

Viabilidade econômica de uma obra de estabilização fluvial realizada com técnicas de Engenharia Natural

Economic viability of streambank stabilization work with Soil Bioengineering techniques

Rita dos Santos Sousa¹

Junior Joel Dewes²

Fabrício Jaques Sutili³

¹ Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Santa Maria; E-mail: ritasousa.ufsm@gmail.com

² Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Santa Maria; E-mail: juniordewes2011@gmail.com

³ Docente da Universidade Federal de Santa Maria, Campus Santa Maria: E-mail: fjsutili@gmail.com

Resumo: Com o aumento da conscientização ambiental surge a demanda por técnicas de menor impacto ambiental que valorizem as características ecológicas e a conectividade hidráulica de sistemas fluviais. Face a esta problemática a Engenharia Natural pode ser uma alternativa viável às técnicas tradicionais da Engenharia Civil que além de onerosas, não levam em consideração questões ecológicas. O objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade econômica de uma obra de Engenharia Natural para estabilização de um talude fluvial comparando-a com uma solução tradicional de Engenharia Civil. Para realizar a análise econômica foi feita uma comparação entre o orçamento proposto para a obra de Engenharia Civil e o custo total de uma obra de Engenharia Natural executada em 2010, em um trecho com processos erosivos na margem esquerda do rio Pardinho. A análise financeira realizada mostrou que a intervenção de Engenharia Natural teve um custo percentual de 48,84% inferior à solução prevista pela Engenharia Civil, com a maior percentagem do valor total (56,16%) relacionada com a aquisição de materiais. Conclui-se que a obra de Engenharia Natural apresentou viabilidade econômica para estabilizar o talude fluvial do rio Pardinho quando comparada com uma solução tradicional de Engenharia Civil.

Palavras-chave: recuperação de áreas degradadas, engenharia civil, custos, processos erosivos.

Abstract: The development of environmental concerns increased the demand for low environmental impact techniques that value the ecological characteristics and the hydraulic connectivity of fluvial systems. Facing this problematic Soil Bioengineering can be a viable alternative to the traditional techniques of Civil engineering that aside from expensive, do not take into account ecological issues. The aim of this work was to analyze the economic viability of a Soil Bioengineering work to stabilize a streambank compared to a traditional Civil engineering solution. To carry out the economic analysis a comparison was made between the proposed budget for the Civil engineering work and the total cost of a work of soil Bioengineering performed in 2010, in a stretch with erosive processes on the left bank of the Pardinho river. The financial analysis showed that the intervention of soil bioengineering had a cost of 48.84% lower than the solution foreseen by civil engineering, with the highest percentage of total value (56.16%) related to the acquisition of materials. In conclusion the soil bioengineering work presented economic viability to stabilize the streambank of the Pardinho river when compared with a traditional solution of Civil engineering.

Keywords: restoration of degraded lands, civil engineering, costs, erosive processes.

1. Introdução

Tradicionalmente a estabilização de taludes fluviais é realizada com técnicas convencionais de Engenharia Civil, como por exemplo, muros de gabião, concreto, enrocamento, entre outras. Recentemente com o aumento da conscientização ambiental surge a demanda por técnicas de menor impacto ambiental que valorizem

as características ecológicas e a conectividade hidráulica de sistemas fluviais. A Engenharia Natural se mostra como uma alternativa às técnicas tradicionais, considerando critérios técnicos no dimensionamento das obras com valorização dos fatores ecológicos e ambientais.

A Engenharia Natural recorre principalmente à utilização de materiais construtivos vivos (sementes, plantas, partes de plantas, etc.) que podem, ou não, ser combinados com materiais inertes (SCHIECHTL, 1980). As técnicas de Engenharia Natural podem ser aplicadas em problemas estruturais de estabilização geotécnica e hidráulica, controlar processos erosivos superficiais, e simultaneamente projetar ecossistemas em equilíbrio dinâmico (SOUSA, 2015).

A análise financeira e a relação custo-benefício das intervenções de Engenharia Natural são fundamentais para a especificação da solução mais adequada, que atenda às condições técnicas e ambientais sem descurar as condições econômicas. Uma comparação de custos entre soluções tradicionais e soluções de Engenharia Natural em obras realizadas em contexto brasileiro é uma ferramenta eficaz na avaliação da viabilidade econômica entre as duas abordagens. Desta forma, podem ser fornecidos critérios que ajudem na especificação de obras com base em análises técnicas feitas a intervenções já implementadas.

Conforme indicado por vários autores, a Engenharia Natural apresenta soluções construtivas mais econômicas que as soluções tradicionais da Engenharia (BONATTI e MARONGIU, 2013; COPPIN e RICHARDS, 2007; CORNELINI e SAULI, 2005; DONAT, 1995; FAY et al., 2002; FERNANDES e FREITAS, 2011; SCHIECHTL e STERN, 1996; STUDER e ZEH, 2014). Autores como Venti et al., (2003) afirmam que as biotécnicas são menos onerosas (de 40% a 90%) em relação às intervenções tradicionais, afirmação que deve ser comprovada para contexto brasileiro. Além disso a correção e/ou mitigação dos processos de perda de solo através de abordagens convencionais de engenharia podem, por diversas razões, se mostrar dispendiosas dos pontos de vista técnico, econômico e principalmente ecológico (SOUSA et al., 2018).

O objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade econômica de uma obra de Engenharia Natural para estabilização de um talude fluvial executada em contexto brasileiro comparando-a com uma solução tradicional de Engenharia Civil.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Descrição da área em estudo

A área objeto de estudo deste trabalho está localizada no município de Santa Cruz do Sul (Rio Grande do Sul), nas coordenadas 29°40'29,43" Sul e 52°27'43,35" Oeste. O trecho tem cerca de 80 m de comprimento e localiza-se na margem esquerda do Rio Pardinho a jusante da barragem de captação de água da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). O trecho apresenta um processo erosivo que surgiu após a construção de uma adutora para captação de água, com desvio do eixo do curso de água para a margem esquerda. O desvio do fluxo de água ocasionou um processo contínuo de corrosão na base do talude, seguido de desconfinamento e posteriores movimentos de massa (deslizamentos e desmoronamentos), com consequente perda e transporte de solo para jusante. Este processo contínuo formou taludes com inclinações altas, que associadas às alturas elevadas (aproximadamente 7 m) e baixas características de resistência do solo impediu o estabelecimento espontâneo da vegetação. Outro fator instabilizante foi a presença de árvores de

grande porte, timbaúvas (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) no topo de talude, que aumentaram a componente vertical da sobrecarga, deslocando o centro de gravidade do talude para posições geoteticamente menos estáveis, além de encaminharem e transmitirem forças solicitantes ao talude por ação do vento, criando um efeito de alavanca que agrava a dinâmica de desconfinamento. As características gerais do trecho antes da realização da obra podem ser observadas na Figura 1.



Figura 1 – Vista frontal do trecho antes da intervenção com talude com inclinação acentuada e presença de árvores de grande porte no topo. (Fotografia: Sutili, 2009).

Figure 1 – Front view of the stretch before intervention with the slope with high gradient and presence of tall trees at the top. (Photography: Sutili, 2009).

Por exigência do Ministério Público Federal (MPF), com o objetivo de evitar a evolução do processo erosivo, foi solicitado à CORSAN um projeto que solucionasse o problema. Numa primeira fase foi elaborado um projeto e orçamento de Engenharia Civil, no final do ano de 2009. Numa segunda fase foi elaborado um projeto que atendesse às condições técnicas impostas pela tipologia de processo erosivo, mas que também apresentasse um caráter ecológico, visando a mitigação do impacto nas características ambientais na Área de Preservação Ambiental (APP). Desta forma, foi desenvolvido um projeto de Engenharia Natural elaborado em dezembro de 2009 pelo Centro de Pesquisa Florestal e Ambiental (CEPEFLORA) da Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen.

A empresa CORSAN optou pela execução da solução proposta no projeto de Engenharia Natural, com a devida aprovação do órgão ambiental.

2.2. Análise econômica das técnicas de intervenção

Para realizar a análise econômica foi feita uma comparação entre o orçamento proposto para a obra de Engenharia Civil, em 2009 e o preço da obra de Engenharia Natural executada em 2010. Para se obter um resultado passível de analisar com maior exatidão, com base em custos atuais, foi feita uma atualização dos preços segundo o Índice Nacional de Custo da Construção (INCC) para a data de 01.07.2016. Para as duas soluções construtivas foram analisados os custos, que consideram todos os gastos envolvidos na execução da obra, ou seja, mão de obra, materiais e equipamentos, além de toda a infraestrutura necessária para a execução (canteiro de obra, administração local, mobilização e desmobilização).

2.3. Descrição das técnicas de intervenção

O projeto de engenharia tradicional consistiu na proposta de proteção e estabilização de todo o talude com enrocamento em pedra lançada, técnica também denominada como rip-rap. Esta técnica é muito utilizada como solução geral para proteção de taludes fluviais (LAGASSE et al., 2006). Na elaboração do projeto foi considerado o revestimento de todo o trecho em tratamento com pedra, desde a base

do talude até ao seu topo (largura média de 17,20 m), com extensão de 80 m e espessura da camada de 0,70 m. A pedra considerada apresenta uma dimensão mínima de 0,50 m. Também foi considerado a aplicação de um geossintético tipo geotêxtil não-tecido que funciona como um sistema de filtragem na interface entre o solo e o enrocamento em pedra.

O projeto de Engenharia Natural consistiu na estabilização e proteção da base do talude com enrocamento vegetado com mudas de *Salix humboldtiana* Willd. (salgueiro) e *Calliandra brevipes* Benth. (caliandra rosa). Para construção do enrocamento foram utilizados blocos de basalto com dimensão média de 0,50 m. Acima do enrocamento foi projetada uma banqueta com 5 metros de profundidade, onde foram plantados arbustos inteiros das espécies *Pouteria salicifolia* (Spreng.) Radlk. (sarandi mata-olho), *Schinus molle* L. (aroeira-salso), *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira-vermelha) e *Terminalia australis* Cambess. (sarandi amarelo). Sobre a banqueta de arbustos formou-se um segundo patamar onde foram ancoradas árvores de *Salix humboldtiana*, com prumos de madeira, cravados no solo com um ângulo de 45° e interligados entre si por um cabo de aço. No final as árvores foram cobertas por uma camada de solo, para promover a sua propagação vegetativa. Posteriormente foram removidas as árvores (timbaúvas) de grande porte do topo dos taludes (conforme licença ambiental) para utilizar na execução da segunda linha de árvores ancoradas com prumos de madeira. No final foi feito um retaludamento do topo de todo o trecho e executado um plantio de estacas vivas e mudas de diversas espécies autóctones.

Os detalhes construtivos do projeto podem ser observados na Figura 2.

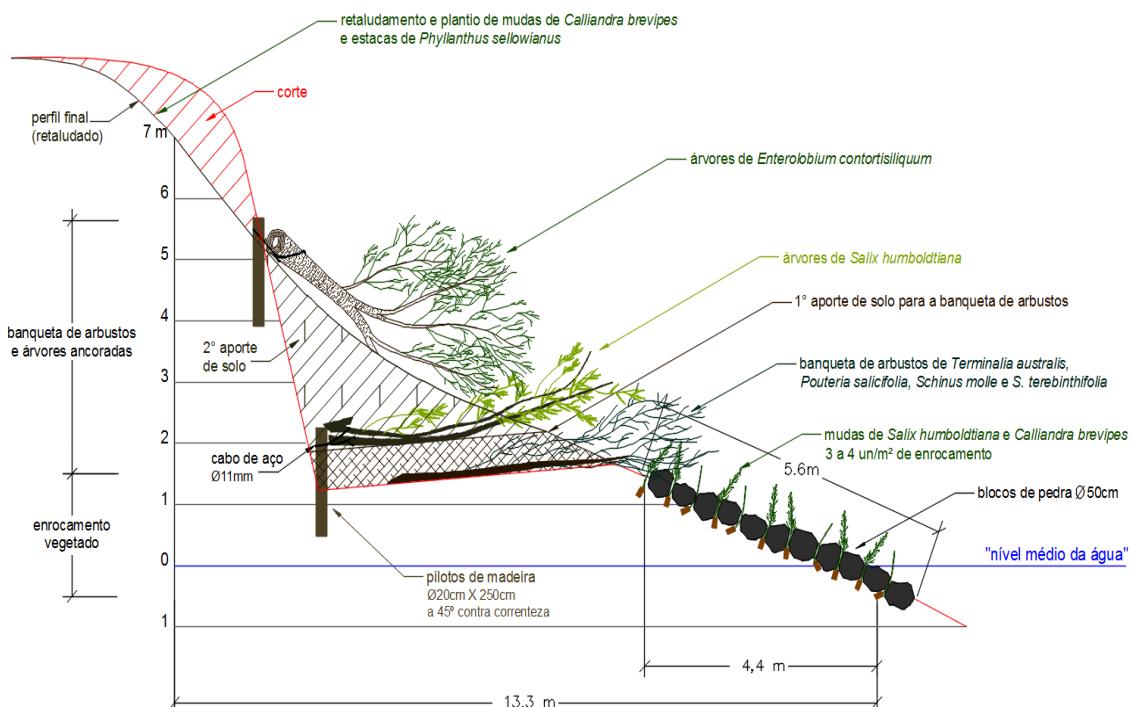


Figura 2 - Seção tipo do projeto de Engenharia Natural (SUTILI; HERPICH; CADONÁ, 2010).

Figure 3 – Profile type of the Soil Bioengineering design (SUTILI; HERPICH; CADONÁ, 2010).

3. Resultados e Discussão

Nas intervenções de engenharia são necessários diversos serviços que constituem as fases de uma obra. Neste trabalho as fases das duas tipologias construtivas são os serviços iniciais, a terraplenagem e as obras longitudinais. Os serviços iniciais compreendem a abertura e preparação de acessos ao local. A terraplenagem inclui todas as movimentações de terra necessárias à execução das intervenções. As obras longitudinais dizem respeito à execução das soluções construtivas propriamente ditas. No caso da intervenção biotécnica a mesma ainda contemplou uma etapa adicional denominada diversos, onde estão incluídas todas as ferramentas manuais necessárias para a execução da obra, iscas para as formigas cortadeiras e caminhão pipa para realizar irrigações nas plantas aplicadas em obra. Os custos apresentados para as fases de obra incluem todos os serviços necessários à execução da obra, desde transporte, fornecimento e aplicação de materiais.

Na Tabela 1 é apresentado o detalhamento de todos os serviços e respectivos custos para a execução da intervenção de Engenharia Natural. O valor total para a execução da obra teve um custo total de R\$ 79.211,48.

Tabela 1 - Descrição dos serviços e respectivos custos para a intervenção de Engenharia Natural.

Table 1 - Description of the services and their costs for the soil bioengineering work.

ITEM	DESCRÍÇÃO	QUANT.	UNID.	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	PREÇO PARCIAL (R\$)
1	Serviços iniciais				R\$ 2 153,44
1.1	Escavadeira hidráulica	4,00	h	290,86	1163,44
1.2	Mão de obra	0,50	dia	1980,00	990,00
2	Terraplenagem				R\$ 3 316,88
2.1	Escavadeira hidráulica	8,00	h	290,86	2326,88
2.1	Mão de obra	0,50	dia	1980,00	990,00
3	Obra longitudinal				R\$ 72 639,86
3.1	Blocos de basalto	140,00	m ³	111,60	15624,00
3.2	Mudas	3075,00	unid.	6,50	19987,50
3.3	Estacas vivas	100,00	unid.	0,00	0,00
3.4	Escavadeira hidráulica	26,00	h	290,86	7562,36
3.5	Retroescavadeira	8,00	h	80,00	640,00
3.6	Caminhão munck para transporte de salseiro	8,00	h	80,00	640,00
3.7	Timbaúvas	12,00	unid.	0,00	0,00
3.8	Salseiros	13,00	unid.	0,00	0,00
3.9	Cabo de aço 11 mm	200,00	m	20,85	4170,00
3.10	Pilotos de madeira (L=2,5;d=17cm)	50,00	unid.	84,32	4216,00
3.11	Mão de obra	10,00	dia	1980,00	19800,00
4	Diversos				R\$ 1 101,30
4.1	Ferramentas diversas	1,00	vg	407,74	407,74
4.2	Iscas para formigas cortadeiras	4,00	unid.	19,39	77,56
4.3	Caminhão pipa para irrigação	8,00	h	77,00	616,00
TOTAL DE SERVIÇOS					R\$ 79 211,48

Na Tabela 2 é apresentado o detalhamento de todos os serviços e respectivos custos para a execução da intervenção de Engenharia Civil. O valor total orçado para a obra foi de R\$ 154.843,98.

Tabela 2 - Descrição dos serviços e respectivos custos para a obra de Engenharia Civil.

Table 2 - Description of the services and their costs for the civil engineering work.

ITEM	DESCRÍÇÃO	QUANT.	UNID.	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	PREÇO PARCIAL (R\$)
1	Serviços iniciais				R\$ 2 063,44
1.1	Escavadeira hidráulica	4,00	h	290,86	1163,44
1.2	Mão de obra	1,00	dia	900,00	900,00
2	Terraplenagem				R\$ 8 067,20
2.1	Escavadeira hidráulica	20,00	h	290,86	5817,20
2.1	Mão de obra	2,50	dia	900,00	2250,00
3	Obra longitudinal				R\$ 144 713,34
3.1	Blocos de basalto para enrocamento	963,20	m ³	111,60	107493,12
3.2	Fornecimento de geotêxtil	1651,20	m ²	12,77	21085,82
3.3	Escavadeira hidráulica	40,00	h	290,86	11634,40
3.4	Mão de obra	5,00	dia	900,00	4500,00
TOTAL DE SERVIÇOS					R\$ 154 843,98

Com base nos orçamentos das tabelas 1 e 2 pode-se obter um comparativo dos custos totais para cada tipo de obra. A proposta de obra com técnicas tradicionais totaliza um valor de R\$ 154.843,98, enquanto a obra executada com biotécnicas teve um custo total de R\$ 79.211,48. Os valores encontrados mostram que a intervenção de Engenharia Natural foi 48,84% mais econômica que a intervenção proposta de Engenharia Civil. Importante salientar que uma vez que a solução de engenharia tradicional não foi executada, não foi possível fazer uma análise real de qual seria o seu custo final após implantação. Normalmente na fase de execução os custos são maiores que aqueles projetados. Isto se justifica, uma vez que as condições durante a fase executiva de obra não conseguem ser totalmente previstas em fase de projeto, como por exemplo, dias de chuva, atrasos com fornecedores, equipes de trabalho menores ou menos eficientes que as consideradas em projeto, entre outras. Nesse caso a intervenção biotécnica poderia potencialmente mostrar-se ainda mais econômica.

O comparativo para as duas intervenções com base nos custos totais de cada fase está representado na Figura 4. Observa-se que nas duas intervenções os serviços iniciais apresentam custos muito semelhantes, R\$ 2.063,44 e R\$ 2.153,44 para as técnicas tradicionais e biotécnicas, respectivamente. A pequena diferença no custo está relacionada com o número de funcionários que constituem a equipe que auxilia manualmente o trabalho realizado pela escavadeira hidráulica.

Para execução dos trabalhos de terraplenagem os custos na intervenção tradicional apresentam um montante de R\$ 8.067,20, enquanto que no caso da intervenção biotécnica os trabalhos de terraplenagem custam apenas R\$ 3.316,88. A diferença de custo se relaciona com os procedimentos executivos para construção das estruturas. Enquanto que na engenharia tradicional todo o talude tem que ser remodelado de forma integral previamente à obra, no caso da intervenção biotécnica só é feita a terraplenagem na área do enrocamento vegetado.

As estruturas longitudinais na intervenção tradicional totalizam um valor de R\$ 144.713,34, enquanto que na intervenção biotécnica totalizam R\$ 72.639,86, ou seja, um custo 49,80% inferior. Esta discrepância de valores deve-se ao fato de que os materiais utilizados na intervenção biotécnica são mais econômicos do que a pedra necessária para enrocá-la toda a área na intervenção tradicional (R\$ 107.493,12). O

serviço para enrocar toda a área também é muito dependente da escavadeira hidráulica para disposição da pedra. Apesar das obras longitudinais na intervenção biotécnica serem constituídas por maior diversidade de soluções, a sua execução depende menos de máquinas e mais de mão de obra. Outro fator importante é que todas as árvores que foram ancoradas não tiveram custos, isto porque as timbaúvas utilizadas foram as mesmas que se retiraram nos serviços iniciais e os salgueiros foram coletados (conforme licença ambiental) da própria margem do Rio Pardinho, onde foram selecionados exemplares instáveis ou caídos. Também as estacas vivas de *Phyllanthus sellowianus* (Klotzsch) Müll. Arg (sarandi-branco) foram coletadas nas margens do Rio Pardinho. Estas diferenças justificam a grande divergência entre valores finais. Somente o valor de toda a obra longitudinal na solução tradicional representa um valor percentual de 45,26%, maior do que toda a implantação da intervenção biotécnica.

A intervenção biotécnica ainda apresenta os serviços diversos que representam R\$ 1.101,30, correspondentes à compra de ferramentas manuais, realização de irrigações nas plantas, bem como controle de formigas cortadeiras. Esta etapa não tem fase correspondente na solução de engenharia tradicional uma vez que os trabalhos não dependem de ferramentas manuais, e como a estrutura é inerte não necessita de irrigação nem controle de formigas.

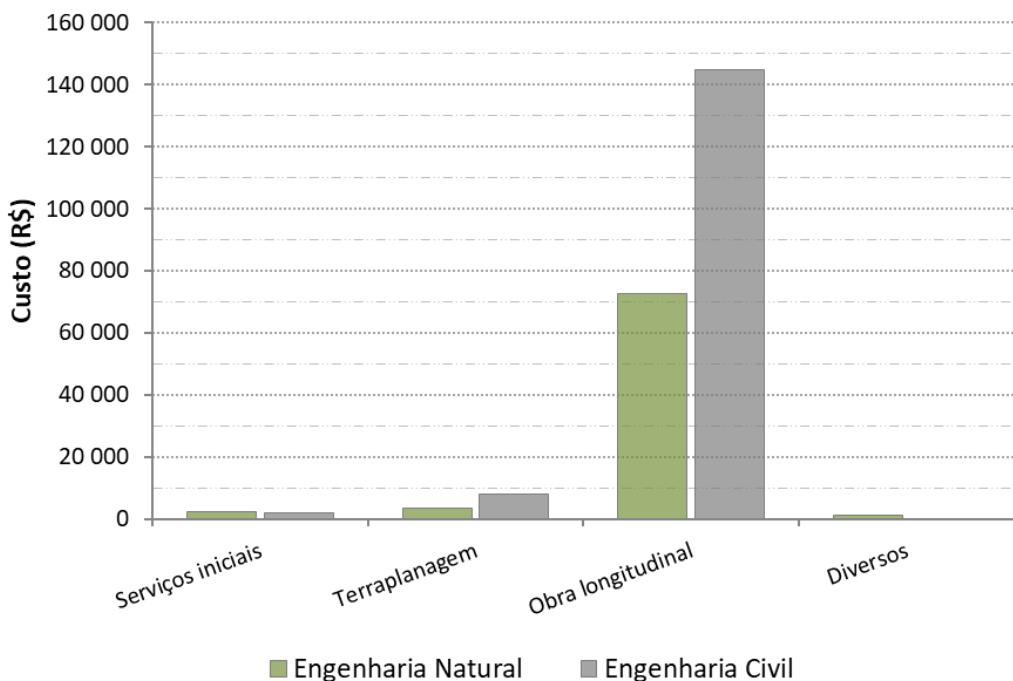


Figura 4 - Comparativo de custos para as intervenções de Engenharia Civil e Engenharia Natural com base nos custos totais de cada fase.

Figure 5 - Cost comparative of civil engineering and soil bioengineering works based on the total costs of each phase.

Para cada solução, tanto de engenharia tradicional como de Engenharia Natural, se pode estabelecer um comparativo percentual entre os custos totais com a mão de obra, materiais e máquinas, conforme observado na Figura 6.

O projeto de intervenção de Engenharia Civil resultou no valor de orçamento de R\$ 154.843,98, onde deste total 83,04% se refere à aquisição de materiais, 12,02%

corresponde à utilização de máquinas e para a mão de obra 4,94%. Para a intervenção utilizando a Engenharia Natural do valor total de R\$ 79.211,48, 56,16% foi destinado para os materiais, 27,50% para a mão de obra e para as máquinas 16,35%.

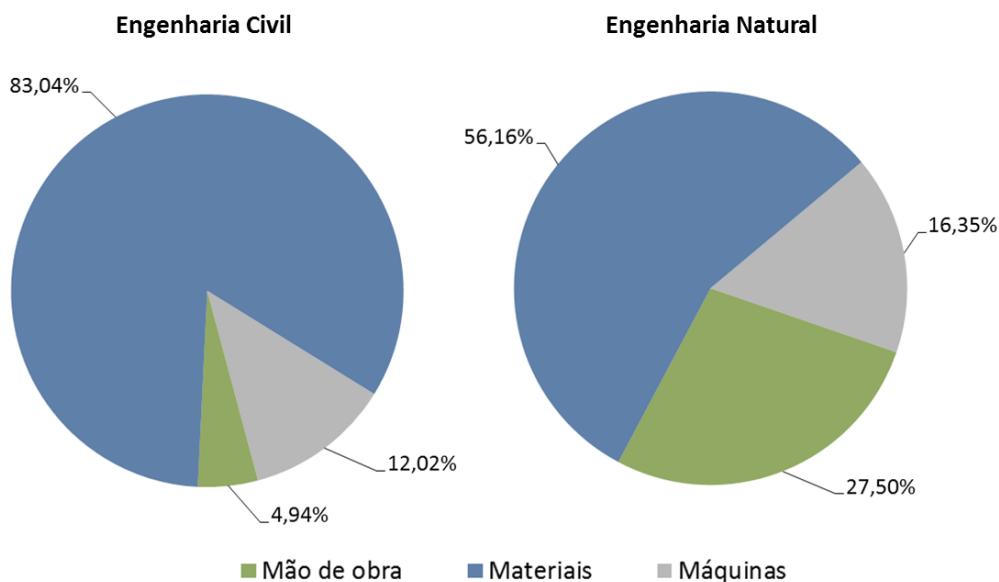


Figura 6 - Percentual de custos referente à utilização de mão de obra, materiais e máquinas para a intervenção de Engenharia Civil e Engenharia Natural.

Figure 7 - Percentage of costs regarding to the use of manpower, materials and machinery for civil engineering and soil bioengineering works.

Na obra de Engenharia Natural os maiores custos se referem à aquisição de materiais. Normalmente neste tipo de intervenções é dada preferência à utilização de materiais existentes no local (madeira, rochas e plantas), o que faz com que custos de aquisição sejam baixos, e os maiores custos normalmente sejam atribuídos à mão de obra, conforme verificado em obras realizadas na Europa (Itália) e também na América Central (Equador, Guatemala e Nicarágua), (PETRONE e PRETI, 2005). Enquanto que na Itália, os custos percentuais de mão de obra são maiores devido aos altos salários dos funcionários, no Equador, Guatemala e Nicarágua estes custos percentuais são altos porque se favorece a utilização de mão de obra local, em vez de tecnologias (materiais e máquinas) mais sofisticadas, como forma de apoio à criação de empregos. Neste caso a mão de obra apresentou custos percentuais mais baixos que os materiais, uma vez que no local de intervenção não existiam materiais passíveis de serem utilizados, com exceção de algumas plantas. Além disso, a mão de obra no Brasil, principalmente na área da construção apresenta valores mais baixos quando comparada com os países europeus ou norte-americanos.

As biotécnicas projetadas para a margem esquerda do Rio Pardinho atenderam aos critérios para os quais foram dimensionadas. Além dos benefícios técnicos, as intervenções biotécnicas visaram ganhos ecológicos, estéticos e paisagísticos. A utilização de plantas nativas proporcionou a colonização por outras espécies vegetais, aumentando desta forma a diversidade da flora e fauna. Na Figura 8 pode observar-se a evolução da obra ao longo do tempo. Na fotografia (a) podemos observar o local durante a execução da obra, na fotografia (b) o local 5 meses depois, após fortes eventos de precipitação. Na fotografia (c), 8 meses após a execução da obra onde é possível observar o desenvolvimento inicial da vegetação implantada. Nas fotografias

(d) e (e) 19 e 44 meses, respectivamente, após a implantação da obra onde se verifica o desenvolvimento da vegetação recobrindo toda a margem. Na fotografia (f), 7 anos e 8 meses a vegetação continua a apresentar excelente desenvolvimento e sem a ocorrência de processos erosivos no trecho de intervenção.



Figura 8 - Evolução da obra de Engenharia Natural. a – Execução da obra em abril de 2010; b – Intervenção em setembro de 2010; c – Intervenção em dezembro de 2010; d – Intervenção em novembro de 2011; e – Intervenção em dezembro de 2013; f – Intervenção em dezembro de 2017. (Fotografias a, b, c, d: Sutili, 2010/2011, Fotografia e: Hörbinger, 2013 e Fotografia f: Sousa, 2017).

Figure 9 - Evolution of Soil Bioengineering work. A – Execution of the work in April 2010; b – Intervention in September 2010; c – Intervention in December 2010; d – Intervention in November 2011; e – Intervention in December 2013; f – Intervention in December 2017. (Photographs a, b, c, d: Sutili, 2010/2011, Photography e: Hörbinger, 2013 and Photography f: SOUSA, 2017).

4. Conclusões

Com base na análise financeira realizada para este estudo de caso observou-se que a intervenção de Engenharia Natural teve um custo percentual de 48,84% inferior à solução prevista pela Engenharia Civil, com a maior percentagem do valor total (56,16%) relacionada com a aquisição de materiais para a obra.

Numa avaliação econômica é importante também considerar o fato de que o impacto ambiental de intervenções antrópicas no território é dificilmente quantificável em termos econômicos, no entanto deve ser considerado com atenção face a uma visão moderna e abrangente dos ecossistemas.

Em ações de restauro e conservação, a mitigação dos impactos ambientais tem um papel fundamental e por isso se pode assumir que as biotécnicas têm um valor intrínseco mais elevado, por serem obras com alto valor agregado, devido ao seu caráter paisagístico e ecológico.

Desta forma, pode-se concluir que a obra de Engenharia Natural apresenta viabilidade econômica para estabilizar o talude fluvial do rio Pardinho quando comparada com uma solução tradicional de Engenharia Civil.

Referências Bibliográficas

- BONATTI, G.; MARONGIU, I. **Soil Bio-engineering Techniques for Slope Protection and Stabilization - Natural Resource Management Handbook**. Financed by the Humanitarian Aid and Civil Protection Department of the European Commission (ECHO) ed. Kujand, Tajikistan: Cesvi, 2013. 43 p.
- COPPIN, N. J.; RICHARDS, I. G. (EDS.). **Use of Vegetation in Civil Engineering**. 2^a ed. London, UK: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), 2007. 238 p.
- CORNELINI, P.; SAULLI, G. **Manuale di Indirizzo delle Scelte Progettuali per Interventi di Ingegneria Naturalistica**. Roma, Itália: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Direzione Generale per la Difesa del Suolo, Progetto Operativo Difesa Suolo (PODIS), 2005. 389 p.
- DONAT, M. **Bioengineering Techniques for Streambank Restoration - A Review of Central European Practices**: Watershed Restoration Project Report 2. Canada: British Columbia, Watershed Restoration Program, Ministry of Environment, Lands and Parks and Ministry of Forests, 1995. 92 p.
- FAY, L.; AKIN, M.; SHI. **Cost-Effective and Sustainable Road Slope Stabilization and Erosion Control - A Synthesis of Highway Practice**. Washington, D. C.: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2002. 82 p.
- FERNANDES, J.; FREITAS, A. **Introdução à Engenharia Natural**. Portugal: EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A., 2011. 108 p.
- LAGASSE, P. F.; CLOPPER, P. E.; ZEVENBERGEN, L. W.; RUFF, E. J. F. **Riprap Design Criteria, Recommended Specifications, and Quality Control**. Fort Collins, Colorado: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2006. 226 p.
- PETRONE, A.; PRETI, F. **Ingegniería naturalística en Centroamérica**. Istituto Agronomico per L'Oltremare ed. Firenze: Società Editrice Fiorentina, 2005. 112 p.
- SCHIECHTL, H. **Bioengineering for land reclamation and conservation**. Edmonton, Canada: Department of the Environment, Government of Alberta. University of Alberta Press, 1980. 404 p.
- SCHIECHTL, H.; STERN, R. **Ground bioengineering techniques for slope protection and erosion control**. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd, 1996. 146 p.
- SOUSA, R. S.; DEWES, J. J.; KETTENHUBER, P. L. W.; RADDATZ, D.; SUTILI, F. J. Potencial da espécie *Sphagnicola trilobata* (L.) Pruski para Recuperação de Áreas Degradadas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, p. 720–730, 2018.
- SOUSA, R. S. **Metodologia para especificação de plantas com potencial biotécnico em Engenharia Natural**. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- STUDER, R.; ZEH, H. **Soil Bioengineering: Construction Type Manual**. 2^a ed. Zurich: vdf Hochschulverlag an der ETH, 2014. 439 p.
- SUTILI, F.; HERPICH, M.; CADONÁ, S. **Estabilização Biotécnica no Rio Pardinho - Memorial Descritivo de Execução**. Universidade Federal de Santa Maria - Centro de Pesquisa Florestal e Ambiental, 2010.
- VENTI, D. et al. **Manuale Tecnico di Ingegneria Naturalistica della Provincia di Terni. Applicabilità delle tecniche, limiti e soluzioni**. Itália: Provincia di Terni, Servizio Assetto del Territorio, 2003. 430 p.