

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

ESTUDO DE MEDIDAS MITIGADORAS NO TRECHO RETILINIZADO DO RIO MACAÉ
PARA REDUÇÃO DOS EFEITOS DE CHEIAS URBANAS

CLARISSA ROSA VIEIRA DELLA JUSTINA

MACAÉ-RJ

2019

CLARISSA ROSA VIEIRA DELLA JUSTINA

ESTUDO DE MEDIDAS MITIGADORAS NO TRECHO RETILINIZADO DO RIO MACAÉ
PARA REDUÇÃO DOS EFEITOS DE CHEIAS URBANAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Orientador(a): Dr. Jader Lugon Junior (Doutor em Modelagem Computacional – UERJ)

Coorientador(a): Dra. Maria Inês Paes Ferreira (Doutora em Ciência e Tecnologia de Polímeros – UFRJ)

MACAÉ-RJ

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

J96e Justina, Clarissa Rosa Vieira Della, 1983-.
Estudo de medidas mitigadoras no trecho retificado do rio Macaé para redução dos efeitos de cheias urbanas / Clarissa Rosa Vieira Della Justina. – Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.
lxviii f.: il. color.

Orientador: Jader Lugon Junior, 1962-.

Coorientador: Maria Inês Paes Ferreira, 1962-.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.

Inclui referências.

1. Rios - Recuperação - Macaé, Rio (RJ). 2. Controle de inundações - Macaé (RJ). 3. Bioengenharia. I. Lugon Junior, Jader, 1962-, orient. II. Ferreira, Maria Inês Paes, 1962-, coorient. III. Título.

CDD

627.4

23.ed.

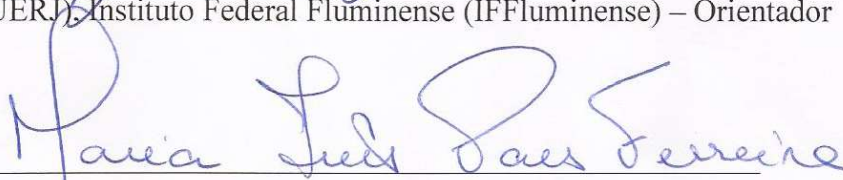
Dissertação intitulada **ESTUDO DE MEDIDAS MITIGADORAS NO TRECHO RETILINIZADO DO RIO MACAÉ PARA REDUÇÃO DOS EFEITOS DE CHEIAS URBANAS**, elaborada por **Clarissa Rosa Vieira Della Justina** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Aprovado em: 24/07/2019


Banca Examinadora:



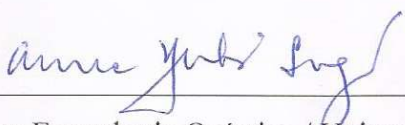
Jader Lugon Junior, Doutor em Modelagem Computacional / Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador



Maria Inês Paes Ferreira, Doutora em Ciência e Tecnologia de Polímeros / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Co-Orientadora



Francine de Almeida Kalas, Doutor em Modelagem Computacional / Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), Universidade do Estado do Rio de Janeiro



Aurea Yuki Sugai, Doutor(a) em Engenharia Química / Universidade de São Paulo, Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Avaliador Externo

DEDICATÓRIA

A Deus, Pai e Criador de todas as coisas e de todas as criaturas.

Meus pais, Terezinha da Silva Rosa e Telvio Vieira.

A minha família, meu esposo Luciano e meus filhos Maria Clara, João Gabriel e Augusto Luis.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que por Ele e para Ele todas as coisas foram feitas. Aquele que nos permitiu sentir o sopro da vida e nos dá a oportunidade de buscarmos a cada dia sermos pessoas melhores, mais justas, mais humanas, mais solidárias, e mais profissionais. Que nos ensina a termos respeito, e atitudes de zelo e de proteção com a bela criação que Ele nos concedeu cuidar e fazer parte.

Meus pais, Terezinha da Silva Rosa e Telvio Vieira que sempre me ensinaram o caminho da verdade, e que, a educação, o ensino, os saberes estão acima de qualquer conquista. Que o conhecimento é algo profundo, de tamanha riqueza e que ninguém pode tirar de você.

A minha família, meu esposo Luciano e meus filhos Maria Clara, João Gabriel e Augusto Luis, razões do meu viver e da minha incessante busca pelo aperfeiçoamento diário. A eles todo o meu amor, carinho e dedicação.

As minhas amigas Mariele, Micheli Maclin, Raquel Sant'Anna, Rita Nonato, e Sandrine Gomes, parceiras do dia-a-dia, de profissão e de amizade. Que sempre me incentivaram a prosseguir nesta caminhada do saber. Com carinho me acolhem, me escutam, me corrigem.

Aos meus anjos amigos que sempre olham por mim, Cristiane Rodrigues, Juliana Campos e a Família Oliveira Pessanha.

Aos engenheiros, André Pessanha, Geraldo Fracassi, e Roberto Matulevick. Aos biólogos, Luiza Tavares e Guilherme Sardenberg e ao corpo técnico da SEMA de Macaé, pela troca de ideias, experiências que contribuíram para a conclusão desse trabalho.

Ao Instituto Federal Fluminense e sua equipe de docentes que me permitiram essa oportunidade de fazer parte do programa e de buscar mais e mais o conhecimento.

Aos professores, Jader Lugon e Maria Inês, pessoas maravilhosas, verdadeiros pais que orientam os filhos na busca do saber. A minha admiração e meu agradecimento sincero por todo o direcionamento e orientação.

Aos meus colegas de turma, em especial aqueles com quem pude estreitar os laços e formar uma equipe muito além das salas de aula, verdadeiros parceiros e profissionais, Anna Fontes, Antonio Vinicius, Bárbara Barcellos, Édson Avelar, Eduardo Beline, Nicholas Souza, Thamylla, Thaís Bomfim e Yandressa.

Nós, seres humanos, não somos meros beneficiários das demais criaturas, mas sim guardiões delas.

(Papa Francisco).

LISTA DE FIGURAS

Artigo 1 – Técnicas Mitigadoras para Reduzir Frequência e Intensidade de Inundações

Figura 1 – Gráfico das Fontes Bibliográficas Pesquisadas..... 21

Artigo 2 – Proposta de Intervenção para a Redução de Inundações por meio de Soluções Baseadas na Natureza – Estudo de caso no rio Macaé

Figura 1 – Esquema do processo de requalificação fluvial..... 29

Figura 2 – Obras tradicionais de engenharia x soluções sustentáveis..... 30

Figura 3 – Limite atual da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras, RH-VIII..... 33

Figura 4 – Mapa Temático do município de Macaé, levantamento de campo..... 36

Figura 5 – Soluções de biotécnicas com o uso de materiais inertes..... 38

Figura 6 – Espécies de vegetação nativa da região de Mata Atlântica..... 40

Figura 7 – Perfil topográfico do rio Macaé..... 41

Figura 8 – Perfil Transversal pós-intervenção..... 42

Figura 9 – Detalhamento da proposta de intervenção..... 43

LISTA DE TABELAS

Artigo 1 – Técnicas Mitigadoras para Reduzir Frequência e Intensidade de Inundações

Tabela 1 – Área Temática x Fonte de Dados Selecionados..... 21

Artigo 2 – Proposta de Intervenção para a Redução de Inundações por meio de Soluções Baseadas na Natureza – Estudo de caso no rio Macaé

Tabela 1 – Pontos visitados no trecho retificado do rio Macaé..... 36

Tabela 2 – Soluções de biotécnicas..... 38

Tabela 3 – Dados Físicos do rio Macaé..... 41

Tabela 4 – Espaçamento adotado entre mudas..... 44

LISTA DE QUADROS

Artigo 2 – Proposta de Intervenção para a Redução de Inundações por meio de Soluções Baseadas na Natureza – Estudo de caso no rio Macaé

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Dados para a estimativa de custo..... | 35 |
| Quadro 2 – Relação de espécies de vegetação nativa indicadas para áreas ribeirinhas e alagáveis (G1)..... | 39 |
| Quadro 3 – Relação de espécies de vegetação nativa indicadas para áreas de recuperação/reflorestamento de áreas degradadas (G2)..... | 40 |
| Quadro 4 – Relação de espécies de vegetação nativa indicadas para o plantio em geral (G3)..... | 40 |
| Quadro 5 – Caracterização das faixas do projeto preliminar de intervenção..... | 43 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- APP – Área de Proteção Permanente.
- BDI – Benefícios e Despesas Indiretas.
- BR – Brasil.
- CAFE – Comunidade Acadêmica Federada.
- CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.
- CEDAE – Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro.
- DFP – Demonstrativo de Formação de Preço.
- DNOS – Departamento Nacional de Obras e Saneamento.
- EBA- Alternativas Baseadas na Adaptação Ecológica.
- ECD – European Commission Decision.
- FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica.
- GPS – Sistema de Posicionamento por Global.
- HEC – Hydrologic Engineering Center.
- HEC-RAS – River Analysis System
- INA – Instituto Nacional del Agua.
- INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária.
- INEA – Instituto Estadual do Ambiente.
- MOHID – Modelling Hydrodynamic System.
- MODEL – Modelo de Células de Escoamento.
- ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

RJ – Rio de Janeiro.

SBN – Soluções Baseadas na Natureza.

SCO-RJ - Sistema de Custos de Obras da Prefeitura do município do Rio de Janeiro.

SEA – Secretaria de Estado do Ambiente.

SEMA – Secretaria de Meio Ambiente.

SEMAR - Sistema Estadual de Monitoramento e Avaliação da Restauração Florestal.

SINAPI - Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil.

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

TCU – Tribunal de Contas da União.

WET-SPA – Sigla para transferência de água, modelo hidrológico.

UN - United Nations.

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

ESTUDO DE MEDIDAS MITIGADORAS NO TRECHO RETILINIZADO DO RIO MACAÉ PARA REDUÇÃO DOS EFEITOS DE CHEIAS URBANAS

RESUMO

Nos últimos 20 anos, as técnicas de Engenharia Natural e Biotecnologia têm sido utilizadas principalmente em países da Europa, Estados Unidos, Austrália e, mais recentemente, na China. Estudos mostram que essas técnicas, que foram amplamente utilizadas no passado, estão ressurgindo mais intensamente, pois são ferramentas importantes em engenharia civil e engenharia fluvial e se mostram eficientes, contribuindo para o processo de requalificação dos rios e processos de redução de inundações. O rio Macaé, principal rio da bacia de Macaé e Ostras, localizado no nordeste do estado do Rio de Janeiro, sofreu uma retificação no seu traçado entre os anos de 1940 e 1980. No entanto, o município de Macaé continua a apresentar problemas recorrentes com inundações em cenários de fortes chuvas. Por meio de uma pesquisa descritivo-exploratória, foi realizada uma revisão bibliográfica para identificar técnicas e materiais alternativos nas áreas de construção civil e bioengenharia que apresentassem soluções sustentáveis para compor uma proposta de intervenção no sentido de requalificação dos rios. Em um segundo momento, a partir do diagnóstico ambiental, estudou-se uma seção do canal retilinizado de maior interesse. A análise preliminar foi desenvolvida usando soluções baseadas na natureza. O projeto piloto foi elaborado com uma estimativa de custo para a execução da intervenção, a fim de permitir a restauração do rio de forma mais natural, e para aumentar o coeficiente de rugosidade na região da planície de inundação na ordem de 0,03 para 0,15 sem causar grandes impactos ao meio ambiente local, inclusive na paisagem.

Palavras-chave: Engenharia Natural. Biotécnicas. Planície de inundação. Análise de custo.

***STUDY OF MITIGATING MEASURES IN THE STRAIGHTENED PART MACAÉ RIVER TO
REDUCE THE EFFECTS OF URBAN FLOOD***

ABSTRACT

In the last 20 years, Natural Engineering and Biotechnology techniques have been used mainly in European countries, the United States, Australia and more recently in China. Studies show that these techniques, which were widely used in the past, are resurging more intensely, since they are important tools in the civil engineering and river engineering, and are efficient, contributing to the process of re-qualification of rivers and in a processes of reduction of floods. The Macaé River, the main river of the Macaé and Oyster Basin, located in the northeastern part of the state of Rio de Janeiro, underwent a rectification of its layout between the years of 1940 and 1980. Nevertheless, the municipality of Macaé continues to present recurrent problems with flooding in scenarios of heavy rains. Through a descriptive-exploratory research, a bibliographical review was carried out to identify alternative techniques and materials in the areas of civil construction and bioengineering that presented sustainable solutions to compose a proposal for intervention in the sense of river requalification. In a second moment from the environmental diagnosis, an attempt was made to study a section of the rectilinear channel of major interest. The preliminary analysis was developed using solutions based on nature. The pilot project was developed with a cost estimate for the execution of the intervention, in order to allow the restoration of the river in a more natural way, and to increase of the roughness coefficient in the floodplain region in the order of 0.03 for 0.15 without to cause major impacts to the local environment, including in the landscape.

Keywords: *Natural Engineering. Biotechniques. Flood plain. Cost analysis.*

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| LISTA DE FIGURAS..... | vii |
| LISTA DE TABELAS..... | vii |
| LISTA DE QUADROS..... | vii |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS..... | viii |
| RESUMO..... | x |
| <i>ABSTRACT</i> | xi |
| APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO..... | 14 |
| ARTIGO CIENTÍFICO 1: TÉCNICAS MITIGADORAS PARA REDUZIR FREQUÊNCIA E INTENSIDADE DE INUNDAÇÕES..... | 17 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 18 |
| 2. OBJETIVO..... | 19 |
| 3. MÉTODO..... | 20 |
| 4. RESULTADOS..... | 20 |
| 5. DISCUSSÃO..... | 22 |
| 5.1. Técnicas Tradicionais e Medidas Não Convencionais de Contenção de Cheias..... | 22 |
| 5.2. Uma outra forma de conter as Cheias | 22 |
| 5.3. Resultados Relevantes..... | 23 |
| 6. CONCLUSÃO..... | 24 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 24 |
| ARTIGO CIENTÍFICO 2: PROPOSTA DE INTERVENÇÃO PARA ATENUAÇÃO DE ONDA DE CHEIA POR MEIO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA – ESTUDO DE CASO DO RIO MACAÉ..... | 27 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 28 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 31 |
| 2.1. Equação de Manning e Coeficiente de Rugosidade..... | 31 |
| 3. MÉTODO..... | 32 |
| 3.1. Caracterização da área..... | 32 |
| 3.2. Aquisição de Dados | 33 |
| 3.3. Estimativa de custo de obra..... | 34 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 36 |
| 4.1. Tratativas para os cenários diagnosticados: SBN uma alternativa?..... | 38 |
| 4.2. Dados físicos para elaboração do projeto preliminar..... | 41 |
| 4.3. Estudo de caso para o rio Macaé..... | 42 |

| | |
|---|------|
| 4.4. Estimativa de custo para a execução do projeto piloto..... | 44 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 45 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 46 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA DISSERTAÇÃO | 51 |
| APÊNDICES..... | lii |
| APÊNDICE A – Demonstrativo de formação de preço (DFP) | lii |
| APÊNDICE B – Imagens dos pontos levantados (dezembro/2018)..... | lxvi |

APRESENTAÇÃO

Desastres hidrológicos são constituídos por processos naturais que envolvem excesso de água no sistema (bacia hidrográfica), associados a ocorrência de chuvas intensas. Em muitos casos estão relacionados a problemas de drenagem urbana. Suas consequências são agravadas pela ação e ocupação antrópica, e pela frequência com que os eventos (inundação ou alagamento) tornam a ocorrer limitadas no tempo (anual, ou a cada 10, 20, 50, 100 anos) e no espaço (planície de inundação ou perímetro urbano) (MIGUEZ *et al.*, 2018).

Santos (2012) define que um desastre é a associação de fatores naturais e sociais, que dependendo das características físicas de um evento específico, são fatores determinantes para a probabilidade de ocorrência de um fenômeno. Condições sociais de vulnerabilidade regem a gravidade do impacto. O rio Macaé devido a sua geomorfologia, sempre esteve sujeito ocorrência de enchentes em sua área de planície de inundação (ASSUMPCÃO; MARÇAL, 2012). O crescimento desordenado do município, ocupando áreas de várzeas, representa uma situação vulnerável ao evento de inundação.

Os grandes centros urbanos procuram investir em medidas estruturais para a mitigação dos efeitos de inundações e alagamentos. Muitas são soluções de engenharia, como: obras de canalização e retardamento de fluxo (bacias de retenção/detenção), obras de desvio de escoamento (túneis de derivação e canais) (CANHOLI, 2014), recomposição de cobertura vegetal, controle de erosão do solo, construção de contenções, docas, eclusas, barragens, entre outras (CHADWICK *et al.*, 2017).

Em contrapartida, muitos países, Estados Unidos, Canadá, países europeus como Inglaterra, Alemanha e Dinamarca visam alternativas que buscam o retardamento do fluxo do rio na calha. Trata-se de um conceito de Requalificação Fluvial, motivado ainda pelos conceitos de conservação e de restauração, cuja a prioridade é a busca pelas condições naturais originais dos rios e córregos, ou por condições mais próximas a elas (ASSUMPCÃO; MARÇAL, 2012), e por técnicas que trabalhem junto com a natureza (CHADWICK *et al.*, 2017).

Neste sentido, as soluções baseadas na natureza (SBN) vem fortalecer o processo de requalificação fluvial, pois tratam-se de ações inspiradas nos processos naturais (materiais, formas, comportamentos dos animais) para aprimorar soluções existentes na engenharia tradicional ou como um desafio na busca de soluções novas (NESSHÖVER *et al.*, 2017).

De acordo com a finalidade da sua indicação, as SBN podem ser classificadas em três categorias principais: (i) melhor uso de ecossistemas naturais / protegidos, com nenhuma ou mínima intervenção nos ecossistemas; (ii) abordagens de gestão para a sustentabilidade e multifuncionalidade

de ecossistemas e paisagens, comumente relacionadas à silvicultura sustentável, agricultura de sistemas naturais ou agroecologia; e (iii) projeto e gestão de novos ecossistemas, como a construção de infraestruturas verdes e azuis, incluindo a restauração de áreas altamente degradadas ou poluídas para mitigar os impactos antropogênicos, principalmente em territórios urbanos ou altamente alterados pelo homem (COHEN-SHACHAN *et al.*, 2016; KEESSTRA *et al.*, 2018).

Um dos objetivos da requalificação fluvial é extinguir os processos convencionais de mitigação de inundações, impedindo ações de degradação, ao procurar melhorar o rio de forma mais natural possível. Rios com suas funções hidromorfológicas conservadas são menos suscetíveis aos eventos de inundação sem controle e necessitam de menos procedimentos de manutenção ao longo do tempo (MIGUEZ *et al.*, 2018).

A implementação da SBN geralmente envolve baixos custos quando comparada à engenharia tradicional, intervenções estruturais (estruturas cinzas) e requerem relativamente poucos recursos financeiros adicionais e tem sido apontada como a chave para ações estratégicas de políticas voltadas para lidar com riscos relacionados à água, aumentar a segurança hídrica e gerenciar qualidade e disponibilidade de água (ECD, 2018; UNESCO, 2018).

Canholi (2014) aponta que o conceito de canalização pode ser referenciado à prática da canalização convencional exercida por décadas em todo o mundo, inclusive no Brasil. Retilinar um corpo hídrico resulta no aumento da capacidade hidráulica da rede de drenagem, acelera os escoamentos, ao mesmo tempo que transfere os problemas de inundação para as áreas a jusante da intervenção, reduz a capacidade de armazenamento em calha quando a calha secundária dos rios se torna suprimida, aumentando o volume de água nas regiões mais baixas da bacia (MIGUEZ *et al.*, 2016).

A bacia hidrográfica do rio Macaé está inserida na região hidrográfica VIII – Bacias hidrográficas dos rios Macaé e das Ostras, e possui uma área de 1.710 km². Sua nascente está localizada entre 1500 e 1600 metros de altitude no município de Nova Friburgo região serrana do norte do estado do Rio de Janeiro e percorre 136km em direção ao oceano Atlântico desembocando próximo ao centro urbano da cidade Macaé (RIO DE JANEIRO, 2014a; FREITAS *et al.*, 2015; MARÇAL *et al.*, 2017).

O rio Macaé constitui de extrema importância no abastecimento de água do município de Macaé, tanto para o consumo da população local, quanto para as atividades “off shore”. O município atende mais de 200 mil habitantes e contribui para o desenvolvimento socioeconômico do Brasil com parte das atividades relacionadas à extração de petróleo no país. A ocupação do município teve início com a comunidade de pescadores na foz do rio (FREITAS *et al.*, 2015).

Considerando a preocupação do município em relação a problemática das cheias urbanas se tornarem cada vez mais frequentes (TAVARES, 2017), surge a motivação de se estudar técnicas mitigadoras no controle de inundações a partir do uso de soluções baseadas na natureza.

A dissertação estrutura-se em dois artigos científicos, conforme estabelecido pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense.

No primeiro artigo desse trabalho, intitulado “TÉCNICAS MITIGADORAS PARA REDUZIR FREQUÊNCIA E INTENSIDADE DE INUNDAÇÕES”, se propôs realizar uma revisão bibliográfica a respeito da área temática, sobre os mecanismos e técnicas existentes, apresentando: a relação do tema com a gestão de risco hidrológico; medidas estruturais tradicionais e não convencionais na contenção de inundações; um novo conceito sobre medidas estruturais no âmbito da requalificação fluvial; técnicas de bioengenharia e biotécnicas aliadas a requalificação fluvial e ao controle de inundações; e pesquisas na área de requalificação fluvial utilizando-se das técnicas de bioengenharia, biotécnicas e a relação com o coeficiente de rugosidade de Manning.

Este trabalho foi apresentado em maio do corrente ano no VI Congresso de Engenharia Civil, Engenharia e Sustentabilidade: caminhos para o futuro, na cidade de Juiz de Fora e foi publicado nos anais do evento, sob forma de artigo completo.

No segundo artigo desse trabalho, intitulado “PROPOSTA DE INTERVENÇÃO PARA A REDUÇÃO DE INUNDAÇÕES POR MEIO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA – ESTUDO DE CASO DO RIO MACAÉ”, se propôs elaborar um projeto piloto para requalificação fluvial do rio Macaé, apresentando: a relação do tema com o termo requalificação fluvial e soluções baseadas na natureza; obtenção de dados secundários por meio de pesquisa bibliográfica e documental para caracterização da área e proposta de intervenção; obtenção de dados primários por meio de levantamento de campo, pesquisa com informante-chave e consulta a bancos de dados orçamentários governamentais; análise preliminar e elaboração de projeto piloto de requalificação fluvial; e a elaboração de estimativa de custo e prazo de execução da obra de intervenção.

Por fim são relacionados: as Referências Bibliográficas utilizadas na redação deste relatório de dissertação, o Apêndice A e o Apêndice B que auxiliam na interpretação do segundo artigo deste trabalho, apresentando respectivamente: as planilhas que compõem o Demonstrativo de Formação de Preço (DFP) e as imagens ampliadas da área visitada no levantamento de campo.

ARTIGO CIENTÍFICO 1



TÉCNICAS MITIGADORAS PARA REDUZIR FREQUÊNCIA E INTENSIDADE DE INUNDAÇÕES

Mitigating techniques to reduce frequency and intensity of floods

Clarissa Rosa Vieira Della Justina¹, Jader Lugon Junior², Maria Inês Paes Ferreira³, Pedro Paulo Gomes Watts Rodrigues⁴

¹ Instituto Federal Fluminense, Macaé, Brasil, cla.rvieira@gmail.com

² Instituto Federal Fluminense, Macaé, Brasil, jlugonjr@gmail.com

³ Instituto Federal Fluminense, Macaé, Brasil, ines_paes@yahoo.com.br

⁴ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, Brasil, pwatts@iprj.uerj.br

Resumo: O extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), realizou obras de retificação dos canais fluviais nas regiões litorâneas do estado do Rio de Janeiro entre as décadas de 1940 e 1980. A principal finalidade desse tipo de obra, foi de se reduzir o tempo de escoamento do fluxo de um rio em direção ao oceano, e por consequência a redução da ocorrência de inundações às margens do rio, e a proliferação de vetores durante as épocas de chuvas mais intensas. São obras que proporcionaram diversas consequências negativas, entre outras, a perda de sinuosidade do canal e as modificações no padrão de drenagem. A partir do método de revisão bibliográfica, esta pesquisa buscou identificar os tipos de medidas utilizadas para a mitigação de inundações. Foram efetuadas consultas em bibliografia técnica em meio físico e em periódicos por meio digital nos bancos de dados do Capes, Scielo e Scopus. Como resultados, foram identificadas as medidas estruturais, caracterizadas por obras de engenharia tradicional, e as medidas não estruturais, caracterizadas pelas leis e programas de conscientização e educação ambiental. Observou-se que nos últimos 20 (vinte) anos em países como os Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha, e mais recentemente na China, os estudos sobre as obras mitigadoras revelaram a busca por soluções mais naturais. O uso desses materiais caracteriza a área da Bioengenharia e as Biotécnicas apresentando-se bons resultados na contribuição para o aumento da rugosidade dos canais. Dessa forma, podem provocar atenuação expressiva da onda de cheia nos cursos d'água e assim favorecer a restauração do habitat natural por apresentarem interface com as áreas de hidrologia, hidráulica, transporte de sedimentos, morfologia fluvial, paisagem, recreação, qualidade da água, biologia, entre outras, e a manutenção fluvial.

Palavras-chave: bioengenharia, cheias, requalificação fluvial, modelagem computacional.

Abstract: The extinct National Department of Works and Sanitation (DNOS), carried out works of retification of the fluvial channels in the coastal regions of the state of Rio de Janeiro between the decades of 1940 and 1980. The main purpose of this type of work was to reduce the time of flow from a river to the ocean, and consequently the reduction of flood occurrence along the river, and the proliferation of vectors during times of more intense rains. They are works that have given several negative consequences, among others, the loss of sinuosity of the canal and the modifications in the drainage pattern. From the bibliographic review method, this research sought to identify the types of measures used for flood mitigation. We consulted in technical literature

and in journals by digital means in the databases of Capes, Scielo and Scopus. As a result, structural measures, characterized by traditional engineering works, and non-structural measures, characterized by laws and programs of environmental awareness and education, were identified. It has been observed that in the past 20 years in countries such as the United States, England, Germany, and more recently in China, studies on mitigating works have revealed the search for more natural solutions. The use of these materials characterizes the area of Bioengineering and Biotechnics presenting good results in the contribution to increase the roughness of the channels. In this way, they can cause a significant reduction of the flood wave in the watercourses and thus favor the restoration of the natural habitat by being interfaced with the areas of hydrology, hydraulics, sediment transport, river morphology, landscape, recreation, water quality, biology, among others, and fluvial maintenance.

Keywords: bioengineering, floods, fluvial requalification, computational modeling.

1. INTRODUÇÃO

Com a descoberta do petróleo por volta de 1974 na região da Bacia de Campos, e posteriormente com a chegada da Petrobras em 1978, a região norte do estado do Rio de Janeiro passou a viver um novo momento econômico. Além das culturas de cana-de-açúcar, café e agropecuária, as atividades petrolíferas foram iniciadas e motivaram o acelerado crescimento demográfico seguido da urbanização não planejada. Os centros urbanos desenvolveram-se próximos as margens dos rios, expandindo-se entre praias e colinas suaves, e posteriormente cresceu a ocupação no interior em direção as regiões serranas [1].

Foi entre as décadas de 1940 e 1980, que também o Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) realizou obras de drenagem na região, como as de retificação de canais fluviais e afluentes, e construção de novos canais com o objetivo de propiciar rápido escoamento em direção ao oceano na ocorrência de chuvas intensas evitando a inundação das áreas mais baixas dos municípios e aumentando a extensão das terras secas para as atividades agropecuárias [2].

Obras de retificação dos traçados dos rios e córregos além de serem realizadas para minimizar os efeitos locais das cheias, também objetivavam a criação de áreas para usos de agricultura, agropecuária, urbanização, construção de estradas e ferrovias. Essas intervenções ao longo dos anos passaram a transferir os efeitos de cheias para os trechos a jusantes. A tendência das inundações é de procurar novas áreas para ocupar e gerar novas situações de perigo, e ocasionalmente, de risco ao impactar áreas então habitadas [3].

A modificação de canais fluviais, altera a dinâmica dos rios e suas bacias hidrográficas. Trechos retificados ocasionam o aumento da declividade do canal e da velocidade do fluxo [2]. Embora a dinâmica fluvial em alguns casos, como por exemplo o do rio Macaé, tenha sido alterada como uma solução para reduzir os desastres hidrológicos, as inundações no município de Macaé continuam a ocorrer a jusante dos trechos retificados, cujas cheias têm apresentado maior intensidade e com períodos de retorno cada vez mais próximos [4].

As inundações tratam-se de processos naturais que envolvem excesso de água no sistema (bacia hidrográfica), associados a ocorrência de chuvas intensas, sendo assim, constituem os chamados desastres hidrológicos. Podem ou não estarem relacionadas a problemas de drenagem urbana, e terem suas consequências agravadas pela ação e ocupação antrópica, e pela frequência com que os eventos tornem a ocorrer, limitadas no tempo (anual, ou a cada 10, 20, 50, 100 anos) e no espaço (uma planície de inundação) [3].

Um desastre é a associação de fatores naturais e sociais, que dependendo das características físicas de um evento específico, são fatores determinantes para a probabilidade de ocorrência de um fenômeno.

Condições sociais de vulnerabilidade regem a gravidade do impacto. Características físicas e geomorfológicas da região, assim como o crescimento desordenado dos municípios, ocupando áreas de várzeas, podem os colocar numa situação vulnerável ao evento de inundação [5].

A gestão do risco de cheias consiste em administrar a probabilidade de ocorrência dos desastres hidrológicos, e procura minimizar e dar a devida atenção as suas consequências e impactos. Gerenciar a existência dos riscos envolve a análise de questões socioeconômicas e ambientais. Na ocorrência de um desastre, diferentes ações são tomadas para cada momento que compõe o ciclo de um desastre. Estas ações são caracterizadas pelas atividades de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação [3].

As atividades de mitigação ocorrem quando as atividades de prevenção se mostraram deficientes e uma porção da cidade ficou exposta ao risco de um desastre hidrológico ocorrer na iminência de um evento de inundação [3]. São definidas em medidas estruturais, caracterizadas pela a execução de obras civis, e em medidas não estruturais, caracterizadas pelas leis, programas que regem a conscientização, a educação ambiental, o controle do uso e ocupação do solo nos municípios, e programas de coleta e tratamento de resíduos [6].

Mais comumente nos municípios, o que se observa para conter as inundações é o uso de medidas estruturais, obras de engenharia, como as obras de canalização e retardamento de fluxo, que podem ser representadas por bacias de detenção e retenção, ou por obras de desvio de escoamento, como túneis de derivação e canais [6], ou ainda, obras de recomposição de cobertura vegetal, controle de erosão do solo, construção de contenções, docas, eclusas, entre outras, e barragens [7].

Nos países desenvolvidos, que no passado utilizaram dessas obras tradicionais para conter os eventos de inundação, têm resgatado recentemente a busca por alternativas que visem a contenção do fluxo do rio na calha, objetivando a restauração e manutenção, e priorizando restabelecer as condições naturais dos rios e córregos ou condições mais próximas dos originais, por meio do uso de técnicas e materiais encontrados na natureza e que contribuam para a paisagem do local [2]; [7].

Trata-se do conceito de requalificação fluvial, que busca além da restauração e conservação dos corpos hídricos, extinguir os processos convencionais de mitigação de inundações, impedindo ações de degradação. Rios com as suas funções hidromorfológicas conservadas são menos suscetíveis aos eventos de inundação sem controle e necessitam de menos procedimentos de manutenção ao longo do tempo [3].

Vários são os materiais dispostos na natureza que podem ser utilizados. O desafio é encontra-los no próprio local da intervenção, como os de origem natural viva, compostos por espécies vegetativas e gramíneas, ou outros ainda de características inertes, aqueles compostos por revestimentos rugosos, como seixos rolados, enrocamentos, troncos de árvores secas. Todos esses podem ser utilizados de maneira associada entre eles ou ao uso de telas metálicas, arames, alvenaria de tijolos, entre outros [6].

2. OBJETIVO

Sendo assim, a pesquisa foi motivada a localizar técnicas mitigadoras de engenharia, estudadas no cenário nacional e internacional, associadas ao uso de materiais naturais e técnicas sustentáveis. São soluções para projetos de requalificação fluvial, os quais, apresentaram resultados satisfatórios para se alcançar redução da frequência e da intensidade de cheias urbanas na ocorrência de eventos de inundações.

3. MÉTODO

A pesquisa foi desenvolvida pelo método de revisão bibliográfica, de caráter descritivo tendo suas buscas para a fundamentação deste trabalho realizadas de acordo com a seguinte metodologia:

Literatura técnica em livros físicos, guias e/ou manuais digitais, e contato com autor: a busca foi realizada por área temática relacionada a conceitos de engenharia hidráulica, ambiental e civil aliados a gestão de risco de desastres hidrológicos e a obras de controle de inundações;

Base de dados científicos CAPES e SCIELO: a busca foi realizada por autores com temas comuns a área de interesse da presente pesquisa, como modelagem computacional, avaliação e controle de obras de bioengenharia, e gestão de risco de inundações. Procurou-se por experiências, relatos, tanto no âmbito nacional quanto internacional;

Base de dados científicos SCOPUS: esta busca se concentrou apenas em identificar experiências redigidas no idioma inglês. Foram realizadas 3 (três) pesquisas no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), disponível em: www.periódicos.capes.gov.br, na área de acesso remoto via “comunidade acadêmica federada (cafe). No campo de “Pesquisa avançada”, selecionou-se a base de dados Scopus, com diferentes combinações de palavras-chave, sendo elas: roughness, manning, flood reduction, runoff e “restoration river”; gabion, roughness e river; “river hydraulic model” and “technique bioengineering”. A busca procurou por periódicos publicados entre os anos 2015 a maio de 2018.

4. RESULTADOS

Miguez, Di Gregório e Veról [3] discutem aspectos relacionados ao risco e a sua gestão diante dos eventos de inundações, enxurradas e alagamentos. A obra foi desenvolvida por meio de revisão bibliográfica e documental, na abordagem dos temas e conceitos, como: riscos hidrológicos, exposição aos riscos, perigo, desastres naturais, assim como os mecanismos, atividades, os quais compõem uma gestão integral de riscos de desastres. Aponta a requalificação fluvial como uma das medidas de prevenção contra o risco de inundação e discutem a relação desse conceito com as práticas adotadas em países como Itália, Alemanha, Reino Unido e Holanda, Estados Unidos, Canadá e Austrália.

Barendrecht, Viglione e Blösch [8] analisaram diferentes estratégias adotadas em vários países, na maioria europeus, para gerenciar o risco de inundação. O foco da pesquisa propôs um modelo de gestão integrada com o risco de cheia.

Canholi [6] reúne de forma técnica e prática conceitos e medidas tradicionais de engenharia sanitária e hidráulica, e apresenta novos conceitos para a contenção de enchentes, relatados através de experiências e estudos de casos, de projetos desenvolvidos e obras executadas na região metropolitana de São Paulo.

Chadwick, Morfett e Borthwick [7] abordam técnicas tradicionais de engenharia fluvial para o alívio das cheias e argumentam sobre uma engenharia fluvial ambientalmente correta relacionando com diversas áreas de outras ciências.

Fracassi [9] reuniu conceitos sobre morfologia fluvial e tipos de intervenção em rios e córregos para se garantir estabilização, regularização, proteção contra a erosão e controle de inundações em cursos d'água. Abordou as técnicas construtivas de Bioengenharia para compor estruturas como muros de contenção, diques, espigões, com o uso de gabiões, que foram utilizados como soluções em obras de estudos de casos nos Estados Unidos, na África do Sul, e na América do Sul.

Durlo e Sutili [10] apresentaram conceitos e características dos rios, processos fluviais, técnicas de estabilidade de taludes, propriedades estruturais da vegetação, e experiências práticas com a Bioengenharia e as biotécnicas. Estas foram usadas em um estudo de caso ocorrido em 2003 no estado

do Rio Grande Sul que visou analisar o custo, o quantitativo e desempenho da intervenção a curto prazo.

Rauch, Sutili e Hörbinger [11] desenvolveram suas pesquisas de acompanhamento e monitoramento de “novas” matas ciliares implantadas no ano de 2010 às margens do rio Pardinho no estado do Rio Grande do Sul através de técnicas de bioengenharia de solo.

Ao todo, a pesquisa conseguiu reunir 31 (trinta e uma) fontes de dados bibliográficos para a fundamentação do presente trabalho. Na figura 1 a seguir, é possível verificar a distribuição das referências bibliográficas encontradas conforme as fontes buscadas:

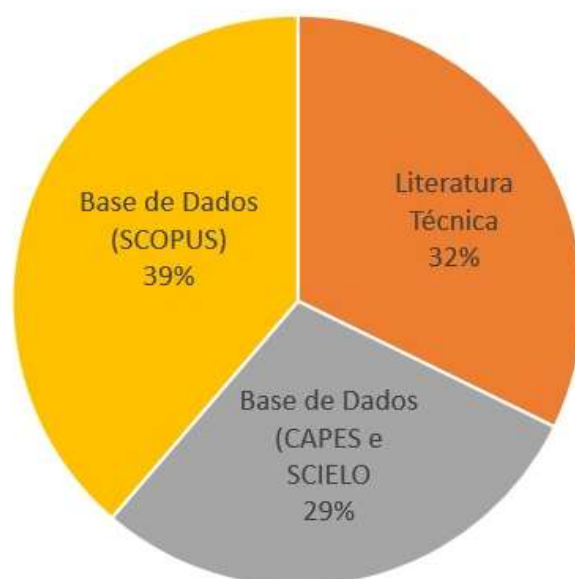


Fig. 1 - Gráfico das Fontes Bibliográficas Pesquisadas

Analisando as referências bibliográficas selecionadas, foi possível ainda, classificá-las conforme área temática. A tabela 1 a seguir, apresenta as áreas temáticas identificadas e as referências correspondentes:

Tabela 1 – Área Temática x Fonte de Dados Selecionados

| Área Temática | Fontes Bibliográficas |
|---|--|
| Forma do Canal / Revestimento | [12], [13], [14] |
| Obras Civas / Projetos de Drenagem / Projetos Sustentáveis | [6], [9], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22] |
| Fundamentos de Hidráulica | [7], [13], [14], [19], [23] |
| Análise de resistência ao fluxo / uso de matéria vegetativa / rugosidade / transporte de sedimentos | [10], [12], [15], [18], [19], [20], [21], [24], [25], [26], [27], [28] |
| Medidas de gestão ecológica / gestão de risco de inundação / desastres hidrológicos | [3], [5], [15], [29], [30] |

| | |
|--|--|
| Uso de Biotécnicas (materiais inertes, gabiões, madeiras) | [9], [15], [18], [20] |
| Modelagem Computacional / Simulação Numérica | [15], [18], [19], [20], [21], [26], [27] |
| Avaliação da capacidade de restauração ecológica do revestimento / uso da bioengenharia / soluções baseadas na natureza / técnicas de restauração ecológica / requalificação fluvial | [10], [11], [21], [28], [29], [31], [32], [33], [34] |
| Serviços Ecossistêmicos | [30], [33] |
| Aumento da capacidade de infiltração | [18], [33], [35] |

5. DISCUSSÃO

O risco pode ser definido pela probabilidade de alguma coisa desagradável e indesejada ocorrer ao estar exposto a um perigo e as consequências advindas dessa ocorrência. E o perigo pode ser definido como algo que apresenta um potencial específico para causar danos e ameaçar a existência ou integridade de pessoas, propriedades, infraestruturas, sistemas econômicos e do meio ambiente [3].

Muitas são as técnicas de engenharia utilizadas para se alcançar a redução da frequência e intensidade de inundações.

5.1. Técnicas Tradicionais e Medidas Não Convencionais de Contenção de Cheias

Segundo Canholi [6], as medidas tradicionais de contenção de cheias podem ser classificadas em:

- a) medidas estruturais que são definidas por obras de engenharia executadas de modo a reparar e/ou prevenir as áreas sujeitas a inundações. Caracterizam-se por: medidas intensivas (canalizações, reservatórios, bacias de detenção/retenção, restauração de calhas naturais, obras de desvio do escoamento (túneis de derivação e canais de desvio), e extensivas atuantes ao longo de toda a bacia de drenagem (pequenos armazenamentos na bacia, recomposição de cobertura vegetal, controle de erosão do solo, regularização do leito dos rios, construção de contenções, docas, eclusas, barragens e reservatórios);
- b) medidas não estruturais: buscam controlar a ocupação e o uso territorial das pessoas. Tratam-se das leis e as atividades de educação ambiental, como os programas de controle de poluição, erosão, lixo, seguro-enchente, sistema de alerta e previsão das inundações, etc.

As medidas não convencionais são as obras, dispositivos ou até mesmo concepções de projeto diferenciados do sistema tradicional, associados ou não, que visam a otimização de todo o sistema. Favorecem o processo de infiltração do solo, a retenção dos escoamentos em reservatórios, o retardo do fluxo nas calhas do córregos e rios, como: os diques, os pôlderes, e derivação de escoamentos [6].

5.2. Uma outra forma de conter as Cheias

Os trechos mais baixos dos rios geralmente são constituídos por uma grande planície de inundação. Trata-se de um sistema natural temporário de armazenamento de cheias [7]. As planícies de inundação apresentam alto potencial de contribuição para a qualidade da água e do ar, para a paisagem local, a preservação dos ecossistemas e a distribuição e manutenção de uma rede de drenagem natural eficiente [16].

Novos métodos construtivos e o uso de materiais diversos têm sido avaliados para que a dinâmica dos rios e córregos e as características hidromorfológicas sejam restabelecidas. Trata-se de intervenções

de pequeno porte em trechos localizados dos rios, os quais procuram motivar a resiliência dos sistemas fluviais, por meio da conservação e a preservação das margens [9].

O termo Bioengenharia, ou Engenharia Natural, é caracterizado pelo uso de matéria vegetal viva para compor técnicas construtivas e de estrutura na engenharia civil. São técnicas ecológicas, sustentáveis e de aspecto socioeconômicos atrativos que têm se destacado, principalmente em países europeus, pelo seu uso nos processos de requalificação fluvial [11].

As biotécnicas correspondem ao uso de materiais inertes como alvenaria, madeira “in natura” ou serrada, restos culturais, grandes pedras ou seixos rolados, arame, telas metálicas ou simplesmente madeira. Apresentam resultados positivos para a ecologia, o ambiente paisagístico, lazer, além de economia de custo quando adquiridos na região. Produzem o efeito de contribuir com a melhora da instabilidade do talude, a implantação e o crescimento da vegetação, reduzem o potencial de erosão e a velocidade das águas sobre as margens [10].

5.3. Resultados Relevantes

Daigneault, Brown e Gawith [15] analisaram de forma comparativa a relação do custo e benefício, entre a implantação de obras de infraestrutura pesada como o uso de gabiões e dragagem de rios, e alternativas baseadas na adaptação ecossistêmica (EbA), como as de revegetação das margens dos rios e reflorestamento das planícies. A região estudada foi a dos rios Ba e Penang localizados em Viti Levu, Fiji, na Oceania. Através do uso de modelagem hidrológica por meio do software HEC-RAS foi possível a análise para mitigar os impactos gerados das inundações ocorridas em janeiro e março de 2012. Para as hipóteses econômicas foram utilizados levantamentos socioeconômicos dos eventos ocorridos. Constatou-se que o plantio de vegetação ribeirinha, do tipo gramíneas, se mostrou a opção mais rentável, na ordem de 30-40% de redução nos danos decorrentes dos eventos estudados. Em contrapartida, o reflorestamento proporciona maiores benefícios gerais (redução de 20-70%), porém com alto custo de implantação. O reforço das margens de rios com estrutura de gabião e dragagem proporcionam redução de 30-80% dos impactos, porém seu custo de benefício quase que se iguala ao custo de implantação.

Através do uso do software Mohid Land de simulação hidrológica, Tavares, Costa, Kalas e Junior [19] construíram um modelo para a bacia hidrográfica do rio Macaé no município de Macaé, estado do Rio de Janeiro. O objeto de estudo foi o trecho retificado pelas obras do extinto DNOS. Na oportunidade constatou-se que o aumento o coeficiente de rugosidade do canal de 0,035 para 0,08 alcançaria resultados expressivos para atenuar os efeitos de cheias urbanas para uma chuva com o período de recorrência de 20 e 50 anos.

Liu, Gebremeskell, Smedtl, Hoffmann, e Pfister [34] construíram um modelo distribuído com o uso do software WetSpa para o estudo de reabilitação do afluente Steinsel da bacia do rio Alzette, Grão-Ducado do Luxemburgo. Foi proposto na simulação, a reconstituição da vegetação ribeirinha e o remeandrar do rio nos trechos canalizados. Os resultados revelaram a redução do fluxo máximo em até 14% e o tempo de concentração podendo ser adiado em até 2 (duas) horas para os trechos localizados a jusantes da intervenção.

Muhtar e Abayati [14] verificaram que, para condições de canal aberto, o coeficiente de rugosidade é mais adaptável e preciso na constante de Manning do que na constante de Chezy. Foi verificado através de experiência em laboratório utilizando material de fundo composto por agregado graúdo, granulometria variando de 10mm à 50mm que, à medida que o valor do coeficiente de rugosidade aumenta para Manning o valor da vazão diminui.

Fracassi [9] analisou valores do coeficiente de rugosidade obtidos através de experiências práticas em modelos reduzidos. Os materiais utilizados foram gabiões e os colchões de gabião. Após terem sido

ensaiados em laboratórios americanos, foram verificados nos laboratórios da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH em São Paulo) e confirmados no Instituto Nacional del Agua (INA em Buenos Aires – Argentina). Os resultados obtidos nos ensaios, apresentaram uma variação de 0,025 a 0,030 a depender das condições de fluxo.

Norman et al. [18] observaram durante o monitoramento de 3 (três) anos que estruturas de contenção de rochas há mais de 30 anos construídas em canais efêmeros, permaneceram em situação de equilíbrio com as condições de sedimentação e estabilização da vegetação. Na outra análise, no trecho do rio que sofreu intervenções recentes com o uso de estrutura de gabião, verificou-se que a topografia continuava a evoluir conforme previsto nas hipóteses simuladas. O modelo revelou redução na velocidade do fluxo (16%) e aumento da profundidade (12%), além de verificar potencial para maior infiltração.

Miguez, Veról, Sousa e Rezende [21] realizaram 4 (quatro) estudos de caso na Bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí, região da baixada fluminense do estado do Rio de Janeiro. Foi proposto por meio de modelagem matemática, um modelo hidrodinâmico desenvolvido na UFRJ, denominado MODCEL. A simulação revelou que a opção de apenas se manter os espaços destinados as planícies de inundação controlando o uso e a ocupação urbana reduziriam 40% as descargas no rio em estudo em relação a contribuição de um de seus afluentes, enquanto que o uso de diques elevaria o nível no canal principal em 0,50m.

6. CONCLUSÃO

Diante da pesquisa bibliográfica realizada, observa-se que muitos estudos, os mais recentes dos últimos 3 (três) anos, voltaram suas pesquisas e experimentos para o controle de inundações por meio de processos mais naturais. Aliados as ferramentas computacionais, como os softwares de simulações hidrológicas (entre eles, Mohid Land, Hec-Heras, WetSpa), parâmetros como, resistência ao fluxo, uso de matéria vegetativa, rugosidade do canal, transporte de sedimentos, capacidade de restauração ecológica do revestimento, uso de bioengenharia e biotécnicas, e requalificação fluvial, estão sendo o foco das avaliações.

Verificou-se entre os autores, a necessidade de se desenvolver uma gestão de risco de inundação integrada, principalmente voltada a atender em escala de bacia hidrográfica e a controlar o uso e a ocupação da população sobre áreas de risco a fim de se diminuir o risco de exposição aos eventos de inundação. Em regiões já urbanizadas, a delimitação de áreas de preservação permanente sobre as planícies de inundação transformando-as em áreas de lazer para o uso recreacional da população, como as de parques, pode contribuir para que essas áreas sejam preservadas de invasão para o uso de moradia.

Observou-se que o uso da bioengenharia (uso de material vegetal vivo) e das biotécnicas (uso de material inerte) podem ser importantes técnicas no processo de requalificação fluvial, no resgate das condições originais dos rios e córregos que no passado passaram por obras tradicionais de drenagem como foi o caso de canais retelinizados (região norte fluminense), ou construção de diques (baixada fluminense). São técnicas que podem contribuir para o aumento da rugosidade dos canais, reduzindo a onda de cheia, além de facilmente se incorporarem a paisagem do local. Autores como Arcement e Schneider [12], e Chow [13], já revelavam há muitos anos atrás, as potencialidades da própria natureza na prevenção e combate aos eventos de inundações.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SEA/INEA. **Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras - Relatório de Caracterização socioeconômica da Área de Estudo**. 2012. Disponível em: < <http://cbhmacae.eco.br/site/Relatorios/RD-02%20-%20Relat%C3%B3rio%20de%20Caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20Socioecon%C3%B4mica%20da%20%C3%81rea%20do%20Estudo.pdf>> Acesso em 16.jul. 2018.
- [2] ASSUMPÇÃO, A. P.; MARÇAL, M. S. **Retificação dos canais fluviais e mudanças geomorfológicas na planície do Rio Macaé (RJ)**. Revista de Geografia (UFPE), v. 29, n. 3, 2012.

- [3] MIGUEZ, M. G.; DI GREGORIO, L. T.; VERÓL, A. P. **Gestão de Riscos e Desastres Hidrológicos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.
- [4] TAVARES, L. P. da S. **Estudo de Propostas de Mitigação de Cheias como Subsídio ao Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica VIII**. Dissertação (Mestrado Engenharia Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Fluminense, Macaé, 2017.
- [5] SANTOS, R. Gestão de desastres e política de assistência social. **R. Katál**. v. 15, n. 1, p. 32-40, jan./jun. 2012.
- [6] CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- [7] CHADWICK, A.; MORFETT, J.; BORTHWICK, M. **Hidráulica para engenharia civil e ambiental**. Tradução de Tiberio Júlio Couto Novais. Revisão técnica William Bonino Rauen. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- [8] BARENDRECHT, M. H.; VIGLIONE, A.; BLÖSCH, G. A dynamic framework for flood risk. **Water Security**, n. 1, p. 3-11, 2017.
- [9] FRACASSI, G. **Proteção de rios com soluções Maccaferri**. São Paulo: Oficina de textos, 2017.
- [10] DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. **Bioengenharia – Manejo biotécnico de cursos de água**. 3. ed. Santa Maria: Edição do Autor, 2014.
- [11] RAUCH, H. P.; SUTILI, F.; HÖRBINGER, S. Installation of a Riparian Forest by Means of Soil BioEngineering Techniques — Monitoring Results from a River Restoration Work in Southern Brazil. **Open Journal of Forestry**, v. 4, n. 2, p. 161–169, 2014.
- [12] ARCEMENT, G. J.; SCHNEIDER, V. R. **Guide for Selecting Manning’s Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains**. Department the Interior, 1989.
- [13] CHOW, V. te. **Open Channel Hydraulics**. Tóquio: McGraw-Hill, 1959.
- [14] MUHTAR, B.; ABAYATI, M. A. Determination Of Chezy’s And Mannings Coefficient For Different Aggregate Bed Using Different Notches In Hydraulic Bench. **International Journal of Scientific & Technology Research**, v. 5, n. 3, p. 167–175, 2016.
- [15] DAIGNEAULT, A.; BROWN, P.; GAWITH, D. Dredging versus hedging: Comparing hard infrastructure to ecosystem-based adaptation to flooding. **Ecological Economics**, n. 122, p. 25 -35, 2016.
- [16] PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. São Paulo: FCTH, 1999.
- [17] MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.
- [18] NORMAN, L. M.; SANKEY, J. B.; DEANB, D. D.; CASTER, J.; DELONG, S.; DELONG, W.; PELLETIER, J. D. Quantifying geomorphic change at ephemeral stream restoration sites using a coupled-model approach. **Geomorphology**, n. 283, p.1-16, 2017.
- [19] TAVARES, L. P. da S.; COSTA, J. B. da; KALAS, F. de A.; JUNIOR, J. L. **Modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do Rio Macaé utilizando o MOHID Land**. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes, v. 11, n. 1, p. 169-181, jan./jun. 2017. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/9916/7596>>. Acesso em 16 jul. 2018.
- [20] WOHL, E. Bridging the gaps: An overview of wood across time and space in diverse rivers. **Geomorphology**, n. 279, p. 3–26, 2017.
- [21] MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; SOUSA, M. M. de; REZENDE, O. M. Urban Floods in Lowlands—Levee Systems, Unplanned Urban Growth and River Restoration Alternative: A Case Study in Brazil. **Sustainability**, n. 7, p. 11068-11097, 2015.
- [22] LOURENÇO, I. B.; VERÓL, A. P.; MIGUEZ, M. G.; BRITTO, A. L. N. de P. RIOS URBANOS E PAISAGENS MULTIFUNCIONAIS: ESTUDO DE CASO – RIO DONA EUGÊNIA. **Paisagem e Ambiente: Ensaios**, n. 36, p. 91-115, 2015.
- [23] GRIBBIN, J. E. **Introdução a Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. Tradução Andrea Pisan Soares Aguiar. Revisor Técnico Marcelo Libânio. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017.
- [24] MIROSLAW-SWIATEK, D.; AMATYA, D. M. Effects of cypress knee roughness on flow resistance and discharge estimates of the Turkey Creek watershed. **Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW**, n. 49, p. 179-199, 2017.

- [25] WANG, S.; MENG, X.; CHEN, G.; GUO, P.; XIONG, M.; ZENG, R. Effects of vegetation on debris flow mitigation: A case study from Gansu province, China. **Geomorphology**, n. 282, p. 64–73, 2017.
- [26] CHAO, W.; SHA-SHA, Z.; PEI-FANG, W.; JUN, H. Interactions between vegetation, water flow and sediment transport: A review. **Science Direct**, v. 27, n. 1, p. 24-31, 2015.
- [27] MA, Y.; QING HUANG, H. Controls of channel morphology and sediment concentration on flow resistance in a large sand-bed river: A case study of the lower Yellow River. **Geomorphology**, n. 264, p. 132–146, 2016.
- [28] NILSSON, C.; RIIS, T.; SARNEEL, J. M.; SVAVARSDÓTTIR, K. Ecological Restoration as a Means of Managing Inland Flood Hazards. **BioScience**, v. 68, n. 2, p. 89-99, 2018.
- [29] MONDAL, S.; PATEL, P. P. Examining the utility of river restoration approaches for flood mitigation and channel stability enhancement: a recent review. **Environmental Earth Sciences**, n. 77, p. 195-220, 2018.
- [30] KIEDRZYN'SKA, E.; KYEDRZYN'SKI, M.; ZALEWSKI, M. Sustainable floodplain management for flood prevention and water quality improvement. **Nat Hazards**, n. 76, p. 955-977, 2015.
- [31] CHEN, Y.; XU, S.; JIN, Y. Evaluation on Ecological Restoration Capability of Revetment in Inland Restricted channel. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 20, n. 6, p. 2548-2558, 2015.
- [32] PAN, B.; YUAN, J.; ZHANG, X.; WANG, Z.; CHEN, J.; LU, J.; YANG, W. Y.; LI, Z.; ZHAO, N.; XU, M. A review of ecological restoration techniques in fluvial rivers. **International Journal of Sediment Research**, n. 31, p. 110–119, 2016.
- [33] KEESSTRA, S.; NUNES, J.; NOVARA, A.; FINGER, D.; AVELAR, D.; KALANTARI, Z.; CERDÀ, A. The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. **Science of the Total Environment**, n. 610/611, p. 997-1009, 2018.
- [34] LIU, Y.B.; GEBREMESKELL, S.; SMEDTL, F. De.; HOFFMANN, L.; PFISTER, L. Simulation of flood reduction by natural river rehabilitation using a distributed hydrological model. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 8, n. 6, p. 1129-1140, 2004.
- [35] SANTOS, F. M. dos; LOLLO, J. A. LOW COST POTENTIAL INFILTRATION ESTIMATION FOR WET TROPICAL WATERSHEDS FOR TERRITORIAL PLANNING SUPPORT. **Journal of Urban and Environmental Engineering (JUEE)**, v. 10, n. 2, p.233-241, 2016.

ARTIGO CIENTÍFICO 2

PROPOSTA DE INTERVENÇÃO PARA A REDUÇÃO DE INUNDAÇÕES POR MEIO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA – ESTUDO DE CASO DO RIO MACAÉ

PROPOSED INTERVENTION FOR THE REDUCTION OF FLOODS BY MEANS OF NATURE-BASED SOLUTIONS - MACAE RIVER CASE STUDY

Clarissa Rosa Vieira Della Justina - IFFluminense/PPEA

Jader Lugon Junior - IFFluminense/PPEA

Maria Inês Paes Ferreira - IFFluminense/PPEA

RESUMO

As primeiras referências à expressão “soluções baseadas na natureza” foram encontradas na literatura no final dos anos 2000. As discussões têm sido motivadas principalmente nos países europeus pelos benefícios que estas técnicas oferecem à manutenção ou restauração dos ecossistemas, na minimização dos riscos ambientais, no uso sustentável dos recursos naturais, na promoção do bem-estar humano, como alternativas promissoras no processo de requalificação fluvial, e na mitigação dos efeitos das inundações. Neste trabalho, o estudo de caso no rio Macaé, propõe uma análise preliminar para elaboração de projeto de intervenção construtiva visando a requalificação fluvial. O método utilizado é descritivo exploratório de caráter qualitativo. A aquisição dos dados primários permitiu caracterizar a área da proposta, subsidiar a indicação das soluções de Engenharia Natural e biotécnicas, e viabilizar a análise de custo de execução. Os dados secundários foram obtidos por meio de pesquisa bibliográfica e documental, e fundamentaram o estudo na elaboração do projeto piloto e na abrangência da área de intervenção. Como proposta, a calha principal do rio foi reconectada a sua margem de cheia. O uso de material inerte (escoras de madeira e biomanta vegetal de fibra de coco) associados a material natural de origem viva (vegetação de espécies nativas) foram indicados para a proteção e revegetação das margens de cheias. A avaliação permitiu elevar o coeficiente de rugosidade da planície de 0,03 para 0,15 após obras concluídas e vegetações estabilizadas.

Palavras chave: Bioengenharia. Requalificação fluvial. Construção. Custo.

ABSTRACT

The first references to the expression "solutions based on nature" report that they were found in the literature at the end of the years 2000. The discussions have been motivated mainly in the European countries by the benefits that these techniques offer the maintenance or restoration of the ecosystems, in the minimization of the environmental risks, the sustainable use of natural resources, the promotion of human well-being, as promising alternatives in the river requalification process, and in mitigating the effects of floods. In this work, the case study in the Macaé river proposes a preliminary analysis to elaborate a constructive intervention project aiming at river requalification. The method used is descriptive exploratory of qualitative character. The acquisition of the primary data allowed to characterize the area of the proposal, to subsidize the indication of Natural Engineering solutions and biotechniques, and to make feasible the analysis of execution cost. The secondary data were obtained through bibliographical and documentary research and supported the study in the elaboration of the pilot project and the scope of the intervention area. As the proposal, the main channel of the river was reconnected to its flood margin. The use of inert material (wood supports and vegetable blanket) associated with natural material of native origin (vegetation of native species), were indicated for the protection and revegetation of the flood banks. The evaluation allowed to raise the roughness coefficient of the plain from 0.03 to 0.15 after completed works and stabilized vegetation.

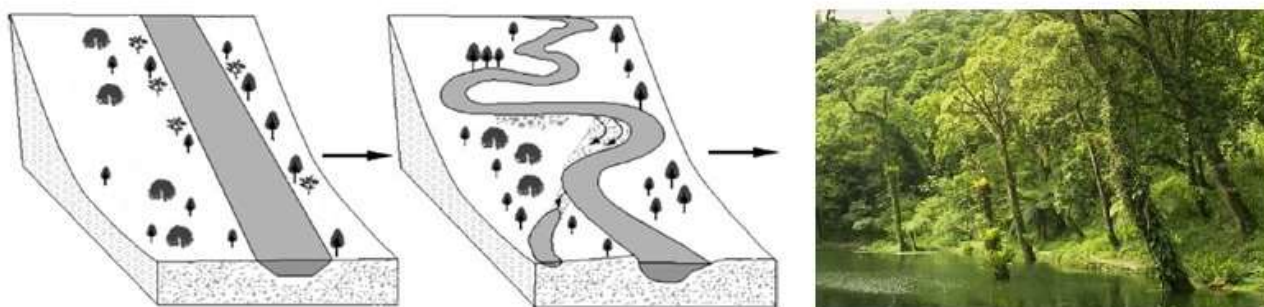
Keywords: *Bioengineering. River requalification. Construction. Cost.*

1. INTRODUÇÃO

O termo requalificação fluvial consiste em recuperar o rio ou parte dele que foi degradado ou destruído para um estado mais próximo do natural, preservando-o ou restabelecendo suas funções físicas e hidromorfológicas originais. Projetos de requalificação envolvem mudanças de paradigmas nos campos da engenharia civil, hidráulica, fluvial e ambiental: parar de degradar; devolver o espaço ao rio; e esperar a recuperação natural (DELLAJUSTINA *et al.*, 2019).

A Fig. 1 a seguir ilustra de uma forma geral o processo de requalificação fluvial. Obras tradicionais de engenharia como o exemplo da retificação dos canais fluviais que, após determinadas intervenções, passam novamente a ceder espaço ao rio devolvendo-o a sua sinuosidade e as margens de cheia.

Figura 1 – Esquema do processo de requalificação fluvial



Fonte: Autora (2019)

As soluções baseadas na natureza (SBN) contribuem com alternativas promissoras no processo de requalificação fluvial de menor impacto ambiental e paisagístico. Segundo a União Européia, as SBN são definidas pelas “ações inspiradas, apoiadas ou copiadas da natureza; tanto usando e aprimorando soluções existentes para desafios, como também explorando soluções mais novas” (NESSHÖVER *et al.*, 2017, p. 1217).

Promover a requalificação fluvial é propor alterações morfológicas no rio e na planície de inundação com intervenções construtivas que contribuam para a melhora da dinâmica fluvial, aumento da conectividade hidrológica e do transporte entre o componente dos corpos hídricos, para a redução do risco de exposição a inundação, e a redução da ocorrência dos possíveis eventos danosos. Igualmente reconhecer a necessidade de compatibilizar usos sociais de forma sustentável e economicamente viável, articulando com as comunidades que vivem em torno do rio e com as atividades econômicas ali desenvolvidas (UNESCO, 2018).

Com a função de minimizar os danos das inundações, há muitos anos a engenharia civil, hidráulica e fluvial têm usado de medidas de controle tradicionais como obras de retificação e canalizações dos rios (CANHOLI, 2014). Embora essas obras tenham a princípio um efeito positivo, no Brasil entre 1º de janeiro de 2000 a 31 de julho de 2017, 2.872 municípios registraram 6.164 situações de emergência relacionadas aos os desastres hidrológicos. As inundações correspondem o segundo evento com ocorrência mais frequente no país (BRASIL, 2018).

Com o crescimento constante das cidades, obras tradicionais, já não são suficientes, ou até mesmo eficientes na contenção desses eventos. Surge a necessidade de se pesquisar, buscar métodos construtivos diferenciados, materiais alternativos, que busquem em suas propostas, projetar a favor da natureza, considerando as suas características e seus comportamentos para que as cidades se tornem mais sustentáveis, resistentes e resilientes (MIGUEZ *et al.*, 2018; CHADWICH *et al.*, 2017).

O presente estudo consiste na apresentação de uma proposta de intervenção para o trecho

retelinizado do rio Macaé com avaliação de viabilidade construtiva e determinação preliminar dos custos para a execução da obra visando a requalificação fluvial e o aumento do coeficiente de rugosidade do canal. As alternativas analisadas neste trabalho tratam de soluções baseadas na natureza. O diagnóstico ambiental foi realizado por meio de levantamento de campo associado a pesquisas bibliográficas e exploratórias que fundamentassem a definição do modelo de intervenção e a estimativa de custo para a execução do projeto piloto.

Tavares *et al.* (2017) por meio de modelagem computacional verificou que ao aumentar o coeficiente de rugosidade de 0,03 para 0,08 no trecho retelinizado do rio Macaé reduziria a onda de cheia no centro urbano do município ao analisar períodos de retorno de 20 e 50 anos, pois a vazão diminui à medida que a resistência ao fluxo da corrente aumenta. DellaJustina *et al.* (2019) avaliou em seus estudos que o uso de materiais naturais de origem viva (bioengenharia) associado ao uso de materiais inertes (biotécnicas) poderiam representar de maneira expressiva o aumento do coeficiente de rugosidade proposto por Tavares *et al.* (2017) sem causar impacto na paisagem local.

Ao contrário de uma solução de engenharia tradicional que envolve soluções com processos artificiais, as soluções baseadas na natureza oferecem estratégias a engenharia para uma abordagem mais holística, envolvendo o projeto com alternativas práticas capazes de lidar simultaneamente com os riscos ambientais, a utilização sustentável dos recursos naturais e a promoção do bem-estar humano (NESSHÖVER *et al.*, 2017; RAYMOND *et al.*, 2017; KEESSTRA *et al.*, 2018). A Fig. 2 a seguir ilustra o exemplo de uma obra tradicional, bem como, práticas sustentáveis de soluções não-convencionais de engenharia e soluções baseadas na natureza.

Figura 2 – Obras tradicionais de engenharia x soluções sustentáveis



Fonte: Autora (2019)

As SBN são recomendadas como ferramentas importantes para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas para 2030 (UN, 2015) e estão estreitamente ligadas ao ODS 6: “água limpa e saneamento para todos no mundo” (UNESCO, 2018). A implementação da SBN geralmente envolve baixos custos quando comparada à engenharia tradicional, e tem sido apontada como a chave para ações estratégicas de políticas voltadas para lidar com riscos relacionados à água, aumentar a segurança hídrica e gerenciar a qualidade e a disponibilidade de água (ECD, 2018; UNESCO, 2018).

Objetiva-se com o presente estudo, a apresentação de uma proposta piloto de requalificação fluvial para o trecho retificado do rio Macaé. Por meio de soluções baseadas na natureza (SBN), procura-se devolver ao rio uma área de planície para inundação e aumentar a rugosidade da superfície nas margens de cheia a fim de contribuir para a redução de inundações nos trechos a jusantes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Equação de Manning e Coeficiente de Rugosidade

A formulação de Manning Eq. (1) é utilizada para se determinar a velocidade a partir de uma profundidade normal (D_n) conhecida:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S_o^{1/2} \quad (1)$$

onde:

v = velocidade, m/s;

S_o = declividade do canal, m/m;

R = raio hidráulico, m;

n = coeficiente de rugosidade, $m^{-1/3}s$.

Usando uma combinação da Eq. (1) com a equação da continuidade é possível obter a Eq. (2) onde o valor da vazão (Q) é dado em função do valor do coeficiente de rugosidade (n):

$$Q = \frac{a}{n} R^{2/3} S_o^{1/2} \quad (2)$$

onde:

a = área de seção transversal, no Sistema Internacional em m^2 .

O raio hidráulico corresponde a medida da eficiência hidráulica de um canal, quanto maior o valor de R , maior será a vazão que passa pela seção transversal (GRIBBIN, 2017), enquanto o

coeficiente de rugosidade (n), parametriza a resistência do revestimento ao escoamento. O valor de n pode ser calculado por meio da vazão e da cota da superfície livre, a partir dos dados de seção transversal e declividade conhecidos, como os baseados em valores calculados em canais semelhantes (CHOW, 1959).

A rugosidade superficial é caracterizada pelo tamanho e forma dos grãos dos materiais que formam o perímetro molhado e produzem um efeito retardador no fluxo. Grãos finos (areia, argila e silte) encontrados em rios aluviais propiciam um valor baixo de n e não são afetados pela mudança no fluxo do canal, enquanto grãos com maior granulometria, como cascalhos e pedregulhos, se acumulam no fundo do canal e produzem um valor alto de n na profundidade mais baixa (CHOW, 1959).

A vegetação também é considerada um tipo de rugosidade superficial. Suas características (altura, a densidade da planta, a distribuição e a espécie da vegetação) causam efeitos que podem reduzir consideravelmente a capacidade do canal (CHOW, 1959) em transportar sedimentos de dimensões e formas variadas (FRACASSI, 2017). Quanto menor for a velocidade do fluxo, menor será o tamanho do material transportado, e menor será a capacidade de transporte dos materiais (DURLO; SUTILI, 2014).

3. MÉTODO

O presente trabalho constitui-se numa pesquisa descritiva exploratória realizada em dezembro de 2018, de caráter qualitativo somando-se aos dados secundários obtidos por meio de pesquisa bibliográfica e documental.

3.1. Caracterização da área

A nascente do rio Macaé está localizada entre 1500 e 1600 metros de altitude, na região serrana do norte do estado do Rio de Janeiro, no município de Nova Friburgo e percorre cerca de 136 km em direção ao oceano Atlântico desembocando próximo ao centro urbano da cidade de Macaé. O rio Macaé pertence a região hidrográfica VIII – Bacias Hidrográficas dos rios Macaé e das Ostras (RIO DE JANEIRO, 2014a; FREITAS *et al.*, 2015; MARÇAL *et al.*, 2017).

A bacia hidrográfica do rio Macaé engloba todos os limites territoriais do município de Macaé, as áreas ainda dos municípios de Nova Friburgo, Rio das Ostras, Conceição de Macabu e Carapebus. (AMARAL, 2003; TAVARES *et al.* 2018). A Fig. 3 ilustra os limites da Bacia Hidrográfica dos rios Macaé e das Ostras.

Figura 3 - Limite atual da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras, RH-VIII



Fonte: Rio de Janeiro (2014b)

Os estudos de Tavares *et al.* (2018) revelaram a partir de dados oficiais que o município de Macaé registrou entre os anos de 1991 e 2012 pelo menos oito ocorrências de inundações, sendo três delas no ano de 2007. Neste ano, em 2007, 143.117 pessoas foram afetadas num total de 206.728 habitantes. A partir de 2012, nenhum dado oficial foi publicado, mesmo tendo vários eventos ocorridos desde então e noticiados na internet.

3.2. Aquisição de dados

Os dados secundários foram obtidos por meio de pesquisa bibliográfica. As bases de dados científicos do CAPES e SCIELO subsidiaram o presente trabalho na aquisição de dados sobre as características fluviais e morfológicas do rio Macaé no trecho retelinizado. Outras pesquisas em literatura técnica e documental complementaram os estudos, como as buscas em atlas, relatórios técnicos, consulta com autor, livros e manuais digitais.

A aquisição dos dados primários teve início como o levantamento que ocorreu em dezembro de 2018 para reconhecimento do local. Realizou-se registro fotográfico e coleta de dados geográficos por meio do aplicativo de celular, GPS Coordenadas versão 2.04, precisão de cobertura dos satélites 10 (dez) metros. O levantamento permitiu a coleta de 4 pontos na região do baixo curso do rio Macaé, cujas coordenadas foram verificadas posteriormente no software Google Earth Pro, cobertura de imagem Landsat/Copernicus de 07 de fevereiro de 2018.

Durante o levantamento de campo foram obtidos ainda, relatos espontâneos e não estruturados de dois informantes-chave, residentes nas proximidades do corpo hídrico em estudo. Apresentaram por temática a última grande cheia ocorrida na região, em novembro de 2018. O grupo entrevistado era composto por:

- Informante-chave 1: morador da região situada entre a localidade de Bicuda Pequena e Pedra Branca há 17 (dezesete) anos. Possui sua propriedade rural localizada no início do trecho retificado do rio Macaé próximo a confluência do rio Macaé com o afluente rio D'Antas;
- Informante-chave 2: natural do município de Macaé, pesquisador local, conhecedor de toda a região no entorno do rio em estudo.

Em junho de 2019 ocorreu uma segunda entrevista aberta e não estruturada com informantes-chave pertencentes ao grupo focal constituído por técnicos da Secretaria de Meio Ambiente (SEMA) do município de Macaé. Apresentaram por temática as espécies de vegetação nativa de Mata Atlântica encontradas na região de planície próximo ao rio Macaé e dados sobre custos para serviços de reflorestamento praticados no cenário local. O grupo entrevistado era composto por:

- Informante-chave 3: engenheiro florestal, experiência na SEMA há 16 anos;
- Informante-chave 4: engenheiro florestal, experiência na SEMA há 14 anos;
- Informante-chave 5: engenheiro agrônomo, experiência na SEMA há 17 anos.

3.3. Estimativa de custo de obra

Os custos diretos compreendem os custos de mão de obra, materiais, equipamentos, encargos sociais, despesas com instalação e manutenção do canteiro de obras (CANHOLI, 2014).

Os serviços que compõe a presente proposta de intervenção seguiram a metodologia baseada nas tabelas de custos unitários de obras e serviços especializados em engenharia obtidos na base de dados do SINAPI (Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil - Caixa Econômica Federal) e do SCO-RJ (Sistema de Custos de Obras da Prefeitura do município do Rio de Janeiro).

Para a delimitação da área de intervenção, o levantamento quantitativo teve por base a imagem de satélite Landsat/Copernicus de 07 de fevereiro de 2018 e o Código Florestal – Lei Federal nº

12727/2012. No entanto, os volumes de corte e aterro foram estimados a partir do perfil topográfico obtido em dados secundários, Amaral (2003). Este foi considerado o mesmo para todo o trecho do rio sobre a área da proposta de intervenção.

Para a formulação do preço de venda foi aplicada uma taxa de Benefícios e Despesas Indiretas (BDI) no valor de 27,48% para obras públicas do tipo portuárias, marítimas e fluviais. Esta taxa corresponde a parcela dos custos: 1) custos indiretos (taxa de rateio da administração central, riscos, seguros, garantias, despesas financeiras); 2) remuneração da empresa contratada; 3) tributos incidentes sobre o faturamento (BRASIL, 2013).

A estimativa de custo foi desenvolvida em formato de planilha excel. Para cada item de serviço foi elaborado um demonstrativo de formação de preço unitário (DFP). A formação dos custos foi obtida por meio de composições pertencentes aos bancos de dados do SINAPI e SCO-RJ, mês de referência maio de 2019. O Quadro 1 a seguir apresenta a relação dos serviços que compõem o projeto de intervenção, bem como a relação quantitativa para a estimativa do custo de execução da obra.

Quadro 1 - Dados para a estimativa de custo

| item | Descrição | Quantidade | Unidade |
|------|--|------------|----------------|
| 1 | mobilização e desmobilização de canteiro de obras | 1 | verba |
| 2 | escavação – área de corte – margem direita do rio | 140.400,0 | m ³ |
| 3 | escavação – área de corte – margem esquerda do rio | 210.600,0 | m ³ |
| 4 | regularização do solo - aterro | 351.000,0 | m ³ |
| 5 | transporte de material de serrapilheira – camada de 15cm | 67.500,0 | m ³ |
| 6 | execução de biotécnica – proteção de margem | 9.000,0 | m |
| 7 | instalação de geomanta de proteção de solo (1ª faixa) | 135.000,0 | m ² |
| 8 | reflorestamento com espécies nativas | | |
| | faixa 1 – espaçamento (1,5x 1,5) m – 135.000,00m ² | 60.000 | mudas |
| | faixa 2 – espaçamento (2,0 x 2,0) m – 135.000,00m ² | 33.750 | mudas |
| | faixa 3 – espaçamento (2,0x3,0) m – 180.000,00m ² | 30.000 | mudas |

Fonte: Autora (2019)

Alguns dos serviços relatados no Quadro 1 tiveram suas referências em outras bases, entre eles: o quantitativo de material para a execução das biotécnicas teve por referência o estudo de caso relatado por Durlo e Sutili (2014), enquanto que os preços dos insumos foram obtidos no banco de dados do SINAPI e SCO-RJ; o custo base do serviço de instalação de geomanta foi obtido por meio de pesquisa de mercado junto a três fornecedores (custo de material e instalação), adotando-se na elaboração da DFP o custo médio dos fornecedores. No Apêndice A do presente relatório consta a relação completa das DFPs elaboradas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

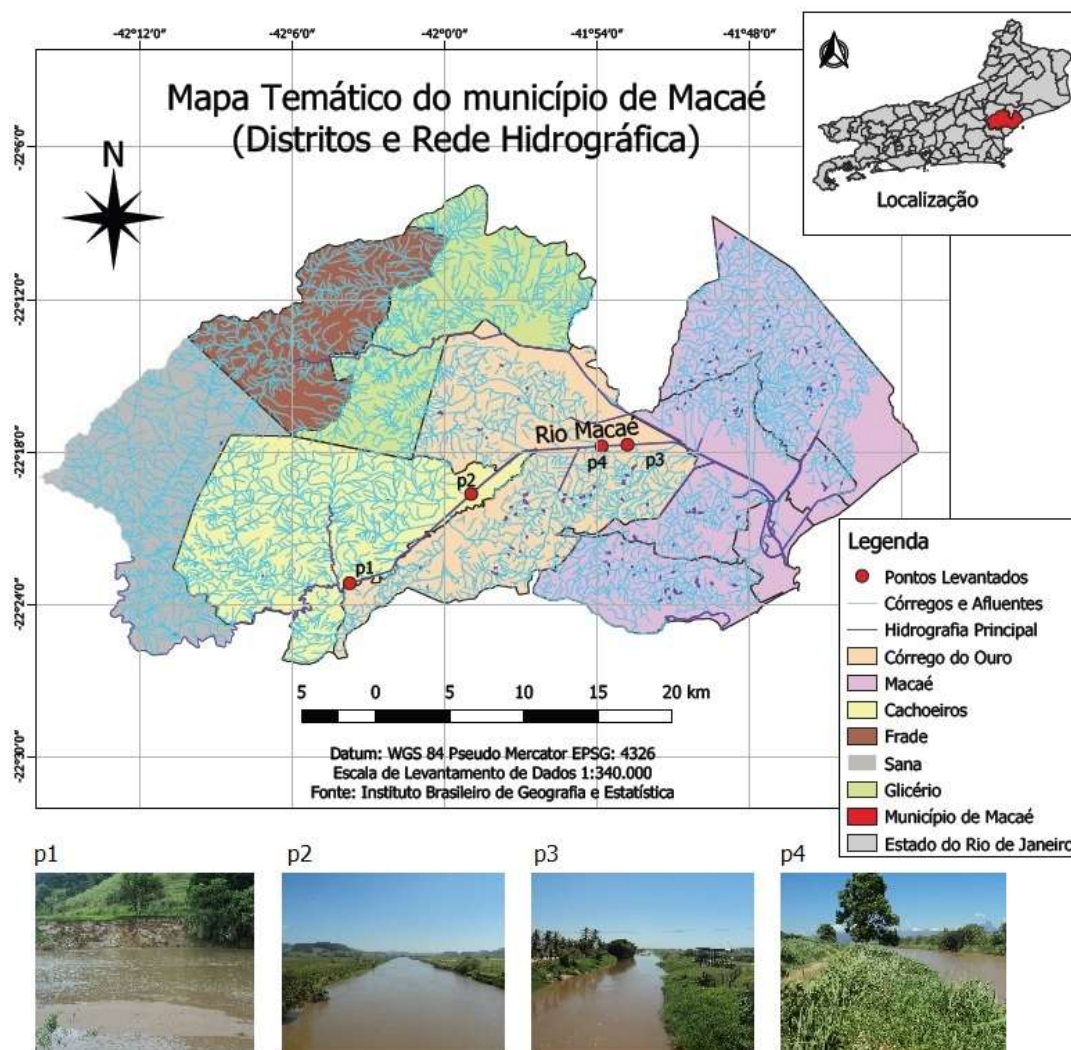
A Tab. 1 e a Fig.4 identificam os pontos visitados durante o levantamento ocorrido em dezembro de 2018. As imagens ampliadas poderão ser visualizadas no Apêndice B deste trabalho.

Tabela 1 - Pontos visitados no trecho retificado do rio Macaé

| Pontos | Descrição | Coordenadas Geográficas |
|---------|--|--------------------------------|
| Ponto 1 | Início do trecho retificado, situado entre as localidades de Bicuda Pequena e Areia Branca próximo ao encontro com o afluente D´Antas. | 22° 23' 10" S 42° 03' 44" W |
| Ponto 2 | Ponte das Neves situada na RJ-168 sobre o rio Macaé, próximo ao Parque Natural Municipal Fazenda Atalaia. | 22° 19' 39" S 41° 58' 57" W |
| Ponto 3 | Ponte sobre o rio Macaé cruzando a BR-101, próximo à Usina Termoelétrica Norte Fluminense. | 22° 17' 43" S 41° 52' 48" W |
| Ponto 4 | Estação da Severina próximo ao ponto de captação de água para abastecimento do município. | 22° 17' 47" S 41° 53' 49" W |

Fonte: Autora (2019)

Figura 4 – Mapa Temático do município de Macaé, levantamento de campo



Fonte: Autora (2019)

Os relatos dos informantes-chave 1 e 2 permitiram caracterizar os pontos investigados, conforme são apresentados:

- Ponto 1: está localizado no início do trecho retificado do rio Macaé onde faz limite com a propriedade do informante-chave 1. Constatou-se que o trecho apresenta erosão nas margens e formação de ilhas com depósitos de sedimentos. O nível do rio encontrava-se em estado normal. O relato do informante-chave 1 ressaltou que adquiriu a área através do processo de assentamento junto ao INCRA; que o rio Macaé já avançou cerca de 50 (cinquenta) metros para a sua propriedade; que segundo orientação do INCRA, não se pode deixar a criação de animais próximas às margens do rio; que o uso e a ocupação junto às áreas próximas das margens são feitos por meio do cultivo de roça de milho, mandioca entre outras; que a última grande enchente que teve na região em (11/11/2018), o rio avançou para a área de plantação chegando a entrar em sua casa, cerca de 20 cm; em pouco tempo, cerca de duas horas; era só o rio levando criação de galinha e pintinhos; que os cavalos tiveram que ser amarrados na cerca para o rio não levar; que nenhuma autoridade legal visitou a área depois do ocorrido.

- Ponto 2: está localizado sobre a Ponte das Neves na rodovia RJ-168 que liga a Região Serrana do município de Macaé à Região Central. O informante-chave 2 ressaltou que as margens que antecedem o cruzamento da rodovia RJ-168 com o rio Macaé foram reflorestadas; desconhece quem as tenha feito; e que foram feitas à aproximadamente 8 (oito) anos; que a região é área de propriedade privada; que no sentido à jusante da ponte das Neves é possível perceber a existência de diques formando os pôlderes junto as margens; que os proprietários criam-os com o material da dragagem do rio para evitar a inundação das áreas de pastagem em épocas de cheias.

- Ponto 3: está localizado sobre as margens da BR-101 na confluência com o rio Macaé. O informante-chave 2 ressaltou que as áreas junto as margens do rio Macaé na confluência são de propriedade privada; que somente com autorização para se adentrar nelas; que o dique ali construído é possível se deslocar sobre ele até a confluência do rio Macaé com o seu afluente o rio São Pedro.

- Ponto 4: está localizado junto a margem do rio Macaé, próximo ao ponto de captação de água para abastecimento do município. O Informante-chave 2 ressaltou que a área situada às margens do rio Macaé é denominada Fazenda Severina; que a concessionária de abastecimento de água do município, CEDAE, tem seu ponto de captação ali próximo; que a balsa que faz a dragagem do rio está no local; que o material da dragagem uma parte é destinada a exploração de areia e a outra parte para manutenção dos diques; que a dragagem é realizada constantemente para evitar o entupimento das bombas da concessionária CEDAE; que o dique ali existente dá acesso a ponte das Neves.

4.1. Tratativas para os cenários diagnosticados: SBN uma alternativa?

Para o Ponto 1 visitado, a Tab. 2 apresenta algumas das biotécnicas recomendadas por Fracassi (2017) a fim de se promover a estabilização do talude, revegetação das margens e a proteção do solo contra a erosão e ao fluxo da corrente:

Tabela 2 – Soluções de biotécnicas

| Técnicas | Tipo de intervenção | (n) para obras finalizadas |
|--|---|----------------------------|
| Plantio de grama | Grama semeada sobre solo natural | 0,05** |
| Feixes | obra hidráulica longitudinal com arbustos típicos ribeirinhos | 0,07-0,40** |
| Camada de arbustos | galhos cortados em camadas entre camadas de solo, para a construção da superfície reforçada da margem | 0,04 |
| Plantio | espécies lenhosas arbóreas e arbustos de espécies nativas | 0,07-0,40 ** |
| Biomanta e geomanta: | estrutura reticular de composição orgânica ou inorgânica | 0,03 |
| Sistemas de solo reforçado com vegetação | uso do solo e malha de arame de dupla torção/material polimérico com alta resistência à tração | 0,07-0,40 ** |
| Gabiões com solo | caixa de malha de arame, dupla torção e solo vegetal | 0,03 |
| Estrutura de solo reforçado | bloco de solo compactado e malha de arame dupla torção | 0,03 |
| Elementos Inertes | pedras soltas | 0,03 |
| Gabião caixa e colchão de gabião | caixas de malha de arame de dupla torção preenchidas e ligadas uma a outra com pedras | 0,03 |
| Observação: | ** a depender do desenvolvimento da vegetação | |

Fonte: adaptado de Fracassi (2017)

As biotécnicas tratam-se de intervenções de pequeno porte em trechos localizados dos rios. A partir do uso de materiais inertes como alvenaria, madeira “in natura” ou serrada, restos culturais, grandes pedras ou seixos rolados, arame, telas metálicas ou simplesmente a madeira, procuram motivar a resiliência dos sistemas fluviais para que as características hidromorfológicas sejam restabelecidas. Contribuem para a melhora da instabilidade do talude, a implantação e o crescimento da vegetação, reduzem o potencial de erosão e a velocidade das águas sobre as margens (DELLAJUSTINA *et al.* 2019). A Fig. 5 ilustra exemplos de materiais inertes que podem compor as biotécnicas:

Figura 5 – Soluções de biotécnicas com o uso de materiais inertes



(a) escoras de madeira; (b) fibra de coco; (c) seixo rolado e malha de arame.

Fonte: Autora (2019)

Os Pontos 2, 3 e 4 visitados são caracterizados por uma vasta área de planície de inundação, formações alagadas, originalmente denominadas por brejos. Muitas dessas áreas foram drenadas para darem espaço a produção de gado. São terras de uso de propriedade privada, constituídas por gramíneas (capins), e pela construção e manutenção de diques devido a dragagem constante do rio Macaé. As soluções para estes trechos devem ser estudadas levando em consideração os seguintes aspectos:

- reconexão da calha principal do rio com a sua margem de cheia (MIGUEZ *et al.*, 2015);
- uso de troncos, resíduos da construção, como obstáculos e elementos de proteção contra processos de erosão, e replantio de vegetação ribeirinha sobre as margens de cheia. Estas são alternativas que podem aumentar o coeficiente de rugosidade das superfícies (DAIGNEAULT *et al.*, 2016; MIROSLAW-SWIATEK; AMATYA, 2017; MUHTAR; ABAYATI, 2016; CHOW, 1959).

O termo Bioengenharia, ou Engenharia Natural, é caracterizado pelo uso de matéria vegetal viva para compor técnicas construtivas e de estrutura na engenharia civil e fluvial. São técnicas ecológicas, sustentáveis e de aspecto socioeconômicos atrativos que têm se destacado, principalmente em países europeus, pelo seu uso nos processos de requalificação fluvial (JUSTINA *et al.*, 2019).

A relação discriminada nos Quadros 2, 3 e 4 apresentam as espécies de vegetação nativa do bioma de Mata Atlântica encontradas na região de Macaé. Foi gerada a partir de informações obtidas com os informantes-chave 3, 4 e 5 do corpo técnico da SEMA do município de Macaé.

O Quadro 2 tratam-se de espécies de vegetação nativa indicadas para áreas ribeirinhas e alagáveis junto aos rios (G1).

Quadro 2 – Relação de espécies de vegetação nativa indicadas para áreas ribeirinhas e alagáveis (G1)

| Nome Popular | Nome Científico | Altura | Diâmetro do Tronco | Referência Bibliográfica |
|-----------------|---------------------------------|--------|--------------------|--------------------------|
| Maricá | <i>Mimosa bimucronata</i> | 4-8m | 20-30cm | (LORENZI, 2002a) |
| Ingá | <i>Ingá vera</i> | 5-10m | 20-30cm | (LORENZI, 2002b) |
| Embaúba | <i>Cecropia pachystachya</i> | 4-7m | 15-25cm | (LORENZI, 2002b) |
| Figueira branca | <i>Ficus insipida</i> | 10-20m | 45-70cm | (LORENZI, 2002b) |
| Goiabeira | <i>Psidium guajava</i> | 3-6m | 20-30cm | (LORENZI, 2002b) |
| Mulungu | <i>Erythrina speciosa</i> | 3-5m | 15-25cm | (LORENZI, 2002b) |
| Pindaíba | <i>Xilopia brasiliensis</i> | 10-30m | 30-60cm | (LORENZI, 2002b) |
| Pau-tamanco | <i>Tabebuia cassinoides</i> | 6-12m | 30-40cm | (LORENZI, 2002b) |
| Açoita-cavalo | <i>Luehea divancala</i> | 15-25m | 50-60cm | (LORENZI, 2002b) |
| Bico-de-pato | <i>Machaerium aculeatum</i> | 6-12m | 40-50cm | (LORENZI, 2002b) |
| Guanandi | <i>Calophyllum brasiliensis</i> | 20-30m | 40-60cm | (LORENZI, 2002b) |
| Genipapo | <i>Genipa americana</i> | 8-14m | 40-60cm | (LORENZI, 2002b) |
| Jabuticabeira | <i>Myrciaria cauliflora</i> | 10-15m | 30-40cm | (LORENZI, 2002b) |

Fonte: Autora (2019)

O Quadro 3 tratam-se de espécies de vegetação nativa indicadas para áreas de recuperação/reflorestamento de áreas degradadas (G2):

Quadro 3 – Relação de espécies de vegetação nativa indicadas para áreas de recuperação/reflorestamento de áreas degradadas (G2)

| Nome Popular | Nome Científico | Altura | Diâmetro do Tronco | Referência Bibliográfica |
|--------------|-----------------------------------|--------|--------------------|--------------------------|
| Ipê de brejo | <i>Tabebuia umbellata</i> | 10-15m | 40-50cm | (LORENZI, 2002b) |
| Marinheiro | <i>Guarea guidona</i> | 15-20m | 40-60cm | (LORENZI, 2002b) |
| Ipê-amarelo | <i>Handroanthus chrysotrichus</i> | 4-10m | 30-40cm | (LORENZI, 2002b) |
| Ipê-roxo | <i>Tabebuia impetiginosa</i> | 8-12m | 60-90cm | (LORENZI, 2002b) |
| Canafistula | <i>Peltophocum dubium</i> | 15-25m | 50-70cm | (LORENZI, 2002b) |
| Ipê-verde | <i>Cybistax antisyphilitica</i> | 6-12m | 30-40cm | (LORENZI, 2002b) |

Fonte: Autora (2019)

O Quadro 4 tratam-se de espécies de vegetação nativa indicadas para plantio em geral (G3):

Quadro 4 – Relação de espécies de vegetação nativa indicadas para plantio em geral (G3)

| Nome Popular | Nome Científico | Altura | Diâmetro do Tronco | Referência Bibliográfica |
|-----------------------|----------------------------------|--------|--------------------|--------------------------|
| Quaresmeira | <i>Tibouchina granulosa</i> | 8-12m | 30-40cm | (LORENZI, 2002b) |
| Pau jacaré | <i>Piptadeniaa gonoacantha</i> | 10-20m | 30-40cm | (LORENZI, 2002b) |
| Leiteira/pau de leite | <i>Sapium glandulatum</i> | 5-20m | 30-50cm | (LORENZI, 2002b) |
| Aroeira | <i>Schinus tereb6enthifolias</i> | 5-10m | 30-60cm | (LORENZI, 2002b) |
| Tapiá mirim, caixeta | <i>Alchornea triplinervia</i> | 15-30m | 40-100cm | (LORENZI, 2002b) |
| Aldrigo | <i>Pterocarpus violaceus</i> | 8-14m | 30-50cm | (LORENZI, 2002b) |

Fonte: Autora (2019)

A Fig. 6 ilustra uma espécie de vegetação nativa constituinte de cada grupo (G1, G2 e G3) apresentado nos quadros 2, 3 e 4 respectivamente:

Figura 6 – Espécies de vegetação nativa da região de Mata Atlântica



(a) Grupo 1: Maricá; (b) Grupo 2: Ipê amarelo; (c) Grupo 3: Aroeira.

Fonte: Autora (2019)

4.2. Dados físicos para elaboração do projeto preliminar

O leito do rio Macaé no seu baixo curso caracteriza-se por um leito aluvial situado em uma ampla planície aluvial (MARÇAL, 2013). Segundo Tavares *et al.* (2017) e Amaral (2003), a forma e o tipo de superfície do leito no trecho retificado do rio caracterizam um coeficiente de rugosidade na ordem de 0,03. As margens de cheia revestidas por pastagem, visualizadas durante o levantamento de campo, caracterizam um coeficiente de rugosidade na ordem de 0,03 (FRACASSI, 2017; CHOW, 1959; ARCEMENT; SCHNEIDER, 1989).

Segundo levantamentos de Amaral (2003), o rio Macaé no trecho a montante da confluência com o afluente rio São Pedro próximo a ponte sobre a Rodovia BR-101, apresenta velocidade média de 0,60 m/s e a elevação do nível d'água de 3,30 metros em período de cheia, enquanto que no período de estiagem a velocidade média é de 0,17m/s e a elevação do nível d'água de 2,70 metros; que a influência da maré não ultrapassa o encontro com o rio São Pedro; que a largura do rio Macaé corresponde as faixas de 40 à 50m e que a profundidade média na parte fluvial corresponde a 2m. A Tab. 3 apresenta os dados obtidos por meio de levantamento topobatimétrico realizado em dezembro 2001 com o auxílio de molinetes HEL79817 e relatados por Amaral (2003):

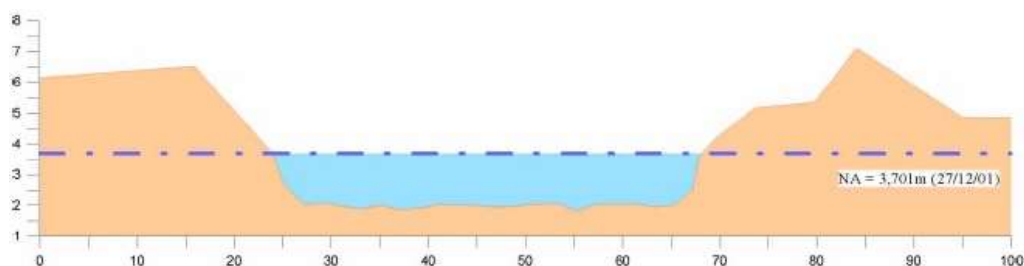
Tabela 3 - Dados físicos do rio Macaé

| rio | Vazão (m ³ /s) | Área total | Largura total (m) | Velocidade média (m/s) | Profundidade média (m) |
|-------|---------------------------|------------|-------------------|------------------------|------------------------|
| Macaé | 45,4 | 59,3 | 43,5 | 0,765 | 1,36 |

Fonte: Amaral (2003)

A faixa caracterizada pela existência de diques/pôlderes de terra corresponde a largura variando entre 12 a 17 metros e altura do talude variando entre 2,50 a 3,30 metros. O perfil morfológico levantado por Marçal (2013) é coerente com o perfil topográfico apresentado por Amaral (2003). A Fig. 7 ilustra o perfil topográfico do rio Macaé com localização próxima a ponte sobre a Rodovia BR-101:

Figura 7 – Perfil topográfico do rio Macaé



Fonte: Amaral (2003)

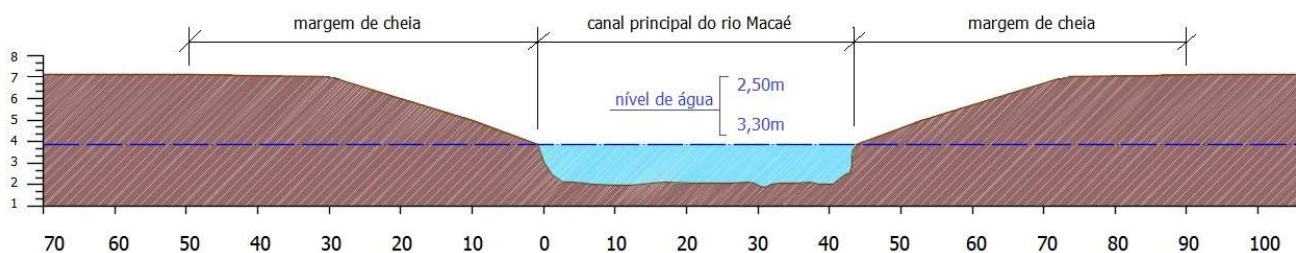
4.3. Estudo de caso para o rio Macaé

A área pretendida para o desenvolvimento da proposta de requalificação fluvial foi o trecho com início na ponte das Neves na Rodovia RJ-168, ponto 2 do levantamento de campo, cuja as coordenadas geográficas iniciais levantadas correspondem a 22° 19' 39" S / 41° 58' 57" W.

O trecho sujeito a intervenção apresentará um comprimento de 4,5 km no sentido à jusante do fluxo da corrente, cuja as coordenadas geográficas finais obtidas a partir da imagem de satélite de 7.02.2018 do software Google Earth Pro correspondem a 22° 18' 01,60" S / 41° 56' 59,80" W.

Com base na legislação vigente, Código Florestal Lei Federal nº 12727/2012, o projeto piloto propõe a alteração na topografia local priorizando: o uso da planície na sua função original (DELLAJUSTINA *et al.*, 2019); o aproveitamento do relevo local e da morfologia do canal para suavizar a inclinação do talude das margens, altura de 3,30 metros (GRIBBIN, 2017; CHADWICK *et al.*, 2017). A Fig. 8 ilustra a seção transversal proposta nesta análise preliminar:

Figura 8 – Perfil transversal pós-intervenção



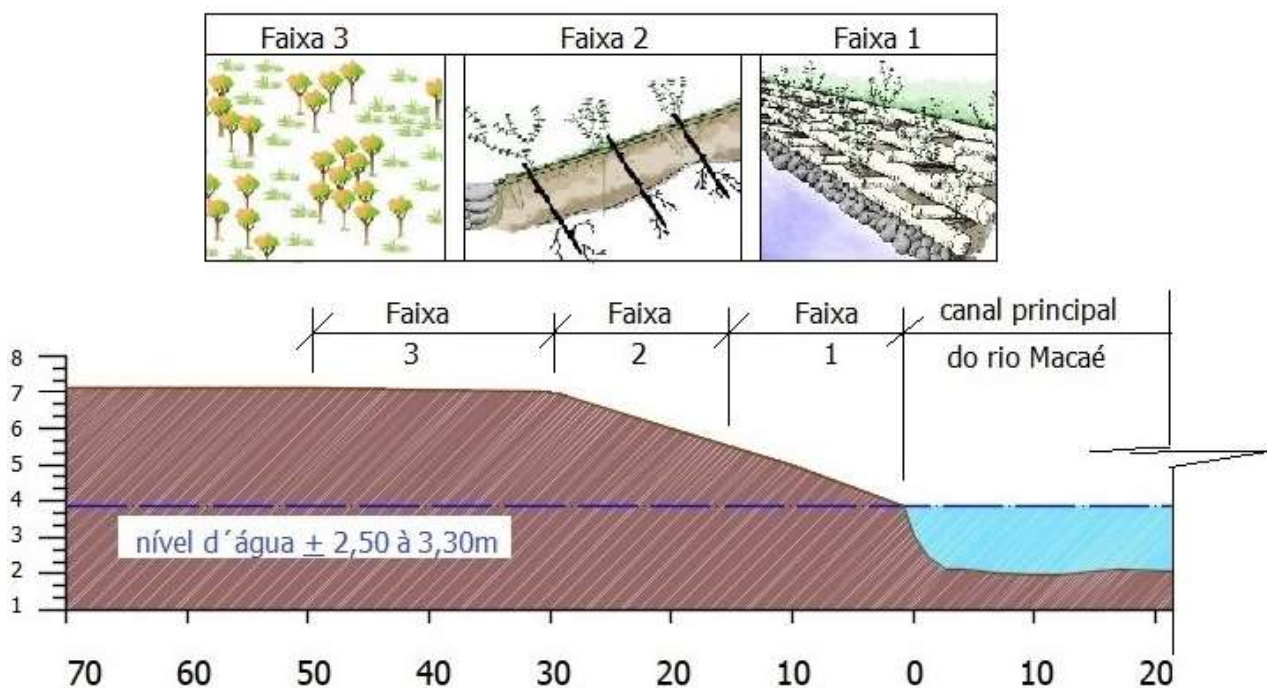
Fonte: Autora (2019)

Considerando-se a velocidade média de 0,765 m/s (AMARAL, 2003) do rio Macaé para o trecho retificado e as soluções recomendadas (FRACASSI, 2017), verifica-se que o uso das geomantas é indicado para a região de estudo, de modo à: estabilizar o solo das margens, quando geotecnicamente estáveis; a proteger e controlar o solo dos efeitos da erosão causados pela ação da corrente e da ação das intempéries; e propiciar um ambiente favorável a germinação e crescimento de novas plantas.

Entre as SBN, os tapetes de fibras de coco ou biomantas podem ser indicadas. Para a proteção permanente do solo, destacam-se as geomantas de fibras sintéticas e as do tipo reforçadas. Uma outra opção seria as mantas pré-vegetadas que são constituídas de material plástico para o reforço da grama ou esteiras de fibra de coco que já possuem vegetação semeada antes da instalação (FRACASSI, 2017).

No intuito de aumentar o coeficiente de rugosidade nas margens de cheia, o projeto piloto foi estruturado em ambas as margens de acordo com a Fig. 9 e a caracterização do Quadro 5 a seguir:

Figura 9 - Detalhamento da proposta de intervenção



Fonte: autora (2019)

Quadro 5 – Caracterização das faixas do projeto preliminar de intervenção

| Solução | Descrição | (n) | (n) total pretendido |
|-------------------------|---|-------------|--|
| FAIXA TOTAL - 50 METROS | | | |
| Biotécnicas | Serrapilheira | $\geq 0,04$ | verificar o (n) em cada uma das faixas |
| Bioengenharia | Verificar cada uma das faixas em particular | | |
| FAIXA 1 – 15 METROS | | | |
| Biotécnicas | Escoras de madeira e Geomanta | $\geq 0,04$ | 0,15 |
| Bioengenharia | Feixes vivos - Espécies do G1 do Quadro 2 | $\geq 0,07$ | |
| FAIXA 2 – 15 METROS | | | |
| Biotécnicas | Escoras de madeira | $\geq 0,04$ | 0,15 |
| Bioengenharia | Cordões de ramos vivos - Espécies do G2 do Quadro 2 | $\geq 0,07$ | |
| FAIXA 3 – 20 METROS | | | |
| Bioengenharia | Espécies do G3 do Quadro 2 e Pastagem | $\geq 0,07$ | 0,10 |

Fonte: Autora (2019)

A serrapilheira é uma camada superficial de solo formada por deposição de restos de vegetais, plantas mortas e acúmulo de material orgânico vivo em diferentes níveis do processo de decomposição.

A indicação da transposição desse material se faz quando uma área de vegetação nativa foi suprimida. Reutilizar este material contribui para: o aumento da velocidade e da capacidade de armazenamento de água no solo; reduz a velocidade de escoamento superficial; e protege o solo dos efeitos de erosão causados pela ação das intempéries (DURLO; SUTILI, 2014).

As espécies de vegetação utilizadas para compor as faixas de intervenção (Fig. 9 e Quadro 5) deverão apresentar o espaçamento máximo de (3x2) m entre uma muda e outra, e altura média inferior a dois metros em atendimento a Resolução nº143/2017 do INEA. A Tab. 4 ilustra os espaçamentos adotados neste trabalho para o plantio das mudas:

Tabela 4 – Espaçamento entre as mudas

| Faixas | Espaçamento entre mudas |
|--------|-------------------------|
| 1 | (1,5 x 1,5) m |
| 2 | (2,0 x 2,0) m |
| 3 | (3,0 x 2,0) m |

Fonte: Autora (2019)

4.4. Estimativa de custo para a execução do projeto piloto

A estimativa de custo para a execução do projeto piloto resultou na ordem de R\$ 22.803.077,12 (R\$ 2.533.675,236 por quilômetro de margem de rio), equivalentes a US\$ 5.429.562,627 (US\$ 603.284,736 por quilômetro de margem de rio). Os valores foram estimados para o período de maio de 2019, com prazo de execução de obra proposto para 10 meses, e participação de 216 profissionais.

Para um melhor aproveitamento dos recursos e do cronograma físico da obra, alguns serviços foram previstos ocorrendo simultâneos a outros, como o caso do serviço de escavação com o serviço de transporte de serrapilheira e o serviço de espalhamento de material; o outro caso, o serviço de proteção de margem com o serviço de instalação da biomanta vegetal e o serviço de plantio das mudas.

As escoras de madeira indicadas para as soluções de biotécnicas, nas faixas 1 e 2 da proposta de intervenção, poderão ser reaproveitadas do resíduo da indústria da construção civil, se constituídas de material de origem bruta. A redução da estimativa neste item poderá ser viabilizada a partir do incentivo e disponibilidade por parte das construtoras e empresas de aterro de materiais da construção civil da região. Da mesma forma ocorre para o serviço de transporte de material de serrapilheira. O aproveitamento do material é indicado e poderá ser viabilizado por empresa privada nos casos de supressão de vegetação nativa para as áreas de investimento. O custo de transporte considerado na presente estimativa poderá ser repassado para empresa privada.

5. CONCLUSÃO

A presente proposta de intervenção construtiva visou a requalificação fluvial no trecho retificado do rio Macaé. A solução piloto foi analisada para a região da ponte das Neves, no ponto em que o rio Macaé atravessa sob a Rodovia Estadual RJ-168. Buscou-se nas soluções baseadas na natureza (SBN), estratégias para compor o projeto preliminar.

Por uma extensão de 4500m, a fim de aumentar o coeficiente de rugosidade para a redução de inundações, propõem-se a criação da margem de cheia para a planície de inundação, atualmente separada do canal principal, dada a existência de diques/pôlderes de terra resultantes das atividades de dragagem pós obras de retificação. Propõem-se ainda para a composição da margem de cheia, o uso combinado das biotécnicas (serrapilheira, biomanta vegetal e escoras de madeira) e da bioengenharia (vegetação de espécie nativa de Mata Atlântica com famílias e portes variados) até pelo menos uma extensão de 50 metros além da calha principal do rio. A faixa de intervenção de 50 metros, caracteriza as áreas de preservação permanente (APP) conforme legislação vigente, pertinente ao presente estudo de caso.

O estudo verificou que a solução indicada, uso combinado das biotécnicas e da bioengenharia, reproduz um coeficiente de rugosidade de no mínimo 0,15 após obras finalizadas e com a vegetação estabilizada ao local. O custo estimado para essa intervenção é na ordem de R\$ 22.803.077,12 (US\$ 5.429.562,627), equivalentes a R\$ 2.533.675,236 (US\$ 603.284,736) por quilômetro de margem de rio. Os valores foram estimados com base no período maio de 2019 para um prazo de execução de obra de 10 meses.

As atividades desenvolvidas neste estudo, entre elas, levantamento de campo e consultas entre profissionais de outras áreas além da engenharia ambiental, possibilitaram uma visão mais holística para a região estudada. Novos estudos de caracterização física da região deverão ser levantados e avaliados na continuação dessa proposta preliminar, de modo a viabilizá-la para que se torne um projeto executivo.

As espécies de Engenharia Natural indicadas neste trabalho são alternativas possíveis para se compor as biotécnicas do projeto de intervenção. As legislações vigentes, entre elas a Resolução 143/2017 do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) que institui o Sistema Estadual de Monitoramento e Avaliação da Restauração Florestal (SEMAR) deverá ser consultada na etapa de elaboração de projeto executivo.

O projeto preliminar previu uma área de intervenção por uma extensão de 4500 metros, no entanto, experimentos por extensões menores, a cada 500 metros, são recomendados e válidos para a avaliação do uso das SBN, no controle de erosões e para a redução das inundações, assim como, o

acompanhamento do desenvolvimento das espécies vegetativas após o plantio das mesmas. Dada a riqueza de espécies nativas da região de Mata Atlântica vários experimentos poderão ser realizados com diferentes combinações de espécies.

As soluções de aspecto mais próximo ao estado natural apontadas neste trabalho, acabam apresentando menores custos de implantação e manutenção, mas que devem ser verificados em trabalhos futuros por meio do auxílio de modelagem computacional.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, K. J. do. **Estuário do rio Macaé: Modelagem computacional como ferramenta para o gerenciamento integrado de recursos hídricos**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), Rio de Janeiro 2003. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/pt/documents2/mestrado/2003-1/1840-karen-juliana-do-amaral-Mestrado/file>. Acesso em: 15 jun. 2019.

ARCEMENT, G. J.; SCHNEIDER, V. R. **Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains**. [S. l.]: Department the Interior, 1989.

BRASIL. Lei nº 12.727. Institui o Novo Código Florestal e dá outras providências. Brasília, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm. Acesso em: 20 jun. 2019.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Estudo sobre taxas referenciais de BDI de Obras Públicas e de equipamentos e materiais relevantes**. 2013.

BRASIL, Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Ministério da Saúde. Desastres naturais e saúde: análise do cenário de eventos hidrológicos no Brasil e seus potenciais impactos sobre o sistema de saúde. **Boletim Epidemiológico**, v. 49, n. 10, mar. 2018. Disponível em: <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/22/2017-032-Publicacao.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2019.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI**. 2019. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 01 jul. 2019.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2. ed. 2014.

CHADWICK, A.; MORFETT, J.; BORTHWICK, M. **Hidráulica para engenharia civil e ambiental**. Tradução de Tibério Júlio Couto Novais. Revisão técnica William Bonino Rauen. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

CHOW, V. T. **Open Channel Hydraulics**. Tóquio: McGraw-Hill, 1959.

DAIGNEAULT, A.; BROWN, P.; GAWITH, D. Dredging versus hedging: comparing hard infrastructure to ecosystem-based adaptation to flooding. **Ecological e economics**, [s. l.], n. 122, p. 25-35, 2016.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. **Bioengenharia – Manejo biotécnico de cursos de água**. 3. ed. Santa Maria: Edição do Autor, 2014.

ECP. European Commission Decision. **EN Horizon 2020 - Work Programme 2018-2020** – 12. Climate action, environment, resource efficiency and raw materials. [S. l.]. 2018.

FRACASSI, G. **Proteção de rios com soluções Maccaferri**. São Paulo: Oficina de textos, 2017.

FREITAS, L. E. de; NUNES, F. S. B.; CRUZ, J. C. H. O.; VILELA, C.; MENDES, S.; SILVA, A. C. da; BORGES, G. **Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé**. Rio de Janeiro: Editora Nova Tríade do Brasil Ltda., 2015. Disponível em: <http://www.macaee.rj.gov.br/midia/conteudo/arquivos/1460067952.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2019.

GRIBBIN, J. E. **Introdução a Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. Tradução Andrea Pisan Soares Aguiar. Revisor Técnico Marcelo Libânio. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017.

DELLAJUSTINA, C. R. V.; LUGON JR., J.; FERREIRA, M. I. P.; RODRIGUES, P. P. G. W. Técnicas mitigadoras para reduzir frequência e intensidade de inundações. *In*: CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL, 6., 2019, Juiz de fora. **Anais do VI Congresso de Engenharia Civil em Engenharia e Sustentabilidade: caminhos para o futuro**. Juiz de Fora: UFJF, 2019. p. 1756-1766. Disponível em: <http://www.ufjf.br/congressodeengenharia/anais-vi-conenge-2019>. Acesso em: 31 maio 2019.

KESSTRA, S.; NUNES, J.; NOVARA, A.; FINGER, D.; David A.; KALANTARI, Z.; CERDÀ, A. The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services.

Science of the Total Environment, [s. l.], n. 610/611, p. 997-1009, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.077>.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4. ed. v. 1. Nova Odessa/SP: Editora Plantanuns, 2002a.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2. ed. v. 2. Nova Odessa/SP: Editora Plantanuns, 2002b.

MARÇAL, M. dos S. ANÁLISE DAS MUDANÇAS MORFOLÓGICAS EM SEÇÕES TRANSVERSAIS AO RIO MACAÉ/RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 59-68, jan/mar. 2013.

MARÇAL, M. dos S.; BRIERLEY, G.; LIMA, R. Using geomorphic understanding of catchment-scale process relationships to support the management of river futures: Macaé Basin, Brazil. **Applied Geography**, [s. l.], n. 84, p. 23-41, 2017.

MIGUEZ, M. G.; GREGORIO, L. T. di; VERÓL, A. P. **Gestão de Riscos e Desastres Hidrológicos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; SOUSA, M. M. de; REZENDE, O. M. Urban Floods in Lowlands—Levee Systems, Unplanned Urban Growth and River Restoration Alternative: A Case Study in Brazil. **Sustainability**, [s. l.], n. 7, p. 11068-11097, 2015.

MIROSLAW-SWIATEK, D.; AMATYA, D. M. Effects of cypress knee roughness on flow resistance and discharge estimates of the Turkey Creek watershed. **Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW**, [s. l.], n. 49, p. 179-199, 2017.

MUHTAR, B.; ABAYATI, M. A. Determination Of Chezy's And Mannings Coefficient For Different Aggregate Bed Using Different Notches In Hydraulic Bench. **International Journal of Scientific & Technology Research**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 167–175, 2016.

NESSHÖVER, C.; ASSMUTH, T.; IRVINE, K. N.; RUSCH, G. M.; WAYLEN, K. A.; DELBAERE, B.; HAASE, D.; JONES-WALTERS, L.; KEUNE, H.; KOVACS, E.; KRAUZE, K.; KÜLVIK, M.; REY, F.; DIJK, J.; VISTAD, O. I.; WILKINSON, M. E.; WITTMER, H. The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. **Science of the Total Environment**, [s. l.], n. 579, p. 1215–1227, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106>.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. Secretaria Municipal de Obras. **SCO-RJ**. 2019. Disponível em: <http://www2.rio.rj.gov.br/sco/>. Acesso em: 01 jul. 2019.

RAYMOND, C. M.; FRANTZESKAKI, N.; KABISCH, N.; BERRY, P.; BREIL, M.; NITA, M. R.; GENELETTI, D.; CALFAPIETRA, C. A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. **Environmental Science and Policy**, [s. l.], n. 77, p. 15–24, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.008>.

RAUCH, H. P.; SUTILI, F.; HÖRBINGER, S. Installation of a Riparian Forest by Means of Soil BioEngineering Techniques — Monitoring Results from a River Restoration Work in Southern Brazil. **Open Journal of Forestry**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 161–169, 2014.

RIO DE JANEIRO. Secretaria Estadual do Ambiente. Instituto Estadual do Ambiente. **Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras - Relatório de Elaboração do Plano de Recursos Hídricos (RPRH)**, versão atualizada. [S.l.]: Consórcio Macaé/Ostras, fev. 2014a. Disponível em: <http://cbhmacae.eco.br/site/wp-content/uploads/2018/12/EG0143-R-PRH-RPRH-01-02.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2019.

RIO DE JANEIRO. Secretaria Estadual do Ambiente. Instituto Estadual do Ambiente. **Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras - Relatório Síntese e Diagnóstico Integrado (RS)**, versão final. [S.l.]: Consórcio Macaé/Ostras, fev. 2014b. Disponível em: <http://cbhmacae.eco.br/site/index.php/plano-de-bacia/>. Acesso em: 08 set. 2019.

RIO DE JANEIRO. Secretaria Estadual do Ambiente. Instituto Estadual do Ambiente. **Resolução INEA nº 143 de 14 de junho de 2017**. Institui o Sistema Estadual de Monitoramento e Avaliação da Restauração Florestal (SEMAR) e estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre elaboração, execução e monitoramento de projetos de restauração florestal no estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Secretaria Estadual do Ambiente, 2017. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/BIODIVERSIDADEEAREASPROTEGIDAS/ServicoFlorestal/ProjetoDeRestauracaoFlorestal/index.htm&lang=PT-BR#ad-image-0>. Acesso em: 10 jul. 2019.

TAVARES, L. P. da S.; LUGON JR., J.; SILVA, J. A. F. da; WASSERMAN, J. C. A.; RODRIGUES, P. P. G. W. WATER MANAGEMENT AND URBAN FLOOD MITIGATION: STUDIES AND PROPOSALS FOR THE MACAÉ RIVER BASIN IN BRAZIL. **Journal of Urban and Environmental Engineering (JUEE)**, [s. l.], v. 12, n. 8, p. 188-200, 2018.

TAVARES, L. P. da S.; COSTA, J. B. da; KALAS, F. de A.; LUGON JR., J. Modelagem hidrológica

da bacia hidrográfica do Rio Macaé utilizando o MOHID Land. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, Campos dos Goytacazes, v. 11, n. 1, p. 169-181, jan./jun. 2017. Disponível em: <http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/9916/7596>. Acesso em: 16 jul. 2018.

UNESCO. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **The United Nations World Water Development Report 2018** – Nature-based solution for waternature. França: UNESCO, 2018. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/>. Acesso em: 07 out. 2018.

UN. United Nations. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. 2015. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>. Acesso em: 07 out.2018.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA DISSERTAÇÃO

- ASSUMPÇÃO, A. P.; MARÇAL, M. S. Retificação dos canais fluviais e mudanças geomorfológicas na planície do Rio Macaé (RJ). **Revista de Geografia (UFPE)**, [s. l.], v. 29, n. 3, p. 19-36, 2012.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2. ed. 2014.
- CHADWICK, A.; MORFETT, J.; BORTHWICK, M. **Hidráulica para engenharia civil e ambiental**. Tradução de Tibério Júlio Couto Novais. Revisão técnica William Bonino Rauhen. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- COHEN-SHACHAM, E.; WALTERS, G.; JANZEN, C.; MAGINNIS, S. **Nature-based Solutions to address global societal challenges**. Gland (Switzerland): IUCN, 2016. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>.
- ECD. European Commission Decision. **EN Horizon 2020 - Work Programme 2018-2020 – Climate action, environment, resource efficiency and raw materials**. [S. l.]: European Commission, 2018.
- FREITAS, L. E. de; NUNES, F. S. B.; CRUZ, J. C. H. O.; VILELA, C.; MENDES, S.; SILVA, A. C. da; BORGES, G. **Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé**. Rio de Janeiro: Editora Nova Tríade do Brasil Ltda., 2015. Disponível em: <http://www.macaee.rj.gov.br/midia/conteudo/arquivos/1460067952.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2019.
- MARÇAL, M.; BRIERLEY, G.; LIMA, R. Using geomorphic understanding of catchment-scale process relationships to support the management of river futures: Macaé Basin, Brazil. **Applied Geography**, [s. l.], n. 84, p. 23-41, 2017.
- MIGUEZ, M. G.; GREGORIO, L. T. di; VERÓL, A. P. **Gestão de Riscos e Desastres Hidrológicos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.
- MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.
- NESSHÖVER, C.; ASSMUTH, T.; IRVINE, K. N.; RUSCH, G. M.; WAYLEN, K. A.; DELBAERE, B.; HAASE, D.; JONES-WALTERS, L.; KEUNE, H.; KOVACS, E.; KRAUZE, K.; KÜLVIK, M.; REY, F.; DIJK, J.; VISTAD, O. I.; WILKINSON, M. E.; WITTMER, H. The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. **Science of the Total Environment**, [s. l.], n. 579, p. 1215–1227, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106>.

SANTOS, R. Gestão de desastres e política de assistência social. **R. Katál**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 32-40, jan./jun. 2012.

RIO DE JANEIRO. Secretaria Estadual do Ambiente. Instituto Estadual do Ambiente. **Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras - Relatório de Elaboração do Plano de Recursos Hídricos (RPRH)**, versão atualizada. [S.l.]: Consórcio Macaé/Ostras, fev. 2014a. Disponível em: <http://cbhmaeae.eco.br/site/wp-content/uploads/2018/12/EG0143-R-PRH-RPRH-01-02.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2019.

TAVARES, L. P. da S. **Estudo de Propostas de Mitigação de Cheias como Subsídio ao Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica VIII**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Fluminense, Macaé, 2017.

UNESCO. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **The United Nations World Water Development Report 2018 – Nature-based solution for waternature**. França: UNESCO, 2018. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/>. Acesso em: 07 out. 2018.

APÊNDICE A – Demonstrativos de formação de preço (DFP)

| | | | | | |
|------------------------|---|---------|--------------------------|-------------------------------------|------------------|
| Item: 1 | | | | | |
| Serviço: | Mobilização | | | | unidade |
| Fonte: adaptado SCO-RJ | | | Referência: TC09.05.0650 | | verba |
| | | | | | 1 |
| A | Mão de Obra | unidade | índice | preço unitário | total |
| 1 | Servente | h | 15,18 | 12,26 | 186,11 |
| 2 | Engenheiro Civil Pleno | h | 15,18 | 88,23 | 1.339,33 |
| 3 | Encarregado de Obras | h | 15,18 | 28,27 | 429,14 |
| 4 | Técnico de Segurança | h | 15,18 | 30,24 | 459,04 |
| | | | | soma | 2.413,62 |
| | | | | encargos sociais | |
| | | | | horista | 116,09% 2.801,97 |
| | | | | mensalista | 72,55% |
| | | | | encargos compl. | 28,00% 675,81 |
| | | | | Total de mão-de-obra (R\$) | 5.891,41 |
| B | Materiais | unidade | índice | preço unitário | total |
| | | | | | |
| | | | | Total dos materiais (R\$) | |
| C | Equipamentos/Ferramental | unidade | índice | preço unitário | total |
| 1 | Caminhão com carroceria fixa, capacidade de 7,5t com motorista. Custo produtivo. | h | 0,0414 | 107,83 | 4,46 |
| 2 | Caminhão com carroceria fixa, capacidade de 7,5t com motorista. Custo improdutivo. Motor funcionando. | h | 7,935 | 51,37 | 407,62 |
| 3 | Guindauto sobre chassis, capacidade de 3,5t. Custo produtivo. | h | 7,935 | 38,30 | 303,91 |
| 4 | Guindauto sobre chassis, capacidade de 3,5t. Custo improdutivo. Motor desligado. | h | 0,0414 | 34,12 | 1,41 |
| | | | | Total dos Equipamentos (R\$) | 717,41 |
| D | Total dos Custos Diretos (A+B+C) | | | R\$ | 6.608,81 |
| E | Taxas do BDI | | | | |
| | | 27,48% | SOMA(A+B+C) | (R\$) | 1.816,10 |
| | TOTAL GERAL D+E (preço de venda) | | | (R\$) | 8.424,92 |

Observação: a carga considerada para o levantamento dos containers corresponde a 2,3t por unidade.

Item: 2

Serviço: Desmobilização

Fonte: adaptado SCO-RJ

Referência: TC09.05.0650

unidade
verba
1

| A Mão de Obra | | unidade | índice | preço unitário | total |
|---|---|--------------------|--------|----------------|-----------------|
| 1 | Servente | h | 15,18 | 12,26 | 186,11 |
| 2 | Engenheiro Civil Pleno | h | 15,18 | 88,23 | 1.339,33 |
| 3 | Encarregado de Obras | h | 15,18 | 28,27 | 429,14 |
| 4 | Técnico de Segurança | h | 15,18 | 30,24 | 459,04 |
| soma | | | | | 2.413,62 |
| encargos sociais | | | | | |
| horista | | | | 116,09% | 2.801,97 |
| mensalista | | | | 72,55% | |
| encargos compl. | | | | 28,00% | 675,81 |
| Total de mão-de-obra (R\$) | | | | | 5.891,41 |
| B Materiais | | unidade | índice | preço unitário | total |
| Total dos materiais (R\$) | | | | | |
| C Equipamentos/Ferramental | | unidade | índice | preço unitário | total |
| 1 | Caminhão com carroceria fixa, capacidade de 7,5t com motorista. Custo produtivo. | h | 0,0414 | 107,83 | 4,48 |
| 2 | Caminhão com carroceria fixa, capacidade de 7,5t com motorista. Custo improdutivo. Motor funcionando. | h | 7,935 | 51,37 | 407,62 |
| 3 | Guindauto sobre chassis, capacidade de 3,5t. Custo produtivo. | h | 7,935 | 38,30 | 303,91 |
| 4 | Guindauto sobre chassis, capacidade de 3,5t. Custo improdutivo. Motor desligado. | h | 0,0414 | 34,12 | 1,41 |
| Total dos Equipamentos (R\$) | | | | | 717,41 |
| D Total dos Custos Diretos (A+B+C) | | | | R\$ | 6.608,81 |
| E Taxas do BDI | | 27,48% SOMA(A+B+C) | | (R\$) | 1.816,10 |
| TOTAL GERAL D+E (preço de venda) | | | | (R\$) | 8.424,92 |

Observação: a carga considerada para o levantamento dos containers corresponde a 2,3t por unidade.

Item: 3

Serviço:

Instalação do Canteiro de Obras

unidade

Fonte: adaptado SCO-RJ

Referência: AD19.15.0100 / AD19.15.0150 / AD19.15.0050

verba

1

| A Mão de Obra | | unidade | índice | preço unitário | total |
|---|--|--------------------|--------|-------------------------------------|------------------|
| 1 | Servente | h | 4 | 12,26 | 49,04 |
| 2 | Bombeiro Hidráulico | h | 4 | 16,92 | 67,68 |
| 3 | Eletricista | h | 4 | 16,92 | 67,68 |
| 4 | Técnico de segurança | h | 4 | 30,24 | 120,96 |
| | | | | soma | 305,36 |
| | | | | encargos sociais | |
| | | | | horista | 116,09% 354,49 |
| | | | | mensalista | 72,55% |
| | | | | encargos compl. | 28,00% 85,50 |
| | | | | Total de mão-de-obra (R\$) | 745,35 |
| B Materiais | | unidade | índice | preço unitário | total |
| 1 | Placa de obra (CC) em chapa galvanizada n °22 (2, m ² | | 3 | 360 | 1.080,00 |
| 2 | Fossa Séptica para 100 contribuintes. TIPO "IMHOFF", COM TAMPA, | | | | 3.863,25 |
| 3 | Container Vestiário/Depósito, modelo padrão, medindo (6x2,4x2,55)m, estrutura de aço, composto por piso de madeira, paredes com compensado naval, teto com isolamento térmico, 1 porta (0,80x2,10)m, 2 basculantes de (1,20x1,20), entrada para ar-condicionado, pontos de iluminação, elétrica e hidráulica. Carga, descarga e transporte ida e volta ao canteiro. | aluguel mensal | 10 | 300 | 3.000,00 |
| 4 | Container WC, modelo padrão, medindo (6x2,4x2,55)m, estrutura de aço, composto por piso de compensado naval revestido com plurigoma, paredes ao natural, teto com isolamento térmico, 1 porta (0,80x2,10)m, 2 basculantes de (1,20x1,20), com 5 ch, 3 vs, 1 mic e 3 lav, pontos de iluminação, elétrica e hidráulica. Carga, descarga e transporte ida e volta ao canteiro. | aluguel mensal | 10 | 500 | 5.000,00 |
| 4 | Container Vestiário/Escritório, modelo padrão, medindo (6x2,4x2,55)m, estrutura de aço, composto por piso de madeira corrida, paredes ao natural, teto com isolamento térmico, 1 porta (0,80x2,10)m, 2 basculantes de (1,20x1,20), WC c pia, vs e ch. Entrada para ar-condicionado. Pontos de iluminação, elétrica e hidráulica. Carga, descarga e transporte ida e volta ao canteiro. | aluguel mensal | 10 | 400 | 4.000,00 |
| | | | | Total dos materiais (R\$) | 16.943,25 |
| C Equipamentos/Ferramental | | unidade | índice | preço unitário | total |
| | | | | Total dos Equipamentos (R\$) | 0,00 |
| D Total dos Custos Diretos (A+B+C) | | | | R\$ | 17.688,60 |
| E Taxas do BDI | | 27,48% SOMA(A+B+C) | | (R\$) | 4.860,83 |
| TOTAL GERAL D+E (preço de venda) | | | | (R\$) | 22.549,43 |

Item: 4

Serviço: Administração local da obra

unidade

Fonte: adaptado da TCPO

Referência: EQ 44.10.0103

verba

1

| A | Mão de Obra | unidade | índice | preço unitário | total |
|---|-----------------------------------|---------|--------|----------------|-------------------|
| 1 | Encarregado de obras | mês | 10 | 4.946,30 | 49.463,00 |
| 2 | Engenheiro Civil Pleno | mês | 10 | 15.495,68 | 154.956,80 |
| 3 | Técnico de Edificações/Estradas | mês | 10 | 2.885,61 | 28.856,10 |
| 4 | Técnico de Segurança | mês | 10 | 5.313,84 | 53.138,40 |
| | | | | soma | 286.414,30 |
| | encargos sociais | | | | |
| | horista | | | 116,09% | |
| | mensalista | | | 72,55% | 207.793,57 |
| | encargos compl. | | | 28,00% | 80.196,00 |
| | Total de mão-de-obra (R\$) | | | | 574.403,88 |

| B | Materiais | unidade | índice | preço unitário | total | |
|---|---|---------|--------|----------------|-------|------------------|
| 1 | Limpeza de Fossa Séptica (1500l) | un/m | 4 | 10 | 400 | 16.000,00 |
| 2 | Abastecimento de Caminhão Pipa | unidade | 3 | 2 | 190 | 1.140,00 |
| 3 | Abastecimento de Caminhão Pipa | unidade | 20 | 3 | 190 | 11.400,00 |
| 4 | Abastecimento de Caminhão Pipa CAP 5M³ | unidade | 42 | 5 | 190 | 39.900,00 |
| | Total dos materiais (R\$) | | | | | 68.440,00 |

| C | Equipamentos/Ferramental | unidade | índice | preço unitário | total |
|---|-------------------------------------|---------|--------|----------------|------------------|
| 1 | Grupo Gerador 80,0 / 84 kva | h | 3000 | 23,76 | 71.280,00 |
| 2 | EPI SMS | cj | 216 | 120 | 25.920,00 |
| | Total dos Equipamentos (R\$) | | | | 97.200,00 |

Observação: para o abastecimento de caminhão pipa foram considerados dois momentos: o primeiro com menor contingente de profissionais trabalhando simultaneamente durante os dois primeiros meses (média de 11 trabalhadores), e outro com maior contingente de profissionais (média de 74 trabalhadores) trabalhando simultaneamente nos oito meses finais de obra. Foi considerado o consumo de 45litros de água por profissional por dia de trabalho.

Item: 5

Serviço: Escavação mecânica, em material de 1a categoria (areia, argila ou piçarra), utilizando Escavadeira Hidráulica de 0,78m³ unidade m³

Fonte: adaptado SCO-RJ

Referência: MT09.10.0050

351000

| A | Mão de Obra | unidade | índice | preço unitário | total |
|---|---|---------|--------|---|-------------------------------------|
| 1 | | | | | |
| | | | | | soma |
| | | | | | encargos sociais |
| | | | | | horista |
| | | | | | mensalista |
| | | | | | Total de mão-de-obra (R\$) |
| B | Materiais | unidade | índice | preço unitário | total |
| 1 | | | | | |
| | | | | | Total dos materiais (R\$) |
| C | Equipamentos/Ferramental | unidade | índice | preço unitário | total |
| 1 | Escavadeira hidráulica, sobre esteiras, com operador, material de operação e material de manutenção, com as seguintes especificações mínimas: motor de 130 HP, peso de operação de 19,70T, caçamba com capacidade de 1m ³ , alcance máximo de 9,85m e profundidade máxima de 6,60m. Custo horário produtivo. | h | 0,0156 | 153,4 | 2,39 |
| | | | | | Total dos Equipamentos (R\$) |
| | | | | | 2,39 |
| D | Total dos Custos Diretos (A+B+C) | | | R\$ | 2,39 |
| E | Taxas do BDI | | | | |
| | | | | 27,48% SOMA(A+B+C) | (R\$) 0,66 |
| | | | | TOTAL GERAL D+E (preço de venda) | (R\$) 3,05 |

Item: 6

Serviço: Transporte de serrapilheira em caçamba de aço com 5m³ de capacidade, inclusive carregamento do container, transporte e descarga, exclusive tarifa de disposição final. (desonerado) unidade m³

Fonte: adaptado SCO-RJ

Referência: TC04.15.0100

67500

| A | Mão de Obra | unidade | índice | preço unitário | total |
|---|--|---------|-------------|-------------------------------------|--------------|
| 1 | Servente | h | 0,8 | 12,26 | 9,81 |
| | | | | soma | 9,81 |
| | | | | encargos sociais | |
| | | | | horista | 116,09% |
| | | | | mensalista | 72,55% |
| | | | | encargos compl. | 28,00% |
| | | | | Total de mão-de-obra (R\$) | 23,94 |
| B | Materiais | unidade | índice | preço unitário | total |
| 1 | | | | | |
| | | | | Total dos materiais (R\$) | |
| C | Equipamentos/Ferramental | unidade | índice | preço unitário | total |
| 1 | Caçamba de aço com 5m ³ , para re | unidade | 0,2 | 240 | 48,00 |
| | | | | Total dos Equipamentos (R\$) | 48,00 |
| D | Total dos Custos Diretos (A+B+C) | | | R\$ | 71,94 |
| E | Taxas do BDI | | | | |
| | | 27,48% | SOMA(A+B+C) | (R\$) | 19,77 |
| | TOTAL GERAL D+E (preço de venda) | | | (R\$) | 91,71 |

Item: 7

Serviço: Espalhamento de material 1a categoria com motoniveladora, inclusive o fornecimento de material unidade
m²

Fonte: adaptado SCO-RJ Referência: MT19.05.0050

418500

| A | Mão de Obra | unidade | índice | preço unitário | total |
|---|-------------|---------|--------|----------------|-------|
|---|-------------|---------|--------|----------------|-------|

1

soma

encargos sociais

horista

mensalista

Total de mão-de-obra (R\$)

| B | Materiais | unidade | índice | preço unitário | total |
|---|-----------|---------|--------|----------------|-------|
|---|-----------|---------|--------|----------------|-------|

1

Total dos materiais (R\$)

| C | Equipamentos/Ferramental | unidade | índice | preço unitário | total |
|---|--------------------------|---------|--------|----------------|-------|
|---|--------------------------|---------|--------|----------------|-------|

1 Motoniveladora, com operador, material de operação e material de manutenção. Motor de 140HP, peso de operação de 12400kg, lamina de 3600mm de largura com deslocamento lateral de 600mm, alcance máximo fora dos pneus de 1700mm profundidade de corte de 700mm; cabine c parabrisa dianteiro, retrovisores externos e internos. Custo horário produtivo.

Total dos Equipamentos (R\$) 0,54

| D | Total dos Custos Diretos (A+B+C) | R\$ | 0,54 |
|---|----------------------------------|-----|------|
|---|----------------------------------|-----|------|

| E | Taxas do BDI | | |
|---|--------------|--|--|
|---|--------------|--|--|

27,48% SOMA(A+B+C) (R\$) 0,15

TOTAL GERAL D+E (preço de venda) (R\$) 0,69

Item: 8

Serviço: Instalação e fornecimento de biomanta vegetal

unidade
m²
135000

| A | Mão de Obra | unidade | índice | preço unitário | total |
|---|--|----------------|--------|---|--------------|
| 1 | | | | | |
| | | | | soma | |
| | | | | encargos sociais | |
| | | | | horista | |
| | | | | mensalista | |
| | | | | Total de mão-de-obra (R\$) | |
| B | Materiais | unidade | índice | preço unitário | total |
| 1 | Biomanta de fibra de coco com malha de polipropileno | m ² | 1 | 14,5 | 14,50 |
| | | | | Total dos materiais (R\$) | 14,50 |
| C | Equipamentos/Ferramental | unidade | índice | preço unitário | total |
| | | | | Total dos Equipamentos (R\$) | - |
| D | Total dos Custos Diretos (A+B+C) | | | R\$ | 14,50 |
| E | Taxas do BDI | | | (R\$) | 3,98 |
| | | | | 27,48% SOMA(A+B+C) | |
| | | | | TOTAL GERAL D+E (preço de venda) | 18,48 |

Observação: o preço médio por m² de biomanta vegetal colocada foi obtida a partir da consulta aos seguintes fornecedores:

- 1) <https://www.maccaferri.com/br/produtos/biomac/>
- 2) <http://deflor.com.br/>
- 3) <https://www.minasgramados.com.br/fabrica-de-biomatas/>

Item: 9

Serviço: Proteção de margem com biotécnica

unidade

Fonte: Durlo et al. (2014) e Preço dos insumos SINAPI

m

9000

| A | Mão de Obra | unidade | índice | preço unitário | total | |
|---|-------------------|---------|--------|-----------------------------------|---------------|--------|
| 1 | Técnico Florestal | h | 3 | 24,57 | 73,71 | |
| 2 | Servente | h | 3 | 12,26 | 36,78 | |
| | | | | soma | 110,49 | |
| | | | | encargos sociais | | |
| | | | | horista | 116,09% | 128,27 |
| | | | | mensalista | 72,55% | |
| | | | | encargos compl. | 28,00% | 30,94 |
| | | | | Total de mão-de-obra (R\$) | 269,70 | |

| B | Materiais | unidade | índice | preço unitário | total |
|---|---------------------------------|---------|--------|----------------------------------|---------------|
| 1 | Pilotos de eucaliptos 8x8x150cm | m | 1,05 | 2,66 | 2,79 |
| 2 | Estacas roliças 8cmx2,0m | m | 3 | 2,66 | 7,98 |
| 3 | Troncos de eucalipto d=24cm | m | 4,25 | 13,18 | 56,02 |
| 4 | Arame de 6mm | kg | 0,25 | 11,20 | 2,80 |
| 5 | Arame de 3mm | kg | 0,025 | 11,28 | 0,28 |
| 6 | Grampo de cercas | kg | 0,0125 | 11,20 | 0,14 |
| 7 | Muda de árvore. Ex Aroeira | unidade | 10 | 17,01 | 170,10 |
| | | | | Total dos materiais (R\$) | 240,11 |

| C | Equipamentos/Ferramental | unidade | índice | preço unitário | total |
|---|--------------------------|---------|--------|-------------------------------------|----------|
| | | | | | |
| | | | | Total dos Equipamentos (R\$) | - |

| | | | | | |
|----------|---|--|--|------------|---------------|
| D | Total dos Custos Diretos (A+B+C) | | | R\$ | 509,81 |
|----------|---|--|--|------------|---------------|

| | | | | | |
|----------|---------------------|--------|-------------|--------------|---------------|
| E | Taxas do BDI | | | | |
| | | 27,48% | SOMA(A+B+C) | (R\$) | 140,09 |

| | | | | | |
|--|---|--|--|--------------|---------------|
| | TOTAL GERAL D+E (preço de venda) | | | (R\$) | 649,90 |
|--|---|--|--|--------------|---------------|

Item: 10

Serviço: Reflorestamento: Faixa 1 (espaçamento 1,5mx1,5m) unidade

Fonte: SCO-RJ Referência: PJ34.050062 / PJ34.05.0100 / PJ34.05.0120 / mudas

PJ34.05.0600 / PJ34.05.0850

60.000

| A | Mão de Obra | unidade | índice | preço unitário | total | |
|---|--|---------|---------|--------------------|--------------|------|
| 1 | Técnico Florestal | h | 0,1352 | 24,57 | 3,32 | |
| 2 | Feitor | h | 0,0438 | 24,05 | 1,05 | |
| 3 | Servente | h | 0,1352 | 12,26 | 1,66 | |
| soma | | | | | 6,03 | |
| encargos sociais | | | | | | |
| horista | | | | | 116,09% | 7,00 |
| mensalista | | | | | 72,55% | |
| encargos compl. | | | | | 28,00% | 1,69 |
| Total de mão-de-obra (R\$) | | | | | 14,73 | |
| B | Materiais | unidade | índice | preço unitário | total | |
| 1 | Adubo orgânico | m³ | 0,00375 | 150,00 | 0,56 | |
| 2 | Adubo químico NPK-04-14-08 | kg | 0,15 | 1,35 | 0,20 | |
| 3 | Pó calcário dolomítico para calagem de solos | t | 0,0001 | 85,00 | 0,01 | |
| 4 | Gel para plantio | kg | 0,005 | 21,26 | 0,11 | |
| 5 | Muda de espécie nativa h=1,30-1,60m | unidade | 1 | 17,00 | 17,00 | |
| 6 | Escora de eucalipto 8cmx2,0m | unidade | 2,5 | 2,66 | 6,65 | |
| Total dos materiais (R\$) | | | | | 24,53 | |
| C | Equipamentos/Ferramental | unidade | índice | preço unitário | total | |
| Total dos Equipamentos (R\$) | | | | | - | |
| D | Total dos Custos Diretos (A+B+C) | | | R\$ | 39,26 | |
| E | Taxas do BDI | | | (R\$) | 10,79 | |
| | | | | 27,48% SOMA(A+B+C) | | |
| TOTAL GERAL D+E (preço de venda) | | | | (R\$) | 50,04 | |

Observação: para o serviço de reflorestamento da faixa 1 foram considerados os seguintes serviços: abertura de cova (30x30x30) cm; adubação e calagem, usando adubo orgânico/mineral; gel para plantio (polímero hidrorretentor); plantio da muda; e o fornecimento da muda.

Item: 11

Serviço: Reflorestamento: Faixa 2 (espaçamento 2,0mx2,0m) unidade
 Fonte: SCO-RJ Referência: PJ34.050062 / PJ34.05.0100 / PJ34.05.0120 / mudas
 PJ34.05.0600 / PJ34.05.0850

33.750

| A | Mão de Obra | unidade | índice | preço unitário | total | |
|---|--|---------|---------|--------------------|--------------------|------|
| 1 | Técnico Florestal | h | 0,1352 | 24,57 | 3,32 | |
| 2 | Feitor | h | 0,0438 | 24,05 | 1,05 | |
| 3 | Servente | h | 0,1352 | 12,26 | 1,66 | |
| soma | | | | | 6,03 | |
| encargos sociais | | | | | | |
| | | | | horista | 116,09% | 7,00 |
| | | | | mensalista | 72,55% | |
| | | | | encargos compl. | 28,00% | 1,69 |
| Total de mão-de-obra (R\$) | | | | | 14,73 | |
| B | Materiais | unidade | índice | preço unitário | total | |
| 1 | Adubo orgânico | m³ | 0,00375 | 150,00 | 0,56 | |
| 2 | Adubo químico NPK-04-14-08 | kg | 0,15 | 1,35 | 0,20 | |
| 3 | Pó calcário dolomítico para calagem de solos | t | 0,0001 | 85,00 | 0,01 | |
| 4 | Gel para plantio | kg | 0,005 | 21,26 | 0,11 | |
| 5 | Muda de espécie nativa h=1,30-1,60m | unidade | 1 | 17,00 | 17,00 | |
| 6 | Escora de eucalipto 8cmx2,0m | unidade | 1,5 | 2,66 | 3,99 | |
| Total dos materiais (R\$) | | | | | 21,87 | |
| C | Equipamentos/Ferramental | unidade | índice | preço unitário | total | |
| Total dos Equipamentos (R\$) | | | | | - | |
| D | Total dos Custos Diretos (A+B+C) | | | R\$ | 36,60 | |
| E | Taxas do BDI | | | | | |
| | | | | 27,48% SOMA(A+B+C) | (R\$) 10,06 | |
| TOTAL GERAL D+E (preço de venda) | | | | | (R\$) 46,65 | |

Observação: para o serviço de reflorestamento da faixa 2 foram considerados os seguintes serviços: abertura de cova (30x30x30) cm; adubação e calagem, usando adubo orgânico/mineral; gel para plantio (polímero hidrorretentor); plantio da muda; e o fornecimento da muda.

Item: 12

Serviço: Reflorestamento: Faixa 3 (espaçamento 2,0mx3,0m) unidade

Fonte: SCO-RJ Referência: PJ34.050062 / PJ34.05.0100 / PJ34.05.0120 / mudas

PJ34.05.0600 / PJ34.05.0850

30.000

| A | Mão de Obra | unidade | índice | preço unitário | total | |
|---|--|---------|---------|--------------------|--------------|------|
| 1 | Técnico Florestal | h | 0,1352 | 24,57 | 3,32 | |
| 2 | Feitor | h | 0,0438 | 24,05 | 1,05 | |
| 3 | Servente | h | 0,1352 | 12,26 | 1,66 | |
| soma | | | | | 6,03 | |
| encargos sociais | | | | | | |
| | | | | horista | 116,09% | 7,00 |
| | | | | mensalista | 72,55% | |
| | | | | encargos compl. | 28,00% | 1,69 |
| Total de mão-de-obra (R\$) | | | | | 14,73 | |
| B | Materiais | unidade | índice | preço unitário | total | |
| 1 | Adubo orgânico | m³ | 0,00375 | 150,00 | 0,56 | |
| 2 | Adubo químico NPK-04-14-08 | kg | 0,15 | 1,35 | 0,20 | |
| 3 | Pó calcário dolomítico para calagem de solos | t | 0,0001 | 85,00 | 0,01 | |
| 4 | Gel para plantio | kg | 0,005 | 21,26 | 0,11 | |
| 5 | Muda de espécie nativa h=1,30-1,60m | unidade | 1 | 17,00 | 17,00 | |
| 6 | Escora de eucalipto 8cmx2,0m | unidade | 1 | 2,66 | 2,66 | |
| Total dos materiais (R\$) | | | | | 20,54 | |
| C | Equipamentos/Ferramental | unidade | índice | preço unitário | total | |
| Total dos Equipamentos (R\$) | | | | | - | |
| D | Total dos Custos Diretos (A+B+C) | | | R\$ | 35,27 | |
| E | Taxas do BDI | | | | | |
| | | | | 27,48% SOMA(A+B+C) | (R\$) 9,69 | |
| TOTAL GERAL D+E (preço de venda) | | | | (R\$) | 44,96 | |

Observação: para o serviço de reflorestamento da faixa 3 foram considerados os seguintes serviços: abertura de cova (30x30x30) cm; adubação e calagem, usando adubo orgânico/mineral; gel para plantio (polímero hidrorretentor); plantio da muda; e o fornecimento da muda.

| Resumo Final | | | | |
|-----------------------------------|----------------|-------------------|-----------------|----------------------|
| Serviços | unidade | quantidade | unitário | total |
| Mobilização | verba | 1 | 8.424,92 | 8.424,92 |
| Desmobilização | verba | 1 | 8.424,92 | 8.424,92 |
| Instalação de canteiro de obras | verba | 1 | 22.549,23 | 22.549,23 |
| Administração local da obra | verba | 1 | 943.407,94 | 943.407,94 |
| Escavação | m ³ | 351000 | 3,05 | 1.070.777,23 |
| Transporte de serrapilheira | m ³ | 67.500 | 91,71 | 6.190.425,00 |
| Espalhamento de Material | m ³ | 418500 | 0,69 | 289.530,38 |
| Instalação de Biomanta vegetal | m ² | 135000 | 18,48 | 2.494.800,00 |
| Proteção de margem com biotécnica | m | 9000 | 649,90 | 5.849.100,00 |
| Reflorestamento Faixa 1 | mudas | 60000 | 50,04 | 3.002.400,00 |
| Reflorestamento Faixa 2 | mudas | 33750 | 46,65 | 1.574.437,50 |
| Reflorestamento Faixa 3 | mudas | 30000 | 44,96 | 1.348.800,00 |
| Total (R\$): | | | | 22.803.077,12 |

APÊNDICE B – Imagens dos pontos levantados (dezembro/2018)

Ponto 1



Ponto 2
à montante



Ponto 2
à jusante



Ponto 3



Ponto 4

