216.011	-3.000	216.011
216.007	-2.000	216.007
216.003	-1.000	216.003
216.000	0.000	216.000
215.996	1.000	215.996
215.992	2.000	215.992
215.988	3.000	215.988
215.984	4.000	215.984
215.980	5.000	215.980
215.976	6.000	215.976
215.972	7.000	215.972
215.968	8.000	215.968
215.964	9.000	215.964
215.960	10.000	215.960
215.956	11.000	215.956
215.952	12.000	215.952
215.948	13.000	215.948
215.944	14.000	215.944
215.940	15.000	215.940
215.936	16.000	215.936
215.932	17.000	215.932
215.928	18.000	215.928
215.924	19.000	215.924
215.920	20.000	215.920
215.916	21.000	215.916
215.912	22.000	215.912
215.908	23.000	215.908
215.904	24.000	215.904
215.900	25.000	215.900
215.896	26.000	215.896
215.892	27.000	215.892
215.888	28.000	215.888
215.884	29.000	215.884

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

NOTAS GERAIS

- 1-SISTEMA DE COORDENADAS ARBITRÁRIO;
- 2 - MUNICÍPIOS DESTA PLANTA: CARACARA;
- 3 - DIMENSÕES EM METROS, EXCETO ONDE INDICADO EM CONTRÁRIO;
- 4 - LEVANTAMENTO DE CAMPO EXECUTADO DIAS 16/12/2010 E 17/12/2010;
- 5 - A EDIÇÃO DESTA DESENHO FOI REALIZADA EM AUTOCAD VERSÃO 2007 E SALVO PARA A VERSÃO 2000;
- 6 - AS MEDIDAS DE COBERTURA DO GASODUTO GASCAV, NESTA PLANTA, FORAM EXECUTADAS POR GEORADAR.

LEGENDA

	GASODUTO		TERRENO NATURAL
	RIO		MALHA
	SERVIDÃO		

APÊNDICE C

PRANCHA B-03

LEVANTAMENTO PLANALTIMÉTRICO  
(seções transversais da faixa)

Posicionamento das seções conforme Indicações na PRANCHA B-01

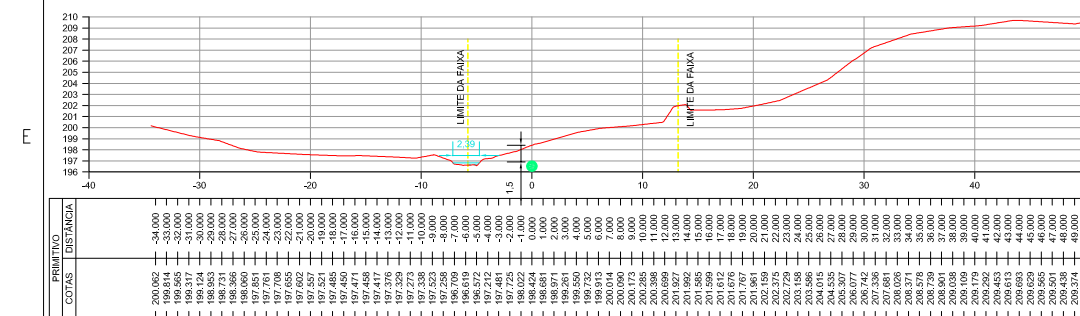
CLIENTE:

PROGRAMA:

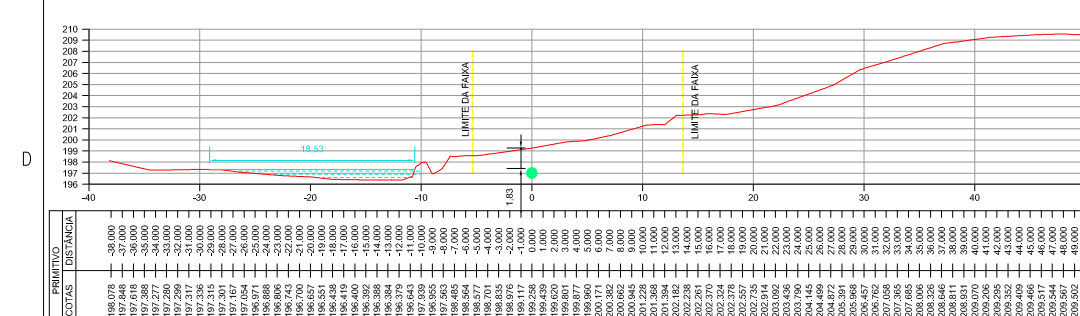
ÁREA:

PRD.	EXEC.	VERIF.	APREV.
ESCALA 1:500			FOLHA
DATA	Nº		

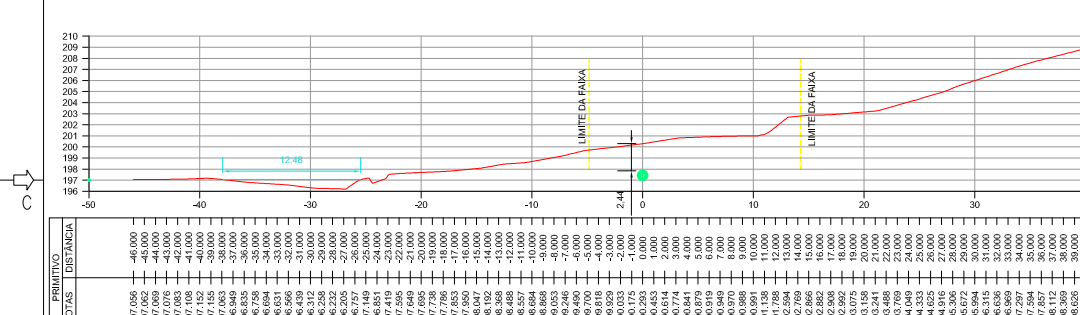
F G H I J K L M N



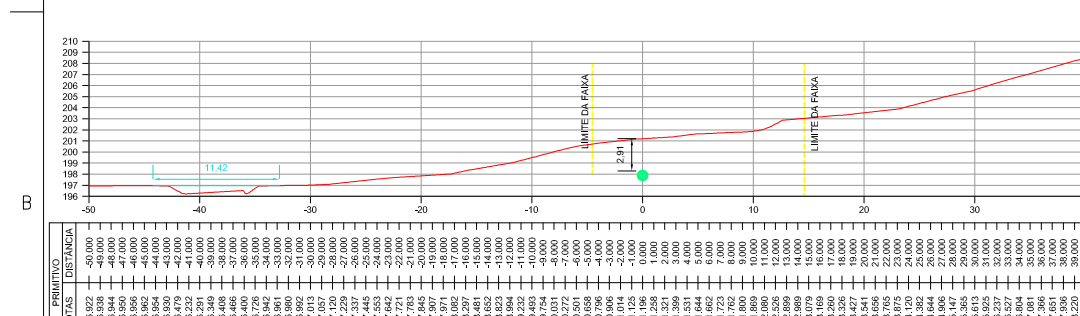
EST: 284+848,741



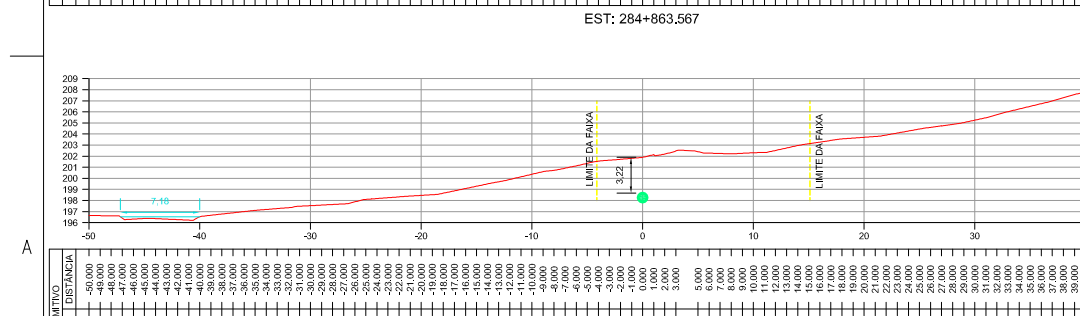
EST: 284+853,649



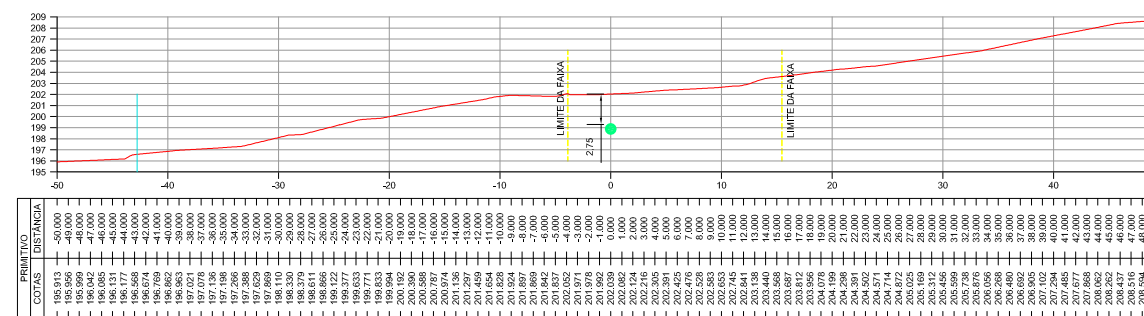
EST: 284+858,671



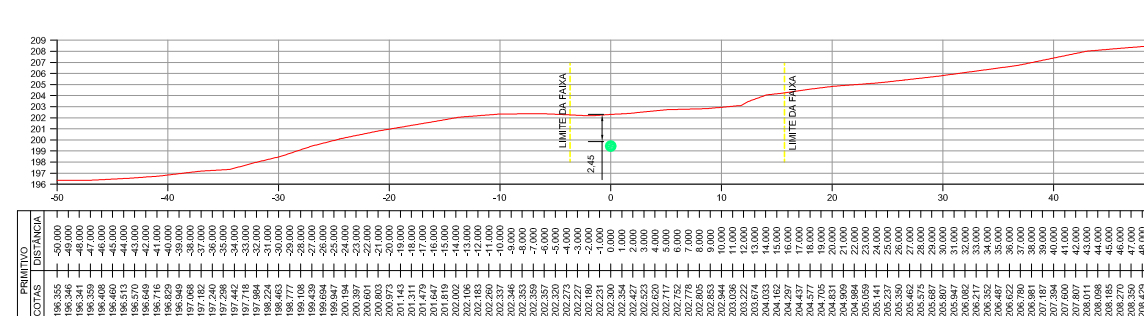
EST: 284+863,567



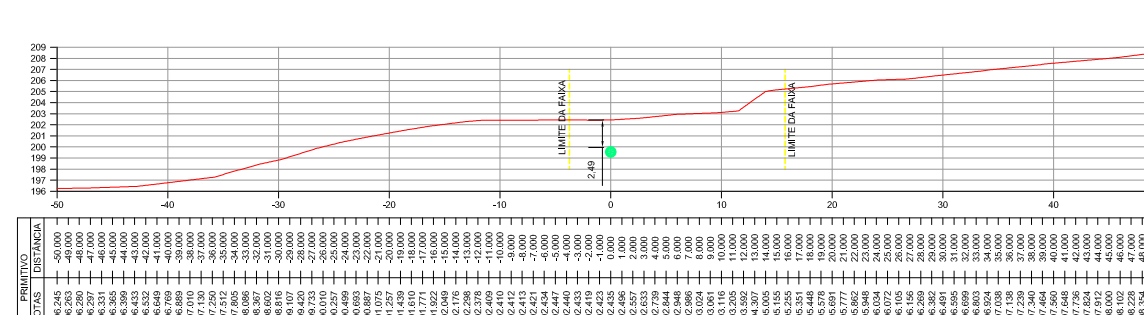
EST: 284+868,532



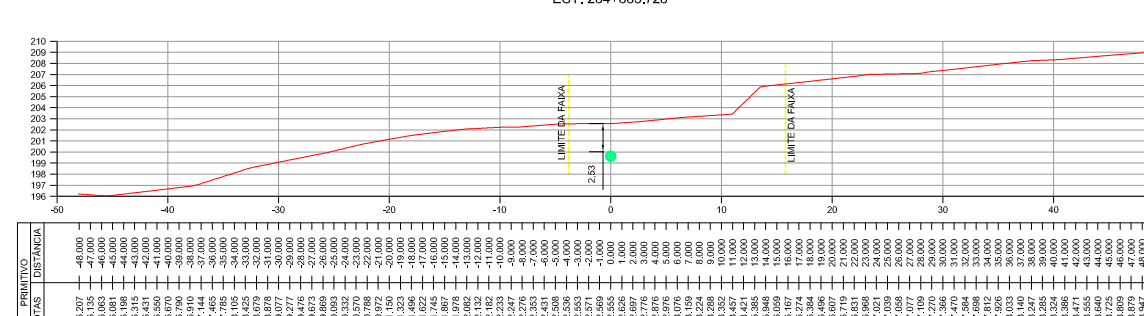
EST: 284+873,551



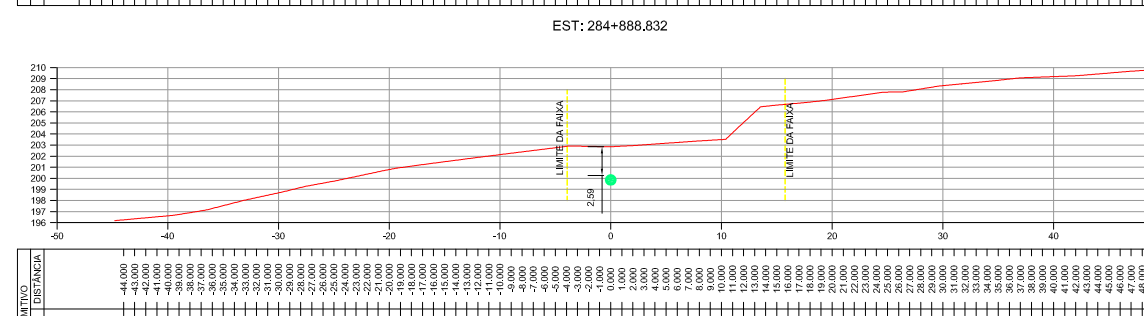
EST: 284+878,643



EST: 284+883,728



EST: 284+888,832



EST: 284+893,912

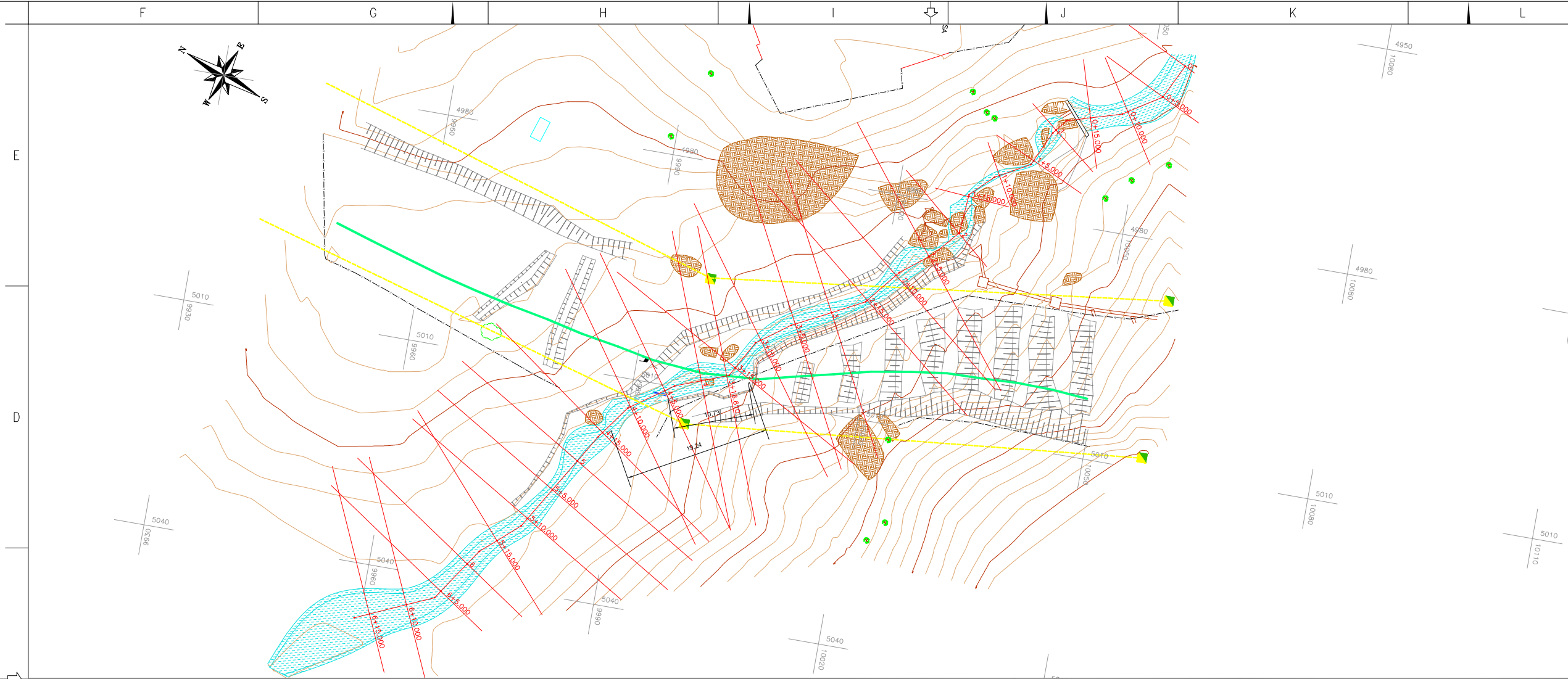
PREMIO	DISTANCIA
200,002	-34,000
199,814	-33,000
199,626	-32,000
199,438	-31,000
199,250	-30,000
199,062	-29,000
198,874	-28,000
198,686	-27,000
198,498	-26,000
198,310	-25,000
198,122	-24,000
197,934	-23,000
197,746	-22,000
197,558	-21,000
197,370	-20,000
197,182	-19,000
196,994	-18,000
196,806	-17,000
196,618	-16,000
196,430	-15,000
196,242	-14,000
196,054	-13,000
195,866	-12,000
195,678	-11,000
195,490	-10,000
195,302	-9,000
195,114	-8,000
194,926	-7,000
194,738	-6,000
194,550	-5,000
194,362	-4,000
194,174	-3,000
193,986	-2,000
193,798	-1,000
193,610	0,000
193,422	1,000
193,234	2,000
193,046	3,000
192,858	4,000
192,670	5,000
192,482	6,000
192,294	7,000
192,106	8,000
191,918	9,000
191,730	10,000
191,542	11,000
191,354	12,000
191,166	13,000
190,978	14,000
190,790	15,000
190,602	16,000
190,414	17,000
190,226	18,000
190,038	19,000
189,850	20,000
189,662	21,000
189,474	22,000
189,286	23,000
189,098	24,000
188,910	25,000
188,722	26,000
188,534	27,000
188,346	28,000
188,158	29,000
187,970	30,000
187,782	31,000
187,594	32,000
187,406	33,000
187,218	34,000
187,030	35,000
186,842	36,000
186,654	37,000
186,466	38,000
186,278	39,000
186,090	40,000
185,902	41,000
185,714	42,000
185,526	43,000
185,338	44,000
185,150	45,000
184,962	46,000
184,774	47,000
184,586	48,000
184,398	49,000
184,210	50,000

PREMIO	DISTANCIA
198,158	-38,000
197,970	-37,000
197,782	-36,000
197,594	-35,000
197,406	-34,000
197,218	-33,000
197,030	-32,000
196,842	-31,000
196,654	-30,000
196,466	-29,000
196,278	-28,000
196,090	-27,000
195,902	-26,000
195,714	-25,000
195,526	-24,000
195,338	-23,000
195,150	-22,000
194,962	-21,000
194,774	-20,000
194,586	-19,000
194,398	-18,000
194,210	-17,000
194,022	-16,000
193,834	-15,000
193,646	-14,000
193,458	-13,000
193,270	-12,000
193,082	-11,000
192,894	-10,000
192,706	-9,000
192,518	-8,000
192,330	-7,000
192,142	-6,000
191,954	-5,000
191,766	-4,000
191,578	-3,000
191,390	-2,000
191,202	-1,000
191,014	0,000
190,826	1,000
190,638	2,000
190,450	3,000
190,262	4,000
190,074	5,000
189,886	6,000
189,698	7,000
189,510	8,000
189,322	9,000
189,134	10,000
188,946	11,000
188,758	12,000
188,570	13,000
188,382	14,000
188,194	15,000
188,006	16,000
187,818	17,000
187,630	18,000
187,442	19,000
187,254	20,000
187,066	21,000
186,878	22,000
186,690	23,000
186,502	24,000
186,314	25,000
186,126	26,000
185,938	27,000
185,750	28,000
185,562	29,000
185,374	30,000
185,186	31,000
185,000	32,000
184,812	33,000
184,624	34,000
184,436	35,000
184,248	36,000
184,060	37,000
183,872	38,000
183,684	39,000
183,496	40,000
183,308	41,000
183,120	42,000
182,932	43,000
182,744	44,000
182,556	45,000
182,368	46,000
182,180	47,000
181,992	48,000
181,804	49,000
181,616	50,000

PREMIO	DISTANCIA
197,056	-46,000
196,868	-45,000
196,680	-44,000
196,492	-43,000
196,304	-42,000
196,116	-41,000
195,928	-40,000
195,740	-39,000
195,552	-38,000
195,364	-37,000
195,176	-36,000
194,988	-35,000
194,800	-34,000
194,612	-33,000
194,424	-32,000
194,236	-31,000
194,048	-30,000
193,860	-29,000
193,672	-28,000
193,484	-27,000
193,296	-26,000
193,108	-25,000
192,920	-24,000
192,732	-23,000
192,544	-22,000
192,356	-21,000
192,168	-20,000
191,980	-19,000
191,792	-18,000
191,604	-17,000
191,416	-16,000
191,228	-15,000
191,040	-14,000
190,852	-13,000
190,664	-12,000
190,476	-11,000
190,288	-10,000
190,100	-9,000
189,912	-8,000
189,724	-7,000
189,536	-6,000
189,348	-5,000
189,160	-4,000
188,972	-3,000
188,784	-2,000
188,596	-1,000
188,408	0,000
188,220	1,000
188,032	2,000
187,844	3,000
187,656	4,000
187,468	5,000
187,280	6,000
187,092	7,000
186,904	8,000
186,716	9,000
186,528	10,000
186,340	11,000
186,152	12,000
185,964	13,000
185,776	14,000
185,588	15,000
185,400	16,000
185,212	17,000
185,024	18,000
184,836	19,000
184,648	20,000
184,460	21,000
184,272	22,000
184,084	23,000
183,896	24,000
183,708	25,000
183,520	26,000
183,332	27,000
183,144	28,000
182,956	29,000
182,768	30,000
182,580	31,000
182,392	32,000
182,204	33,000
182,016	34,000
181,828	35,000
181,640	36,000
181,452	37,000
181,264	38,000
181,076	39,000
180,888	40,000
180,700	41,000
180,512	42,000
180,324	43,000
180,136	44,000
179,948	45,000
179,760	46,000
179,572	47,000
179,384	48,000
179,196	49,000
179,008	50,000

PREMIO	DISTANCIA
198,022	-49,000
197,834	-48,000
197,646	-47,000
197,458	-46,000
197,270	-45,000
197,082	-44,000
196,894	-43,000
196,706	-42,000
196,518	-41,000
196,330	-40,000
196,142	-39,000
195,954	-38,000
195,766	-37,000
195,578	-36,000
195,390	-35,000
195,202	-34,000
195,014	-33,000
194,826	-32,000
194,638	-31,000
194,450	-30,000
194,262	-29,000
194,074	-28,000
193,886	-27,000
193,698	-26,000
193,510	-25,000
193,322	-24,000
193,134	-23,000
192,946	-22,000
192,758	-21,000
192,570	-20,000
192,382	-19,000
192,194	-18,000
192,006	-17,000
191,818	-16,000
191,630	-15,000
191,442	-14,000
191,254	-13,000
191,066	-12,000
190,878	-11,000
190,690	-10,000
190,502	-9,000
190,314	-8,000
190,126	-7,000
189,938	-6,000
189,750	-5,000
189,562	-4,000
189,374	-3,000
189,186	-2,000
189,000	-1,000
188,812	0,000
188,624	1,000
188,436	2,000
188,248	3,000
188,060	4,000
187,872	5,000
187,684	6,000
187,496	7,000
187,308	8,000
187,120	9,000
186,932	10,000
186,744	11,000
186,556	12,000
186,368	13,000
186,180	14,000
185,992	15,000
185,804	16,000
185,616	17,000
185,428	18,000
185,240	19,000
185,052	20,000
184,864	21,000
184,676	22,000
184,488	23,000
184,300	24,000
184,112	25,000
183,924	26,000
183,736	27,000
183,548	28,000
183,360	29,000
183,172	30,000
182,984	





DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

NOTAS GERAIS

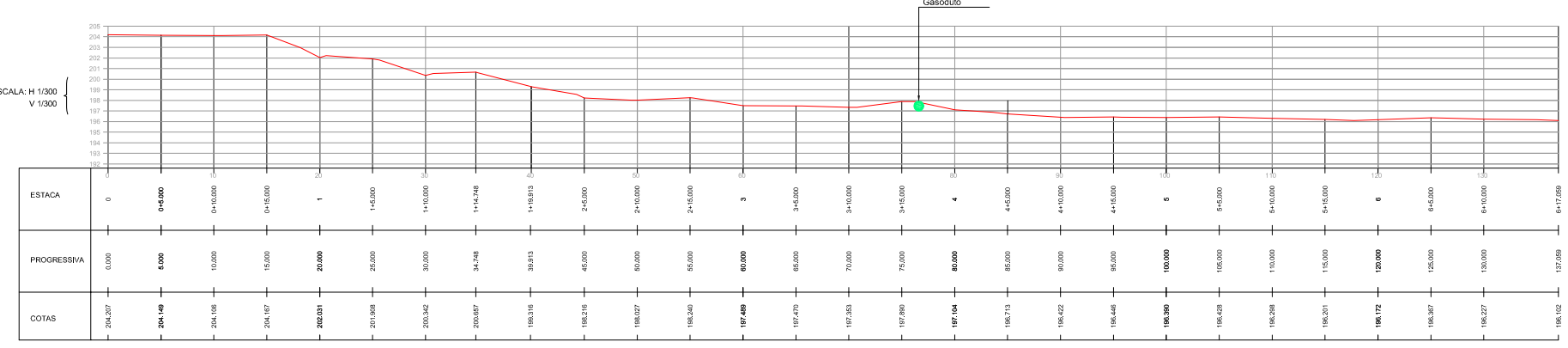
- 1 - SISTEMA DE COORDENADAS ARBITRADO;
- 2 - MUNICÍPIOS DESTA PLANTA: CARIACICA
- 3 - DIMENSÕES EM METROS, EXCETO ONDE INDICADO EM CONTRÁRIO;
- 4 - LEVANTAMENTO DE CAMPO EXECUTADO DIAS 22/06/2012 E 27/06/2012 ATÉ 29/06/2012;
- 5 - A EDIÇÃO DESTA DESENHO FOI REALIZADA EM AUTOCAD VERSÃO 2012 E SALVO PARA A VERSÃO 2004;
- 6 - AS MEDIDAS DE COBERTURA DO GASODUTO, NESTA PLANTA, FORAM EXECUTADAS POR GEORADAR.

LEGENDA

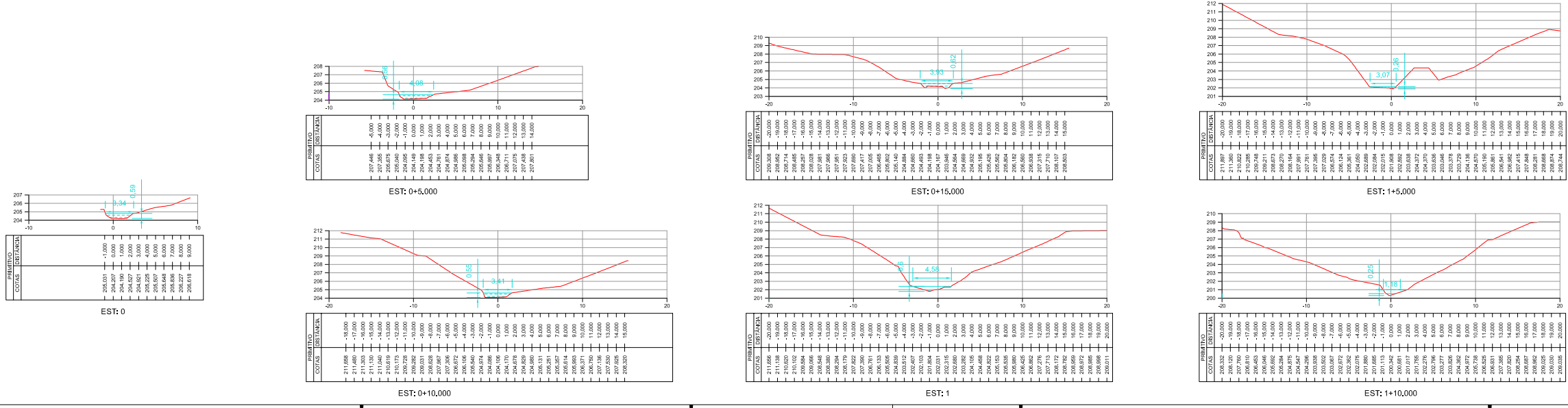
	MALHA		TERRENO NATURAL
	RIO		GASODUTO

PERFIL DO RIO

ESCALA: H 1/300  
V 1/300



SEÇÕES DO RIO



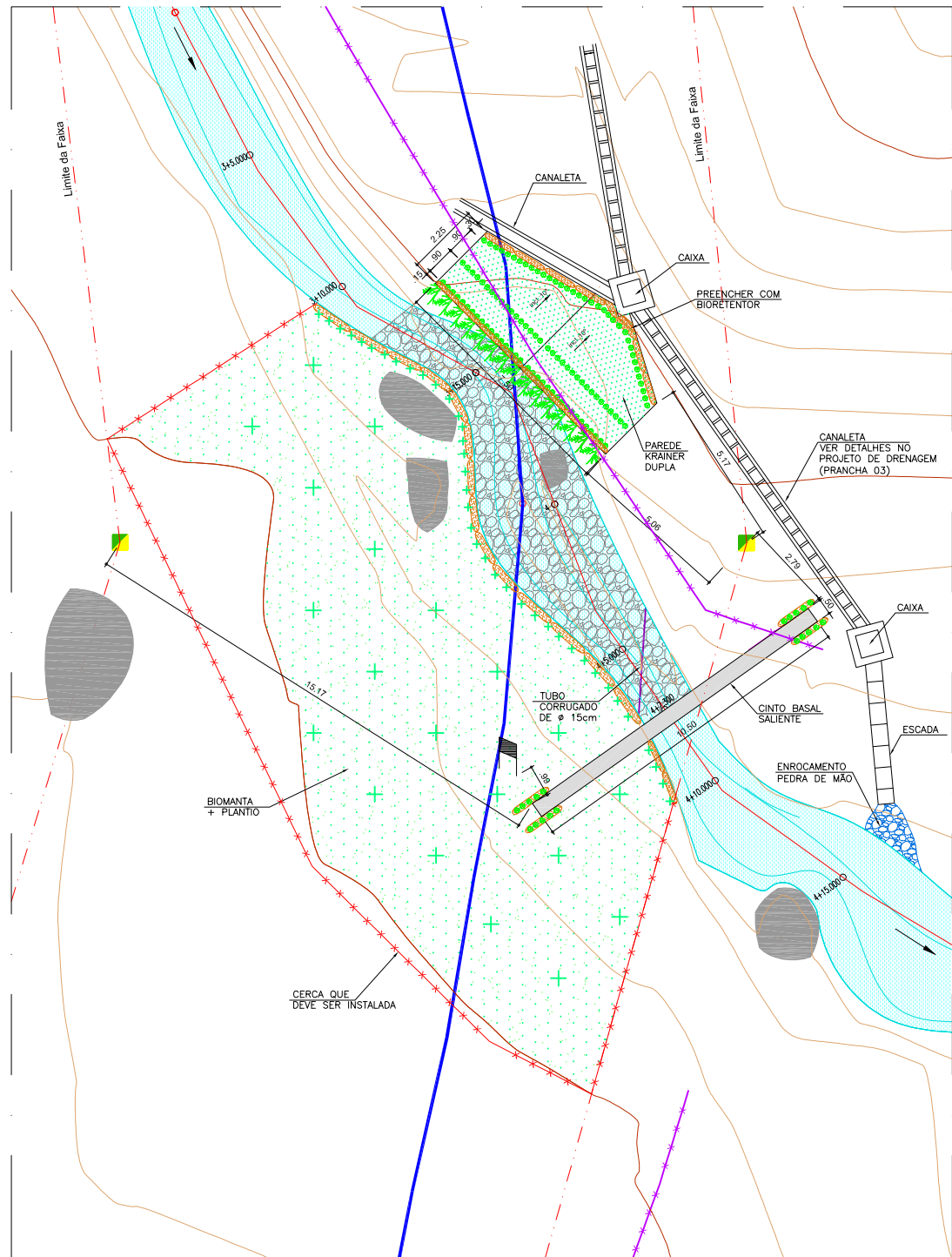
APÊNDICE D

PRANCHA B-04

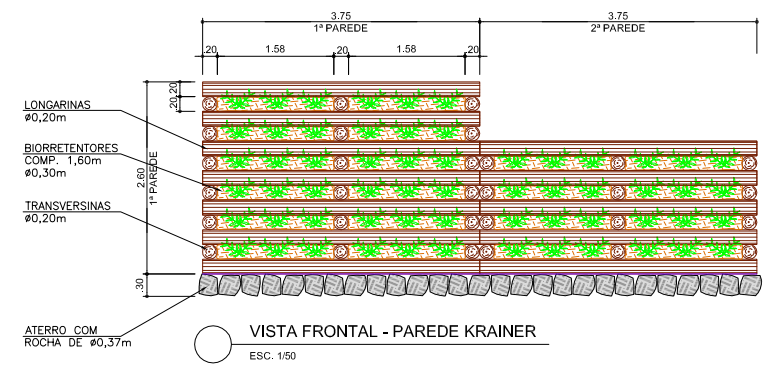
LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO  
(vista em planta, seções longitudinais e transversais do curso de água)

CLIENTE:			
PROGRAMA:			
ÁREA:			
PROJ.	EXEC.	VERIF.	APROV.
ESCALA 1/300			FOLHA
DATA	Nº		

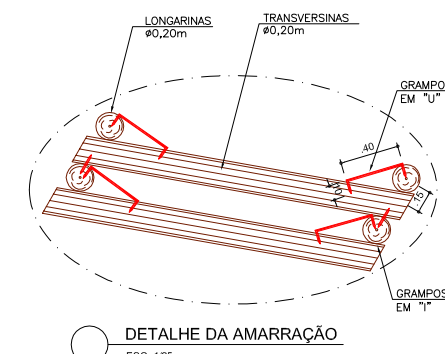




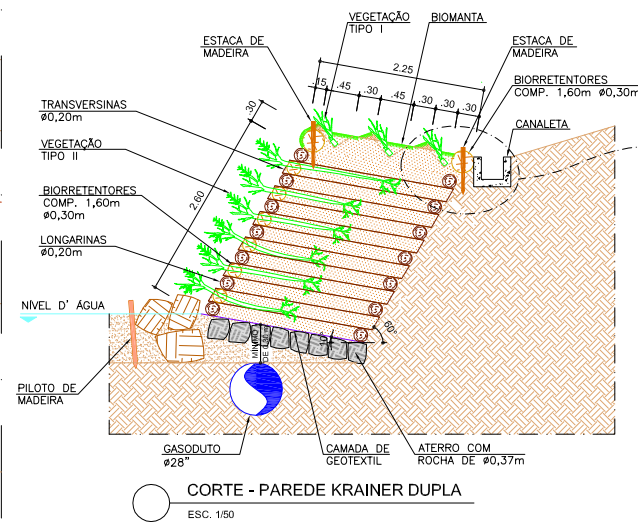
PLANTA BAIXA  
ESC. 1/100



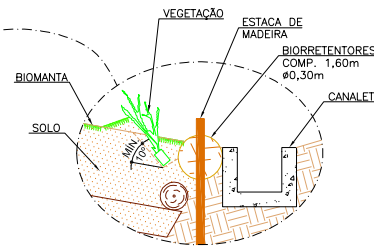
VISTA FRONTAL - PAREDE KRAINER  
ESC. 1/50



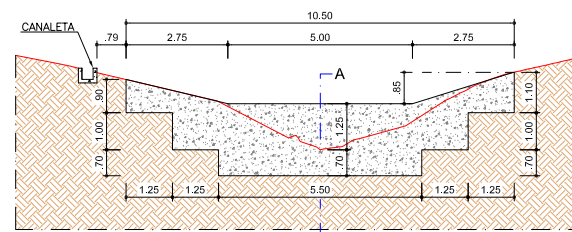
DETALHE DA AMARRAÇÃO  
ESC. 1/25



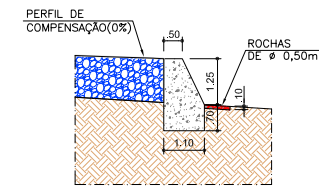
CORTE - PAREDE KRAINER DUPLA  
ESC. 1/50



DETALHE DA BANQUETA  
ESC. 1/25



CORTE - CINTO BASAL SALIENTE  
ESC. 1/100



CORTE AA - CINTO BASAL SALIENTE  
ESC. 1/100

CONVENÇÕES:

- CERCA
- CERCA A SER INSTALADA
- EIXO DE GASODUTO
- LIMITE DA FAIXA
- CURVAS DE NÍVEL
- ATERRO COM ROCHA 0,37 m
- BLOCO DE ROCHA DO CÓRREGO
- VEGETAÇÃO IMPLANTADA
- BIORRETENTOR
- MARCO DELIMITADOR
- BIOMANTA + PLANTIO DE MUDAS
- PERFIL DE COMPENSAÇÃO A SER CONSTRUÍDO
- CONCRETO SIMPLES
- PILOTOS - COMP. 2,25m Ø 20 cm
- ESTACA DE BIORRETENTOR - COMP. 50cm Ø 5cm

NOTAS:

- 1- MEDIDAS EM METROS OU CONFORME INDICADO EM DETALHE.
- 2- O ACESSO À FAIXA DEVERÁ SER RECUPERADO COM APLICAÇÃO DE SEMEADURA DE GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS.
- 3- OS PILOTOS PARA ROCHAS PODEM TER CHAPAS DE AÇO APLICADAS NAS EXTREMIDADES PARA FACILITAR SUA CRAVAÇÃO.

APÊNDICE F

PRANCHA E-01

DETALHES E LOCALIZAÇÃO DAS INTERVENÇÕES  
TRANSVERSAIS E LONGITUDINAIS

PROGRAMA:

ÁREA:

TÍTULO:

PROJ.

ESCALA:

DATA:

DES.

VERIF.

APROV.

FOLHA

DATA

Nº

VEGETAÇÃO

ESPECIES	NOME COMUM	MARGEM ESQUERDA				MARGEM DIREITA				TOTAL DE MUDAS POR ESPECIE
		P. KRAINER 1ª PARTE	P. KRAINER 2ª PARTE	BANQUETAS	ALA DO CINTO BASAL	ALA DO CINTO BASAL	PLANTIO NORMAL BIORRETENTOR	PLANTIO NORMAL BIOMANTA		
<i>Callitandra haematocephala</i>	Callitandra	30	25	25	2	2	18	35	137	
<i>Chloroleucon tortum</i>	Jurema	30	25	25	2	2	18	35	137	
<i>Tibouchina morilandiana</i>	Quaresmeira	25	15	25	1	1	12	28	107	
<i>Miconia cinnamomifolia</i>	Miconia	25	15	25	1	1	12	28	107	
<i>Ludwigia nervosa</i>	Cruz-de-malta	25	15	25	2	2	14	33	116	
<i>Mimosa pigra</i>	Calumbi	25	15	25	1	1	14	33	114	
<i>Cordia verbenaceae</i>	Erva-baleira	20	10	25	1	1	12	28	97	
<i>Senna reticulata</i>	Falso-fedegoso	-	-	25	-	-	-	30	55	
Total		180	120	200	10	10	100	250	870	

MADEIRA

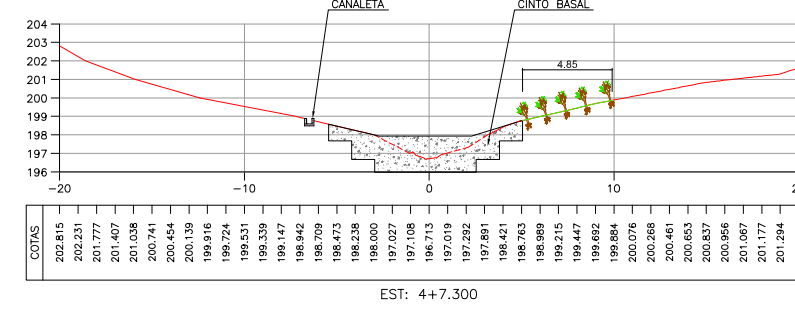
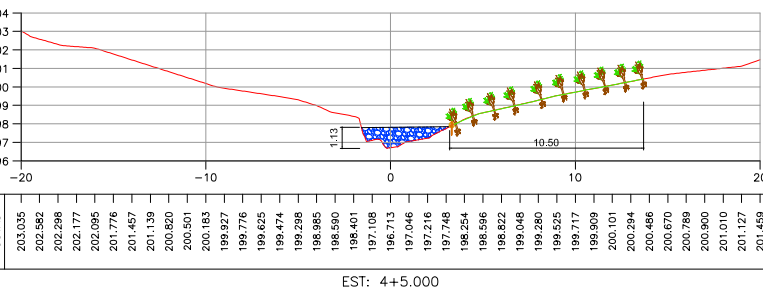
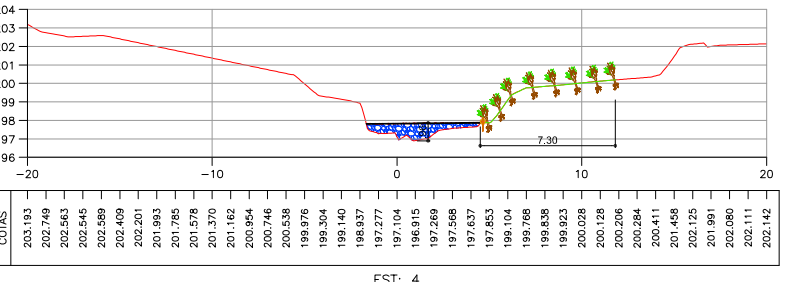
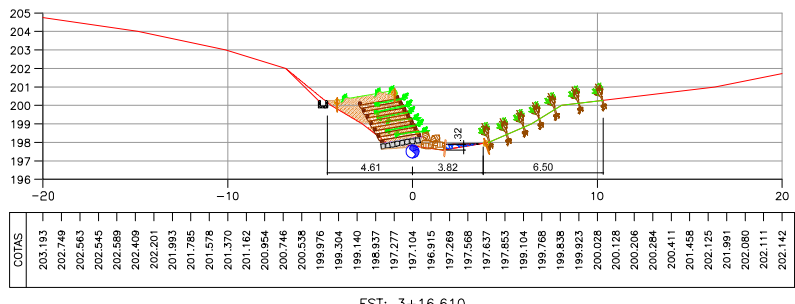
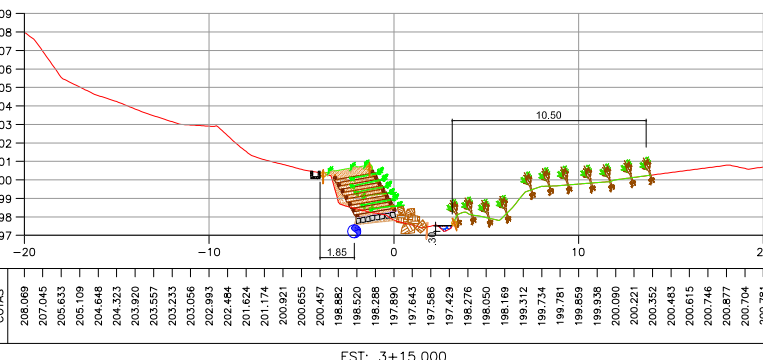
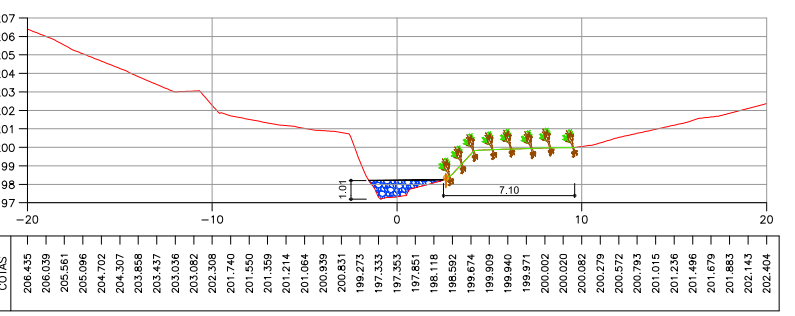
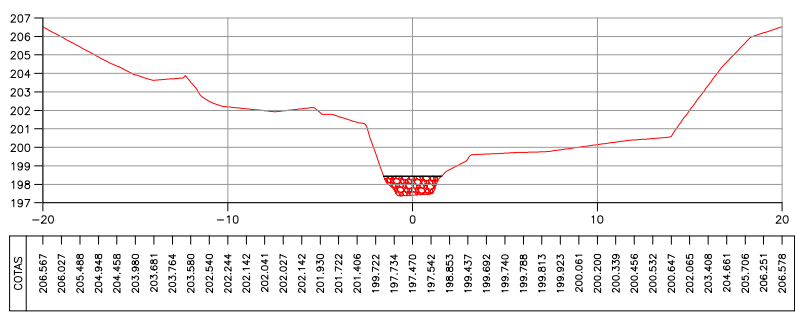
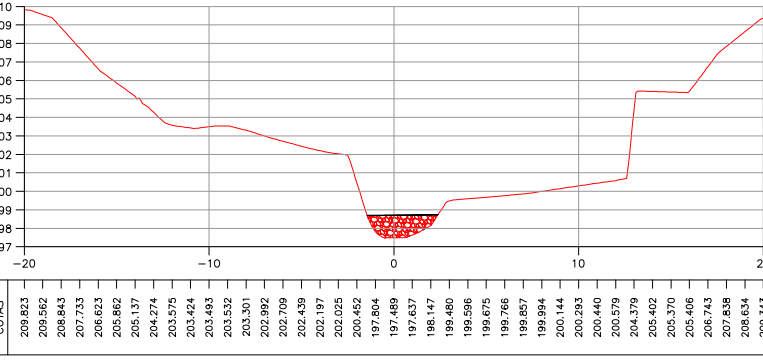
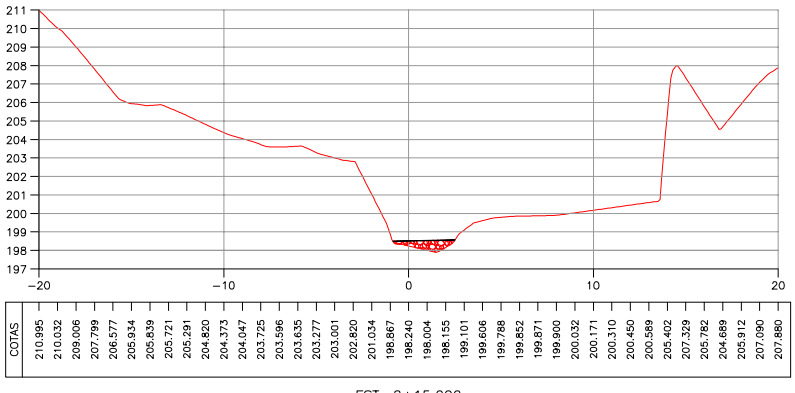
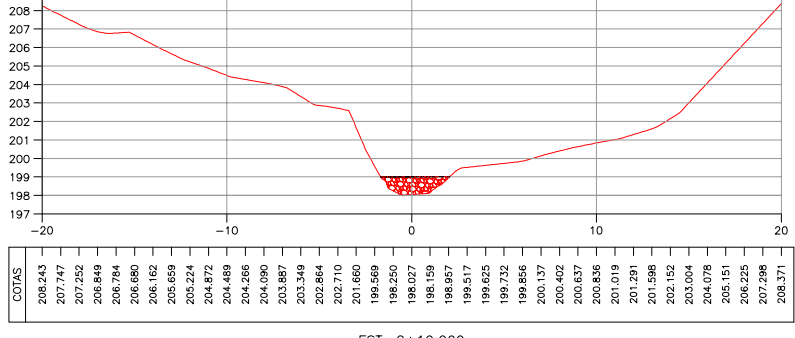
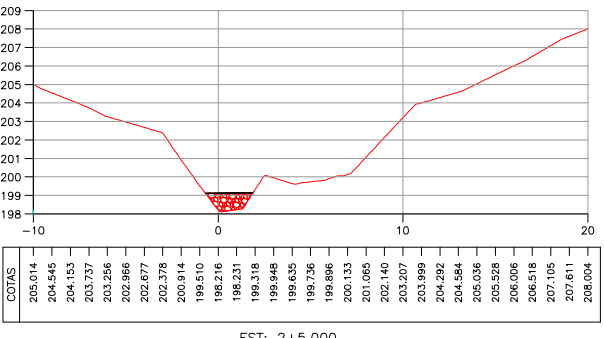
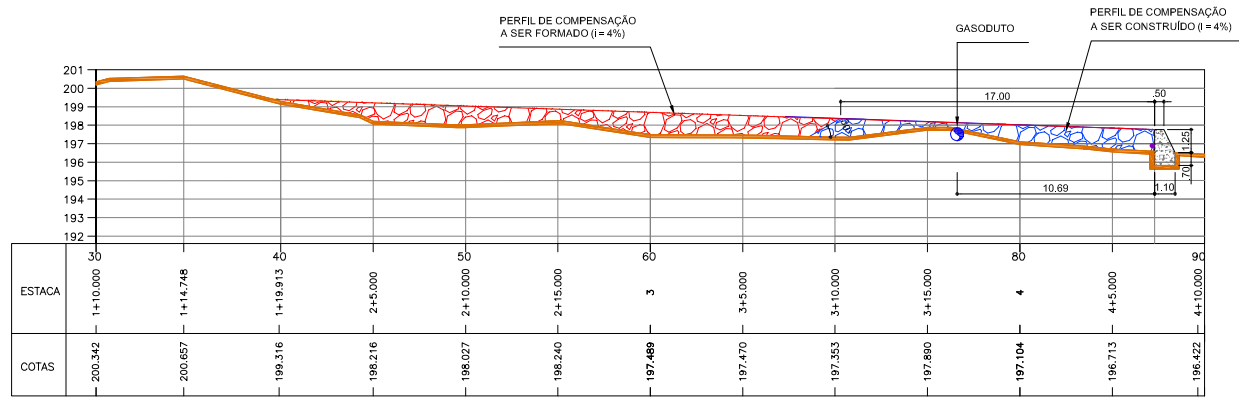
MATERIAL	QUANTIDADE
TRANSVERSINAS (2,25 x 0,20)	30 unid.
LONGARINAS (3,75 x 0,20)	24 unid.
ESTACAS (0,50 x 0,05)	204 unid.
PILOTOS (2,25 x 0,20)	8 unid.

OUTROS

MATERIAL	QUANTIDADE
BIORRETENTOR	47 unid.
GRAMPOS EM "U"	36 unid.
GRAMPOS EM "T"	36 unid.
CONCRETO SIMPLES	12,96 m³
PEDRA DE MÃO DE Ø 0,37 m	18,70 m³
PEDRA DE MÃO DE Ø 0,50 m	0,5 m³

OUTROS

MATERIAL	QUANTIDADE
TUBO CORRUGADO DE 15 cm	4,00 m
CERCA	30,00 m
BIOMANTA DE PALHA	250,00 m²
ADUBO NPK (10-20-20)	44,50 Kg
HIDROGEL (solução já preparada)	265,00 litros



CONVENÇÕES:

- EIXO DE GASODUTO
- ATERRO COM ROCHA 0,37 m
- BLOCO DE ROCHA DO CÓRREGO
- VEGETAÇÃO IMPLANTADA
- BIORRETENTOR
- BIOMANTA
- CONCRETO SIMPLES
- PERFIL DE COMPENSAÇÃO A SER FORMADO
- PERFIL DE COMPENSAÇÃO A SER CONSTRUÍDO
- PILOTOS - COMP. 2,25m Ø 20 cm
- ESTACA DE BIORRETENTOR - COMP. 50cm Ø 5cm

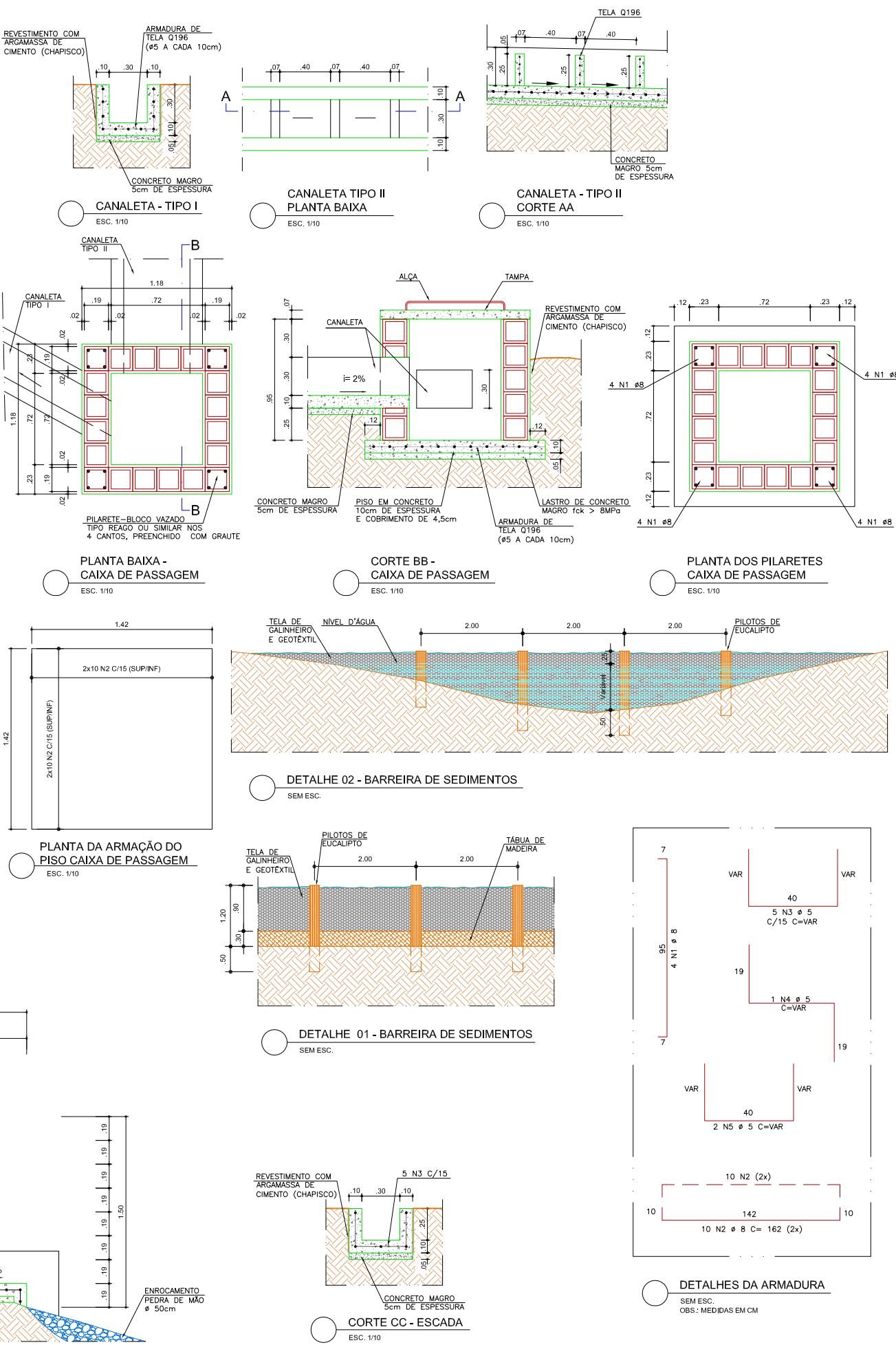
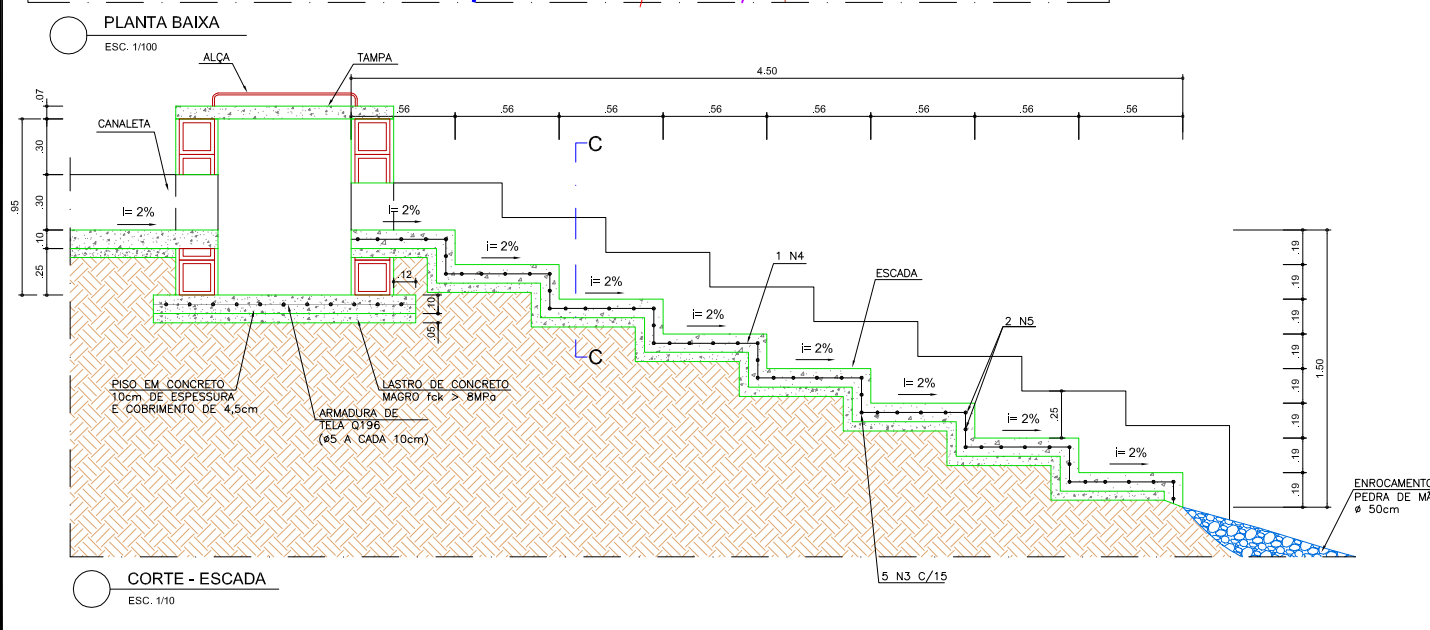
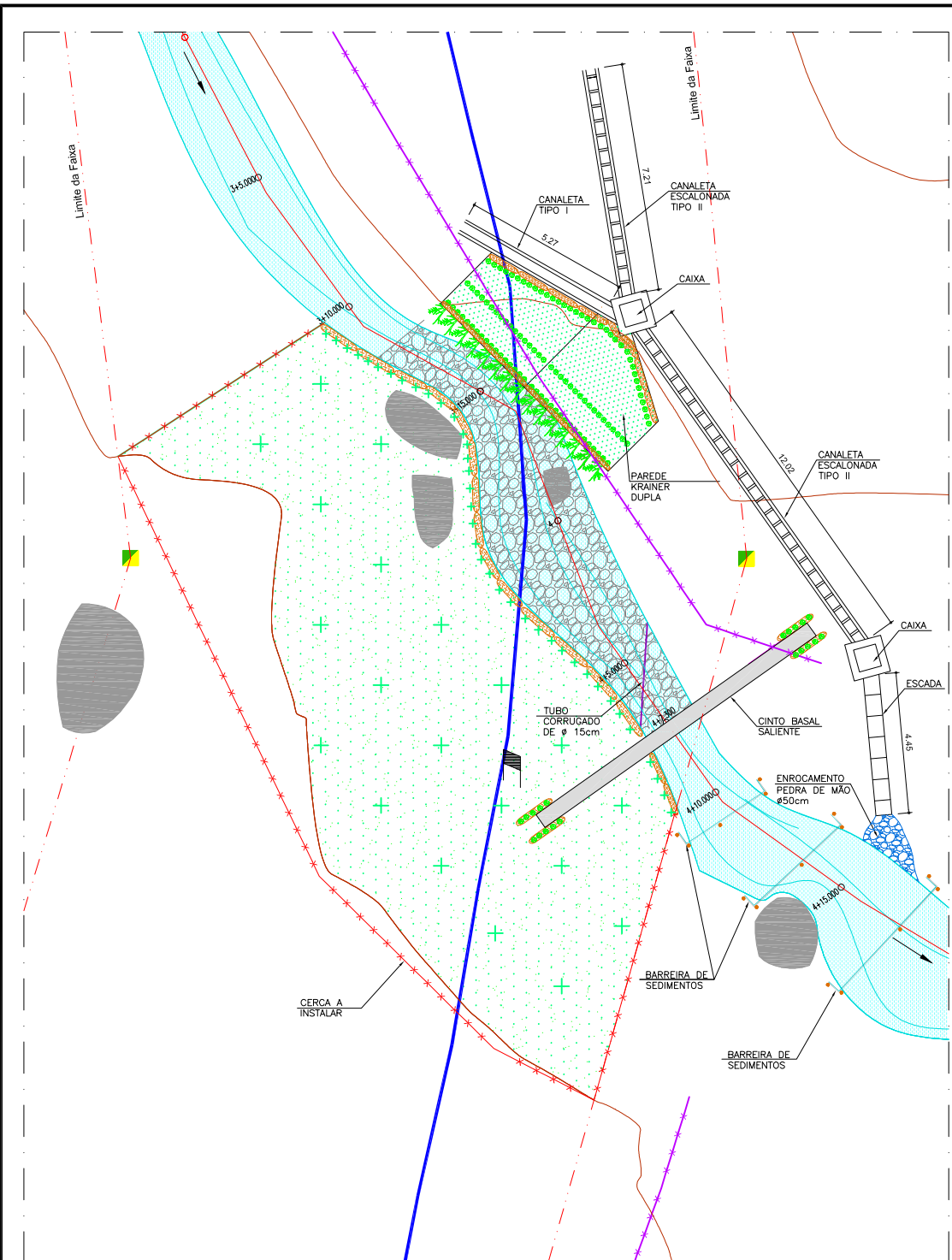
- NOTAS:
- 1- MEDIDAS EM METROS OU CONFORME INDICADO EM DETALHE.
  - 2- O ACESSO À FAIXA DEVERÁ SER RECUPERADO COM APLICAÇÃO DE SEMEADURA DE GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS.
  - 3- OS PILOTOS PARA ROCHAS PODEM TER CHAPAS DE AÇO APLICADAS NAS EXTREMIDADES PARA FACILITAR SUA INTRODUÇÃO NO SOLO.

APÊNDICE G

PRANCHA E-02

PERFIL DE COMPENSAÇÃO E ASPECTOS DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS

PROGRAMA:			
ÁREA:			
TÍTULO:			
PROJ.	DES.	VERIF.	APROV.
ESCALA: 1:200			FOLHA
DATA	NP		



**CONVENÇÕES:**

- CERCA
- CERCA A SER INSTALADA
- EIXO DE GASODUTO
- LIMITE DA FAIXA
- CURVAS DE NÍVEL
- ATERRO COM ROCHA 0.37 m
- BLOCO DE ROCHA DO CÓRREGO
- VEGETAÇÃO IMPLANTADA
- BIORRETENTOR
- MARCO DELIMITADOR
- BIOMANTA + PLANTIO DE MUDAS
- CONCRETO SIMPLES

DRENAGEM	
MATERIAL	QUANTIDADE
CONCRETO ARMADO	2,29 m³
PILOTOS	12 unid.
GEOTEXTIL	16,20 m²
TELA DE GALINHEIRO	16,20 m²
TÁBUA DE MADEIRA	13,50 m
VOLUME DE ROCHA DISSIPADOR 50cm	0,5 m³
ALVENARIA	11,22 m²
CONCRETO MAGRO	0,8 m³

- NOTAS:**
- CANALETA - TIPO I, II.
  - COBRIMENTO DE 4,5 cm.
  - CONCRETO FCK > 20 kPa.
  - JUNTAS DE DILATAÇÃO A CADA 12 m PREENCHIDAS COM ARGAMASSA ASFÁLTICA.
  - ARMADURA DE TELA Q196 (Ø5 A CADA 10cm).
  - AÇO CA 60.
  - DECLIVIDADE MÁX. 2%.
  - CAIXA COLETORA:
  - ESCAVAR 70 cm EM VOLTA PARA EXECUTAR REVESTIMENTO EXTERNO.
  - REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO COM ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA NO TRAÇO 1:3 cm, COM IMPERMEABILIZANTE.
  - TAMPA: LAJE DE (7 x 116 x 116)cm ARMADA COM TELA Q 196.
  - COBRIMENTO 3cm.
  - DIVIDIR A TAMPA EM 2 PARTES E COLOCAR ALÇA.
  - ENVOLVER CAIXAS E ESCADA COM GEOSINTÉTICO.
  - AS BARREIRAS DE SEDIMENTOS DEVEM SER RETIRADAS APÓS TÉRMINO DA OBRA.

**APÊNDICE H**  
**PRANCHA E-03**

**DETALHES DO SISTEMA DE DRENAGEM**

PROGRAMA: \_\_\_\_\_

ÁREA: \_\_\_\_\_

TÍTULO: \_\_\_\_\_

PROJ.	DES.	VERIF.	APROV.
ESCALA:	INSCADA		FOLHA
DATA:	___/___/___	№	