



WRI BRASIL

INFRAESTRUTURA NATURAL PARA ÁGUA NO SISTEMA GUANDU, RIO DE JANEIRO

Fundação
GrupoBoticário 

FUNDACIÓN
FEMSA 10 YEARS

IBiO



natural
capital
PROJECT

The Nature
Conservancy 

RAFAEL FELTRAN-BARBIERI, SUZANNE OZMENT, PERRINE HAMEL,
ERIN GRAY, HENDRIK LUCCHESI MANSUR, THIAGO PIAZZETTA
VALENTE, JULIANA BALADELLI RIBEIRO E MARCELO M. MATSUMOTO

WRIBRASIL.ORG.BR

SOBRE OS AUTORES

Rafael Feltran-Barbieri é economista de infraestrutura natural e uso do solo no WRI Brasil.

Contato: rafael.barbieri@wri.org

Suzanne Ozment é pesquisadora associada do WRI, baseada em Washintgon, DC.

Contato: sozment@wri.org

Perrine Hamel é pesquisadora sênior do Natural Capital Project.

Contato: perrine.hamel@stanford.edu

Erin Gray é economista do WRI, baseada em Washington, DC.

Contato: egray@wri.org

Hendrik Lucchesi Mansur é especialista em conservação da The Nature Conservancy.

Contato: hmansur@tnc.org

Thiago Piazzetta Valente é analista de projetos ambientais da Fundação O Boticário de Proteção à Natureza.

Contato: thiagop@fundacaogrupoboticario.org.br

Juliana Baladelli Ribeiro é analista de projetos ambientais da Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza.

Contato: ribeiroj@fundacaogrupoboticario.org.br

Marcelo M. Matsumoto é especialista em GIS do WRI Brasil.

Contato: marcelo.matsumoto@wri.org

AGRADECIMENTOS

Queremos expressar nosso reconhecimento aos parceiros estratégicos institucionais, que são os principais financiadores do WRI: Ministério das Relações Exteriores dos Países Baixos, Ministério das Relações Exteriores da Dinamarca e Agência Sueca de Cooperação para o Desenvolvimento Internacional.

Este relatório é fruto de uma parceria entre o World Resources Institute (WRI), a Fundação Grupo Boticário para Proteção da Natureza, The Nature Conservancy, a União Internacional para Conservação da Natureza, o Instituto BioAtlântica, o Projeto Capital Natural (que pôde participar por meio do projeto ClimateWise, subsídio NSF#1624329), e a Fundação FEMSA, que financiou o projeto. Este relatório só foi possível graças ao generoso apoio financeiro e de recursos humanos desses parceiros. Contamos também com o apoio da Aliança Latino-Americana de Fundos de Água e do programa KNOWFOR financiado com recursos do governo do Reino Unido.

Os revisores contribuíram com um inestimável *feedback* e orientação para tornar o relatório substancialmente mais robusto. Queremos expressar nossa gratidão aos revisores que dedicaram tempo e esforço para garantir a qualidade deste estudo. Sinceros agradecimentos aos revisores internos do WRI Brasil Alan Batista, Aurélio Padovezi, Claudio Pontes e Mariana Oliveira. Agradecemos aos revisores externos Jorge Vicente Peron Mendes (FIRJAN), Sílvia Marie Ikemoto (INEA), Ricardo Novaes (WWF-Brasil) e Wilson Cabral Sousa Júnior (ITA), que compartilharam com generosidade seus preciosos conhecimentos, permitindo que o estudo tivesse maior robustez técnica, sensibilidade e aderência à realidade local.

Somos também muito gratos à Renata Marson, líder de *Science and Research* do WRI Brasil, que conduziu com sabedoria todos os processos de revisão, dedicando precioso tempo e conhecimento sempre no sincero intuito de elevar a qualidade das publicações do WRI. Agradecemos também à Rachel Biderman (WRI Brasil), Miguel Calmon (WRI Brasil), Solange Filoso (University of Maryland), Todd Gartner (WRI), Jorge Leon (TNC) e Carlos A. Nobre (WRI Brasil).

À Fernanda Boscaini, Bruno Calixto e Joana Oliveira, todos do WRI Brasil, nossa sincera gratidão pela dedicação, inteligência e sensibilidade na estratégia de comunicação do estudo.

Muitos especialistas e técnicos de São Paulo e Rio de Janeiro nos deram orientação e contribuíram para o conteúdo das versões iniciais deste relatório (veja a lista de colaboradores no Apêndice C do relatório). Expressamos nosso grande apreço por sua disposição de compartilhar conosco seus conhecimentos e experiência. Os primeiros revisores e colaboradores foram Solange Filoso, Fernando Veiga e Ivanildo Hespagnol.

Design gráfico, edição e layout:

Néktar Design

nektardesign.com.br



ÍNDICE

- 2 **Prefácio**
- 5 **Sumário Executivo**
- 15 **Introdução**
- 27 **Análise de Investimento de Infraestrutura Natural para Controle de Sedimentos**
- 43 **Da Análise à Ação: elementos para a implantação da infraestrutura natural segundo os atores-chave locais**
- 51 **Conclusão**
- 54 **Referências**
- 56 **Apêndice A: Métodos e pressupostos das análises financeiras**
- 64 **Apêndice B: Método de consulta às partes interessadas e desenvolvimento de roteiro**
- 66 **Apêndice C: Métodos e premissas para modelos biofísicos e componentes do mapeamento**



PREFÁCIO

O Brasil, mesmo sendo o maior detentor de reservas de água doce do planeta, vive uma situação preocupante no abastecimento de água e saneamento básico. Mais de 15% da população não tem acesso à água canalizada, e 75% não conta com esgoto devidamente coletado e tratado. Os investimentos anuais no setor são muito tímidos: cerca de R\$ 6 bilhões, ou 0,2% do PIB.

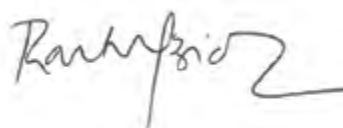
Mesmo com indicadores de saneamento ligeiramente melhores do que a média nacional, o Rio de Janeiro também se insere nesse quadro alarmante. De cada 10 litros de água que são tratados, quatro se perdem por vazamentos ou desvios. E os problemas começam muito antes da água chegar nas estações de tratamento. A degradação da paisagem e derrubada da vegetação nativa na bacia do Guandu agravam a erosão do solo e aumentam o carreamento de sedimentos para os cursos d'água, o que gera maior poluição e turbidez nas águas que chegam às estações de tratamento.

As estratégias de saneamento devem ser mais amplas. Os tomadores de decisão precisam considerar elementos de planejamento territorial na paisagem, e não apenas as unidades de reservação, captação e tratamento. Os serviços oferecidos pelas florestas, se considerados nos investimentos de infraestrutura de abastecimento, podem ser grandes aliados na oferta hídrica.

Este estudo demonstra a importância de incluir e ampliar a abordagem de infraestrutura natural, que considera a conservação e a restauração florestal, na gestão dos recursos hídricos. A floresta pode ser uma alternativa complementar e relevante para redução de custos e aumento de resiliência dos sistemas de abastecimento de água. Serviços ambientais devem ter seu valor reconhecido nos sistemas econômicos, e este estudo traz dados muito completos e uma análise robusta que sustentam a adoção dessa nova abordagem no país

O trabalho conclui que é necessário ampliar os incentivos à infraestrutura natural na bacia do Guandu, aumentando a escala dos projetos de restauração. Ele demonstra que a melhora da qualidade da água gerada pelas florestas é uma estratégia fundamental para garantir o desempenho dos programas de gestão de recursos hídricos e atrair novos investimentos para o setor.

Esperamos mostrar que a infraestrutura natural pode ser uma opção palpável a ser considerada no planejamento hídrico. Além de proporcionar ganhos para o sistema de abastecimento de água, deve-se ressaltar que ecossistemas restaurados e preservados ampliam a oferta de alimentos, melhoram o microclima e servem ainda de habitat para espécies de fauna e flora. Com as mudanças climáticas em curso e o aumento na frequência de chuvas torrenciais e secas prolongadas, os desafios da gestão dos recursos hídricos se tornam ainda maiores e investimentos inteligentes e inovadores ainda mais urgentes.



Rachel Biderman
Diretora Executiva
WRI Brasil



SUMÁRIO EXECUTIVO

Florestas são capazes de filtrar sedimentos, nutrientes e resíduos sólidos, impedindo que cheguem aos cursos d'água. A incorporação da infraestrutura natural — ou infraestrutura verde — nos planos de gestão hídrica pode potencializar a eficiência, o desempenho e a resiliência das estruturas convencionais, reabilitando a paisagem a ofertar água de melhor qualidade às próprias estações de tratamento.

Este relatório pretende oferecer um conjunto de análises que pode ajudar nas estratégias de saneamento e manejo de recursos hídricos, demonstrando como a restauração das florestas, consideradas infraestruturas naturais, poderia complementar e salvaguardar o Sistema Guandu, principal fonte de abastecimento de água para Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

O que são infraestruturas naturais?

Infraestruturas naturais são ecossistemas manejados, restaurados ou conservados com capacidade de fornecer bens e serviços essenciais à produção material, à saúde e ao bem-estar humano. Dentre os inúmeros benefícios que a restauração da vegetação nativa pode trazer, a melhoria na qualidade da água está entre as mais importantes e mensuráveis.

A infraestrutura natural promove a economia de energia, produtos químicos e desgastes de equipamento das estruturas construídas, economizando recursos financeiros e oferecendo cobenefícios ambientais.

Mas todos esses benefícios nem sempre são reconhecidos pelos tomadores de decisão, muitas vezes porque estes não dispõem das informações e ferramentas adequadas para identificar e avaliar estratégias de infraestrutura natural.

Este documento utiliza uma abordagem analítica que pode ser replicada em outras regiões, e apresenta um passo a passo de como pode ser realizada essa análise. O relatório também traz recomendações para delineamento de programas de desenvolvimento de infraestrutura natural, considerando o conhecimento de tomadores de decisão e partes interessadas locais.

DESTAQUES

- Infraestruturas naturais são importantes componentes na gestão das bacias hidrográficas por proverem serviços essenciais, como controle e filtragem de sedimentos, melhoria no fluxo hídrico, mitigação de risco de inundações e revitalização do meio rural. Este estudo optou por analisar em detalhe o papel da restauração sobre o controle de sedimentos, a fim de oferecer aos gestores informações consolidadas sobre esse serviço ecossistêmico específico.
- A Análise de Investimento em Infraestrutura Natural (*Green-Gray Assessment*), desenvolvida pelo World Resources Institute, foi empregada neste relatório. Avaliou-se a performance financeira da adoção da restauração como estrutura de controle de sedimentos, considerando seus impactos nos custos de tratamento da turbidez da água, de assoreamento dos reservatórios e de depreciação dos equipamentos na Estação de Tratamento Guandu (ETA Guandu), Rio de Janeiro.
- A restauração florestal de três mil hectares de pastagens com elevado grau de erosão reduziria em 33% o escoamento de sedimentos para os cursos d'água, evitando, assim, o uso de quatro milhões de toneladas de produtos químicos e de 260 mil MWh em energia elétrica na ETA Guandu, ao longo de 30 anos.

- A implementação da infraestrutura natural exigiria investimentos da ordem de R\$ 103 milhões para restauração florestal, gerando uma economia no tratamento de água, na dragagem e na depreciação de equipamentos equivalente a R\$ 259 milhões, com benefício líquido de R\$ 156 milhões. O Retorno sobre o Investimento, sob taxa de desconto de 8,5%, seria de 13%, compatível com o desempenho financeiro tradicional do setor de saneamento.
- Importantes programas de incentivo à restauração ambiental já têm sido implementados na bacia do Guandu visando, entre outros benefícios, à melhoria na qualidade da água. Entretanto, a disponibilidade de recursos financeiros não permite atingir a escala pretendida, em parte justificada pela incipiente contabilização dos serviços prestados pela floresta. Esclarecer o papel da infraestrutura natural na melhoria da água é uma estratégia fundamental para melhorar o desempenho dos programas e atrair investimentos.
- Os interessados em replicar a abordagem sugerida neste estudo encontrarão detalhes metodológicos e fontes de dados utilizadas nos apêndices deste relatório.

Gestão de recursos hídricos por meio da infraestrutura natural

Florestas e áreas naturais manejadas de modo sustentável têm papel crucial como infraestrutura natural. A eficiência das estruturas convencionais baseadas na engenharia da construção civil, com reservatórios, adutoras e estações de tratamento, pode ser potencializada com infraestruturas naturais. A restauração de ecossistemas reabilita a paisagem a entregar água de melhor qualidade às infraestruturas construídas, além de regular o fluxo hídrico, mitigar inundações e revitalizar os estabelecimentos rurais. Infraestruturas naturais são, portanto, componentes fundamentais nas estratégias de segurança hídrica.

A maior Estação de Tratamento de Água do mundo, a ETA Guandu, no Rio de Janeiro, poderia ser muito aliviada com a implantação da infraestrutura natural. A ETA Guandu trata 92% da água consumida pelos mais de 12 milhões de pessoas que vivem na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. A vulnerabilidade desse sistema se evidencia nos altíssimos níveis de perda – de cada dez litros de água tratada, quatro litros se perdem por vazamentos ou desvios – e na grande dependência do rio Paraíba do Sul, disputado também pelos estados de São Paulo e Minas Gerais. A melhoria na qualidade da água proporcionada pela infraestrutura natural pouparia R\$ 156 milhões, que poderiam ser investidos, por exemplo, no controle de perdas. Ademais, em toda a bacia, apenas 17% das terras são florestadas. A restauração traria uma nova oportunidade para adequação legal das propriedades rurais, aumentando a competitividade e resiliência aos estabelecimentos agropecuários.

Para enfrentar esse desafio, vários programas começaram a restaurar áreas naturais visando garantir um suprimento de água limpa e constante para o Sistema Guandu. Após mais de uma década de esforços iniciados pelo projeto Produtores de Água e Floresta, programas de infraestrutura natural – conservação e restauração de ecossistemas que visam diretamente melhorar a segurança hídrica – estão se tornando mais ambiciosos, com apoio institucional de organizações civis e governamentais. O grande desafio é garantir mais

recursos financeiros para aumentar a escala das atividades, envolvendo beneficiários do setor hídrico como a própria Companhia Estadual de Água e Esgoto (CEDAE), que gerencia o sistema de abastecimento; o comitê das bacias da Guarda, Guandu e Guandu Mirim; e os fabricantes de bebidas e outras indústrias dependentes de água. Uma vez garantidos os recursos financeiros, esses programas poderão expandir seus esforços e gerar resultados em grande escala.

Sobre este relatório

Este relatório tem dois objetivos: oferecer aos gestores de recursos hídricos um panorama sobre o potencial da infraestrutura natural no controle de sedimentos e demonstrar um processo para avaliação de oportunidades de investimento em infraestrutura natural. Os gestores de recursos hídricos, como os comitês locais da bacia hidrográfica, a empresa de abastecimento de água e as agências governamentais de recursos hídricos, podem usar este relatório para compreender por que, onde e quando investir em infraestrutura natural como estratégia de gestão da água. Os programas de infraestrutura natural podem usar esses resultados para melhorar o delineamento de suas estratégias. Ao mesmo tempo, o relatório oferece um método e os dados necessários para condução da análise, ressaltando um plano de pesquisa que ajude a fortalecer análises suplementares.

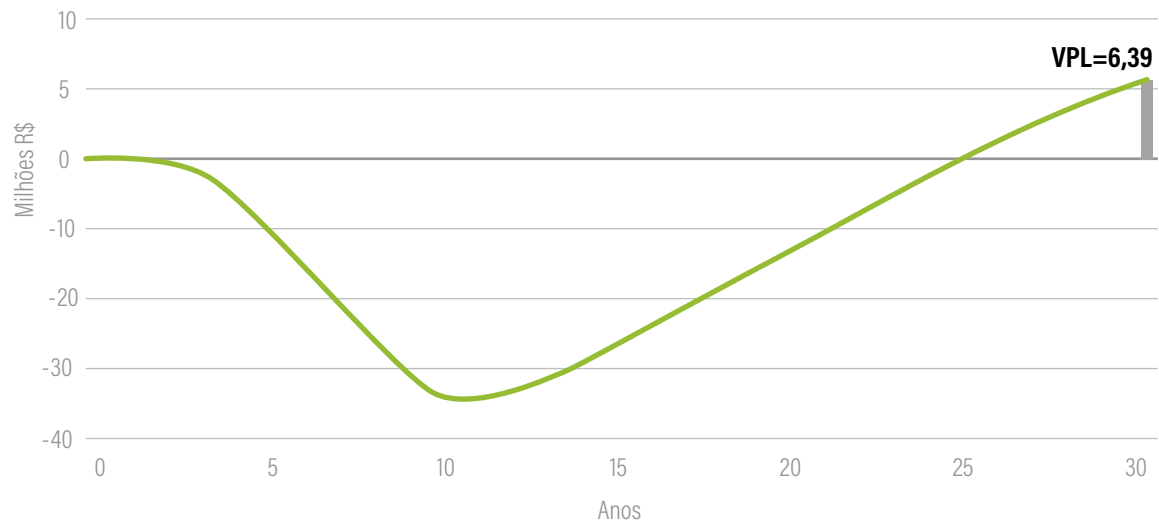
O relatório apresenta em detalhe os resultados da Análise de Investimento em Infraestrutura Natural do World Resources Institute, que fortalece a justificativa financeira para que o setor hídrico invista em infraestrutura natural. Combinando análises financeiras, biofísicas e geoespaciais com consultas a partes interessadas, estimamos alguns dos benefícios diretos que poderiam ser usufruídos pelos operadores de infraestrutura hídrica se fossem implementadas estratégias de infraestruturas naturais. Em paralelo à Análise de Investimento em Infraestrutura Natural, apresentamos uma revisão das principais condições necessárias para aumentar a probabilidade de sucesso de um programa de infraestrutura natural. Essa abordagem gerou diversas contribuições para aumentar as chances de sucesso dos investimentos em infraestrutura natural.

Infraestrutura Natural para Controle de Sedimentos: Resultados

A restauração florestal com espécies nativas em áreas estratégicas da bacia do Guandu, Rio de Janeiro, poderia poupar enormes quantidades de produtos químicos, energia, e ainda trazer benefícios econômicos. A restauração florestal de três mil hectares de pastagem com alto grau de erosão (> 1 tonelada/ha/ano) – sugeridos por tomadores de decisão locais – teria o potencial de reduzir em 33% o escoamento de sedimentos para os cursos d'água da bacia. Isso acarretaria uma economia de quatro milhões de toneladas de produtos químicos e de 260 mil MWh em energia para tratamento de turbidez. Os benefícios econômicos gerados por essa economia atingiriam R\$ 259 milhões, com o benefício líquido de R\$ 156 milhões no curso de 30 anos, em valores correntes (31 de dezembro de 2017), como mostrado na Tabela 1. Utilizando-se uma taxa de desconto de 8,5% a.a., o fluxo de caixa da implementação da infraestrutura natural apresenta Valor Presente Líquido de R\$ 6,4 milhões, como ilustrado na Figura 1 ao lado.



Figura 1 | Performance Financeira da Restauração de três mil hectares em áreas de pastagem com alta suscetibilidade à erosão na bacia do Guandu-RJ



Nota: R3000 é um cenário de investimentos no qual a restauração é implementada em três mil hectares de pasto para reduzir a poluição por sedimentos. Os custos incidem nos 14 primeiros anos do projeto, enquanto os benefícios (custos evitados de tratamento da água, dragagem e depreciação de equipamentos) começam a ser contabilizados a partir do terceiro ano, aumentando gradualmente à medida que a floresta restaurada cresce.

Fonte: Resultados do estudo.



Tabela 1 | Desempenho financeiro da restauração de três mil hectares (R3000) como infraestrutura natural para controle no gerenciamento de sedimentos

INDICADORES FINANCEIROS (VALORES CORRENTES)	R\$, MILHÕES
CUSTOS EVITADOS NA GESTÃO DE SEDIMENTOS	
Tratamento de turbidez	241,3
Dragagem	7,9
Depreciação dos equipamentos relacionados ao tratamento da turbidez	10,2
TOTAL	259,5
CUSTOS DA RESTAURAÇÃO	
Investimentos	34,2
Custos de oportunidade da terra	28,9
Custos operacionais e de manutenção	27,3
Custos de transação	12,6
TOTAL	103,1
BENEFÍCIO LÍQUIDO	
Índice de custos evitados/custos da restauração	2,5
Margem do benefício líquido (benefício líquido/custos evitados)	0,6
DESEMPENHO FINANCEIRO (TAXA DE DESCONTO DE 8,5%)	
Taxa Interna de Retorno (%)	10
Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	6,4
Payback (anos)	26
Retorno sobre o Investimento (%)	13

Notas: Em valores correntes de 31 de dezembro de 2017. Os custos, benefícios e índices financeiros são apresentados mais detalhadamente no Capítulo II e no Apêndice A. Valores arredondados, podendo apresentar pequenas diferenças.
Fonte: Resultados do estudo.

Infraestrutura natural pode alavancar investimentos múltiplos e dar escala à restauração.

Financiamentos combinados podem alavancar capital público e privado, reduzir o risco de investimentos no setor de água e permitir que os programas atinjam objetivos mais ambiciosos. O estado do Rio de Janeiro pretende aumentar a proteção da Mata Atlântica em 22 mil hectares em estratégias convergentes de mitigação das mudanças climáticas com incentivos para os proprietários rurais obedecerem ao Código Florestal – Lei nº 12.651/12. Essas florestas poderiam ser alocadas obedecendo também a critérios de retenção de sedimentos que contribuiriam para a segurança hídrica.

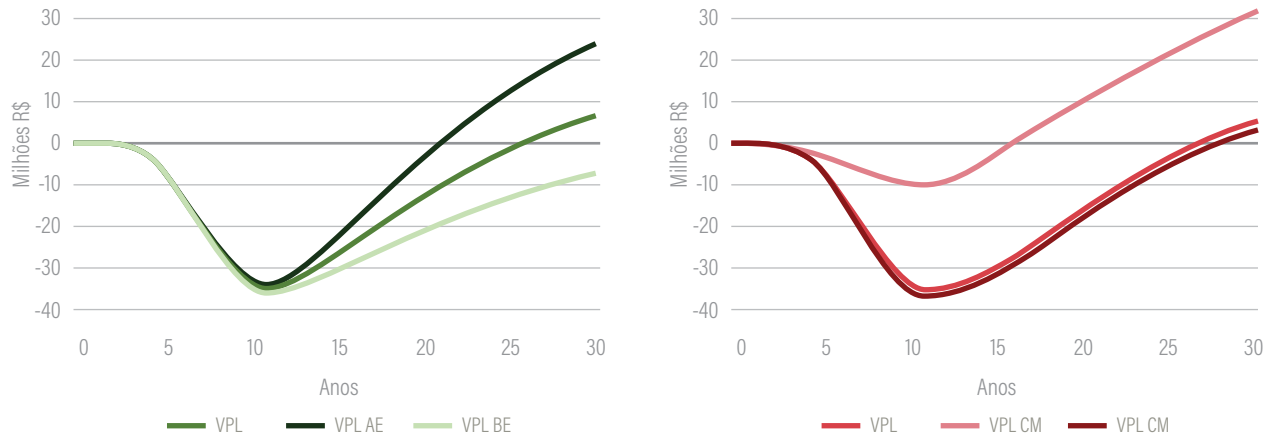
Fortalecer parcerias é outra condição fundamental para dar escala à restauração para infraestrutura natural.

Embora existam programas já consolidados de infraestrutura natural, como o Produtor de Água e Floresta (PAF), pertencente ao Programa de Pagamento por Serviços Ambientais do Comitê Guandu CBH-Guandu, esses programas precisam ganhar escala. Ações prioritárias e coordenadas para romper as barreiras que impedem a escala da restauração e a internalização da infraestrutura natural são: (a) identificar investidores e novos recursos financeiros de longo prazo, (b) fortalecer parcerias que ocuparão papéis essenciais, (c) monitorar a execução e avaliar os impactos do projeto, e (d) desenvolver um plano com base científica para intervenções na bacia hidrográfica.

Ainda há muitas incertezas quanto à eficiência e aos custos da infraestrutura natural. Compreendê-las é o primeiro passo para controlá-las.

A análise de sensibilidade mostrou que a maior fonte de risco ao bom desempenho econômico da infraestrutura natural decorre das variações na capacidade da floresta em reter sedimentos, afetando sobremaneira o Valor Presente Líquido (VPL). Isso ocorre tanto em função das taxas de crescimento da própria floresta restaurada, quanto de sua ação na cobertura dos solos com alta suscetibilidade à erosão. Já o custo da restauração também tem alto potencial de influenciar as relações de custo-benefício, mas não traz tantos riscos à viabilidade financeira dos investimentos nos cenários estudados. A Figura 2 ilustra o comportamento financeiro do projeto em função dessas duas variáveis relevantes e as faixas de resultados prováveis para cada uma delas.

Figura 2 | Possíveis VPL de R3000 em função da retenção de sedimentos e do custo da restauração (R\$, milhões)



VPL segundo variação na eficiência de retenção de sedimentos (95% de confiança), sendo VPL = eficiência média, VPL AE = alta eficiência e VPL BE = baixa eficiência.

VPL segundo variações nos custos de restauração, sendo VPL = custos observados no estudo, VPL CM = custos mínimos para Mata Atlântica (Benini; Adeodato, 2017) e VPL CM = custos máximos para Mata Atlântica (Benini; Adeodato, 2017).

Notas: Gráfico à esquerda: banda de variação de VPL em função das variações de desempenho na retenção de sedimentos (intervalo de confiança de 95%). Gráfico à direita: banda de variação de VPL em função das variações nos custos de restauração (limites com base em entrevistas e publicações, descritas no Apêndice B) (intervalo de confiança de 95%).

Fonte: Resultados do estudo.



Condições mais favoráveis no crescimento da floresta restaurada ou na disponibilidade de recursos financeiros para implantação do projeto, mas também na mobilização de parcerias, poderiam impulsionar o desempenho financeiro da infraestrutura natural, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 | Desempenho financeiro do investimento em infraestrutura natural sob premissas alternativas

EM NOSSO ESTUDO, CONSIDERAMOS/ ESTIMAMOS QUE...	SE, EM VEZ DISSO, CONSIDERÁSSEMOS QUE...	VPL (R\$, MILHÕES)	ROI (%)	PERÍODO DE PAYBACK (ANOS)
São necessários 40 anos para que uma floresta atinja sua plena maturidade , e a retenção de sedimentos segue uma trajetória semelhante. No entanto, a experiência de atores locais sugere que a capacidade de controlar sedimentos ocorre mais precocemente.	Uma floresta alcança seu pleno potencial de controle da erosão em 20 anos .	16	32	24
A implementação do projeto ocorre em dez anos , conforme a disponibilidade orçamentária. No entanto, o ritmo varia dependendo da geração de fundos de investimentos e da capacidade de implementação dos parceiros.	O projeto é implementado em cinco anos .	14	21	23
O custo total do projeto é de R\$ 34 mil por hectare restaurado , incluindo os "custos de transação", como sensibilização, engajamento, e contratos com proprietários rurais. Porém, esses custos de transação costumam ser omitidos em estudos semelhantes feitos no Brasil.	Não há custos de transação para restauração, ou tal custo é internalizado por projetos complementares (20% de redução sobre o custo total).	12	29	23
O custo de oportunidade da terra é de R\$ 400/ha/ano , que representa o valor equivalente ao arrendamento para pecuária, cujo valor é de R\$ 35/cabeça/mês com uma taxa de lotação de R\$ 0,954 cabeça/ha.	Custo de oportunidade equivale aos Pagamentos por Serviços Ecossistêmicos no valor de R\$ 180/ha/ano , substituindo o arrendamento.	12	27	24
Uma taxa de desconto de 8,5%, usada para maioria dos projetos convencionais pelas companhias de abastecimento , inclusive para calcular revisão de tarifas.	É aplicada uma taxa social de desconto de 5% compatível com projetos de compartilhamento de risco, em que os custos do investimento preventivo são muito menores que o remediador.	37	57	22

Fonte: Resultados do estudo.

Da análise ao investimento

O delineamento e a implementação de estratégias de infraestrutura natural podem auxiliar a provisão de serviços de abastecimento hídrico mais resilientes e baratos. Gestores hídricos poderão refinar as premissas e os dados produzidos por este estudo para: (1) fundamentar o desenho dos programas de restauração, identificando oportunidades de infraestrutura natural dentro do rol de infraestrutura existente; e (2) apoiar o desenvolvimento de uma estratégia de financiamento coerente, de longo prazo, e que aproveite os recursos do setor hídrico. Financiamentos com arranjos de capital público e privado poderão reduzir os riscos das estratégias de infraestrutura natural, criando oportunidades de investimento ainda mais atrativas.

Os programas de infraestrutura natural deverão melhorar a coordenação e aperfeiçoar suas estratégias. As partes interessadas identificaram diversas barreiras ao crescimento em escala desses programas, além da necessidade de:

- desenvolver planos de bacia hidrográfica mais robustos e detalhados para orientar as atividades dos programas;
- obter mais envolvimento dos proprietários rurais no sentido de oferecer atividades alternativas de renda via restauração, ao mesmo tempo que incrementa a oferta de serviços ambientais essenciais na provisão de qualidade da água;
- continuar construindo sistemas de monitoramento para avaliar o desempenho da infraestrutura natural nas iniciativas já existentes e aumentar a colaboração institucional para obter resultados de escala sistêmica equilibrados.

O compartilhamento de dados deve contribuir para o avanço de programas de infraestrutura natural. A escassez de dados e a falta de transparência na divulgação de informações financeiras do setor de saneamento dificultam análises de projetos. Este estudo gerou estimativas detalhadas de custos das infraestruturas convencional e natural na perspectiva de subsidiar tomadas de decisão que incluam sua combinação como parte da solução para a crise hídrica. Longe de esgotar o assunto, reconhece-se a necessidade de mais pesquisas e, principalmente, de compartilhamento dos dados. Isso deve diminuir o grau de incerteza do desempenho da infraestrutura natural no controle da poluição por sedimentos, sendo passo fundamental para escalar a restauração.

Investimentos em
infraestrutura natural
podem combinar capital
público e privado reduzindo
riscos e partilhando
benefícios, tornando-se
ainda mais atrativos para
o setor hídrico.



CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Neste estudo apresentam-se os possíveis impactos na qualidade da água e o desempenho financeiro de investimentos em infraestrutura natural — restauração florestal — para auxiliar no tratamento de água no Sistema Guandu.

Infraestruturas naturais são ecossistemas manejados, conservados ou restaurados que podem fornecer bens e serviços ecossistêmicos que complementam ou potencializam estruturas convencionais (Gartner et al., 2013). Na gestão hídrica, a restauração de florestas como estratégia de implementação de infraestrutura natural pode fornecer serviços, como: a) controle de erosão, b) aumento da permeabilidade do solo, c) mitigação dos efeitos de enchentes, e d) regulação do fluxo hídrico. São serviços que auxiliam as estruturas convencionais de barragens, reservatórios, muros de contenção ou estações de tratamento de água (Filoso et al., 2017).

Neste estudo apresentam-se os possíveis impactos na qualidade da água e o desempenho financeiro de investimentos em infraestrutura natural – restauração florestal – para auxiliar no tratamento de água no Sistema Guandu. As abordagens analíticas seguiram as orientações da Análise de Investimento em Infraestrutura Natural (*Green-Gray Assessment - GGA*) (Talberth et al., 2011; Gartner et al., 2013; Gray et al., no prelo) e Avaliação Rápida de Investimentos em Bacias Hidrográficas (*Watershed Investment Readiness Assessment*) (Ozment et al., 2016), ambas desenvolvidas pelo World Resources Institute (WRI).

Desafios para a gestão hídrica no Guandu

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) é formalmente reconhecida desde 1974, englobando atualmente 22 municípios com população total de

12 milhões de habitantes em 2017 (IPEA, 2018). O consumo médio de água tratada por habitante é estimado em 291 litros/dia (SNIS, 2018), o que representa quase o triplo da média nacional e da recomendação da ONU (ANA; IBGE, 2018).

Dos quatro sistemas hídricos que fornecem água à região, o Guandu responde por 92% e conta com quatro sistemas de reservatórios, dos quais o Sistema Lajes, construído na década de 1950, responde por mais de 95% do volume total de reservação. Há uma única Estação de Tratamento de Água, a ETA Guandu, com capacidade de tratar 3,7 bilhões de litros de água por dia (ou 43m³/s), a maior do mundo, gerida pela Companhia Estadual de Água e Esgoto - CEDAE (CEDAE, 2018b).

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro - PERHI (INEA, 2014a), a disponibilidade hídrica da bacia do rio Guandu (UHP II-e) é de 9,3 m³/s, recebendo a contribuição de até 120 m³/s do reservatório da Usina Hidrelétrica de Pereira Passos (transposição proveniente do rio Paraíba do Sul). A área considerada neste estudo inclui também o reservatório de Lajes, que apresenta disponibilidade hídrica de 16,5 m³/s bem como a bacia do rio Piraí, com disponibilidade de outros 6,7 m³/s. No total, a oferta hídrica média é de aproximadamente 150 m³/s.

Já a gestão da bacia é feita pelo Sistema Estadual de Recursos Hídricos, sendo o Comitê do Guandu (CBH-Guandu) o componente que agrega o maior





número de atores. Criado em 2002, o Comitê tem área de abrangência de 192 mil hectares e engloba 15 municípios, dos quais sete se localizam fora da RMRJ, aumentando a complexidade de gerenciamento para partilha dos recursos hídricos. Atualmente, o CBH-Guandu é composto por representantes dos grandes usuários, das prefeituras, sociedade civil, órgãos estaduais e governo federal.

Desafios do abastecimento de água

O principal reservatório do Guandu é essencialmente abastecido pela bacia do Paraíba do Sul, que vem sofrendo déficit hídrico sistemático. No auge da crise de 2014-2015, a capacidade de reservação do sistema apresentava os mais baixos níveis já registrados, ou 37% (Costa; Farias Junior; Johnsson, 2017) contra média histórica de 73% (ANA, 2010).

Para garantir abastecimento na RMRJ, a captação de água para produção agropecuária e industrial foi cortada pela metade, e o sul fluminense foi submetido a racionamento urbano. Conflitos entre os estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais pelo acesso às outorgas da água foram mediados pelo Superior Tribunal Federal (Costa; Farias Junior; Johnsson, 2017). Embora não haja necessidade de novas transposições para abastecimento desse sistema, o Paraíba do Sul é visto como fonte alternativa para outras bacias fluminenses e paulistas, o que deve agravar a concorrência pelas outorgas (INEA, 2014a).

O alto índice de perdas – que chega a 42% – é outro grave problema. O volume perdido diariamente poderia por si só abastecer uma população equivalente a três milhões de habitantes (SNIS, 2018).

A julgar pelos níveis atuais de perdas, nos próximos 15 anos haveria a necessidade de se tratar 6 m³/s adicionais apenas para suplantiar a água desperdiçada no sistema (INEA, 2014a).

Um terceiro desafio é o déficit de esgotamento sanitário que redundará em maior ameaça à disponibilidade hídrica de qualidade. Apenas 51% do esgoto da RMRJ é coletado, e destes só metade é tratado – o que polui as próprias fontes de captação de água, aumentando o custo de tratamento e piorando as condições de saúde pública (SNIS, 2018).

Desafios da poluição por sedimentos

Como a maioria dos sistemas de abastecimento, o Guandu também sofre constantemente com a poluição por sedimentos. O alto grau de degradação das pastagens em todo o estado do Rio de Janeiro, incluindo a região do Guandu, agrava o arraste de partículas do solo e a perda do potencial de infiltração de água, conduzindo ao duplo prejuízo do encarecimento do manejo das pastagens e do saneamento público, segundo o próprio Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas (Plano ABCRJ, 2018). Isso afeta diretamente as operações de tratamento de turbidez e a gestão de assoreamento de represas.

Custos de tratamento de turbidez: Os sedimentos são a principal causa de turbidez da água (turvação pela presença de partículas). A erosão do solo faz com que os sedimentos sejam carregados para os cursos d'água aumentando os níveis de sólidos suspensos (SST). Insumos químicos, energia, mão de obra, lavagem dos equipamentos e reposição de materiais filtrantes são necessários para retirar os sólidos em suspensão que causam tal turbidez (Hespanhol, 2017). Mesmo que os níveis de turbidez da água bruta que chega à ETA Guandu sejam baixos, variando entre 15-40 NTU (da sigla em inglês para Unidade Nefelométrica de Turbidez), o volume tratado é tão grande – três bilhões de litros por dia – que a CEDAE gasta nada menos do que 140 toneladas de sulfato de alumínio, 30 toneladas de cloreto férrico e mais 25 toneladas de cal diariamente (CEDAE, 2018b).

Custos de dragagem: Embora não haja estudos específicos para o Guandu, seus reservatórios, se apresentarem comportamento semelhante a algumas represas estudadas na região, devem captar entre 87-93% de todo o sedimento que entra no sistema, o que reduz a turbidez da água aos níveis supracitados (ANA; DAEE, 2013). Por outro lado, essa retenção de sedimentos implica no assoreamento dos próprios reservatórios, diminuindo sua capacidade de reserva e sua vida útil (INEA, 2014a). A dragagem – retirada do material depositado – pode ser um processo oneroso, ainda que o material possa ser vendido para o setor da construção civil. Mesmo sob uma taxa muito baixa de assoreamento, por volta de 0,2% a.a. do volume útil, a perda da capacidade de reserva do Reservatório de Lajes pode facilmente já ter atingido os 50 milhões m³ nas últimas cinco décadas. Isso representa a perda na capacidade de armazenar água suficiente para abastecer uma população de 470 mil pessoas durante o ano (Hespanhol, 2017).

Depreciação de equipamentos: A poluição por sedimentos leva ao desgaste e à abrasão da infraestrutura, exigindo manutenções e reposições mais frequentes dos equipamentos envolvidos no processo de remoção da turbidez. Esse desgaste, por outro lado, influencia a taxa de depreciação dos equipamentos (U.S. EPA, 2013).



Como gerenciar o risco hídrico

Para atender à demanda em 2030, a bacia do Guandu deverá aumentar a oferta de água tratada para abastecimento público entre 17% e 58%, de acordo com o PERHI (INEA, 2014a). Essa variação responde essencialmente à combinação de crescimento da renda real *per capita*, mas principalmente à capacidade de diminuição das perdas do sistema, hoje próximas a 42% (INEA, 2014b). No cenário considerado factível pelo Plano – com índices de perdas e crescimento econômico intermediários entre extremos otimistas e tendenciais –, o Guandu deverá ampliar sua oferta em 28% ou 12 m³/s (INEA, 2014a).

Uma série de investimentos já havia sido recomendada pela Agência Nacional de Águas totalizando R\$ 1,3 bilhão (ANA, 2010 – em valores corrigidos para 2017, utilizando o Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna, IGP-DI). Somente para controle de perdas físicas, o Plano PERHI estimou a necessidade de se investir R\$ 450 milhões (INEA, 2014a – em valores corrigidos para 2017, utilizando o IGP-DI). No momento em que este estudo foi fechado, a capacidade de reservação equivalente do sistema hídrico do Paraíba do Sul, do qual depende o Guandu, estava em 29%, acendendo alerta amarelo (CBH-Guandu, 2018).

Entre os principais planos e investimentos para segurança hídrica e saneamento na bacia do Guandu estão:

- **Pacto de Gestão Para Segurança Hídrica do Sistema Paraíba do Sul-Guandu:** O programa objetiva a constituição de um grupo técnico-institucional para acompanhamento e aprofundamento de questões relacionadas às regras operativas dos reservatórios da bacia do rio Paraíba do Sul, com ênfase nos possíveis impactos de novas transposições na disponibilidade hídrica da bacia (INEA, 2014c).
- **Programa Mais Água para a Baixada Fluminense:** Plano de Investimentos da CEDAE para os próximos dez anos somando R\$ 3,4 bilhões. Em relação à provisão de água, o plano prevê a reforma de nove reservatórios e construção de outros 17, devendo aumentar a capacidade de reservação do sistema em 161 mil m³ de água, além

da extensão de 98 km de adutoras. Do ponto de vista da melhoria da qualidade, o programa visa à ampliação da capacidade de tratamento em 12 m³/s com a construção da ETA Nova Guandu e em 800 km de troncos e redes de distribuição (CEDAE, 2018a)

A infraestrutura convencional resolve apenas alguns dos problemas de segurança hídrica do Rio de Janeiro. E a nova infraestrutura planejada será tão suscetível à poluição por sedimentos quanto a já existente. Embora os atuais planos de interligação dos sistemas de abastecimento de água e de extensão de capacidade dos reservatórios possam ajudar a resolver essas dificuldades, permanecem dúvidas: essas soluções são suficientes? Que medidas alternativas poderiam salvaguardar e melhorar o desempenho do sistema?

A infraestrutura convencional resolve apenas alguns dos problemas de segurança hídrica do Rio de Janeiro. E os novos projetos de ampliação ou expansão dessas estruturas serão tão suscetíveis à poluição por sedimentos quanto a existente.



Como enfrentar os desafios do abastecimento de água por meio da infraestrutura natural

Os desafios relativos à qualidade e à disponibilidade de água serão ainda maiores em função das mudanças climáticas. Com o aumento de eventos extremos alternando chuvas torrenciais e secas prolongadas, haverá maior necessidade de gerenciamento de sedimentos em função de erosões mais severas e maior necessidade de armazenagem da água durante a estação chuvosa para uso do excedente na estiagem (Young, Nobre, 2010; Marengo, Valverde, Obregon, 2013).

Entretanto, companhias de abastecimento têm se concentrado quase que exclusivamente em estratégias convencionais de gestão hídrica – isto é, investimentos em reservatórios e transposição de água de outros mananciais. Esses investimentos funcionaram no passado porque, de maneira geral, as vazões de oferta hídrica disponibilizadas pelas bacias eram muito superiores às vazões de demanda.

Com a superexploração dos mananciais – como já vem acontecendo no Guandu, alertada pelo INEA (2014a) –, é preciso ir além do convencional e investir na qualidade e fluxo hídrico da própria bacia, reabilitando a paisagem a produzir água bruta de melhor qualidade e entregá-la aos reservatórios e às estações de tratamento em quantidades suficientes. Com as mudanças dos regimes de pluviosidade, isso se torna urgente.

As ações que têm se mostrado mais eficientes para devolver às bacias a capacidade de produzir água de qualidade são: a adoção de práticas de conservação do solo, a recuperação de estradas rurais, a abertura de "barraginhas" e a restauração de florestas (CBH-Guandu, 2018). A restauração de florestas traz inúmeros benefícios adicionais. Para além da filtragem de sedimentos, florestas provêm externalidades positivas como sequestro de carbono, polinização e conservação da biodiversidade. Permitem, ainda, a adequação ambiental e ampliação dos meios de subsistência rural (Tambosi et al., 2015).



Outras externalidades que poderiam ser potencializadas pela infraestrutura natural são a redução nos custos de tratamento de doenças derivadas da falta de saneamento básico, e a valorização imobiliária. Apenas na cidade do Rio de Janeiro, essas externalidades positivas do saneamento geraram benefícios da ordem de R\$ 950 milhões entre 2005 e 2015 (Instituto Trata Brasil, 2017).

Infraestrutura Natural para Água

No que tange especificamente à relação entre a floresta e os recursos hídricos, em amplo estudo, Filoso et al. (2017) demonstraram que a restauração da cobertura florestal leva a maiores taxas de infiltração de água e ao aumento nos níveis de umidade do solo, o que, eventualmente, pode levar à recarga do lençol freático e ao maior fluxo de base, contribuindo para a disponibilidade hídrica na estiagem. Já o papel das florestas no incremento da qualidade da água é consagrado: florestas atuam como verdadeiras barreiras naturais contra processos erosivos e assoreamento (Osborne; Kovacic, 1993), promovendo a filtragem física e biológica (Foley et al., 2005), o que diminui a própria virulência de patógenos (Miagostovich et al., 2014).

Estudos realizados na região Sudeste do Brasil, incluindo Rio de Janeiro, concluíram que as concentrações de sólidos suspensos e a turbidez em cursos d'água em paisagens florestadas são até 50% menores que as de regiões circundadas por áreas agrícolas ou urbanas (Tanaka et al., 2016). Outro estudo, baseado na análise de 10 mil amostras de água coletadas em 108 localidades no estado de São Paulo conclui que os dois principais fatores que mais afetam a redução nos custos de tratamento da água são: (a) quantidade de florestas na paisagem, diminuindo a necessidade de uso de produtos químicos e energia, e (b) capacidade operacional da estação de tratamento, que responde à eficiência de ganho de escala.

Controle de sedimentos

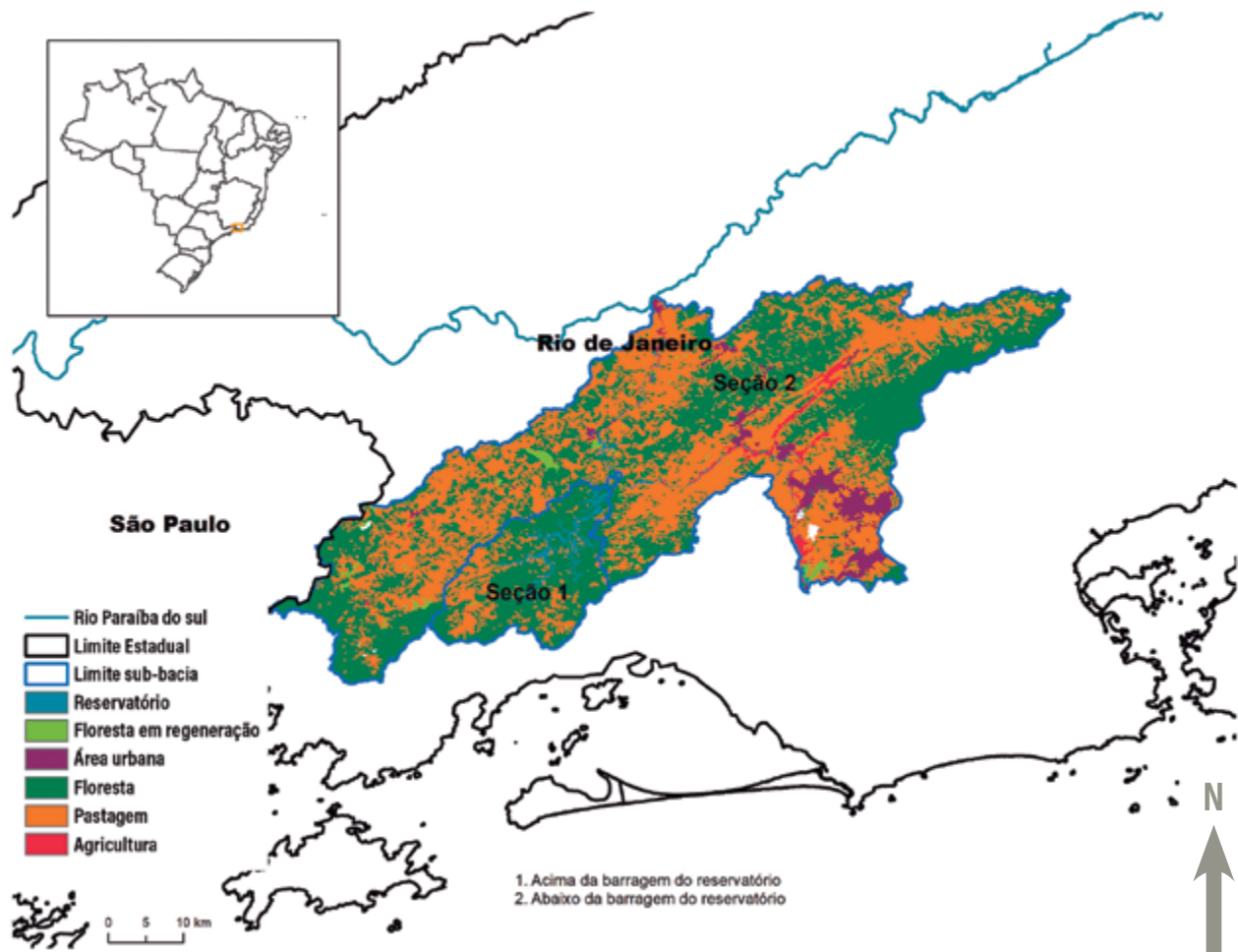
De fato, a conservação e a restauração estratégicas da mata nativa podem diminuir substancialmente os índices de erosão. Estudos feitos na região Sudeste identificaram a capacidade das florestas de reduzirem a carga de sedimentos (Honzák et al., 2012; Machado et al., 2003; Fujieda et al., 1997), assemelhando-se a resultados encontrados em outras regiões do mundo (Neary et al., 2009).



A diminuição da erosão resulta em menor turbidez dos cursos d'água, gerando benefícios econômicos no tratamento e na gestão hídrica. Mansur, Guimarães e Kemz (2013) avaliaram que a economia em produtos químicos poderia chegar a R\$ 5,6 milhões/ano, caso houvesse o controle de sedimentos via restauração em seis microbacias do Guandu. Em microbacias do sistema Cantareira, em São Paulo, Sousa Júnior (2011) constatou que a economia chegaria a quase R\$ 12,2 milhões/ano. Kroeger et al. (2017) estimaram que a proteção e a restauração das florestas em 5% (640 ha) da

bacia hidrográfica que supre a cidade de Camboriú, em Santa Catarina, reduziriam em 23% as concentrações de sólidos suspensos e diminuiriam os custos de dragagem e de tratamento da água potável em R\$ 640 mil por ano. Já Ozment et al. (2018) calcularam que a restauração florestal sobre pastos degradados no Sistema Cantareira poderia gerar uma economia de quase R\$ 300 milhões em 30 anos, em função das menores necessidades de uso de produtos químicos, de energia e de mão de obra decorrentes da menor turbidez e do assoreamento em cenários com restauração.

Figura 3 | Uso e cobertura da terra na bacia do Guandu



Nota: A bacia do Guandu ocupa uma área total de aproximadamente 200 mil hectares.
 Fonte: Dados fornecidos por The Nature Conservancy (2018).

A necessidade de aumentar a cobertura da vegetação nativa e de incrementar a sua relevância não apenas para o cumprimento de leis ambientais, mas também para o auxílio da gestão hídrica, já tem sido reconhecida por algumas iniciativas de promoção da infraestrutura natural na região, dentre as quais destacam-se:

- **Produtores de Água e Floresta:** parceria entre TNC, ITPA, CBH-Guandu, INEA e Prefeitura de Rio Claro, que conta atualmente com 70 proprietários rurais contratados, totalizando aproximadamente 4.562 hectares de áreas destinadas à conservação e 564 hectares para restauração. Os investimentos realizados pelos parceiros, em cinco anos de atuação, foram superiores a R\$ 8,5 milhões. Há provisionados outros R\$ 3,2 milhões a serem investidos nos próximos três anos (CBH-Guandu, 2018).
- **Programa de Pagamento de Serviços Ambientais (PSA-Guandu):** conta com a aprovação da aplicação mínima de 3,5% do orçamento anual do Comitê (cobrança pelo uso da água) em projetos de PSA, visando à ampliação da iniciativa Produtores de Água e Floresta com o objetivo de replicar o projeto para toda a bacia do Guandu.
- **Pacto das Águas:** iniciativa conjunta do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) e da Secretaria de Estado do Ambiente (SEA, 2016), visando à proteção de mananciais para aumentar a segurança hídrica do estado do Rio de Janeiro. Regiões afetadas pela ocupação desordenada e pelo desmatamento são o foco da iniciativa que busca reparar o passivo ambiental que prejudica o abastecimento do estado do Rio. O programa prevê investimentos de R\$ 210 milhões para conservar 15 mil hectares de florestas nativas e restaurar outros sete mil hectares até 2022, além de ampliar em 52% o número de áreas protegidas na região, integrando várias iniciativas e projetos.

Atualmente, o CBH-Guandu tem deliberado, para até 2020, um montante de R\$ 19 milhões para investimento e custeio direta ou indiretamente relacionado à restauração, como monitoramento e controle de queimadas, capacitação em serviços ambientais, Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), implantação de

corredores ecológicos e recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APP). Entretanto, apenas 6% foram disponibilizados até a publicação deste relatório (CBH-Guandu, 2018).

Identificou-se, durante a realização deste estudo, que o principal gargalo na aplicação de recursos financeiros disponíveis é o fato de que essas ações de restauração ainda não foram internalizadas como estratégia acoplada às convencionais.

A fim de estimular o reconhecimento da infraestrutura natural como potencial ferramenta de auxílio no tratamento de água, algumas questões orientadoras foram lançadas aos atores-chave da bacia do Guandu, seguindo o método de Análise de Investimento em Infraestrutura Natural (Gartner et al., 2013).

- Como a infraestrutura natural pode contribuir para a segurança hídrica no Guandu?
- Quanto deve ser investido para implementar ações de infraestrutura natural no Guandu?
- Quantos hectares poderiam ser restaurados por regeneração natural, e quantos precisariam utilizar técnicas de restauração por plantio?
- Onde restaurar?
- Quais são as limitações da infraestrutura natural com as quais os gestores de recursos hídricos devem se preocupar?

As respectivas respostas – tomadas desde então como premissas básicas do estudo – foram, respectivamente:

- Prioridade para a retenção de sedimentos carregados do solo para os cursos d'água.
- O suficiente para restaurar três mil hectares.
- Prioridade para regeneração natural onde for possível; restauração com plantio apenas onde a primeira não for viável.
- Exclusivamente em áreas de pastagem.
- Riscos de a infraestrutura natural não ser tão eficiente na retenção de sedimentos e, assim, apresentar benefícios econômicos e ambientais menores do que o esperado.

Os atores-chave referidos neste relatório estão listados na Tabela A4 do Apêndice B.



CAPÍTULO II

ANÁLISE DE INVESTIMENTO EM INFRAESTRUTURA NATURAL PARA CONTROLE DE SEDIMENTOS

Este capítulo apresenta os principais resultados biofísicos e financeiros da restauração como infraestrutura natural para gestão de recursos hídricos.

A fim de se estimar os prováveis custos e benefícios da infraestrutura natural sobre a qualidade da água, foi aplicado o método de Análise de Investimento em Infraestrutura Natural (*Green-Gray Assessment - GGA*), desenvolvido pelo WRI. Trata-se de um método conceitual que analisa como a infraestrutura natural (*green*) pode auxiliar e complementar a infraestrutura convencional (*gray*) para produzir bens e serviços essenciais ao abastecimento de água (Talberth et al., 2013; Gray et al., no prelo). A Figura 4 ilustra o passo a passo do método.

- 1. Definição dos objetivos do investimento:** em conjunto com atores-chave, definimos como objetivo a diminuição da turbidez da água bruta no sistema Guandu por meio de restauração florestal, procurando maximizar o retorno sobre o investimento em um horizonte de 30 anos, conforme padrão típico de tomada de decisão na gestão de recursos hídricos.
- 2. Especificação dos cenários (portfólios) de investimento:** estabelecemos dois cenários. O de referência como sendo aquele em que não há restauração, e o cenário com infraestrutura natural em que se simula a restauração florestal de três mil hectares exclusivamente sobre áreas ocupadas por pastagens com alto grau de suscetibilidade à erosão.
- 3. Estimativa de resultados biofísicos econômicos:** usamos o modelo InVEST Sediment Yield para estimar as taxas de produção de sedimentos em cada cenário. Em seguida, essas taxas foram convertidas em medidas de qualidade da água e em volumes de sedimentos retidos em reservatórios (nível de assoreamento).
- 4. Valoração econômica:** estimamos os custos de tratamento de água, de dragagem e de depreciação de equipamentos nos dois cenários. Para o cenário R3000, estimamos também o investimento inicial (*upfront*), os custos operacionais e de manutenção (O&M), os custos de transação e os custos de oportunidade da terra relativos à restauração.
- 5. Análise de custo/benefício (avaliação do desempenho financeiro):** aplicando uma taxa de desconto de 8,5%, que reflete o custo médio ponderado de capital para projetos de abastecimento de água, examinamos e comparamos o desempenho do cenário R3000 quanto ao valor presente líquido (VPL), ao Retorno sobre o Investimento (ROI), ao tempo de retorno do investimento (*payback*) e à Taxa Interna de Retorno (TIR).

Figura 4 | As seis etapas do método de Análise de Investimento em Infraestrutura Natural do WRI



Fonte: Gray et al. (no prelo).



- 6. Análise de risco:** para atender aos interesses de diversos investidores públicos e privados do setor hídrico, variamos a taxa de desconto de 5% a 12%, levando em conta o risco Brasil. Utilizando o método de Monte Carlo, avaliamos a sensibilidade de nossos resultados a algumas das variáveis mais importantes levantadas segundo atores locais e literatura, a saber: a eficiência da restauração na retenção de sedimentos, o custo de oportunidade da terra em áreas de APP e os custos de restauração florestal.

Detalhes do método podem ser encontrados nos apêndices deste relatório. O Apêndice A fornece uma descrição completa dos modelos matemáticos e financeiros usados para estimativas dos custos e dos benefícios, incluindo informações detalhadas sobre as premissas e as restrições de cada modelo. No Apêndice B, descrevemos as consultas a especialistas, enquanto o Apêndice C detalha nossa análise espacial e biofísica na quantificação do carreamento de sedimentos. Para uma revisão completa, consultar também Ozment et al. (2018).

Cenários de investimento

Dois cenários de investimento foram definidos, para fins de comparação, durante a execução dos passos 1 e 2 do método GGA. Os cenários têm a finalidade de estimar custos e benefícios que poderiam ser gerados pela implantação de infraestrutura natural no Guandu, como estratégia complementar às estruturas convencionais.

Uma vez que a gestão de sedimentos da CEDAE se concentra no tratamento da turbidez da água por floculação/coagulação (sistema convencional) e no gerenciamento de dragagem de reservatório compartilhado com empresas de geração hidrelétrica, restringimos nossas análises a esses dois componentes. Comparamos os custos operacionais da infraestrutura convencional na gestão de sedimentos – considerado o cenário de referência – com os investimentos e os custos de manutenção da restauração florestal e os benefícios eventualmente gerados por ela no controle de sedimentos e, conseqüentemente, os custos evitados no tratamento da turbidez e dragagem.

Nos dois cenários, foi assumida a mesma taxa de crescimento da demanda de água (INEA, 2014a, Apêndice A), os mesmos parâmetros climáticos registrados nos últimos 40 anos (InMET, 2017) e a mesma composição de classes de uso e cobertura do solo, à exceção dos três mil hectares de pastagem do cenário de referência, que são substituídos por restauração no cenário R3000. Esse procedimento garante focar as estimativas no ganho marginal proporcionado pela infraestrutura natural, ou, em outras palavras, calcular a adicionalidade da restauração sobre o cenário de referência (Bennett, 2010).

A restauração florestal pode reduzir em 33% o carreamento de sedimentos

Segundo nossas estimativas, atualmente o total de sedimentos carreados para os cursos d'água na bacia do Guandu é de aproximadamente 152 mil toneladas por ano, ou 0,62 toneladas/ha/ano. Na porção da bacia que fica à montante do reservatório de Lajes (seção 1), o carreamento é equivalente a 0,60 toneladas/ha/ano, enquanto na seção 2, que se dispõe entre o reservatório e a ETA Guandu, a média é de 0,63 toneladas/ha/ano. Essa dinâmica gera uma carga média de sólidos suspensos de 84,8 mg/l nos corpos de água que fluem para a ETA, o que implica uma turbidez média de 28,7 NTU (ver Apêndice para detalhes).

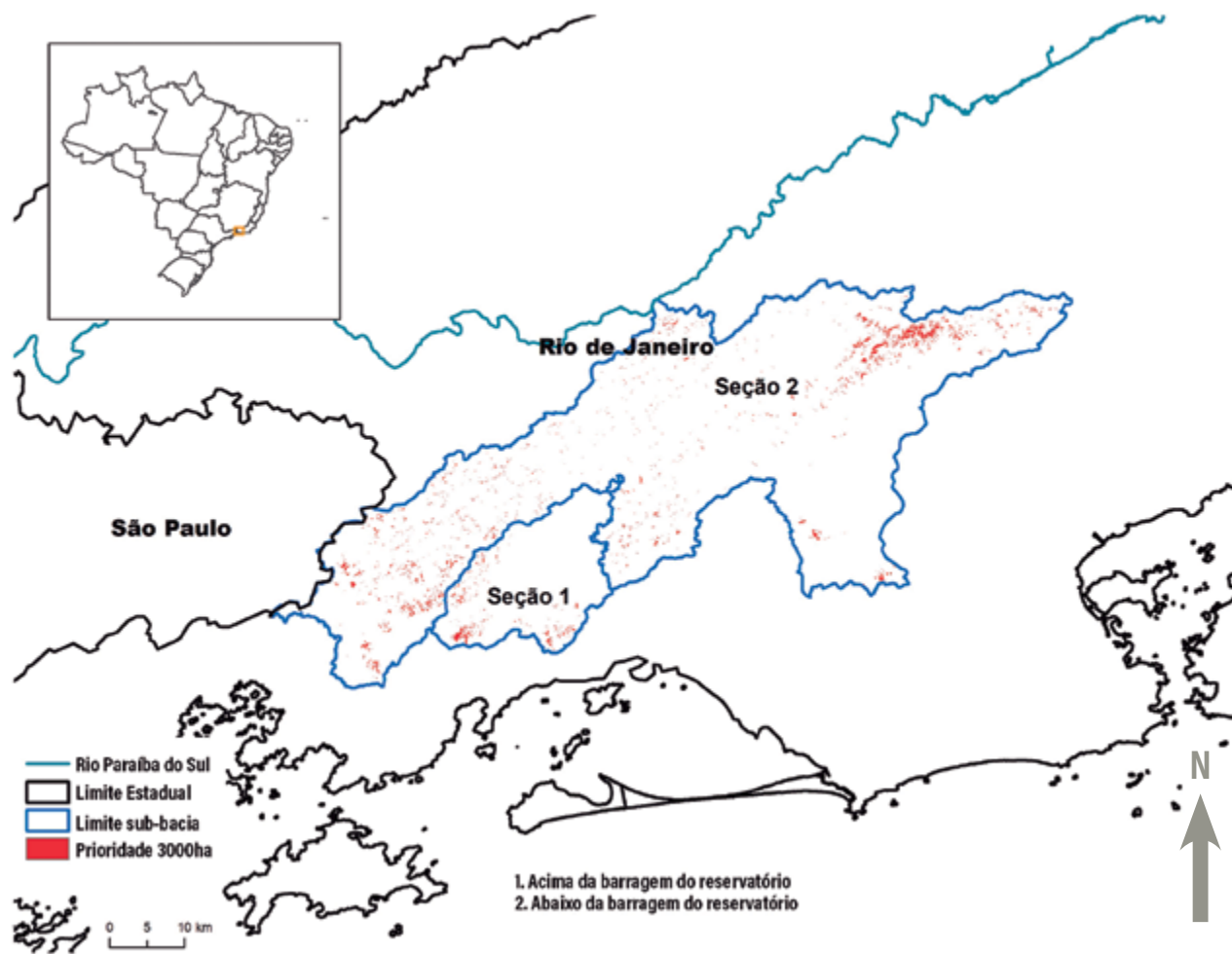
Se os três mil hectares de pastagens com o maior nível de erosão pudessem ser substituídos por florestas como prevê o cenário R3000, o total de sedimentos exportados diminuiria potencialmente em 70%. Na seção 1, o sedimento total poderia diminuir de 45.596 toneladas para 15.200 toneladas por ano com a restauração de 1.060 hectares, enquanto na seção 2 cairia de 106.627 para 30.870 toneladas por ano, com a restauração de outros 1.940 hectares. No entanto, essas reduções são apenas potenciais e só poderiam ser atingidas se a restauração gerasse benefícios imediatos e equivalentes à floresta madura.

Tabela 3 | Cenários de referência e alternativos construídos para a Análise de Investimento em Infraestrutura Natural

PORTFÓLIO DE INVESTIMENTOS	DESCRIÇÃO E PREMISSAS
Cenário de referência	<p>Investimentos em infraestrutura convencional são mantidos: não são feitos investimentos em tecnologias de infraestrutura de controle de sedimentos diferentes das existentes atualmente.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ A operação e a manutenção dos reservatórios de abastecimento de água do Sistema Guandu não se alteram. ■ Custos relativos de Operação e Manutenção da ETA Guandu se mantêm constantes (R\$/m³ de água tratada e R\$/tonelada de sedimento dragado). ■ Não há investimentos em proteção ou em restauração de florestas; não há perda ou ganho de florestas ou áreas naturais (a cobertura florestal permanece constante).
R3000	<p>Restauração florestal para infraestrutura natural</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ocorre exclusivamente em substituição de pastagens com as maiores taxas de produção de sedimentos. As estimativas de carreamento de sedimentos bem como o ranqueamento das áreas foram feitas com uso do <i>software</i> InVEST Sediment Yield Model (detalhes no Apêndice C). ■ Restauração de três mil hectares: inspirada no Programa Produtor de Água e Floresta, atores-chave indicaram que três mil hectares de restauração seria uma meta razoável para a região do Guandu. ■ Tipo de restauração implementada: 22% das áreas prioritárias poderiam ser restauradas por regeneração natural (restauração florestal passiva) e 78% por restauração com plantio total. Essa proporção foi definida por sobreposição de mapas temáticos, conforme detalhado no Apêndice A. ■ Sobreposição com áreas de preservação permanente: 19% das áreas prioritárias são restauradas em Áreas de Preservação Permanente (APPs). Essa proporção foi definida por sobreposição de mapas temáticos, conforme detalhado no Apêndice A. ■ Sequência de implementação: restauração implantada em dez anos, com manutenção por quatro anos consecutivos após a implantação. ■ Transposição de água não influencia turbidez: 78% da disponibilidade hídrica da bacia do Guandu é proveniente da transposição do Paraíba do Sul. Isso não altera os resultados porque o método aplicado se atém à diferença (adicionalidade) existente entre o estado inicial de turbidez (cenário de referência) e o estado final (após a restauração). A transposição foi considerada em ambos os cenários.

Fonte: Resultados do estudo.

Figura 5 | Áreas identificadas para restauração dos três mil hectares do cenário R3000



Nota: Áreas de pastagem com as mais altas taxas de suscetibilidade à erosão a serem restauradas no cenário R3000.

Fonte: InVEST Sediment Yield Model (Sharp et al., 2016; ver Apêndice C).

Considerando que a provisão de serviços ecossistêmicos evolui em função do ritmo de crescimento da própria floresta restaurada e que a restauração é implantada ao longo de dez anos, a implementação do cenário R3000 poderia atingir uma eficiência pouco inferior à metade da potencial (ver Apêndice A para detalhes). Assim é que, efetivamente, os benefícios gerados pela restauração poderiam ser expressos como na Tabela 4.

Contudo, para avaliar se essa performance biofísica se faz eficiente na performance financeira, é necessário comparar os custos de gestão dos sedimentos em seu nível atual com aqueles incorridos no cenário de restauração.

Tabela 4 | Impacto da restauração na produção de sedimentos e turbidez

RESULTADO BIOFÍSICO	CENÁRIO DE REFERÊNCIA	R3000	ALTERAÇÃO
Produção de sedimentos (entrada total no sistema, em toneladas, ao longo de 30 anos)	4.566.708	3.072.787	-33%
Concentração média de sólidos suspensos (mg/l) na água captada pela ETA	67,5	37,7	-56%
Nível médio de turbidez (NTU) da água captada pela ETA	28,5	19,6	-32%

Fonte: Resultados do estudo.

Desempenho financeiro das estratégias de infraestrutura natural e convencional

Os custos detalhados de tratamento de água e manutenção de reservatórios são mantidos em sigilo pelas companhias de abastecimento no Brasil. Não há informações desse tipo nem nos relatórios financeiros das empresas destinados a informar investidores (CEDAE, 2018a), nem mesmo no mais abrangente banco de dados sobre saneamento brasileiro, o chamado Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2018).

Entretanto, para compreender o impacto financeiro da infraestrutura natural no que tange somente aos processos relacionados com sedimentação, precisamos, primeiramente, estimar os custos de referência, a saber:

- **Tratamento da água:** remoção da turbidez da água por meio do sistema convencional de tratamento nos processos de coagulação, floculação e decantação, com remoção final de lodo.
- **Dragagem:** retirada periódica de material depositado no reservatório para manter a capacidade de reservação de água.
- **Depreciação de equipamentos:** abatimento do valor monetário dos ativos (máquinas e equipamentos) em função do desgaste por uso. Menores concentrações de sedimentos no sistema reduzem o desgaste e o valor depreciado.

O controle de sedimentos no Sistema Guandu custa atualmente cerca de R\$ 134 milhões por ano

Para estimar esses custos no cenário de referência, lançamos mão do uso de regressões estatísticas aplicadas a dados agregados de receita com água e esgoto e custos operacionais totais para a RMRJ coletados do SNIS (2018) com série histórica de 16 anos (2002 a 2017). Estimamos que o custo total para abastecimento de água é de aproximadamente R\$ 1,42/m³ na RMRJ.



Com base nas consultas realizadas durante os passos 2 e 3 do método GGA, na revisão da literatura e em informações de consumo de produtos químicos disponibilizados pela própria CEDAE (2017), estimamos que os custos de tratamento de água devido aos níveis atuais de turbidez atingem cerca de R\$ 0,0874/m³ de água tratada na ETA Guandu. São gastos 40g sulfato de alumínio, 9g de cloreto férrico e 7g de cal por m³ de água tratada. A depreciação de equipamentos envolvidos nesse processo de tratamento da turbidez é da ordem de R\$ 0,016169/m³ de água tratada.

Para se manter o volume útil de reservatórios, sem perda de capacidade por depósito de sedimentos, o custo médio de dragagem na região do Guandu seria em torno de R\$ 38/tonelada de sedimento seco retirado, incluindo maquinário, mão de obra e descarte do lodo (Hespanhol, 2017).

Considerando que o fluxo médio no tratamento de água para os próximos 30 anos será próximo de 43 m³/s, os custos para tratar turbidez, no cenário de referência, atingirão cerca de R\$ 123,6 milhões por ano; a depreciação, R\$ 8,5 milhões anuais; enquanto os custos de dragagem foram estimados em R\$ 1,4 milhão por ano. O custo total no gerenciamento de sedimentos seria, portanto, de R\$ 133,5 milhões/ano.



A restauração florestal requer um investimento total de R\$ 103 milhões em 14 anos

Para viabilizar a infraestrutura natural, consideramos os seguintes desembolsos:

- **Implantação:** todos os investimentos necessários para implantar a restauração, incluindo a compra, o transporte e o plantio das mudas, a preparação da área, os insumos químicos, a mão de obra e cercamentos;
- **Custos de Manutenção:** despesas incorridas por quatro anos consecutivos após a implantação como medida estratégica para reduzir riscos de perda de áreas restauradas. Assumimos também que o cercamento é depreciado em 5% ao ano, sendo necessária a instalação de nova cerca no décimo quinto ano após a implantação do projeto;
- **Custos de Transação:** despesas incorridas para identificar, sensibilizar e engajar proprietários de terras nos projetos de restauração. Embora esses custos sejam reconhecidos como fundamentais para o planejamento da restauração, eles não são estimados mesmo nos mais importantes estudos realizados no Brasil (Antoniazzi et al., 2016; Instituto Escolhas, 2016; Benini; Adeodato, 2018). Assumimos que esses custos sejam de 20% sobre o custo anualmente investido, incidindo inclusive sobre o custo de oportunidade (entrevistas com Carrascosa von Glehn, 2017; Sossai, 2017; Ruiz, 2017; Bracale, 2017);
- **Custo de Oportunidade:** o investidor em infraestrutura natural deve atender ou superar o custo de oportunidade enfrentado pelo produtor rural em suas áreas de pastagem. Assumimos que esse custo é o valor equivalente ao arrendamento médio das pastagens nos municípios da bacia do Guandu, estimado em R\$ 400/ha/ano.

Assim, o total estimado a ser despendido na implantação do cenário R3000 é de cerca de R\$ 103 milhões em valores correntes, conforme detalhado na Tabela 5.

Tabela 5 | Custos estimados para a implantação e gestão do cenário R3000

	RESTAURAÇÃO ASSISTIDA (R\$/HA)	REGENERAÇÃO NATURAL (R\$/HA)	R3000 (R\$ MIL)
INVESTIMENTOS EM RESTAURAÇÃO ASSISTIDA (78% DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS)			
Cercamento	4.107	N/A	8.627
Preparo do solo	484	N/A	1.016
Controle de formigas	166	N/A	351
Insumos químicos	648	N/A	1.360
Transporte de mudas	71	N/A	146
Mudas	1.906	N/A	3.999
Plantio de mudas	1.441	N/A	3.027
Irrigação	1.306	N/A	2.742
Mão de obra	4.409	N/A	9.263
TOTAL	14.539	N/A	30.532
INVESTIMENTOS EM REGENERAÇÃO NATURAL (22% DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS)			
Cercas e mão de obra	N/A	4.107	3.696
CUSTOS OPERACIONAIS E MANUTENÇÃO, RESTAURAÇÃO ASSISTIDA (4 ANOS)			
Controle de formigas	854	N/A	2.525
Coroamento das mudas	2.550	N/A	7.539
Replântio (mudas, transporte e plantio)	4.990	N/A	14.750
Reparo de cercas (ano 15)	973	N/A	1.763
TOTAL	9.367	N/A	26.578
CUSTOS DE OPERAÇÕES E MANUTENÇÃO, REGENERAÇÃO NATURAL			
Reparo de cercas (ano 15)	N/A	824	720
CUSTOS DE TRANSAÇÃO			
Custos de transação	5.248	2.500	12.626
CUSTO DE OPORTUNIDADE DA TERRA			
Custos de oportunidade na vigência do projeto	9.660	9.660	28.903
CUSTOS TOTAIS (valores de 2017)	38.814	17.091	103.056

Fonte: Autores do WRI.

A restauração traria economia de R\$ 259 milhões no controle de sedimentos

Para atender à demanda de água para os próximos 30 anos, o Sistema Guandu deve tratar um total de 42 bilhões de m³ de água, num fluxo médio de 43,5 m³/s (INEA, 2014a). Com a implantação da restauração, os custos de tratamento poderiam cair 6,5 % – uma economia de R\$ 241 milhões – e outros R\$ 18 milhões em custos evitados de dragagem e depreciação, somando R\$ 259 milhões em benefícios, ao longo de 30 anos em comparação com o cenário de referência (detalhes Apêndice A). Na Tabela 6, apresentamos os custos totais despendidos nos dois cenários ao longo dos 30 anos, bem como os custos evitados em função dos serviços de retenção de sedimentos fornecidos pela restauração.

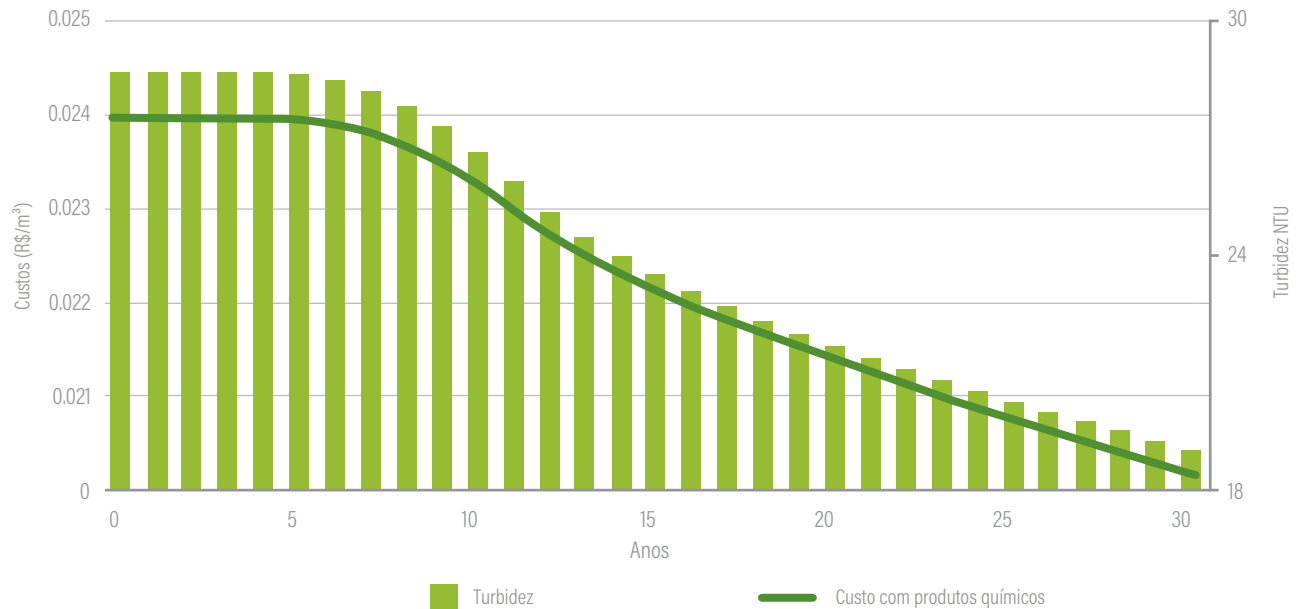
Esses resultados positivos sugerem claramente que a infraestrutura natural pode funcionar como uma estratégia auxiliar para controlar os custos de gerenciamento de sedimentos e melhorar a qualidade da água na bacia do Guandu. A restauração não é eficiente apenas do ponto de vista biofísico, mas também econômico, mesmo não havendo uma relação proporcional entre as performances. Como visto, a restauração dos três mil hectares em áreas prioritárias pode reduzir o carreamento de sedimentos em 33%, enquanto os custos totais envolvidos no gerenciamento desses sedimentos seriam reduzidos em 6,4%. Dessa redução, os custos de tratamento responderiam por 93%, a depreciação por 4% e a dragagem 3%.

Tabela 6 | Turbidez média da água bruta e custos operacionais totais em 30 anos (valores correntes)

	CENÁRIO REFERENCIAL	R3000	CUSTOS EVITADOS	ECONOMIA (%)
Turbidez média da água bruta na estação de tratamento (NTU)	28,7	19,6	N/A	N/A
CUSTOS DE TRATAMENTO DA ÁGUA (R\$, MILHÕES)				
Mão de obra (salários, encargos e benefícios)	1.433,0	1.373,4	59,6	4,2
Produtos químicos	1.017,4	942,1	75,3	7,4
Reposição de material e produtos filtrantes	268,8	223,9	44,9	16,7
Remoção do lodo	162,5	135,3	27,1	16,7
Energia	827,5	793,1	34,4	4,2
TOTAL	3.709,1	3.467,8	241,3	6,5
CUSTOS DE DRAGAGEM (R\$, MILHÕES)				
Mão de obra	0,5	0,4	0,1	18,6
Maquinário	39,3	31,9	7,4	18,7
Descarte	2,4	2,0	0,5	18,4
TOTAL	42,3	34,3	7,9	18,7
DEPRECIAÇÃO TOTAL (R\$, MILHÕES)				
Depreciação dos equipamentos	254,1	243,9	10,2	4,0
TOTAL	254,1	243,9	10,2	4,0
CUSTOS TOTAIS (R\$, MILHÕES)	4.005,6	3.746,1	259,5	6,5

Fonte: Resultados do estudo.

Figura 6 | Turbidez estimada e custos de produtos químicos por ano, ao longo dos 30 anos de implantação de R3000



Note: O custo dos produtos químicos diminui em uma relação não linear, de acordo com equação logarítmica, detalhada no Apêndice C.
 Fonte: Resultados do estudo.

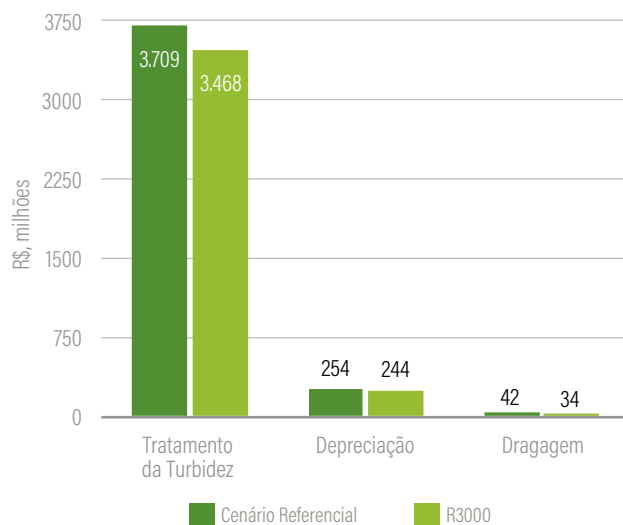
Porém, mais importante do que essa economia é saber se tais benefícios monetários compensariam os custos adicionais impostos pela implantação da restauração, pois o cenário R3000, como frisado anteriormente, tem um custo total na ordem de R\$ 103 milhões com benefícios gerados (custos evitados no gerenciamento de sedimentos) equivalentes a R\$ 259 milhões em valores correntes, ou seja, benefícios três vezes maiores que os custos, indicando alta performance econômica.

Uma vez que os eventos de saída e de entrada de caixas (custos e benefícios) obedecem a ritmos diferenciados, pois dependem do calendário de implantação da restauração e da provisão gradual dos serviços ecossistêmicos por ela proporcionados, isso implica considerar a distribuição desses eventos financeiros em um fluxo de caixa descontado.

Utilizou-se a taxa de desconto real de 8,5% ao ano, sugerida por analistas do Banco BTG Pactual em sua pesquisa aplicada ao setor de água no Brasil (Junqueira; Pimentel; Castro, 2017). Sob tal desconto, a infraestrutura natural geraria um Valor Presente Líquido de R\$ 6,4 milhões, com o Retorno Sobre o Investimento em 13%. O projeto teria *payback* – tempo necessário para se

recuperar o investimento – de 26 anos, quatro anos antes do horizonte previsto, demonstrando viabilidade econômica.

Figura 7 | Custos da gestão de sedimentos hídricos nos diferentes cenários de investimentos (R\$, milhões, horizonte de 30 anos)



Fonte: Resultados do estudo.

Análise de sensibilidade

A solidez de um projeto é testada pela persistência e sensibilidade de seu desempenho financeiro à exposição a riscos (Assaf Neto, 2010). Para projetos em que os componentes climáticos e biofísicos são relevantes, as análises de risco devem incluir variáveis ambientais, além dos riscos inerentes a qualquer projeto financeiro, como oscilações nos custos, prêmios de riscos e diferentes perspectivas de descontos futuros (Ittelson, 2017; IPCC, 2014).

A eficiência da restauração na retenção de sedimentos – principal fonte ambiental de risco – e os custos de restauração e os custos de oportunidade da terra – riscos convencionais – foram identificados como as três variáveis relevantes para a análise de solidez financeira da restauração dirigida ao manejo de sedimentos e ao tratamento de turbidez da água (Sousa Júnior, 2011; Kroeger et al., 2017; Ozment et al., 2018).

Testou-se, além disso, a sensibilidade a diferentes taxas de desconto para abordar perspectivas distintas na composição dos custos de capital. Consideramos um “cenário de baixo risco”, com

taxa social de desconto de 5% (Lopez, 2008), e um “cenário de alto risco” com taxa de 12%, que reflete a taxa básica de 8,5% adicionada ao Risco Brasil (detalhes no Apêndice A).

Para compreender o impacto da retenção de sedimentos no desempenho financeiro do R3000, conduzimos, inicialmente, uma análise estatística (simulação de Monte Carlo) baseada nas faixas de resultados prováveis do InVEST (Hamel et al., 2015). Encontramos que, em 95% das simulações, a retenção de sedimentos variou de 20% a 43%.

Quanto ao custo de restauração, estudos recentes avaliaram que os custos de implantação e de manutenção da restauração com plantio total na Mata Atlântica ficam entre R\$ 7.800 e R\$ 21.200/ha (Benini; Adeodato, 2017), o que representa de 65% mais barato a 5% mais caro do que os dados utilizados em nossa análise principal para o R3000. Finalmente, para o custo de oportunidade da terra, substituímos o valor do arrendamento para o equivalente ao PSA que vem sendo cotado para ser aplicado na região, de R\$ 180/ha/ano (dados levantados por esta pesquisa). A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos.



Tabela 7 | Resultados da análise de sensibilidade do cenário R3000

CENÁRIOS	DESCRIÇÃO	TIR	PAYBACK (ANOS)	ROI (%)	VPL (R\$, MILHÕES)
R3000	<i>Benchmark</i>	9,9	26,3	13,1	6,388
PRÊMIO DE RISCO AO INVESTIDOR					
D05	Taxa Social de Desconto de 5% a.a., supondo apreciação da sociedade pelos ativos ambientais futuros	9,9	22,1	53,4	34.826
D12	Para investidores avessos a risco, intolerantes a <i>paybacks</i> longos	9,9	39,6	-19,4	-7.569
FATORES DE IMPLEMENTAÇÃO (TAXA DE DESCONTO DE 8,5%)					
CR+	Os custos de restauração assistida são os máximos encontrados na literatura para a Mata Atlântica, o que representa 5% acima dos utilizados no cenário R3000	9,1	28,3	5,6	2.885
CR-	Os custos de restauração assistida são os mínimos encontrados na literatura para a Mata Atlântica, o que representa 63% abaixo dos utilizados no cenário R3000	19,6	16,1	120,6	29.774
PSA	Custo de Oportunidade da terra é equivalente ao valor de PSA, ou seja, R\$ 180/ha/ano ao invés do arrendamento no valor de R\$ 400/ha/ano	10,5	24,9	21,3	9.574
FATORES BIOFÍSICOS (TAXA DE DESCONTO DE 8,5%)					
RS-	Desempenho de retenção de sedimentos no limite inferior da curva normal (dentro de 2,5% dos menores valores), o que representa retenção de 20% menor que em R3000	6,3	38,9	-18,1	-8.978
RS+	Desempenho de retenção de sedimentos no limite superior da curva normal (dentro de 2,5% dos maiores valores), o que representa retenção de sedimentos 43% maior que em R3000	12,7	21,9	47,0	23.333

Fonte: Resultados do estudo.

Como interpretar os resultados

O cenário R3000 apresenta uma alta sensibilidade ao risco intrínseco representado nas taxas de desconto. Projetos de restauração, em que há desembolsos vultosos nos primeiros anos e geração de receitas (ou custos evitados) apenas no médio prazo são duramente penalizados por taxas de desconto altas.

Em um cenário com taxa social de desconto de 5%, o retorno é alcançado cinco anos antes do *benchmark*, com VPL sete vezes maior. Os quase R\$ 30 milhões adicionais poderiam ser suficientes para estender o projeto em quase um terço, ou seja, mil hectares a mais de restauração considerados no R3000.

Por outro lado, um cenário de maior risco, por exemplo, sob instabilidade macroeconômica em que investidores se oponham a projetos de longo prazo – ou para investidores avessos a riscos inerentes à infraestrutura natural –, as perdas reais poderiam chegar a R\$ 7,5 milhões, com taxa de desconto de 12% a.a. O ROI negativo em cerca de 19% evidencia inviabilidade da restauração com fins de provimento de serviços de gerenciamento de sedimentos em menos de 40 anos.

Para os fatores de implementação, projetos de restauração são geralmente viáveis com resultados financeiros próximos ao R3000. Se a restauração fosse 63% mais barata, como o limite inferior indicado na literatura (Benini; Adeodato, 2017),

o ponto de equilíbrio estaria no 16º ano gerando um VPL mais de seis vezes o R3000, com um ROI em torno de 120%. Mesmo quando considerados custos de restauração 5% maiores do que os custos encontrados durante nossas entrevistas, o retorno ainda seria positivo, sendo alcançado no prazo do horizonte do projeto de 30 anos. As dificuldades de se alavancar a restauração em larga escala se apoiam prioritariamente na discussão de que projetos têm subestimado os custos, especialmente omitindo-se os custos de transação e de oportunidade (Antoniazzi et al., 2016; Instituto Escolha, 2016).

Focando nos custos de oportunidade e na sua relação com os programas de pagamento por serviços ambientais, os resultados são muito animadores. Os valores de PSA aplicados no Rio de Janeiro estão sendo discutidos. Ikemoto (2018) relata que organizações de produtores rurais vêm pleiteando, no âmbito do Programa Produtor de Água e Floresta, um valor de R\$ 180/ha/ano aos produtores rurais que atenderem às condições ótimas de restauração. Simulando o pagamento de PSA com esses valores, incluindo as áreas de APP, o projeto R3000 se pagaria em 25 anos, gerando um superávit (VPL) de nada menos do que R\$ 9,6 milhões, ou R\$ 3 milhões adicionais ao R3000.

A legislação de proteção nativa, especialmente a Lei nº 12651/2012, prevê a implantação do Cadastro Ambiental Rural de todas as propriedades rurais brasileiras, assim como a implantação de Programas de Recuperação Ambiental de áreas degradadas, em caso de APP em condições de uso inadequadas. A aplicação dessa lei pode gerar uma oportunidade para restauração a um baixo custo em APP, fazendo com que proprietários rurais interessados em projetos de restauração se adaptem à legislação.

Quanto à eficiência da restauração na retenção da sedimentação, o impacto no desempenho financeiro não é grande. A Taxa Interna de Retorno (TIR) se mantém praticamente constante, com os demais indicadores financeiros muito semelhantes ao *benchmark*. Esses resultados estão diretamente relacionados à amplitude de carreamento de sedimentos na região da bacia do Guandu, ao menos no que pôde ser detectado pelo uso dos modelos InVest. As médias e desvios padrões de carreamento de sedimentos são baixos, de modo que as variações aleatórias dentro dos limites utilizados na análise de sensibilidade não são suficientes para gerar grandes mudanças financeiras no projeto.

Figura 8 | Turbidez estimada e custos de produtos químicos por ano, nos diferentes portfólios de investimentos



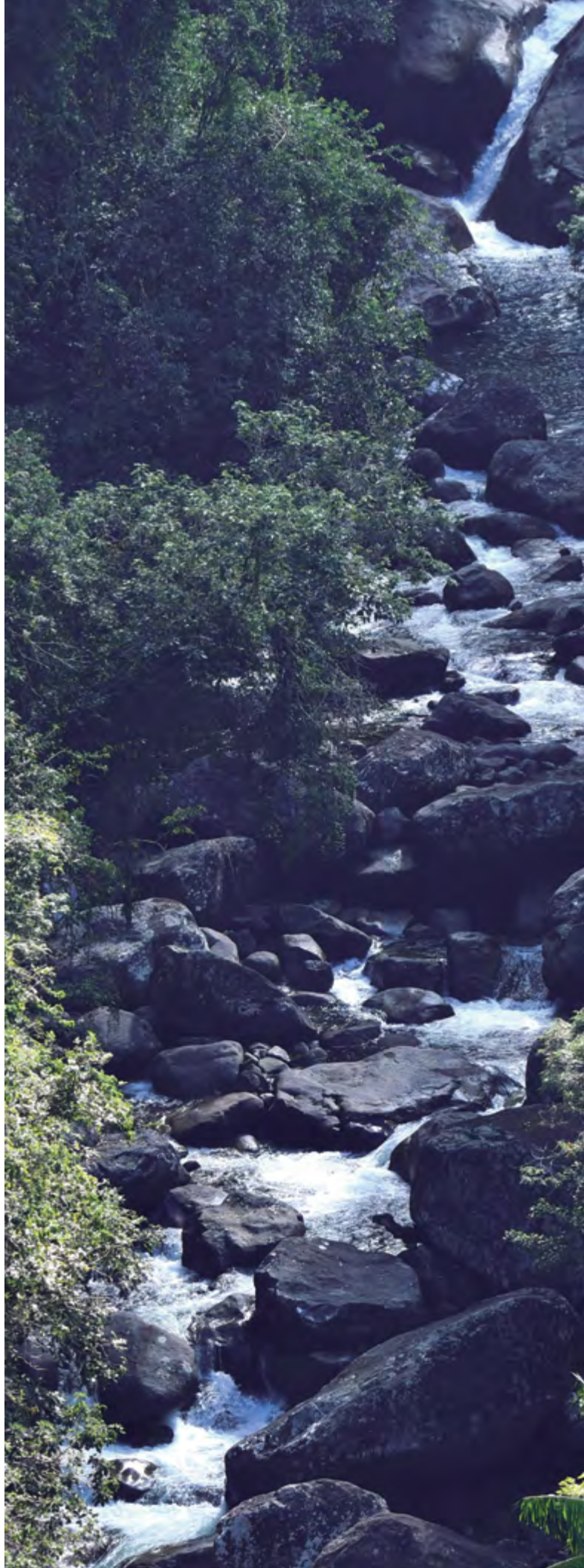
Nota: Diferença de VPL (Milhões R\$) em relação ao R3000. Diferença de TIR (pontos percentuais) em relação ao R3000. Diferença de ROI (pontos percentuais) em relação ao R3000. Fonte: Resultados do estudo.

Se a infraestrutura natural – restauração – sugerida por esta pesquisa fosse implementada na bacia do Guandu, poderiam ser gerados benefícios líquidos da ordem de R\$ 156 milhões, em valores correntes, ou um Valor Presente Líquido de R\$ 6,4 milhões, com Retorno sobre o Investimento de 9,9%.

Esse nível de retorno está dentro da faixa dos investimentos tradicionais realizados pelas empresas de saneamento, encerrada entre 3% e 22%, segundo dados disponibilizados por estudo recente do Banco BTG Pactual (Junqueira; Pimentel; Castro, 2017). É preciso lembrar que tal retorno da restauração decorria apenas da provisão dos serviços de retenção de sedimentos, não sendo contabilizados quaisquer outros como ciclagem do carbono, regulação do fluxo hídrico, polinização etc. (Bamlford et al., 2002).

A performance financeira da infraestrutura natural seria, portanto, compatível com as expectativas do setor. Por outro lado, as projeções internacionais dão conta de que o mercado de produtos químicos para tratamento de água deve atingir, em 2022, R\$ 200 bilhões, a taxas de crescimento – entre 2017 e 2022 – de 6% ao ano, seguindo tendência de crescimento do PIB de 6,3% ao ano, o que sugere a predominância de investimentos convencionais em detrimento das estratégias verdes (Research and Markets, 2017). Por outro lado, o custo de tratamento de água pelas técnicas convencionais tem aumentado vertiginosamente. Brito (2015) calcula, por exemplo, que o custo de tratamento de água em São Paulo, no sistema Guarapiranga, aumentou, entre 1985 e 2010, o equivalente a 700% em valores reais, especialmente em função da significativa piora da qualidade da água bruta, que exige maiores concentrações de produtos químicos.

A despeito disso, sob a perspectiva de que investimentos em infraestrutura natural devem ir além do âmbito restrito a empresas de saneamento, por se tratarem de intervenções ao nível da paisagem (Gartner et al., 2013), o retorno positivo ganha um apelo ainda mais forte para sua implementação.





Nos 15 municípios que compõem a bacia do Guandu, o déficit de floresta para adequação legal das propriedades rurais à Lei de Proteção de Vegetação Nativa (Lei nº 12.651/12) é da ordem de 13.300 hectares entre áreas de APP e RL (Imaflora; Geolab, 2017). Isso implica, em última análise, a obrigatoriedade legal de se restaurar ou de compensar um montante equivalente a essa área, independentemente de se esperar dela qualquer retorno financeiro. Considerando o custo médio da restauração na Mata Atlântica de R\$ 14.500/ha (Benini; Adeodato, 2017), um total de R\$ 193 milhões deveriam ser despendidos para sanar o déficit ambiental. Se acrescidos os custos de transação e de oportunidade da terra utilizados em nossa análise, deveriam ser gastos adicionalmente R\$ 61 e 128 milhões respectivamente, totalizando R\$ 388 milhões. Nessas circunstâncias, a mera adequação legal não traria, em princípio, qualquer perspectiva de retorno direto.

Por outro lado, a internalização dos benefícios tangíveis trazidos pela floresta, como a melhoria na qualidade da água, é fundamental para guiar estratégias que possam contemplar diferentes objetivos em ações convergentes: se é preciso restaurar florestas para cumprir a legislação, e sabe-se que essas mesmas florestas podem evitar custos de tratamento de água, por que não unir esforços para adequação ambiental e saneamento na mesma ação de implementação da infraestrutura natural?



CAPÍTULO III

DA ANÁLISE À AÇÃO: ELEMENTOS PARA A IMPLANTAÇÃO DA INFRAESTRUTURA NATURAL SEGUNDO OS ATORES-CHAVE LOCAIS

Este relatório abordou a justificativa para investimentos mostrando que, com base nas premissas do estudo, a restauração de três mil hectares de florestas oferece um ROI atrativo para empresas de água e comitês de bacias hidrográficas. Porém, é preciso mais do que um negócio atrativo. Este capítulo explora o que os atores locais identificaram como fundamentais para levar a restauração adiante.

Embora a infraestrutura natural possa ser muito atrativa, um caso teórico nem sempre é suficiente para inspirar a confiança do investidor em projetos de infraestrutura natural. Na verdade, os gerentes, engenheiros e reguladores do setor hídrico, que são parte integrante da operacionalização da infraestrutura natural, muitas vezes são céticos em relação a abordagens que integrem estratégias de gerenciamento hídrico e ambiental. É claro que a infraestrutura natural possui riscos, e há ainda muita incerteza científica quanto a sua eficiência. Mas testar a solidez dos projetos, como fizemos no capítulo anterior, ajuda a aumentar a confiança.

A avaliação de um conjunto mais amplo de condições práticas, políticas e sociais para implantação da infraestrutura natural é igualmente importante para a Análise de Investimento em Infraestrutura Natural. Como cada local tem seu próprio conjunto de vantagens e desafios, realizamos uma pesquisa com as partes interessadas no Guandu a fim de tentar capturar alguns dos principais elementos que devem ser abordados para facilitar o desenvolvimento de programas de infraestrutura natural bem-sucedidos. Trata-se de uma exploração do ambiente institucional que envolve a prospecção da restauração como negócio, para além de sua performance financeira.

No Guandu, já estão presentes muitos dos ingredientes essenciais para amenizar os riscos percebidos e fortalecer compromissos de investimentos em restauração com aproveitamento dos serviços ambientais no tratamento de água. Como explorado em capítulos anteriores, os programas Produtor de Água e Floresta, PSA-Guandu, Pacto das Águas e o Replantando Vida são iniciativas valiosas, mas precisam ganhar escala.

Por meio de *workshops*, consultas individuais e uma pesquisa de opinião, trabalhamos com os atores-chave locais com o objetivo de analisar os principais desafios e oportunidades para se progredir com as estratégias de implementação de infraestrutura natural (ver mais informações no Apêndice B). Complementamos as contribuições das partes interessadas com uma extensa revisão da literatura, cujo foco foram os programas de infraestrutura natural na área em estudo. Tomando por base a matriz de fatores de sucesso para investimentos em bacia hidrográfica de

Ozment et al. (2016), organizamos nossas observações em três áreas prioritárias para ação:

- ampliação dos esforços de infraestrutura natural para cobrir áreas prioritárias em toda a bacia do Guandu;
- implementação da infraestrutura natural para ter um impacto significativo e mensurável no suprimento de água do Rio de Janeiro; e
- integração da infraestrutura natural aos planos e estratégias de gerenciamento de água.

Entre as respostas que recebemos, as quatro prioridades mais comuns foram:

- identificar investidores e recursos financeiros domésticos e externos de longo prazo para a restauração;
- monitorar a execução e avaliar os impactos de projetos de restauração;
- promover maior solidez científica nos planos de manejo da bacia; e
- fortalecer parcerias.

Cada um desses fatores é discutido em maior detalhe a seguir, destacando-se sua importância para o sucesso do projeto, os principais desafios e as próximas etapas recomendadas. Essa breve revisão de prioridades comuns pode servir como base para que as partes interessadas locais construam uma estratégia de programa de infraestrutura natural mais bem elaborada.



Identificar investidores e recursos financeiros domésticos e externos de longo prazo para restauração

Conforme discutido no capítulo anterior, a Análise de Investimento em Infraestrutura Natural estimou que o investimento em restauração precisa ser de R\$ 103 milhões em dez anos, com outros quatro anos de manutenção. No entanto, se houvesse a antecipação do investimento, em cinco anos melhoraria significativamente o ROI do projeto. Com cerca de apenas um terço do investimento necessário já em mãos, o Fundo de Água do Guandu precisaria arrecadar mais R\$ 60 milhões, idealmente de investidores que poderiam disponibilizar grandes quantias de financiamento no curto prazo.

Atualmente, a principal fonte de financiamento para a infraestrutura natural é o CBH-Guandu. Em 2012, o Comitê da Bacia Hidrográfica contratou 3,5% de seu orçamento para conservação florestal e restauração (Bremer et al., 2018). Cerca de R\$ 25 milhões foram destinados para a criação de planos de aplicação (2017-2020) (CBH-2017).

Embora esses fundos sejam essenciais, as partes interessadas enfatizaram que depender apenas dos recursos gerados pela cobrança da água e encaminhados para o Comitê seria insuficiente para cobrir os custos totais do programa. A necessidade de envolver investidores externos também é mencionada no Plano da

Bacia do Guandu. Essa fonte de financiamento foi limitada recentemente quando os fundos foram suspensos pelo estado do Rio de Janeiro, e o Comitê provavelmente não poderá antecipar seu investimento em cinco anos. Portanto, parece que os fundos do Comitê de Bacias Hidrográficas poderiam ser usados como fundos de alavancagem para inspirar investimentos complementares de beneficiários de água ou outros programas relevantes.

A CEDAE, a Light e outros grandes usuários já contribuem por meio da taxa de água, mas poderiam colher mais benefícios se fornecessem fundos adicionais para a infraestrutura natural – as partes interessadas explicaram que essas entidades precisam tomar ciência dos benefícios econômicos da infraestrutura natural –, ainda muito focada em compensações ambientais meramente interpretadas como obrigatórias e onerosas.

É preciso salientar também que os projetos de restauração para fins de provisão de serviços ecossistêmicos como os aqui descritos não apresentam fluxos geradores de caixa – ou seja, não há receitas – mas, diferentemente disso, os benefícios se materializam em abatimento de custos. Nesse sentido, o perfil de investidores com maior probabilidade de engajamento seriam aqueles dispostos a se tornarem *shareholders* da empresa de saneamento. Destacar-se-iam, assim:

- A própria CEDAE, por meio da ampliação do Programa Replantando Vida, vem aumentando os esforços na recuperação de matas ciliares, nascentes, zonas de recarga e demais áreas prioritárias para a melhoria da qualidade e quantidade da água nas bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro. Para atendimento das ações ambientais de seu programa, a empresa tem viveiros florestais estruturados, que, juntos, apresentam capacidade produtiva de 1,8 milhão de mudas por ano (CEDAE, 2018a).
- Outras estratégias do setor privado em infraestrutura natural na redução de riscos e oportunidades de novos negócios já têm sido colocadas em prática há pelo menos 25 anos. A empresa de energia elétrica que compartilha o reservatório de Lajes, Light (2015), criou seu Programa de Reflorestamento em 1992 priorizando áreas no entorno dos reservatórios



de usinas hidrelétricas, tendo realizado o plantio de três milhões de mudas nativas, o equivalente a aproximadamente 600 hectares.

- Desde 2009, a The Nature Conservancy (TNC), a Secretaria de Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (SEA), o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) e o Instituto Terra de Preservação Ambiental (ITPA) implantaram o projeto piloto de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) chamado Produtores de Água e Floresta, tendo sido investidos R\$ 8,5 milhões no Município de Rio Claro/RJ. Entidades como a Federação das Indústrias do Estado do RJ (FIRJAN) e o Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) recentemente assinaram acordo de cooperação com a TNC, no âmbito da Coalizão Cidades pela Água, com o objetivo de prospectar financiadores para investimentos em infraestrutura natural e ampliar essas ações para além de Rio Claro.

Apesar desses esforços, as partes interessadas expressaram a sensação de que, pelo menos até agora, o envolvimento do setor de saneamento e dos outros grandes usuários privados tem sido muito baixo para cobrir a necessidade de investimento em infraestrutura natural.

Várias outras ideias foram propostas. O aumento da colaboração com programas de compensação ambiental foi uma das oportunidades mais comumente citadas para aumentar o financiamento para a infraestrutura natural. No entanto, as partes interessadas notaram os desafios burocráticos de fomentar tal colaboração com os programas públicos. Foram mencionadas, também, oportunidades de financiamento externo, como fundos internacionais, por exemplo o Green Climate Fund.

Ademais, expressaram que, independentemente do investidor, o projeto do programa de infraestrutura natural deve ser baseado em dados robustos para atrair investimentos externos. Eles também explicaram que os fundos para cobrir pesquisa científica, planejamento e coordenação (custos de transação) são os que mais precisam ser alavancados, provando os resultados positivos alcançados no chão.

Monitorar a execução e avaliar os impactos de projetos de restauração

Uma das principais lacunas para investimento em infraestrutura natural no Brasil é a ausência de monitoramento efetivo, com métricas biofísicas que permitam avaliar o impacto e reduzir incertezas para investidores. Ou seja, o *business case* para investimento em infraestrutura natural precisa trazer a relação entre o valor investido e o resultado concreto em água, sempre apontado como uma premissa dos investidores. Além disso, há dificuldades de demonstração de resultados práticos (*ex-post*) das ações existentes, assim como os modelos atuais de negócios desconsideram a dependência dos serviços ecossistêmicos, limitando-se, quando muito, às ações de responsabilidade social. De acordo com o relatório elaborado pela UNESCO, menos de 1% do investimento total em infraestrutura para gestão de recursos hídricos no mundo é direcionado para infraestrutura natural (WWAP; UN-Water, 2018).

Os principais atores que atuam na bacia do Guandu apontam que o monitoramento da implementação da restauração deve elucidar o papel da infraestrutura natural na qualidade da água. Porém o tema da quantidade e da disponibilidade de água é igualmente relevante, principalmente no que concerne à variação ao longo do tempo, ou seja, à sazonalidade da disponibilidade da água na bacia, e às mudanças climáticas. O monitoramento dos resultados desse tipo de intervenção se relaciona de modo direto aos investimentos, principalmente porque os resultados da restauração aparecem no longo e médio prazo. Isso carece de estratégias, tais como:

- O envolvimento de empresas que têm a água intrinsicamente em sua cadeia de valor, como Light e CEDAE, assim como o INEA no papel de executor e formulador de políticas públicas, é fundamental para somar esforços para formulação e implementação das ações de monitoramento que permitam evidenciar os resultados.
- A restauração de APP poderia evitar a ocupação irregular dessas áreas, evitando perdas econômicas e riscos à vida humana, como ocorridos em desastres recentes registrados na região. Tais aspectos também



podem fazer parte do monitoramento, envolvendo a defesa civil, por exemplo.

- O projeto Produtor de Água e Floresta em desenvolvimento no município de Rio Claro conta com o monitoramento hidrológico, inclusive com estudo de captação de água da neblina pela floresta, e também da avifauna e da ictiofauna (Bremer et al., 2018). Esse monitoramento é conduzido pela TNC e poderia ser aprimorado com o apoio do CBH-Guandu com parcerias de instituições de ensino e pesquisa, especialmente através da pesquisa em nível de mestrado e doutorado.
- Como mostrado no Capítulo II deste relatório, as áreas prioritárias de infraestrutura natural para controle de sedimentos estão localizadas em todo o Guandu, não apenas em Rio Claro, exigindo, portanto, maior esforço de coleta de dados e aperfeiçoamento do monitoramento.

Um próximo passo importante é estabelecer um plano entre todas as instituições envolvidas no monitoramento da qualidade da água para garantir o acesso, a compatibilidade e a complementaridade dos esforços. As instituições que podem contribuir para tal programa de monitoramento incluem TNC, CEDAE, INEA, ITPA, entre outras.

Promover maior solidez científica nos planos de manejo da bacia

A demanda por um plano cientificamente robusto, apontado como uma premissa para atrair investimentos, pode ser facilitada pela integração das ações em andamento executadas por diversos atores na bacia do Guandu, como programas de PSA e de restauração do Guandu. Ainda, destacam-se as iniciativas do INEA, que disponibiliza estudos de áreas prioritárias

para restauração, considerando estratégias públicas para gestão de recursos hídricos associando-as às iniciativas do setor privado.

A integração de dados é, portanto, essencial, e a criação de estruturas e plataformas que permitam aglutinar, padronizar e disseminar essas informações será um passo fundamental para que as ações, os investimentos, o monitoramento e a consolidação do papel da infraestrutura natural sejam viáveis. Nesse aspecto, o papel das universidades na produção de conhecimento científico que faça uma análise integrada dos dados disponíveis e aponte caminhos para a gestão integrada da bacia do Guandu é uma premissa igualmente relevante. Por último, a priorização de restauração de áreas em regiões mais sensíveis a enchentes pode ser um direcionador importante de determinados programas do comitê.

É intrínseco à infraestrutura natural um nível de risco mais alto, inerente aos fatores que podem fugir ao controle gerencial, como sucesso no crescimento, desenvolvimento das florestas restauradas e eficiência na provisão de serviços ecossistêmicos. Além disso, os benefícios financeiros obtidos pela infraestrutura natural não são gerados de caixa, o que dificulta sobremaneira o interesse de investidores externos, sendo, portanto, uma questão de *shareholders* das empresas de saneamento.

Grandes usuários, sociedade civil, órgãos públicos e iniciativas privadas – como as que já compõem o Comitê Guandu – podem vislumbrar diferentes benefícios oriundos da restauração, dividindo custos e promovendo ações conjuntas para maximizar suas expectativas.

Enquanto organizações não governamentais, como TNC e ITPA, vislumbram a restauração na bacia como uma estratégia de reestabelecer a biodiversidade, o balanço hídrico e microclimático, órgãos públicos, como INEA e SEA, focam também na adequação legal das propriedades rurais. Nesse caso, embora os objetivos primários sejam relativamente diferentes, são complementares e convergem para a mesma ação: restauração florestal.

Fortalecer parcerias

Como mencionado nas seções anteriores, o fortalecimento de parcerias é importante para intensificar os esforços de implementação de infraestrutura natural, por exemplo, coordenando o monitoramento, combinando financiamentos para alcançar múltiplos objetivos e construindo uma base científica melhor para intervenções no nível da bacia.

As partes interessadas enfatizaram consistentemente que o objetivo de implementar uma iniciativa de infraestrutura natural em larga escala na bacia do Guandu seria extremamente limitado sem a sociedade civil organizada, o apoio político e institucional e os fundos privados. A avaliação sobre o atual estágio dessas parcerias não é consensual. Alguns entrevistados destacaram que as parcerias entre ONGs, governo e empresas são bem conduzidas. No entanto, outros apontam que existem vários programas distintos operando no Guandu que não estão totalmente



integrados nem convergentes, expressando a necessidade de reforçar os esforços em curso.

Alguns acreditam que os parceiros precisam definir e entender melhor as funções de cada um no programa. Outros entrevistados comentaram que a crise financeira no estado descarrilou o progresso do desenvolvimento de uma agenda compartilhada. Um dos aspectos evidentes para essa perspectiva é que, atualmente, o projeto Produtor Água e Floresta não tem capacidade de gestão, uma vez que o termo de transferência entre a SEA, o INEA, o Comitê Guandu, o ITPA e a TNC expirou em 2014.

Os próximos passos necessários incluem:

- conhecimento de metas claras, objetivas, mensuráveis, efetivamente executáveis e significativas que estejam presentes e acordadas entre os atores capazes de concretizá-las;
- melhor definição de funções e preenchimento de lacunas de capacidade, alavancando as competências relevantes dos parceiros;

- união de parceiros governamentais e não governamentais em uma agenda colaborativa; e
- consolidação de relatórios de acompanhamento para mostrar os progressos conquistados e os equívocos recorrentes a fim de que sejam sanados.

Uma estratégia para implementar esses próximos passos seria aproximar o Plano Estratégico do CBH-Guandu ao Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado do Rio de Janeiro e ao Programa Estadual Pacto pelas Águas. O governo do estado lançou em 2015 o Programa Pacto pelas Águas baseado em estudos técnicos que apontam áreas de interesse para conservação de mananciais. A meta desse programa é a conservação de 15 mil hectares, associado à restauração de sete mil hectares até 2022. As áreas apontadas no presente estudo poderiam auxiliar as tomadas de decisão sobre onde restaurar primeiro, unindo os esforços dos planos do Comitê e do governo do estado para isso.





CONCLUSÃO

Este relatório apresentou uma análise financeira robusta para investimentos em restauração como infraestrutura natural, que complementem e protejam o maior sistema de abastecimento de água da região metropolitana do Rio de Janeiro. Ele se soma às crescentes evidências de que a infraestrutura natural pode ser uma poderosa ferramenta para a gestão de recursos hídricos.

Avaliando-se apenas o potencial das florestas restauradas no tratamento da água e na erosão dos reservatórios, os benefícios líquidos do investimento na restauração de três mil hectares poderiam atingir R\$156 milhões, com retorno de investimento da ordem de 13%, compatível com o obtido em infraestruturas convencionais do setor de saneamento.

Outros benefícios não contabilizados aqui poderiam representar a adequação ambiental das propriedades rurais, uma renda alternativa a produtores advinda da restauração ambiental, e outros serviços ecossistêmicos potenciais, como sequestro de carbono, regulação do fluxo hídrico, polinização, abrigo para fauna etc.

O Rio de Janeiro tem, pois, uma oportunidade de suprir suas necessidades hídricas combinando múltiplos benefícios. Uma etapa crucial a ser cumprida é incorporar as considerações sobre infraestrutura natural aos processos de planejamento da gestão de recursos hídricos e expandi-las para parceiros não tradicionais, como proprietários rurais, procurando alcançar objetivos diferentes, mas que se concretizem na restauração compartilhada.

Ao mesmo tempo, os programas de infraestrutura natural e as agências governamentais poderiam apoiar os gestores de recursos hídricos oferecendo estratégias de infraestrutura natural bem planejadas e trabalhando para criar condições que viabilizem as ações. A abordagem de alguns dos elementos destacados neste relatório pode ajudar a alcançar esses objetivos.

Esses resultados podem ser usados localmente para:

- embasar a gestão de recursos hídricos, ajudando a determinar o papel da infraestrutura natural no alcance das metas relativas à poluição por sedimentos e à disponibilidade hídrica;
- orientar o refinamento das estratégias de infraestrutura natural para entregar resultados com eficiência e escala;
- enfatizar a permanente necessidade de pesquisa e coleta de dados locais; e
- fornecer uma nova matriz de referência para estimular o diálogo e parcerias que conduzam a oportunidades ganha-ganha de investimentos para o setor hídrico e os programas de infraestrutura natural.

Além de servir para embasar as decisões locais dos gestores de recursos hídricos, este estudo oferece os melhores dados e métodos disponíveis para facilitar as Análises de Investimento em Infraestrutura Natural no Rio de Janeiro e no mundo. Apesar das lacunas nos dados reconhecidas ao longo do relatório, ele serve de base para uma análise mais aprofundada do desempenho financeiro do uso da infraestrutura natural para água. As informações e abordagens apresentadas no relatório podem ser aplicadas iterativamente no Guandu à medida que novos dados se tornem disponíveis, ou podem ser usadas para avaliar o papel da infraestrutura natural no alcance de outros objetivos da gestão de recursos hídricos. O GGA também está pronto para ser aplicado nas bacias hidrográficas vizinhas, que poderão aproveitar as experiências e os dados documentados neste relatório.



REFERÊNCIAS

- ANA (Agência Nacional de Águas). *Atlas Brasil: abastecimento urbano de água. Resultados por Estado*. Brasília: ANA, 2010.
- ANA; DAEE (Agência Nacional de Águas, Departamento de Águas e Energia Elétrica). *Dados de referência acerca da outorga do Sistema Cantareira*. 2013
- ANA; IBGE (Agência Nacional de Águas, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Contas econômicas da água: Brasil 2013-2015*. 2018. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_media/ibge/arquivos/09e61496e33b0719dc337280448b6b91.pdf>.
- ANTONIAZZI, L. et al. *Restauração florestal em cadeias agropecuárias para adequação ao Código Florestal: análise econômica de oito estados brasileiros*. São Paulo: Input/Agroicone, 2016. Disponível em: <http://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2016/12/RESTAURACAO-FLORESTAL_V47.pdf>
- ASSAF NETO, A. *Finanças corporativas e valor*. São Paulo: Atlas, 2010.
- BALMFORD, A. et al. Economic reasons for conserving wild nature. *Science*, 297: 950-953. 2002.
- BENINI, R.M.; S. ADEODATO. *Economia da Restauração/Forest Restoration Economy*. São Paulo: The Nature Conservancy, 2017.
- BENNETT, K. Additionality: the next step for ecosystem service markets. *Duke Environmental Law & Policy Forum*, 20: 417-438. 2010.
- BRACALE, H. Comunicação pessoal entre os autores e Henrique Bracale, gerente, The Nature Conservancy Brazil. 2017.
- BREMER, L. et al. Bridging Theory and Practice for Hydrologic Monitoring in Water Funds. *Report for Latin American Water Funds Partnership*. 2018.
- BRITO, F.M. 2015. *Bens e serviços ecossistêmicos da bacia hidrográfica da Represa Guarapiranga: análise da evolução histórica e valoração ambiental, entre os anos de 1986, 1996 e 2010*. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) – Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas, Universidade Federal de São Paulo, Diadema, 2015.
- CARRASCOSA VON GLEHN, H. Comunicação pessoal entre os autores e Helena Carrascosa von Glehn, coordenadora, Secretaria Estadual do Meio Ambiente. 2017.
- CBH-GUANDU (Comitê de Bacia Hidrográfica do Guandu, Guarda e Guandu-Mirim). *Siga-Guandu- Sistema de Informações Geográficas e Geoambientais das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim*. 2018. Disponível em: <<http://www.sigaguandu.org.br/saibaMais>>.
- CEDAE (Companhia Estadual de Águas e Esgotos). *Novo Guandu: tubos para uma nova estação de água na baixada*. 2018a. Disponível em: <<http://www.cedae.com.br/Noticias/detalhe/novo-guandu-tubos-para-uma-nova-estacao-de-agua-na-baixada/id/201>>.
- CEDAE (Companhia Estadual de Águas e Esgotos). *Estações de Tratamento do Guandu e Laranjal/ ETA Guandu*. 2018b. Disponível em: <http://www.cedae.com.br/estacoes_tratamento>.
- COSTA, L.F.; FARIAS JÚNIOR, J.E.F.; JOHNSON, M.F. Impactos da estiagem 2014-2014 sobre os principais setores usuários de água no Estado do Rio de Janeiro. *Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Florianópolis, SC*. 2017. Disponível em: <https://docs.wixstatic.com/ugd/f8afe5_b2d6d6d91de94c59bdfac9512ef36a8f.pdf>.
- FILOSO, S. et al. Impacts of forest restoration on water yield: a systematic review. *Plos One* 12 (8): e0183210, 2017.
- FIRJAN (Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro). Diretrizes para o aumento da segurança hídrica da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Pesquisa e Estudos Socioeconômicos/Ambiente de Negócios*. 2015.
- FOLEY, J.A. et al. Global consequences of land use. *Science*, 309:570-574. 2005.
- FUJIEDA, M. et al. Hydrological processes at two subtropical forest catchments: The Serra do Mar, São Paulo, Brazil. *Journal of Hydrology* 196 (1-4): 26-46, 1997
- GARTNER, T. et al. *Natural Infrastructure Investing in forested landscape for source water protection in the United States*. Washington: WRI, 2013. Disponível em: <https://www.wri.org/sites/default/files/wri13_report_4c_naturalinfrastructure_v2.pdf>.
- GRAY, E. et al. *Green-Gray Assessment Working Paper*. Washington: WRI, no prelo.
- HAMEL, P. et al. A new approach to modeling the sediment retention service (InVest 3.0): case study of the Cape Fear catchment, North Caroline. *Science of The Total Environment*, (524):166-177. 2015.
- HONZÁK, M. et al. *Protecting Freshwater Sources of the Rio de Janeiro's Metropolitan Area*. Rio de Janeiro: Conservation International, 2012.
- IKEMOTO, S.M. Comunicação pessoal entre os autores e Silvia Marie Ikemoto, coordenadora, Instituto Estadual do Ambiente. 2018.
- IMAFLOA; GEOLAB (Instituto de Manejo Florestal e Agrícola / Geolab). *Atlas da Agropecuária Brasileira*. Piracicaba: Imafloa/ Geolab, 2017. Disponível em: <<http://www.imaflora.org/atlasagropecuario/>>.
- INEA (Instituto Estadual do Ambiente). *Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro: R8-B Cenário de Demandas e Balanço Hídrico*. Rio de Janeiro: INEA/Coppetec, 2014a. Disponível em: <<http://www.INEA.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdyy/~edisp/INEA0062141.pdf>>.
- INEA (Instituto Estadual do Ambiente). *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro: Relatório Síntese*. Rio de Janeiro: INEA, 2014b. Disponível em: <<http://www.INEA.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdcx/~edisp/INEA0071539.pdf>>.

INEA (Instituto Estadual do Ambiente). *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro*: versão final. Rio de Janeiro: INEA, 2014c. Disponível em: <<http://www.INEA.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdyy/~edisp/INEA0062140.pdf>>.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa*. 2017. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>.

INSTITUTO ESCOLHAS. *Quanto o Brasil precisa investir para recuperar os 12 milhões de hectares de floresta?* São Paulo: Instituto Escolhas, 2016. Disponível em: <<http://escolhas.org/wp-content/uploads/2016/09/quantoe.pdf>>.

INSTITUTO TRATA BRASIL. *Benefícios Econômicos e Sociais da Expansão do Saneamento no Rio de Janeiro*. São Paulo: Insituto Trata Brasil, 2017. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/beneficios-ecosocio/relatorio-completo-rj.pdf>>.

IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change). *Mitigation on Climate change: Contributions of Working Group III to the Fifth Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge/New York: Cambridge University Press, 2014.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). *Risco Brasil*. 2018. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>>.

ITTELSON, T.R. *Nonprofit Accounting & Financial Statements: Overview for Board, Management, and Staff*. 2. ed. Cambridge: Mercury Group Press, 2017.

JUNQUEIRA, A.; PIMENTEL, J.; CASTRO, G. *Brazilian water and sewage sector: is a revolution coming?* New York: BTG Pactual. 2017. Disponível em: <<https://static.btgpactual.com/media/brut170308-water-privatization.pdf>>.

KROEGER, T. et al. *Assessing the Return on Investment in Watershed Conservation: Best Practices Approach and Case Study for the Rio Camboriú*. Camboriu/Arlington: The Nature Conservancy, 2017.

LIGHT (Grupo Light). *Compromisso com o meio ambiente e clima: biodiversidade*. 2015. Disponível em: <<http://www.light.com.br/grupo-light/Sustentabilidade/meio-ambiente-e-clima.aspx>>.

LOPEZ, H. *The social discount rate: estimates for nine Latin American countries*. Washington: World Bank/Latin America and the Caribbean Region/Office of the Chief Economist Policy, 2008. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/pt/135541468266716605/pdf/wps4639.pdf>>.

MACHADO, R. VETTORAZZI, C., XAVIERS, A. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27: 727-33. 2003.

MANSUR, H.; GUIMARÃES, J.; KLEZ, C. *Estudo de viabilidade de implantação do Programa Pro-PSA na região hidrográfica do Guandu, Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: The Nature Conservancy/ITPA/CI. Mimeo, 2013.

MARENGO, J.A.; VALVERDE, M.C.; OBREGON, G.O. Observed and Projected Changes in Rainfall Extremes in the Metropolitan Area of São Paulo. *Climate Research*, 57: 61-72. 2013.

MIAGOSTOVICH, M.P. et al. Assessment of Water Quality in a Border Region Between the Atlantic Forest and an Urbanised Area in Rio de Janeiro, Brazil. *Food & Environmental Virology*, 6(2):110-115. 2014.

NEARY, D.G., ICE, G.G., JACKSON, C.R. Linkages between Forest Soils e Water Quality e Quantity. *Forest Ecology & Management* 258 (10): 2269-81, 2009.

OSBORNE, L.L.; KOVACIC, D.A. Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management. *Freshwater Biology*, 29(2):243-258. 1993.

OZMENT, S. et al. *Protecting Drinking Water at the Source: Lessons from United States Watershed Investment Programs*. Washington, DC: World Resources Institute, 2016.

OZMENT, S. et al. *Natural Infrastructure in São Paulo's Source Watershed: Cantareira System*. Washington: DC, 2018 .

PLANO ABCRJ. *Plano Estadual de Mitigação e de Adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura do Estado do Rio de Janeiro*. 2018. Disponível em: <http://www.rj.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=066e6357-4590-4dc8-9e41-09dbee768987&groupId=132950>.

RESEARCH AND MARKETS. *Water Treatment Chemicals Market by Type (Coagulants & Flocculants, Corrosion Inhibitors, Scale Inhibitors, and Biocides & Disinfectants), End User (Municipal, Power, Oil & Gas, and Mining), Region: Global Forecast to 2022*. 2017. Disponível em: <<https://www.researchandmarkets.com/reports/4397069/water-treatment-chemicals-market-by-type>>.

RUIZ, M. Comunicação pessoal entre os autores e Maurício Ruiz, diretor executivo, IPTA. 2017.

SEA (Secretaria de Estado do Ambiente). *Pacto das Águas*. 2016. Disponível em: <<http://www.rj.gov.br/web/sea/exibeconteudo?article-id=3682959>>.

SHARP, R. et al. *INVEST +VERSION+ User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund, 2016. Disponível em: <<http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html/>>.

SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento). *Série Histórica* 2018. Disponível em: <<http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/>>.

SOS; INPE (SOS Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). *Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2016-2017: Relatório técnico*. São Paulo: SOS Mata Atlântica/Inpe,, 2018. Disponível em: <http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/Atlas_Mata_Atlantica_2016-2017_relatorio_tecnico_2018_final.pdf>.

SOSSAI, M. Comunicação pessoal entre os autores e Marcos Sossai, gerente, Programa Reflorestar. 2017.

SOUZA JÚNIOR, W.C.. Análise econômica da relação entre o uso do solo e custos de tratamento de água no estado de São Paulo. Projeto de Recuperação de Matas Ciliares. *Produtos Técnicos 1*, jun 2011. São Paulo: SMA/GEF/WB, 2011.

TALBERTH, J. et al. *Insights from the Field: Forests for Water*. Washington: WRI, 2013. Disponível em: <http://pdf.wri.org/insights_from_the_field_forests_for_water.pdf>.

TAMBOSI, L.R. et al. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. *Estudos Avançados*, 29(84):151-162. 2015.

TANAKA, M.O. et al. Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 261: 333-339. 2016.

THE NATURE CONSERVANCY. *Mapa de cobertura e uso da terra da bacia hidrográfica do Guandu-Rio de Janeiro*. São Paulo:TNC - shapefiles, 2018. Produtos Técnicos.

U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). *Drinking Water Infrastructure Needs Survey and Assessment: Fifth Report to Congress*. Washington, DC: EPA, 2013. Disponível em: <<http://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa816r13006.pdf>>.

WWAP; UN-Water. (United Nations World Water Assessment Programme). *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*. Paris: UNESCO, 2018.

YOUNG, A.; NOBRE, C. Mapping Risk and Vulnerability in São Paulo Metropolitan Region. 1st *World Congress on Cities and Adaptation to Climate Change. Local Governments for Sustainability*. Reprinted in *Resilient Cities 2: (2012) 53–63*. 2010.

APÊNDICES

Este documento detalha os métodos utilizados no segundo de uma série de três estudos de caso em Infraestrutura Natural para Água no Brasil, a saber:

- Caso 1: Sistema Cantareira – Região Metropolitana de São Paulo (SP)
- Caso 2: Bacia do Guandu – Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RJ)
- Caso 3: Bacia do Jucu – Região Metropolitana de Vitória (ES)

Por se tratar de uma série de casos que compartilham boa parte da documentação e métodos, este apêndice apresenta informações especificamente utilizadas no Caso 2: Bacia do Guandu, Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Informações gerais sobre o escopo do projeto, a coleta de dados e os métodos utilizados nas análises biofísicas e financeiras comuns aos três casos podem ser encontradas no apêndice de referência do Caso 1: Sistema Cantareira, Região Metropolitana de São Paulo, que deu origem à série, disponível em <https://www.wri.org/publication/natural-infrastructure-sao-paulo>.

APÊNDICE A. MÉTODOS E PRESSUPOSTOS DAS ANÁLISES FINANCEIRAS

Rafael Feltran-Barbieri e Erin Gray

1. Pressupostos Gerais

a. Restauração Natural versus Restauração com Plantio Total

Para definir entre as áreas que seriam restauradas pelo método da regeneração natural e pelo da restauração com plantio total, utilizamos os *rasters* de ganho de cobertura vegetal no período de 2000 a 2012, produzidos por Hansen et al. (2013). Supusemos que essas áreas apresentaram regeneração natural. Traçamos raios de 150 m medidos a partir do pixel identificado com regeneração e consideramos que toda a área de pastagem que estivesse dentro desse raio teria alta capacidade de regeneração natural, como sugerido por Chazdon e Uriarte (2016). A intersecção dessas áreas definidas pelos raios com as áreas prioritárias em função da sedimentação foi considerada como área prioritária para restauração por regeneração natural. Esgotadas essas áreas, o restante foi considerado de baixo potencial de regeneração, portanto tornando-se necessária a restauração com plantio total. Seguindo esse método, somente 29,8% dos três mil hectares, ou 900 hectares, foram considerados passíveis de regeneração natural. Os 2.100 hectares restantes foram simulados como restauração com plantio total.

b. Calendário de Implementação da Restauração

A restauração em dez anos foi considerada exequível de acordo com a experiência dos autores deste relatório e consultas a Maurício Ruiz (2017).

c. Demanda por Água

Seguiu-se a taxa de crescimento anual da demanda estimada pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (INEA, 2014), assumindo que tal crescimento é constante durante todo o horizonte temporal da análise, sendo ele de 0,539% a.a., de modo que no ano 0 a demanda é de 40 m³/s, e no ano 30 de 47 m³/s.

d. Horizonte Temporal

Os projetos de saneamento básico que envolvem investimentos de grande monta em infraestruturas convencionais e de equipamentos têm geralmente horizonte de análise de investimento entre 20 e 30 anos, refletindo a média ponderada dos custos e da vida útil dos principais equipamentos, como recomenda o Banco Interamericano de Desenvolvimento (Fontanele; Vasconcelos, 2012). Optou-se por adotar o limite superior de 30 anos, por atender às especificações da infraestrutura convencional, mas também por se adequar ao ritmo de desenvolvimento da restauração, que atinge seu limiar máximo por volta de 40 anos (Pooter et al., 2016).

e. Taxa de Desconto

Baseado em estudos de formação de custo de capital e risco, o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) recomenda que, para a América Latina, análises financeiras de projetos para saneamento e água devem usar taxa de desconto ao redor de 12% (Fontanele; Vasconcelos, 2012). Já o BTG Pactual, em amplo estudo sobre a definição de indicadores econômicos na perspectiva de valoração de empresas de saneamento no Brasil para eventuais

privatizações, estimou um WACC médio de 8,6%, sendo, portanto, essa a taxa de desconto recomendada (Junqueira; Pimentel; Castro, 2017). Especialistas em finanças frisam a necessidade de inclusão de referências de risco nessas taxas, sendo a principal delas o Risco Brasil (Assaf Neto, 2010).

Nesse contexto, assumimos como taxa básica de desconto 8,5% por ano. Para as análises de risco, utilizamos a média e o desvio padrão das taxas diárias de Risco Brasil dos últimos cinco anos, conforme explícito na Tabela A1, a menor taxa obtida coincide com a taxa de desconto social estimada pelo Banco Mundial para o Brasil (Lopez, 2008).

Tabela A1 | Taxa de Descontos

CENÁRIOS	TAXA DE DESCONTO ESTIMADA (%)	TAXA DE DESCONTO APLICADA (%)
Taxa Social de Desconto	5,16	5
Taxa Básica	8,6	8,5
Taxa de Alto Risco	12,04	12

Fontes: Taxa de Desconto Social (Lopez, 2008), Taxa Básica de Desconto (Junqueira; Pimentel; Castro, 2017) e Taxa de Desconto de Alto Risco (Fontanele; Vasconcelos, 2012).

2. Levantamento de Saídas de Caixa (Investimentos e Custos)

a. Investimentos

Coletados na região e consultados com *stakeholders*. Para tanto, foram consideradas as saídas de caixa necessárias para implantar a restauração. Para regeneração natural, foi considerado somente o custo de cercamento da área. Para a restauração com plantio total considerou-se também todos os investimentos para implantação, conforme tabela disposta no relatório.

b. Custos Operacionais e de Manutenção

Custos necessários para monitorar o desenvolvimento das plantas e minimizar a perda das áreas restauradas. Esses custos foram considerados para os três anos consecutivos após a implantação da restauração no modelo completo. No caso de regeneração natural, não há custos de manutenção, exceto para reparação do cercamento no ano 14.

c. Custos de Transação

Embora os custos de transação sejam considerados pela literatura como cruciais nos projetos de restauração, eles raramente são valorados (Antoniazzi et al., 2016; Instituto Escolhas, 2016; Benini; Adeodato, 2017). Timm Kroeger et al. (2017) são uma exceção: estimaram que, ao longo de 30 anos, um projeto de pagamento por serviços ambientais para conservação e restauração de 640 hectares de floresta poderia gerar um custo de transação da ordem de cinco vezes os próprios valores pagos aos beneficiários do programa, ou cerca de R\$ 1 mil por ha/ano. Entretanto, nesse caso, eles incluíram como custo de transação as despesas de administração, gerenciamento e operações do projeto.

Entendeu-se, nesse relatório, como sendo custos de transação aqueles despendidos nos esforços de apresentar o projeto, engajar e habilitar *stakeholders* (proprietários rurais, investidores, equipes das empresas de abastecimento) a se tornarem parceiros nos projetos de restauração. Em consultas à Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo (Carrascosa von Glehn, 2017) e ao gerente do Programa Reflorestar no Espírito Santo (Sossai, 2017), estimamos que os custos de transação giram entre 20% e 23% do total investido na restauração. Não foi possível obter a mesma informação para o caso do Guandu, tendo sido aplicada a taxa de 21,5%, por ser a média simples dos dois casos.

d. Custo de Oportunidade

Assumiu-se como o equivalente ao valor pago pela pecuária no arrendamento de pastagens. Considerou-se o valor de R\$ 400/ha/ano. Esse valor foi composto pelo preço do arrendamento, levantado em R\$ 35/cabeça/mês (obtido em entrevistas a produtores rurais), e uma taxa de lotação de R\$ 0,954 cabeças/ha. Tal taxa de lotação foi calculada utilizando-se o rebanho bovino de 2016 registrado para todos os municípios que compõem a bacia do Guandu (IBGE, 2017) dividido pela área de pastagem existente em 2016 nesses mesmos municípios, segundo o Mapbiomas (2018).

3. Levantamento dos Benefícios

Os benefícios se restringiram aos custos evitados com a mudança da carga de sedimentos no sistema hídrico, a saber: (1) custos incidentes sobre a necessidade de dragagem do reservatório, (2) turbidez da água, e (3) depreciação dos equipamentos utilizados no tratamento da turbidez.

a. Serviços de Retenção de Sedimentos

A evolução dos serviços de retenção de sedimentos providos pela restauração foi assumida como proporcional à curva de crescimento de florestas restauradas no Brasil, como recomendado por Robin Chazdon (2018). A curva de crescimento foi estimada a partir dos dados referentes às florestas brasileiras contidas no estudo de Poorter et al. (2016), como,

Equação 1

$$r = 27,67 * \ln Idade - 0,60$$

onde:

r – percentual de retenção de sedimentos provida por uma floresta restaurada em relação ao total retido potencialmente por uma floresta madura (%)

Idade – idade da floresta restaurada (anos)

ln – logaritmo natural

Pela curva estimada, assumiu-se que, somente a partir de 40 anos, a floresta restaurada seria capaz de reter a mesma quantidade potencial de sedimentos que uma floresta madura (100%). A retenção potencial da floresta madura foi calculada pelo *lnVest*, conforme o Apêndice C.

Como no portfólio R3000 a restauração foi planejada ao longo de dez anos, desenvolveu-se uma equação matricial para determinar ano a ano o total de sedimentos retidos, como:

Equação 2

$$SR_t = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,30} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{30,1} & \dots & a_{30,30} \end{bmatrix}_{30,30} * \begin{bmatrix} r_{1,1} \\ \dots \\ r_{30,1} \end{bmatrix}_{30,1} * RP$$

onde:

SR_t - retenção de sedimentos no ano t (toneladas)

$a_{i,j}$ - área restaurada no ano i (hectares), com idade j (anos)

$r_{i,j}$ - percentual de retenção provida pela floresta restaurada com idade j em relação à floresta madura, segundo a equação 1

RP - retenção potencial total de sedimentos se toda a floresta restaurada fosse madura (toneladas de sedimento) - *output* do InVest

Os resultados comparativos entre o valor potencial de sedimento carreado proveniente do *output* do InVest e os considerados no estudo são comparados na Tabela A2.

b. Custos Evitados de Dragagem

Custos de dragagem no cenário referencial - sem restauração - foram calculados como,

Equação 3

$$D = k * S * c$$

onde:

D - custo total de dragagem no cenário referencial (R\$)

k - constante de sedimentos que o reservatório é capaz de sedimentar em relação ao total que chega ao sistema (0,91 ou 91%, no nosso caso, seguindo orientações de Sousa Júnior, 2011)

S - total de sedimentos que chega ao sistema no ano referencial, calculado pelo InVest (toneladas/ano)

c_t - preço de dragagem de sedimento seco no ano t (R\$/tonelada seca)

Para estimar os custos anuais evitados com dragagem em função da restauração, utilizou-se a seguinte equação:

Equação 4

$$DE_t = SR_t * k * c$$

onde:

DE_t - custos evitados de dragagem no ano t (R\$)

SR_t - retenção de sedimentos no ano t (toneladas)

c. Custo Evitado no Tratamento de Água em função do Nível de Turbidez

Utilizou-se uma sequência de quatro passos com conversões de unidades para se estimar o custo evitado no tratamento de água em função dos diferentes níveis de turbidez média anual, seguindo recomendações de Tomazoni et al. (2005), Sousa Júnior (2011), Arroio Júnior (2013), Bezerra et al. (2015), Medeiros, Cavalcante Segundo e Magalhães (2015) e Mello (2017). A Figura A1 ilustra o passo a passo.

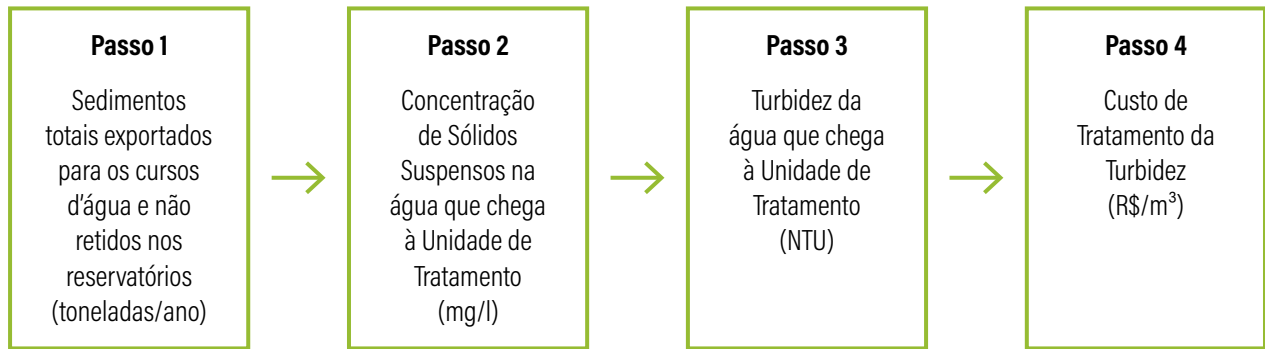
Tabela A2 | Comparação do *output* do InVest e o estimado pela equação matricial utilizada no estudo

		SEDIMENTO CARREADO (TONELADAS/ANO)			TOTAL SEDIMENTOS EVITADOS (%)
		MONTANTE DO RESERVATÓRIO (SEÇÃO 1)	ENTRE O RESERVATÓRIO E A ETA (SEÇÃO 2)	TOTAL	
Sem Restauração	Cenário de Referência	45.596	106.627	152.224	n.a.
INFRAESTRUTURA NATURAL R3000	Potencial estimado pelo uso do InVest	15.199	30.868	44.067	70
	Substituição imediata de pastagens por florestas maduras				
	Estimada pela equação matricial				
	Substituição gradual de Pastagens por florestas em processo de restauração ¹	30.019	96.841	12.686	33

¹ Detalhes na equação 5 deste apêndice.

Fonte: Resultados do estudo.

Figura A1 | Comparação do *output* do InVest e o estimado pela equação matricial utilizada no estudo



Passo 1 - Estimativa do total de sedimentos não retidos pelo reservatório e que chegam à água vertida para a unidade de tratamento

A quantidade anual de sedimentos que escapa ao reservatório e se dilui na água vertida à unidade de tratamento seguiu a mesma premissa da relação matricial, adicionando-se a constante de depósito do reservatório, como segue:

Equação 5

$$SF_t = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,30} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{30,1} & \dots & a_{30,30} \end{bmatrix}_{30,30} * \begin{bmatrix} r_{1,1} \\ \dots \\ r_{30,1} \end{bmatrix}_{30,1} * RP * (1-k)$$

onde:

SF_t - sedimentos que fluem para a unidade de tratamento de água no ano t (toneladas)

$a_{i,j}$ - área restaurada no ano i (hectares), com idade j (anos)

$a_{i,j}$ - percentual de retenção provido pela floresta restaurada com idade j em relação à floresta madura, segundo equação 1 (%)

RP - retenção de sedimentos potencial total se toda a floresta restaurada fosse madura (toneladas de sedimento) - *output* do InVest

k - percentual de sedimentos depositados no reservatório em relação ao total que chega ao sistema (0,91 ou 91%, no nosso caso)

Passo 2 - Conversão do total de sedimentos vertidos para concentração de sólidos suspensos na água que chega à unidade de tratamento

Utilizamos a equação geral de Carvalho (1994), dada por:

Equação 6

$$SS_t = SF_t * (41,4 * 365 * 0,0864)^{-1}$$

onde:

SS_t - concentração de sólidos suspensos no ano t (mg/l)

SF_t - sedimentos totais que fluem para a Unidade de Tratamento de Água no ano t (toneladas)

41,4 - volume médio de vazão do sistema fluvial do Guandu, medido pelo modelo InVest (m³/s)

365 - dias de vazão medida no ano (dias)

0,0864 - constante da equação testada por Carvalho (1994)

Passo 3 - Conversão da concentração de sólidos suspensos em turbidez

Adotou-se a equação de Teixeira e Senhorelo (2000), a saber:

Equação 7

$$T_t = 10 * (In SS_t - 1,57)$$

onde:

T_t - turbidez média da água que chega à unidade de tratamento no ano t (NTU)

SS_t - concentração de sólidos suspensos no ano t (mg/l)

Passo 4 - Custo de tratamento de água devido ao nível de turbidez

A CEDAE (2018) divulga em seu site que a ETA Guandu consome diariamente 140 toneladas de sulfato de alumínio e 30 toneladas de cloreto férrico para tratamento de turbidez, cuja média é de 8 NTU. Em consulta a empresas especializadas na venda de produtos químicos em escala, levantamos que o preço médio da tonelada de sulfato de alumínio é de R\$ 479, enquanto o do cloreto férrico é de R\$ 638. Considerando a produção diária de 3,2 milhões de m³, gasta-se cerca de R\$ 0,0269 por metro cúbico em produtos

químicos, com média de turbidez 8 NTU. Na ausência de uma curva de custos em função da turbidez, tomou-se a equação de custos sugerida por Sousa Júnior (2011) triplicando os valores de custos observados em função do parâmetro de custo observado para turbidez 8 NTU, deflacionando-os para 2017, segundo o Índice Geral de Preços – Demanda Interna Brasileira (IGPM-DI). A equação do custo de tratamento, por metro cúbico de água tratada, em função de sua turbidez foi considerada, pois, como:

Equação 8

$$C_t = (0,009186112 * \ln T_t) - 0,00688193$$

onde:

C_t - custo com produtos químicos para tratar turbidez, no ano t (R\$/m³ de água bruta)

T_t - turbidez estimada no ano t (NTU)

Outros custos diretamente relacionados ao nível de turbidez, como força de trabalho, energia, troca de produtos filtrantes como areia e antracito bem como lavagem dos filtros e retirada de lodo dos equipamentos, foram considerados como proporcionais ao montante de sedimentos que chegam à unidade de tratamento via sólidos suspensos, como:

Equação 9

$$OC_t = OC * SS_t * SS^{-1}$$

onde:

OC_t - outros custos relacionados à turbidez no ano t (R\$/m³ de água)

OC - outros custos relacionados à turbidez no cenário de referência (R\$/m³ de água)

SS_t - concentração de sólidos suspensos no ano t (mg/l)

SS - concentração de sólidos suspensos no cenário de referência (mg/l)

d. Depreciação de Equipamentos Relacionados ao Tratamento de Turbidez

Consideramos a taxa de depreciação dos equipamentos relacionados à turbidez como 2,43% ao ano, baseado nas recomendações do Banco Interamericano de Desenvolvimento (Fontanele; Vasconcelos, 2012). Para estimarmos o valor total da depreciação dos equipamentos, formulamos:

Equação 10

$$DE_t = DE * SF_t * SF^{-1}$$

onde:

DE_t - depreciação de equipamentos no ano t (R\$)

DE - depreciação de equipamentos no ano de referência (R\$)

SF_t - sedimentos que fluem para a unidade de tratamento de água no ano t (toneladas)

SF - sedimentos que fluem para a unidade de tratamento de água no cenário de referência (toneladas)

e. Valores finais estimados

Os valores finais estimados e utilizados nas análises de custo/benefício são demonstrados na Tabela A3.

Tabela A3 | Custos unitários estimados no tratamento de água em função da turbidez, da depreciação dos equipamentos relacionados e da dragagem do reservatório

CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO PARA TRATAMENTO DA TURBIDEZ (R\$/m ³ ÁGUA TRATADA)	
Mão de obra	0,0338
Produtos químicos	0,0240
Reposição de material e produtos filtrantes	0,0063
Remoção do lodo	0,0038
Energia	0,0195
TOTAL	0,0874
DRAGAGEM (RS/M ³ DE SEDIMENTO SECO)	
Mão de obra	0,4516
Maquinário	34,3628
Descarte	3,2744
TOTAL	38,0889
DEPRECIAÇÃO (R\$/m ³ ÁGUA TRATADA)	
Depreciação dos equipamentos de tratamento da turbidez	0,0062

Notas: Os custos de operação e de manutenção relacionam-se exclusivamente ao tratamento da turbidez. O custo de mão de obra inclui salários, encargos e outros benefícios e direitos financeiros e monetários. A reposição de areia e de antracito refere-se a filtros e equipamentos, enquanto a remoção de lodo refere-se à limpeza dos equipamentos.

Fonte: Autores.

4. Análise Econômica

O painel contendo os cinco principais indicadores financeiros, a saber, Valor Presente Líquido (VPL), Retorno sobre Investimento (ROI), Tempo de Retorno (*Payback*), Valor Residual (VR) e Taxa Interna de Retorno (TIR), seguiram as formulações consagradas (Assaf Neto, 2010), definidas como:

Equação 11

$$VPL = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

onde:

VPL – Valor Presente Líquido

B_t – custos totais evitados na dragagem, no tratamento de água e na depreciação de equipamentos

C_t – investimentos e custos despendidos na restauração

r – taxa de desconto

Equação 12

$$ROI = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

onde:

ROI – retorno sobre investimento

Os demais componentes são idênticos ao VPL.

Equação 13

$$Payback\ T, \text{ quando } \sum_{t=0}^T FC_t - I_0 = 0$$

onde:

FC_t – fluxo de caixa líquido acumulado no ano t

I_0 – investimento inicial

Equação 14

$$VR = \frac{FC * (1+g)}{(TD-g) * (1+TD)^3}$$

onde:

VR – valor residual, dos três anos seguintes ao término do horizonte do projeto

FC – fluxo de caixa livre do ano 30

g – taxa de crescimento, considerada 0

TD – taxa de desconto, considerada 8,5%

Referências

ANTONIAZZI, L. et al. *Restauração florestal em cadeias agropecuárias para adequação ao Código Florestal*: análise econômica de oito estados brasileiros. São Paulo: Input/Agroicone, 2016. Disponível em: <http://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2016/12/RESTAURACAO-FLORESTAL_V47.pdf>.

ARROIO JÚNIOR, P.P. 2013. *Avaliação da produção e transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Itaqueri, municípios de Itirapina e Brotas-SP*. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2013.

ASSAF NETO, A. *Finanças corporativas e valor*. São Paulo: Atlas, 2010.

BENINI, R., ADEODATO, S. *Economia da Restauração Florestal*. São Paulo: The Nature Conservancy, 2017

BEZERRA, R.A.R. et al. Estudo da variação de turbidez (N.T.U.) do Rio Santa Maria da Vitória, entre os municípios de Santa Maria do Jetibá e Santa Leopoldina, estado do Espírito Santo. *Revista Simpac*, 7(1):565-573. 2015.

CARRASCOSA VON GLEHN, H. Comunicação pessoal entre os autores e Helena Carrascosa von Glehn, Coordenadora, Secretaria Estadual do Meio Ambiente. 2017.

CARVALHO, N.O. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.

CEDAE (Companhia Estadual de Águas e Esgotos). *Estações de Tratamento do Guandu e Laranjal*: ETA Guandu. 2018. Disponível em: <http://www.cedae.com.br/estacoes_tratamento>.

CHAZDON, R. Comunicação pessoal entre os autores e Robin Chazdon, senior advisor, World Resources Institute. 2018.

CHAZDON, R.; URIARTE, M. Natural regeneration in the context of large-scale forest and landscape restoration in the tropics. *Biotropica* 48(6):709-715, 2016.

FONTANELE, R.E.S.; VASCONCELOS, O.N. Análise da viabilidade econômico-financeira de projetos de abastecimento de água: o caso do sistema de abastecimento da cidade de Milhã, no Estado do Ceará. *Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*, SOBER. 2012. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/12/060320.pdf>>.

HANSEN, M. et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342, 850-853. 2013. Disponível em: <http://www.globalforestwatch.org/map/3/15.00/27.00/ALL/grayscale/loss?tab=analysis-tab&begin=2001-01-01&end=2016-01-01&threshold=30&dont_analyze=true>.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Pesquisa Agrícola Municipal*: dados de 2015. 2017. Disponível em: <<http://www2.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=5457&z=t&o=11>>.

INSTITUTO ESCOLHAS. *Quanto o Brasil precisa investir para recuperar os 12 milhões de hectares de floresta?* São Paulo: Instituto Escolhas, 2016. Disponível em: <<http://escolhas.org/wpcontent/uploads/2016/09/quantoe.pdf>>.

INEA (Instituto Estadual do Ambiente). *Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro*: R8-B Cenário de Demandas e Balanço Hídrico. Rio de Janeiro INEA, Coppetec, 2014. Disponível em: <<http://www.INEA.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zeww/mdyy/~edisp/INEA0062141.pdf>>.

JUNQUEIRA, A.; PIMENTEL, J.; CASTRO, G.. Brazilian water and sewage sector: is a revolution coming? *Equity Research March*, New York: BTG Pactual, 2017. Disponível em: <<https://static.btgpactual.com/media/brut170308-water-privatization.pdf>>.

KROEGER, T. et al. *Assessing the Return on Investment in Watershed Conservation: Best Practices Approach and Case Study for the Rio Camboriú*. PWS Program, Santa Catarina, Brazil: The Nature Conservancy, Arlington, VA, 2017.

LOPEZ, H. *The social discount rate: estimates for nine Latin American countries*. Washington: World Bank/Latin America and the Caribbean Region/Office of the Chief Economist Policy Research, 2008. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/pt/135541468266716605/pdf/wps4639.pdf>>.

MapBiomas. *Coleção 3.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil*. 2018. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/>>.

MEDEIROS, P.R.P.; CAVALCANTE SEGUNDO, G.H.; MAGALHÃES, E.M.M. Comportamento da turbidez e material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em cascata: Rio São Francisco (NE, Brasil). *Geochimica Brasiliensis*, 29(1): 35-44. 2015

MELLHO, K. 2017. *Forest cover and water quality in tropical agriculture watershed*. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. 2017.

POOTER, L. et al. Biomass resilience of neotropical secondary forest. *Nature*, 530: 211-214. 2016

SOUSA JÚNIOR, W.C. *Análise econômica da relação entre o uso do solo e custos de tratamento de água no estado de São Paulo*. Projeto de Recuperação de Matas Ciliares. Produtos Técnicos 1, jun 2011. São Paulo: SMA/GEF/WB, 2011.

RUIZ, M. Comunicação entre os autores e Maurício Ruiz, diretor executivo, IPTA. 2017.

SOSSAI, M. Comunicação entre os autores e Marcos Sossai, gerente, Programa Reflorestar. 2017.

TEIXEIRA, E.C.; SENHORELO, A.P. Avaliação de correlação entre turbidez e concentração de sólidos suspensos em bacias hidrográficas com uso e ocupação diferenciada. *XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v - 013: 1-5. 2000.

TOMAZONI, J.C. et al. Utilização de medidas de turbidez na quantificação da movimentação de sólidos por veiculação hídrica nas bacias dos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau – sudoeste do estado do Paraná. *Boletim Paranense de Geociências*, 57: 49-56, 2005.





APÊNDICE B. MÉTODO DE CONSULTA ÀS PARTES INTERESSADAS E DESENVOLVIMENTO DE ROTEIRO

Suzanne Ozment (WR), Hendrick Mansur (TNC) e Thiago Piazzetta Valente (Fundação Boticário)

A identificação do interesse compartilhado entre WRI, parceiros e atores-chave em desenvolver um roteiro de ação para investimento em infraestrutura verde na bacia do Guandu decorreu do reconhecimento das ações já lideradas na região pela parceria entre o comitê da referida bacia e a The Nature Conservancy (TNC).

A fim de sistematizar os tópicos prioritários a serem contemplados no roteiro, apoiado na experiência e conhecimento dos atores capazes de influenciar ou tomar decisões relevantes no Guandu, seguiu-se um procedimento de coleta e análise de discurso desenvolvido por Ozment et al. (2016). O método foi adaptado para a realidade brasileira e, com apoio dos parceiros locais, foram realizadas três formas básicas de coleta e análise de informações:

- **Realização de oficina (workshop) no Rio de Janeiro.** No dia 17 de novembro de 2016, foi realizado na Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, FIRJAN, um *workshop* para apresentação do projeto e coleta de informações. Trinta pessoas representando 13 instituições estiveram presentes. Os principais tópicos discutidos foram: (a) *status* das infraestruturas verde e convencionais na bacia do Guandu, (b) identificação das iniciativas já existentes em infraestruturas verdes, (c) fonte de dados sobre infraestrutura verde e tratamento de água na região e (d) desafios a serem enfrentados para desenvolver estruturas verdes para tratamento de água na bacia do Guandu.
- **Aplicação de questionários escritos e entrevistas orais.** Entre os meses de outubro de 2017 e março de 2018, foram enviados questionários a 17 pessoas de renomado conhecimento e experiência nas áreas de restauração florestal e de operação de sistemas de abastecimento de água – agentes públicos e privados de variadas instituições – dos quais 14 responderam-no, o que possibilitou a análise de suas perspectivas a respeito dos principais vetores de desenvolvimento de infraestrutura natural na região, bem como dos maiores entraves e gargalos a serem superados. A pesquisa seguiu a estrutura sugerida por Ozment et al. (2018).
- **Análise e compartilhamento de documentação e informação.** Durante todo o período de execução do projeto, foram realizadas diversas reuniões formais e informais com diferentes atores, nas quais foram compartilhadas informações e documentos que pudessem complementar as análises realizadas a partir das outras atividades relacionadas nesse item. Entre elas destacam-se: (1) apresentação sobre os resultados preliminares da modelagem biofísica e econômica do Caso 2: Guandu, realizada por Rafael Feltran-Barbieri, no dia 06 de junho de 2017 – durante evento intitulado “Semana do Meio Ambiente”, realizado pela CEDAE em sua sede –, seguida por discussão a respeito dos dados utilizados e calibração dos modelos junto aos funcionários da CEDAE e convidados, e (2) apresentação sobre os resultados preliminares da modelagem biofísica e econômica do Caso 2: Guandu, realizada por Rafael Feltran-Barbieri, no dia 07 de junho de 2017 – durante evento intitulado “Ação Ambiental 2017 FIRJAN – Gestão Ambiental: oportunidades e custos evitados”, realizado pela FIRJAN, em sua sede –, seguida por discussão crítica dos resultados e sugestões de aprimoramentos dos modelos, e (3) apresentação sobre os resultados preliminares da modelagem biofísica e econômica dos três estudos de caso, incluindo Caso 2: Guandu, realizada por Rafael Feltran-Barbieri, no dia 26 de outubro de 2017, durante evento intitulado “Infraestrutura Verde e o potencial para gestão eficaz dos recursos hídricos” – realizado pela Confederação Nacional da Indústria, Ministério do Meio Ambiente e Agência Alemã para Cooperação Internacional (GIZ), na sede da CNI em São Paulo –, seguida por discussão a respeito dos dados utilizados e discussão crítica dos resultados e sugestões para aprimoramentos dos modelos desenvolvidos.

É importante salientar que esse processo de coleta e troca de informações não apenas contribuiu para a calibragem dos modelos desenvolvidos e para a consideração das opiniões e estratégias compartilhadas entre *stakeholders* que detêm grande conhecimento e expertise local, como também fortaleceu os laços de cooperação e confiança.

A lista dos principais *stakeholders* que participaram do questionário, de entrevistas, de *workshop* ou de eventos de discussão é apresentada na Tabela A4.

Para garantir a utilidade e a relevância do roteiro de ação proposto, versões preliminares foram compartilhadas e discutidas em duas rodadas de revisão.

Tabela A4 | Atores locais que contribuíram com a pesquisa, entre o período de novembro de 2016 e fevereiro de 2018, incluindo revisores

NOME	INSTITUIÇÃO
Amisterdan Ribeiro	Comitê de Bacia Hidrográfica do Guandu
André Castro	Gera Energia Brasil
Andre Ramalho	Assessor Técnico
Aurelio Padovezi	Consultor
Beto Mesquita	CI - Conservação Internacional
Camila Daminello	CSF - Conservation Strategy Fund
Carlos Alberto Scaramuzza	MMA - Ministério do Meio Ambiente
Cleonice Lucia Barbosa Mattos da Cruz	CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos
Devanir Garcia dos Santos	ANA - Agência Nacional de Águas
Eduardo Figueiredo	CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos
Eduardo Schlaepfer Ribeiro Dantas	CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos
Elton Abel	CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos
Fernanda Spitz	SEA - Secretaria de Estado do Ambiente
Fernando Ribeiro	CI - Conservação Internacional
Fernando Veiga	TNC - The Nature Conservancy
Flavio Pinheiro	IBIO - Instituto BioAtlântica
Flávio Valente	INEA - Instituto Estadual do Ambiente
Ivana Lamas	CI - Conservação Internacional
Ivanildo Hespanhol	Universidade de São Paulo CIRRA
Jorge Peron	Sistema FIRJAN
Julio Cesar Oliveira Antunes	Comitê de Bacia Hidrográfica do Guandu
Larissa Costa	INEA - Instituto Estadual do Ambiente
Larissa Ferreira da Costa	SEA - Secretaria de Estado do Ambiente
Lídia Vaz Aguiar	Sistema FIRJAN
Marco Follador	IBIO - Instituto BioAtlântica
Mariana de Beauclair Oliveira	INEA - Instituto Estadual do Ambiente
Mauricio Ruiz	ITPA - Instituto Terra de Preservação Ambiental
Nelio Rodrigues	CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos
Paulo de Tarso	Sistema FIRJAN
Paulo Henrique Pereira Reis	CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos
Percy Soares	CNI - Confederação Nacional da Indústria
Renato Atanzio	Fundação Grupo Boticário
Ricardo Novaes	WWF Brasil
Silvia Marie Ikemoto	INEA - Instituto Estadual do Ambiente
Susanne Mach	CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos
Telmo Borges	SEA - Secretaria de Estado do Ambiente
Todd Gartner	WRI - World Resources Institute
Yara Valverde	CI - Conservação Internacional
Wilson Cabral Sousa Jr.	Instituto Tecnológico da Aeronáutica

Fonte: Autores.

Referência

OZMENT, S. et al. *Protecting Drinking Water at the Source: Lessons from United States Watershed Investment Programs*. Washington: WRI, 2016.

APÊNDICE C. MÉTODOS E PREMISSAS PARA MODELOS BIOFÍSICOS E COMPONENTES DO MAPEAMENTO

Perrine Hamel e Marcelo Matsumoto

Modelagem de Sedimentação

Foi empregado o software *InVEST Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*, desenvolvido pelo The Natural

Capital Project (Sharp et al., 2016) utilizando-se a ferramenta *Sediment Delivery Ration (SDR) Model v 3.1, toolset* desenvolvida por uma das coautoras do presente estudo (Hamel et al., 2015) a fim de se estimar a exportação de sedimentos na bacia do Guandu em um cenário de referência – sem restauração – bem como no cenário alternativo, com restauração definida pelos atores-chave de três mil hectares, em áreas com maiores índices de carreamento de sedimentos para os cursos d'água. Para os dados de entrada, foram utilizados os mais recentes encontrados para a região, conforme Tabela A5 a seguir.

Tabela A5 | Dados de entrada

Input	Descrição	Fonte
<i>Rainfall Erosivity Index (R)</i>	Raster com um valor de índice de erosividade para cada célula. Essa variável depende da intensidade e da duração da chuva na área de estudo.	Xavier; King ; Scanlon (2016) Oliveira; Wendland ; Nearing (2012)
<i>Soil Erodibility (K)</i>	Raster com um valor de erodibilidade do solo para cada célula. Essa é uma medida da suscetibilidade das partículas do solo ao descolamento e transporte por chuva e escoamento.	TNC* (dados originais: EMBRAPA)
<i>Digital Elevation Model (DEM)</i>	Raster com valor de elevação para cada célula com 30 m de resolução espacial. A camada raster final foi gerada usando a interpolação da linha de contorno mapeada e existente para o estado do Rio de Janeiro.	TNC*
<i>Land Use/Land Change (LULC)</i>	Raster de Uso e de Cobertura da Terra (LULC)	TNC* (ano: 2009)
<i>Biophysical table</i>	Uma tabela .csv contendo informações do modelo correspondentes a cada uma das classes de uso da terra. Inclui um fator de gerenciamento de cobertura (C) e um fator de prática de suporte (P).	Parâmetros do InVEST para o Brasil Ver Tabela A6 abaixo.

*TNC: dados fornecidos por The Nature Conservancy – Brazil.

Fontes: Autores.

Tabela A6 | Tabela de Parâmetros Biofísicos com as classes de uso da terra e seus respectivos fatores C e fatores P

CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA	FATOR C	FATOR P
Corpos d'água	0,0001	1
Solo exposto	0,01	1
Floresta	0,009	1
Silvicultura	0,009	1
Agricultura	0,16	1
Pastagem	0,04	1
Campos naturais	0,02	1
Cerrado	0,01	1
Área urbana	0,01	1
Campos úmidos	0,001	1

Fontes: Autores.

O fator C é o coeficiente de uso e cobertura da terra, enquanto o fator P identifica a intensidade do manejo de cada uma dessas classes. São coeficientes oriundos de uma coletânea de dados reunidos pelo próprio projeto InVest, com detalhes disponíveis em Sharp et al. (2016).

Parâmetros idênticos foram utilizados no cenário de referência e no portfólio R3000. O que os difere é apenas o fato de que, no R3000, simula-se a existência de três mil hectares adicionais de florestas, substituindo-se exatos três mil hectares de pastagens existentes no cenário de referência.

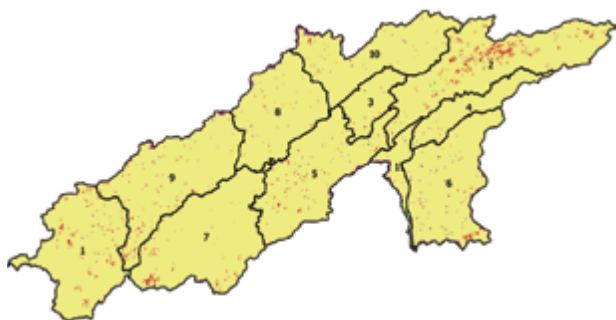
Resultados das Modelagens

A estimativa de produção de sedimentos variou, no caso do cenário de referência, entre 0,7 a 16 ton/km²/ano, e de 0,4 a 14,8 ton/km²/ano no cenário R3000, como apresentado na Tabela A7, por sub-bacias do Guandu. Essa quantidade de sedimentos, resultantes dos modelos do InVest, representa o fluxo de solo transportado – ou, em outras palavras, exportado – aos corpos d'água da bacia.

Tabela A7 | Produção de sedimentos (sedimentos exportados) nos cenários de referência – *baseline* sem restauração – e cenário R3000

WS_ID	SUB-BACIA	PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS (TON/KM ² /ANO)		
		REFERÊNCIA	R3000	SEDIMENTAÇÃO EVITADA PELA RESTAURAÇÃO (%)
1	Bacia do Alto Pirai	8,4	3,7	-56%
2	Bacia do Santana	16,1	5,2	-68%
3	Bacia do Macaco	2,1	1,7	-19%
4	Bacia do São Pedro	0,7	0,7	-1%
5	Bacia do Ribeirão das Lajes	4,3	3	-30%
6	Bacia do Queimados	3,4	1,1	-68%
7	Bacia da Represa Ribeirão das Lajes	5	2,1	-58%
8	Bacia da Represa Santana	2,2	1,8	-18%
9	Bacia do Médio Pirai	6,2	3,7	-40%
10	Bacia do Sacra Família	2,7	1,7	-37%
11	Bacia do Canal do Guandu	1	0,7	-30%

Figura A2 | Áreas sugeridas para restauração dos 3 mil hectares que maximizam a contenção de sedimentos exportados atualmente sob áreas de pastagem



* Em razão da ausência de dados locais, o modelo InVest foi utilizado sem calibração, apoiando-se apenas em dados da literatura que expressem ordem de magnitude. Dessa maneira, não se aconselha reproduzir o estudo em larga escala.

Referências

HAMEL, P. et al. A new approach to modeling the sediment retention service (InVest 3.0): case study of the Cape Fear catchment, North Caroline. *Science of The Total Environment*, (524):166-177. 2015.

OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E.; NEARING, M.A.. Rainfall erosivity in Brazil: a review. *Catena*, 100. 139-147. 2012.

SHARP, R. et al. *INVEST +VERSION+ User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy and World Wildlife Fund. 2016. Disponível em: <<http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html/>>.

XAVIER, A. C., C.W. King, B.R. Scanlon. 2016. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). *International Journal of Climatology* 36: 2644-2659

SOBRE O WRI BRASIL

O WRI Brasil é um instituto de pesquisa sem fins lucrativos que transforma grandes ideias em ações para promover a proteção do meio ambiente, oportunidades econômicas e bem-estar humano. Atua no desenvolvimento de estudos e na implementação de soluções sustentáveis em florestas, cidades e clima. Alia excelência técnica à articulação política e trabalha em parceria com governos, empresas, academia e sociedade civil.

O WRI Brasil faz parte do World Resources Institute (WRI), instituição global de pesquisa com atuação em mais de 50 países. O WRI conta com o conhecimento de aproximadamente 700 profissionais em escritórios no Brasil, China, Estados Unidos, Europa, México, Índia, Indonésia e África.

CRÉDITOS

CAPA, P. 04, 17, 21, 23, 29, 40, 42, 47: MARCELO M. MATSUMOTO/WRI BRASIL; P. 02: ADAM REEDER; P. 11, 44: AMANDA OLIVEIRA/WRI BRASIL; P. 14, 63: AGEVAP; P. 16, 37: CEDAE; P. 19: MARIANA GIL/WRI BRASIL; P. 22: COMITÊ GUANDU (FACEBOOK); P. 26: RAFAEL FELTRAN-BARBIERI/WRI BRASIL; P. 32, 48, 53: NICK ELMOOR; P. 50: HELENA LOPES/SITE: PEXELS.COM



SÃO PAULO

RUA CLÁUDIO SOARES, 72 CJ. 1510
PINHEIROS, SÃO PAULO - SP
05422-030, BRASIL
+ 55 11 3032 1120

PORTO ALEGRE

AV. INDEPENDÊNCIA, 1299 CJ. 401
PORTO ALEGRE - RS
90035-077, BRASIL
+ 55 51 3312 6324

WRIBRASIL.ORG.BR

ISBN 978-85-69487-18-0