

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL EM PROCESSOS EROSIVOS EM TRAVESSIA DE DUTOS TERRESTRES

C.R.B. Maffra¹; F. J. Sutili²; E. Gavassoni³

¹Msc. Aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM (nível Doutorado); e-mail: charles.maffra@gmail.com

² Dr. Professor adjunto do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.; e-mail: fjsutili@gmail.com.

³ Dr. Professor adjunto do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná – UFPR; e-mail: gavassoni@ufpr.br

RESUMO

Dutos expostos em áreas de travessia estão suscetíveis aos fenômenos hidráulico-geotécnicos e tem os riscos de rupturas aumentados pelos processos de escavo e erosão de margens. Atualmente a prevenção, manutenção e recuperação dos pontos de travessia empregam técnicas tradicionais de engenharia, que muitas vezes levam a uma solução que não se justifica em termos técnicos, financeiros e ambientais. A Engenharia Natural, que usa a vegetação combinada ou não a materiais inertes para a estabilização de solos e proteção contra erosão, pode ser uma alternativa complementar ou substituta as técnicas tradicionais de engenharia. Neste sentido, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar um estudo de caso de exposição de duto onde distintas abordagens de Engenharia Natural foram usadas para tratar de processos erosivos em área de travessia. Para o estudo de caso, em comparação com alternativas convencionais, as técnicas de Engenharia Natural mostraram-se vantajosas do ponto de vista econômico, ambiental e estético.

Palavras chave: Bioengenharia de Solos; Estabilidade de Taludes Fluviais.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil conta, atualmente, com uma malha de dutos de transporte de gás e derivados do petróleo superior a 14.000 km de extensão (sem incluir dutos de transferência e distribuição) (PETROBRAS TRANSPORTES S.A., 2012). A exposição de dutos nas áreas de travessias causa preocupação em toda a malha mantida pelo Sistema PETROBRAS. Dutos expostos estão 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 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.

Atualmente a prevenção, manutenção e recuperação dos pontos de travessia empregam técnicas tradicionais de engenharia semelhantes às soluções adotadas em outras obras de infraestrutura básica, especialmente do setor rodoviário. A abordagem tradicional leva, em muitas situações, não apenas a uma solução onerosa, mas também a uma intervenção injustificada em termos de desperdício de recursos técnicos, financeiros e de impactos ambientais desnecessários. Uma significativa parte dos problemas ocorridos em áreas de travessia de dutos pode ser solucionada com intervenções tecnologicamente mais simples, empregadas pela Engenharia Natural.

Engenharia Natural é um ramo da engenharia que utiliza plantas inteiras ou suas partes como material de construção vivo, combinados, ou não, com material inerte para estabilizar e

fornecer proteção mecânica ao solo (SCHIECHTL, 1985). Obras de Engenharia Natural valorizam a matéria prima do local, se integram ao ambiente e possuem menor chance de rejeição pelo sistema fluvial. A região sudeste do Brasil, por possuir a maior porcentagem da malha de dutos de transporte de hidrocarbonetos do país, apresenta-se como candita natural para ser pioneira na abordagem de Engenharia Natural aplicada à travessia de dutos terrestres no Brasil.

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar um estudo de caso onde a abordagem de Engenharia Natural é usada para tratar de processos erosivos com ocorrência de exposição de dutos em área de travessia. O projeto, implementação e manutenção são discutidos em detalhes, ilustrando o uso das técnicas no cenário de travessia de dutos.

2 ESTUDO DE CASO

2.1 Localização da área de estudo

A área de estudo constitui faixa de servidão de transporte dutoviário de gás no Estado do Espírito Santo, região sudeste do Brasil. Ogasoduto, objeto principal das intervenções de proteção e recuperação da área, tem 28" de diâmetro e está sob enterrado a uma profundidade que varia entre 1,0 e 1,5 m, com a extensão total de 300 km. Está dimensionado para realizar o transporte de 20.000 m³ de gás natural por dia, extraído das áreas de produção off-shore do sul do Espírito Santo e da Bacia de Campos no Rio de Janeiro.

2.2 Metodologia geral de descrição

A bacia hidrográfica é usada como unidade básica de estudo. Na delimitação da bacia define-se como seção de controle o ponto de exposição do duto (km 284,900 da faixa do GASCAV). A caracterização da bacia é dada por parâmetros geométricos, morfométricos e aspectos visuais observados *in loco*, amparados por imagens orbitais georreferenciadas, das quais se obtêm informações planialtimétricas e de cobertura vegetal (confirmada a campo). Na determinação do tempo de resposta da bacia, usado como tempo de duração para a determinação da chuva de projeto, utiliza-se o método Califórnia CulvertPractice (RUSSO, 2011).

A caracterização do curso de água se baseia nas mesmas bases de dados da bacia hidrográfica, principalmente as imagens orbitais e, em maior medida, as observações *in loco*.

Quanto à descrição das condições hidráulicas do canal utilizam-se fórmulas e coeficientes tradicionalmente utilizados em hidráulica aplicada. Os seguintes métodos e parâmetros quantitativos e descritivos são utilizados:

- Fórmula de Manning para escoamentos uniformes e permanentes (determinação de vazões e velocidades);
- Coeficiente de Manning equivalente (média ponderada da rugosidade para as paredes dos canais);
- Método racional (para cálculo da vazão de projeto - utilizado em áreas < 5 km²);
- Determinação da dimensão máxima de material transportado para verificar as condições de transporte do fluxo (DURLO e SUTILI, 2012); e
- Número de Reynolds e Número de Froude (para verificar as condições de escoamento) considerando o princípio de canais siameses.

Na sequência são detalhadas as descrições e características da área e dos aspectos e fenomenologia dos problemas encontrados na travessia de duto.

2.3 Caracterização da bacia hidrográfica

A área está localizada em zona rural, no sopé da Serra do Castelo, onde o relevo é bastante acidentado, caracterizado geotecnica pela presença de talus e blocos de rocha de

granulometria extremamente irregular sendo provenientes de queda dos maciços rochosos das vertentes ou transportados pelo curso de água responsável pela drenagem da bacia. O clima da região é tropical (KÖPPEN, 1948), com estação chuvosa entre os meses de outubro e janeiro. A bacia hidrográfica é pequena (0,84 km²), apresenta talvegue curto (1,20 km) e declividade mediana (11,6%). Possui índice de circularidade alto (0,78), caracterizando uma bacia de formato arredondado (Figura 1). Apresenta fator de forma de 0,57 e densidade de drenagem de 1,45 km⁻¹, que associados ao formato arredondado da bacia indicam uma área excepcionalmente bem drenada, de padrão dendrítico e com pequeno tempo de concentração (11 min), podendo apresentar grandes picos de cheias em resposta a eventos pluviométricos intensos. Quanto à vegetação, a bacia se caracteriza por apresentar zonas de mata, plantios e pastagens.

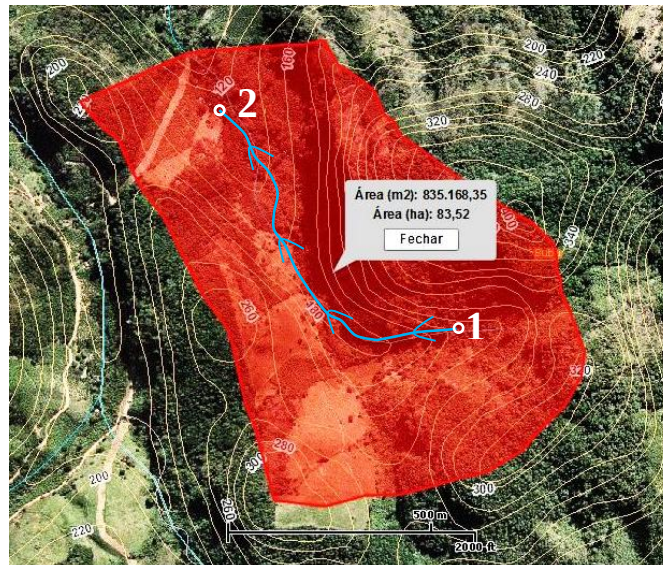


Figura 1 – Bacia hidrográfica do estudo de caso. Onde: 1 – Nascente e 2 – Seção de controle (Fonte: Navegador Geobases, 2012).

2.4 Descrição do curso de água

O curso de água apresenta elevada variação da vazão em função da rápida resposta às chuvas intensas. Nos períodos de estiagem a vazão perene se reduz a níveis que podem ser desprezados no dimensionamento hidráulico do projeto. Apresenta também grandes picos de cheia, configurando um comportamento torrencial de montanha. É subsequente de primeira ordem, caracteriza-se por tamanho pequeno e largura reduzida (menor que 30 m mesmo durante as cheias). Quanto ao vale onde se encaixa o talvegue, as vertentes possuem desníveis superiores a 100 m, conectadas a uma bacia exorreica de padrão dendrítico de drenagem com nível final na Baía de Vitória, ES. As características de incisão no leito são marcantes e os depósitos aluvionares praticamente inexistentes, exceto blocos de rochas de granulometria elevada e irregular, transportados durante cheias extremas. Quanto à sinuosidade, intercalam-se trechos aproximadamente retos com trechos transicionais, principalmente em função de obstruções do talvegue por grandes blocos rochosos e pela própria caracterização geológica de fundo de vale. A vegetação ao longo das margens é contínua e possui presença alternadamente irregular de gramíneas, arbustos e espécies arbóreas.

2.5 Condição hidráulica do canal

A condição hidráulica do canal no trecho em tratamento, para a vazão de projeto (15,4 m³/s), apresenta alta velocidade média de escoamento (3,25 m/s). Isso decorre principalmente das

inclinações elevadas. O escoamento do canal é predominantemente torrencial durante vazões de pico. Considerando-se a vazão de projeto alguns trechos do curso de água têm velocidade de escoamento maior que a velocidade crítica, o que confere ao fluxo uma grande quantidade de energia cinética e, por consequência, capacidade de deslocar materiais sólidos de grandes dimensões e também alto poder erosivo.

2.6 Características do processo erosivo

A travessia dispõe-se de modo esconso com duto, originalmente, instalado a uma profundidade média de 1 m. Em função do regime torrencial, provocado pelas chuvas intensas e pelas características da bacia, ocorreu no período chuvoso de 2011-2012 a perda de estabilidade do eixo do curso de água que passou a escavar o fundo do leito nas proximidades do duto. As alterações do fundo do leito em vista desse escavo, diminuiram a cobertura do duto, expondo sua geratriz superior. A porção exposta do duto passou a se comportar como anteparo transversal elevando o fundo do leito imediatamente a montante deste. Existe ainda, na margem esquerda, um deslizamento caracterizado pela queda de uma pequena quantidade de geomassa de 7,5 m de comprimento e 2,25 m de altura (Figura 2). Essa instabilidade se deve à confluência de alguns fatores tais como taludes íngremes com mais de 2 m de altura e a presença de blocos rochosos na margem direita que direcionam o fluxo de água para a margem oposta. Isso leva à corrosão da base do talude e, em decorrência, a queda do maciço por desconfinamento. Num trecho a jusante, numa extensão de aproximadamente 7 m, os cabos óticos estão expostos e as velocidades nesse ponto ultrapassaram os valores limites de transporte para os materiais constituintes das margens no caso do escoamento da vazão de projeto.



Figura 2 – Aspectos gerais dos processos erosivos e geotécnicos da área de estudo.

2.7 Criticidade e evolução

O estudo de caso teve problemas desencadeados por eventos pluviais intensos, típicos do clima local. O fluxo de água passou a escoar diretamente sobre o duto com possibilidade de queda de blocos comprometendo a integridade do mesmo. Além disso, o duto passou a servir de obstáculo, sofrendo tensões adicionais de turbilhonamento e forças hidrodinâmicas.

Os processos destacados podem evoluir pela continuação do alargamento das margens, colocando em risco a estabilidade da faixa de dutos e podendo também expor porções ainda maiores do gasoduto. A erosão de fundo pode evoluir potencializada pelo turbilhonamento causado

pela interface entre duto (material rígido) e solo (material granular) aprofundando o escavo ao seu redor, deixando o mesmo em balanço o que pode provocar tensões elevadas. Outro problema possível é que os vórtices provenientes do fluxo em picos de cheia podem excitar o duto dinamicamente, e se caso ocorra próximo a sua frequência natural, deformações e tensões excessivas podem surgir em suas paredes, provocadas pelo fenômeno de ressonância.

Descritos os problemas ocorridos na travessia, a seguir são especificadas as abordagens de projeto, incluindo desde a coleta de dados, procedimentos de estabilização de eixo da torrente, proteção mecânica do gasoduto e cabos óticos, drenagens, a vegetação utilizada e as metodologias de Engenharia Natural aplicadas.

3 PROCEDIMENTOS DE PROJETO

O projeto desenvolveu-se em três fases: conceitual, básico e executivo. No **projeto conceitual** foram apresentadas as propostas preliminares de intervenção baseadas em conceitos de Engenharia Natural aplicáveis para a situação encontrada. No **projeto básico**, a partir das propostas conceituais definidas, foram selecionadas as intervenções mais adequadas, descritas analiticamente todas as características, fatores e variáveis englobados pela área de trabalho e pelas intervenções selecionadas, dando ênfase aos processos e fenômenos naturais que levaram à exposição do trecho de duto, abordando também a descrição e a justificativa das ações de intervenção na mitigação dos riscos envolvidos nos processos. O processo de escolha das alternativas propostas no projeto conceitual considera as limitações e os requisitos de integridade do duto. Por fim, definidas as intervenções na área problemática, se deu início ao detalhamento das soluções adotadas, etapa definida pelo **projeto executivo**, no qual foram descritas minuciosamente as atividades e serviços de recuperação das áreas degradadas, como devem ser construídas as intervenções, especificados e orçados os materiais e suas quantidades e as formas de monitoramento da obra. A seguir são descritos os procedimentos e resultados de cada fase de projeto.

3.1 Projeto conceitual

O projeto conceitual foi elaborado com base em informações preliminares de levantamento topográfico, informações de escritório e de campo, resultando nas seguintes sugestões de intervenção:

- Instalação de obra transversal de consolidação a jusante do duto exposto (cinto basal saliente ou barragem de consolidação) para forçar o depósito de sedimentos;
- Estabilização longitudinal da margem erodida. Sugeridas as seguintes biotécnicas: biomanta vegetada, esteira viva, plantio em banquetas, parede krainer dupla.

Frente às alternativas apresentadas foram escolhidas as técnicas mais viáveis do ponto de vista técnico-logístico e as mesmas descritas e dimensionadas em detalhes nas etapas posteriores (projeto básico e executivo).

3.2 Projeto básico

Compreende o levantamento e análise de dados necessários para a elaboração dos trabalhos, envolvendo o levantamento de informações da bacia hidrográfica, do curso de água e do terreno (topografia). Possibilita a avaliação analítica dos aspectos hidráulicos e a escolha e dimensionamento das intervenções. A seguir são descritas as medidas e os tratamentos adotados.

3.2.1 Medidas de tratamento

As medidas de tratamento da erosão fluvial incluíram ações de controle dos processos envolvidos no problema de exposição de duto, bem como sua proteção. As soluções adotadas

apoiam-se no comportamento dinâmico dos processos erosivos, nas características da torrente, nos critérios de integridade do duto e da faixa, na sua posição em relação à bacia hidrográfica e nas alterações do regime fluvial a montante e a jusante do trecho de intervenção. Também foram consideradas análises técnico-logísticas das ações de construção das intervenções e questões de manutenção da obra e da faixa.

Em resumo, a cota da linha de água foi elevada através da construção de uma obra transversal associada à construção de uma parede krainer vegetada. As medidas iniciais consistem na limpeza do curso de água, obras de acesso, levantamentos topográficos, e da cobertura do duto no local para servir de base para as demais fases de projeto. Também foram realizados ensaios geotécnicos e de fertilidade do solo.

Como o eixo da torrente encontrava-se instável foi necessária sua estabilização por meio da limpeza do leito do curso de água e a implantação de estruturas de controle de fluxo. No controle do alargamento provocado pela erosão da margem esquerda, foram utilizadas obras longitudinais e transversais ao curso de água.

Adotou-se a solução composta por parede krainer dupla no trecho onde ocorreu o deslizamento de talude na margem esquerda, bem como o uso de banquetas (preparo do solo em forma de cunha perpendicular a inclinação no talude onde são inseridas mudas de espécies vegetais) na parte superior da parede. A parede krainer, é uma estrutura semelhante a um berço, composta por longarinas e transversinas, que funciona como muro de gravidade. Nesse projeto a parede krainer é projetada em peças de *Eucalyptus citriodora* tratadas, com diâmetro de 25 cm. As dimensões da parede são 2,25 m de largura, 7,5 m de comprimento (Figura 6). A parede teve sua estabilidade verificada quanto ao tombamento, deslizamento e tensão admissível. As peças de madeira também tiveram sua resistência à flexão verificada. Todas as verificações resultaram em fatores de segurança maiores que 1,5.

Para controle da erosão de fundo foram utilizadas obras transversais ao fluxo de água, reduzindo e controlando o perfil, por meio da redução da inclinação. Nessa intervenção foi adotada a construção de um cinto basal saliente de 1,25 m de altura, dimensionado em função da inclinação do perfil de compensação formado e da necessidade de proteger e aumentar a cobertura atual do duto. O cinto basal foi instalado a jusante do duto em posição perpendicular ao fluxo da torrente. A inclinação do perfil de compensação resultante, importante no projeto de obras transversais, foi calculada adotando-se metodologia proposta por Ferro e Porto (2011). A inclinação resultante do perfil de compensação é conhecida como inclinação de equilíbrio e depende das características geométricas do fluxo, do tamanho do material do leito, e das condições hidráulicas da seção transversal do curso de água. A verificação da dimensão mínima do material depositado resulta em 25 cm. O perfil de compensação deve ser projetado para 4% de inclinação, mas artificialmente aterrado com inclinação nula em um trecho de 12,0 m a montante do cinto basal. A seção do vertedouro do cinto basal saliente é dimensionada utilizando-se a equação de Cipoletti para um formato trapezoidal (PORTO, 2011). Para o mesmo adota-se uma largura de 5,0 m, resultando numa lâmina de água de 1,40 m, sendo o excedente entendido como cota de inundação, avaliada como não potencialmente danosa na área do projeto. Avalia-se a curva de remanso provocada a montante do cinto basal saliente, mediante a solução por integração numérica da equação diferencial que rege o escoamento gradualmente variado em canais livres. Com a implantação imediata do perfil de compensação, o regime de fluxo passa a ser descrito pela equação de Manning para escoamento permanente uniforme. As velocidades são reduzidas e o escoamento se caracteriza como fluvial em todas as seções em decorrência da implantação das intervenções descritas. Para garantia da estabilidade das obras transversais, a profundidade de escavo é calculada utilizando-se o método proposto por Julien (2002), o que resulta numa profundidade de escavo de 0,15 m. Adota-se então para o cinto basal uma sapata corrida de 0,70 m de profundidade em função da estabilidade geotécnica. Para a proteção contra o escavo são dispostos blocos maiores que 0,50 m (direção longitudinal) numa profundidade de 0,20 m, de modo que a distância de escavo também é determinada, resultando em 0,70 m. Com base no dimensionamento para chuvas com tempo de retorno de 25 anos (considerando duto com vida útil de 20 anos) a probabilidade do evento não ser excedido foi de 96% e um risco associado a esse evento igual a 0,56. Esses valores foram obtidos sem considerar o efeito da vegetação.

Na abordagem de Engenharia Natural, a vegetação tem relevante contribuição na melhoria das propriedades de engenharia das estruturas de intervenção em relação aos fenômenos geotécnicos e hidráulicos. Contudo, ainda não se dispõe de conhecimento adequado nem de uma descrição analítica da aptidão biotécnica de espécies nativas do estado do Espírito Santo. Levando isso em conta, uma série de pesquisas estão sendo realizadas buscando encontrar espécies com potencial biotécnico. Como resultado foram selecionadas três espécies arbustivas, uma delas com potencial biotécnico comprovado e as demais com características biotécnicas promissoras. As espécies escolhidas foram utilizadas para a construção da parede krainer e para a construção de banquetas vegetadas acima da parede.

Efeitos observados

Ao ser computado o efeito da vegetação no dimensionamento hidráulico e geotécnico das soluções apresentadas, ocorre a redução das velocidades e do tamanho das rochas deslocadas em todas as seções, bem como o aumento do raio hidráulico e da cota média de inundação. Ao ser estimado o período de retorno no caso ideal, ou seja, com a vegetação estabelecida na área e atuando como elemento estrutural, chega-se ao valor de 42,4 anos, que ultrapassa a vida útil do duto e o período de retorno utilizado para a parte inerte das obras implantadas. De modo complementar, a vegetação ainda proporciona estabilidade e proteção mecânica ao substrato das margens por meio de efeitos advindos de suas raízes e partes aéreas. Calculando-se as novas probabilidades e riscos associados ao evento de 42,4 anos e considerando-se na análise a ação ideal da vegetação sobre a intervenção, resulta numa probabilidade de 97,6% do evento não ser excedido e um risco associado durante a vida útil do empreendimento de 0,38. Por essas razões observa-se que a vegetação adequada do ponto de vista biotécnico pode aumentar em muito os níveis de segurança das obras, e por isso pode-se dispensar grande parte das intervenções para se construir obras com os mesmos níveis de segurança das obras tradicionais.

Frete à descrição das intervenções são apresentadas a seguir as medidas tomadas para a execução das mesmas.

3.3 Projeto executivo

Esta seção descreve as atividades e os serviços de recuperação das áreas degradadas. São tratadas dúvidas advindas do projeto básico e descritos todos os detalhamentos de construção de cada intervenção, simplificando-se as informações, e assim, tornando-se possível sua implantação na área problemática.

Para comportar o desenvolvimento das obras foram prescritas inicialmente atividades de limpeza e preparação do terreno, terraplenagem (conformação de taludes de margens e suavização de quinas protuberantes), canteiro de obras e atividades de apoio, bem como o uso de medidas e estruturas provisórias para controle de erosão e aporte de sedimentos. Após a implantação, procede-se o monitoramento, constituindo-se na verificação do desenvolvimento e da sanidade da vegetação e da integridade das estruturas inertes implantadas. O monitoramento é realizado ao menos uma vez por semana no primeiro mês e uma vez a cada duas a partir do segundo mês após implantação das obras.

A obra transversal projetada consiste de um cinto basal saliente em concreto simples, alocado a jusante do trecho de duto exposto (Figura 3). Para a construção sua base deve ser escavada sob o leito do rio (Figura 4). O solo retirado do leito do curso de água deve ser usado para o preenchimento da parede krainer e execução de pequenos aterros sobre a mesma bem como leiras de recomposição da faixa de dutos. As alas do cinto basal devem ser reaterradas e compactadas sendo a superfície de contato do solo com as mesmas, cobertas com biomantase biorretentores de sedimentos a montante e jusante. O perfil de compensação projetado com inclinação de 4% deve ser, na fase de obra, aterrado com inclinação nula para proteção imediata do duto e cabo ótico, resultando em um volume de 19,0 m³ de rochas de 25 cm de diâmetro (Figura 5). A proteção contra

o escavo, foi lançada em enrocamento em uma extensão de 0,7 m, com rochas de 0,5 m de diâmetro, correspondendo a 0,5 m³ de rocha.

As obras longitudinais compreendem a construção da parede krainer dupla e banquetas (margem esquerda) e plantio de mudas nos pontos onde a máquina danificou o talude (margem direita) em função da implantação das obras (Figura 3). A parede krainer foi dividida em duas paredes com alturas diferentes (Figura 6). As paredes são construídas de modo que cada uma possua comportamento individual quanto à ação de recalques diferenciais do terreno. Nos vãos da face exposta são inseridas 15 mudas de três espécies diferentes, com tamanho entre 1,0 e 2,0 m, a constar: *Sebastianiaschottiana* (Müll. Arg.) Müll. Arg., *Calliandrahaematocephala* Hassk. e *Chloroleucontortum* Mart.. As banquetas, logo acima da parede, são realizadas com as mesmas espécies vegetais.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram apresentados, os mecanismos de avaliação e dimensionamento das soluções adotadas para tratamento de trechos de dutos expostos em decorrência de erosão fluvial. Nota-se que as características de bacia hidrográfica de montanha e a posição do duto em relação à bacia, atravessando o talvegue, potencializam os riscos de danos à integridade do duto, da faixa e do meio ambiente.

As soluções aqui abordadas visam em ordem de prioridade à proteção mecânica do duto, a estabilização da faixa e a recuperação ambiental do trecho afetado. Para isso aborda-se o problema do ponto de vista da Engenharia Natural. Entretanto, o sucesso de intervenções baseadas em técnicas de Engenharia Natural dependem do conhecimento das características da vegetação utilizada. A carência de conhecimento biotécnico da vegetação local torna necessária que a intervenção ainda seja fortemente apoiada em estruturas inertes. O nível de conhecimento do potencial biotécnico das espécies vegetais utilizadas é fundamental para a dosagem utilizada na combinação entre as práticas da engenharia tradicional e da Engenharia Natural. Quanto maior for a comprovação biotécnica de uma espécie, mais se pode apoiar a solução no seu uso em detrimento de intervenções da engenharia tradicional, que passarão a dar suporte a vegetação enquanto essa encontra-se no seu estágio de desenvolvimento, resultando em projetos mais racionais e econômicos.

As intervenções com base em técnicas de Engenharia Natural apresentam-se como alternativas viáveis para a solução do problema de erosão fluvial em travessias de dutos. Essas alternativas propiciam ganhos sob o ponto de vista técnico, econômico, ecológico e estético.

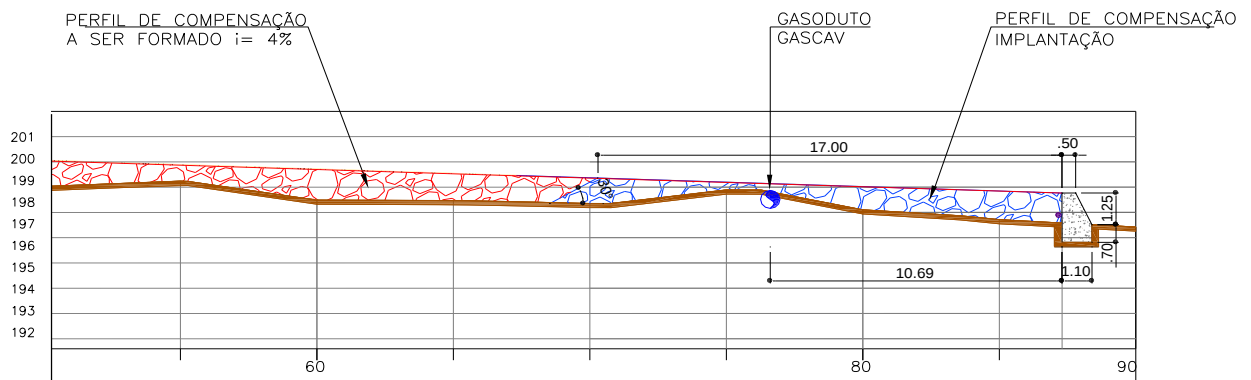


Figura 5 – Aspectos do perfil de compensação proporcionado pelo cinto basal saliente.

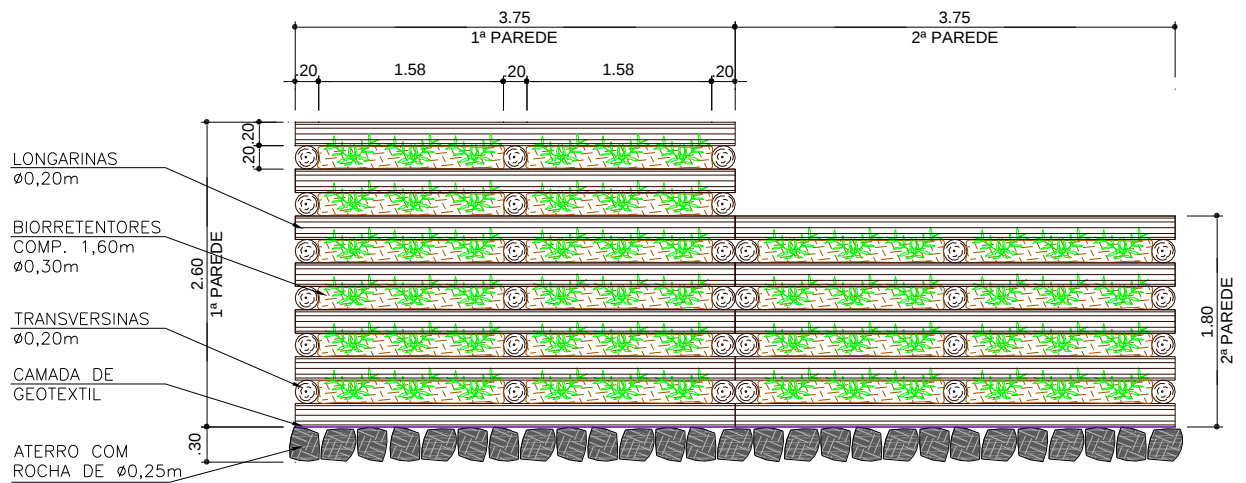


Figura 6 – Vista frontal da parede krainer.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

SCHIECHTL, H.M. VegetativeandSoilTreatmentMeasures. FAO – Watershed Management Field Manual.FAO ConservationGuide 13/1, 1985.

RUSSO, J. W. Hidrologia Aplicada e Projeto de Drenagem para Faixas de Dutos, Rio de Janeiro, 2011.

DURLO, M., SUTILI, F. J. Bioengenharia, Manejo Biotécnico de cursos de água, Porto Alegre, 2012.

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

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, 2011.

PORTO, R. M. Hidráulica Básica, São Paulo, 2001.

JULIEN, P. Y. River Mechanics, 2002.