

Plano de Adaptação Climática do Estado do Rio de Janeiro

Relatório Final



Secretaria de Estado do Ambiente (SEA)

Marco Aurélio Damato Porto

Subsecretaria de Conservação Ambiental e Clima

Rafael de Souza Ferreira

Superintendência de Mudanças do Clima

Olga Martins Wehb

Subsecretaria de Segurança Hídrica e Governança das Águas

Eliane Pinto Barbosa

Subsecretaria de Saneamento Ambiental

Antônio Ferreira da Hora

Subsecretaria de Gestão Ambiental

Mariana Palagano Ramalho da Silva

Subsecretaria Adjunta de Planejamento

Sergio Mendes

Instituto Estadual do Ambiente (INEA)

Marcus de Almeida Lima

Diretoria de Pós-Licença

José Maria de Mesquita Junior

Diretoria de Biodiversidade, Áreas Protegidas e Ecossistemas

Paulo Schiavo Junior

Diretoria de Gente e Gestão

Lincoln Nunes Murcia

Diretoria de Licenciamento Ambiental

Nestor Prado Júnior

Diretoria de Recuperação Ambiental

Ruy Geraldo Corrêa Vaz Filho

Plano de Adaptação Climática do Estado do Rio de Janeiro

Relatório Final

Coordenação Institucional – SUPCLIM/SEA

Olga Martins Wehb

Superintendente de Mudanças Climáticas

Coordenação Geral – GAEA

Sergio Margulis

PhD, Pesquisador Sênior do Instituto GAEA Estudos Ambientais Ltda. ME

Coordenação Técnica – Centro Clima/COPPE/UFRJ

Emilio Lèbre La Rovere

*Professor Titular do Programa de Planejamento Energético, do
Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pesquisa e Pós-Graduação de Engenharia*

*Coordenador do Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente e do
Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas*

Rio de Janeiro, Dezembro de 2018



Equipe GAEA/IIS

Coordenação Geral

Sergio Margulis

Coordenação Gerencial

Mariela Figueredo

Ana Castro

Agenda Verde

Prof. Bernardo Strassburg | *Coordenador*

Fábio Rubio Scarano | *Subcoordenador*

Isabella Leite Lucas

Fernanda Tubenclak

Carlos Leandro Cordeiro

Eduardo Lacerda

Eric Mafra Lino

Gustavo Malaguti

Lara Monteiro

Viviane Dib

Verônica Maioli

Isabelle Pepe

Ingrid Pena

Lucimary Machado de Oliveira

Saúde Humana

Sergio Margulis | *Coordenador*

Gabriella Lattari

Equipe Centro Clima/COPPE/UFRJ

Coordenação Técnica

Prof. Emilio Lèbre La Rovere

Subcoordenação Técnica

Heliana Vilela de Oliveira Silva

Denise da Silva de Sousa

Giovannini Luigi

Modelagem Climática

Giovannini Luigi

Deslizamento – COC/COPPE/UFRJ

Prof. Maurício Ehrlich | *Coordenador*

Desirée Christine de Oliveira Silva | *Doutoranda*

Luiz Augusto da Silva Florêncio | *Doutorando*

Zona Costeira – PENO/COPPE/UFRJ

Prof. Paulo Cesar Colonna Rosman | *Coordenador*

Prof. Claudio Freitas Neves

Drenagem Urbana – PEC/COPPE/UFRJ

Prof. Marcelo Gomes Miguez | *Coordenador*

Drenagem Urbana – Aquafluxus

Osvaldo Moura Rezende | *Subcoordenador*

Ana Caroline Pitzer Jacob

Francis Martins Miranda

Matheus Martins de Sousa

Transportes/Rodovias – IME

Prof. Adriano de Paula Fontainhas Bandeira | *Coordenador*

Profª. Renata Albergaria de Mello Bandeira | *Doutoranda-PET/COPPE/UFRJ*

Equipe FUNCEME/Universidade Federal do Ceará

Recursos Hídricos

Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins | *Coordenador*

Cleiton da Silva Silveira

Francisco de Assis de Souza Filho

Antônio Duarte Marcos Junior

Assis de Souza Filho

Equipe Secretaria de Estado do Ambiente (SEA)

Superintendência de Mudanças do Clima

Olga Martins Wehb | *Superintendente*

Paulo Roberto Nemy | *Assessor*

Beatriz Araújo | *Estagiária*

Daniella Licurgo | *Estagiária*

Rosângela Bonfim | *Secretária*

Superintendência de Gestão de Resíduos Sólidos

Érika Leite | *Assessora*

Superintendência de Gestão Ecológica, Biodiversidade e Florestas

Telmo Borges | *Superintendente*

Roberta Brasileiro

Gerência de Biodiversidade

Fernando Matias | *Gerente*

Renata Lopes

Coordenadoria de Segurança Hídrica

Edson Falcão | *Coordenador*

Fernanda Spitz

Coordenadoria de Governança das Águas

Moema Versiani | *Coordenadora*

Equipe Instituto Estadual do Ambiente (INEA)

Coordenadoria de Monitoramento da Qualidade Ambiental

Leonardo Daemon | *Coordenador*

Gerência de Qualidade do Ar

Pedro Henrique Rocha Valle | *Gerente*

Serviço de Monitoramento das Águas e Efluentes Líquidos

Wilson Duarte de Araújo | *Chefe de Serviço*

Cinthia Avellar Martins

Diretoria de Biodiversidade, Áreas Protegidas e Ecossistemas

Julia Bochner | *Diretora Adjunta*

Coordenadoria de Gestão do Território e Informações Geoespaciais

Silvia Marie Ikemoto | *Coordenadora*

Nátalie Chagas Loureiro

Luiz Eduardo Moraes

Serviço de Gestão Ecológica

Patricia Rosa Napoleão | *Chefe de Serviço*

Colaboradores

Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento (SEAPPA)

Helga Hissa | *Coordenadora*

Marcelo Monteiro da Costa

Nelson Teixeira Alves

Secretaria de Estado de Defesa Civil / Centro Estadual de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (SEDEC/CEMADEN)

Tenente Coronel Sílvia Santana

Instituto Pereira Passos (IPP)

Luiz Roberto Arueira da Silva | *Diretor*

Felipe Mandarino

Departamento de Recursos Minerais (DRM-RJ)

Aline Freitas | *Diretora de Geologia*

Joana de Oliveira Ramalho

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (INPE/CPTEC)

Chou Sin Chan

André de Arruda Lyra

Diego José Chagas

Porto do Açú / Prumo Logística

Eduardo Kantz | *Diretor de Sustentabilidade da Porto do Açú*

Leonardo Santarossa

Viviane Borges Campos

Agradecimentos**Secretaria de Estado da Casa Civil e Desenvolvimento Econômico / Subsecretaria de Relações Internacionais**

Joan Ferreira França

SEA/Subsecretaria de Conservação Ambiental e Clima (Apoio Administrativo)

Claudia Carvalho

Fátima Vaz

SEA/INEA/ASCOM (Assessoria de Comunicação Social)

Marcia Pinho

Sandra Hoffmann

INEA/COSAM/GEAM (Coordenadoria Socioambiental / Gerência de Educação Ambiental)

Angela Canal

INEA/GELANI (Gerência de Licenciamento de Atividades Não Industriais)

Osmar Dias Filho

INEA/DIGGES (Diretoria Geral de Gente e Gestão)

Lincoln Nunes Murcia

Antônio Carlos Gusmão

INEA/Universidade do Ambiente

Elaine Costa

INEA/GEPAT (Gerência de Publicação e Acervo Técnico)

Tania Machado

Wellington Pires

Prefeitura de Niterói

Walace Medeiros

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Joyce Maria Guimarães Monteiro

Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (FIRJAN)

Andrea Lopes

Instituto de Terras e Cartografia do Estado do Rio de Janeiro (ITERJ)

Bruno Sobral

Edson Rodrigues

SUMÁRIO

I.	MUDANÇA DO CLIMA GLOBAL, RISCOS, IMPACTOS E ADAPTAÇÃO: CONTEXTO BRASILEIRO	3
II.	PROJEÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO	10
	II.1-ÍNDICES DE EXTREMOS DO CLIMA	11
	II.2-DISCUSSÃO E RESULTADOS	16
III.	IMPACTOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS	18
	III.1-MODELAGEM DOS IMPACTOS CLIMÁTICOS SOBRE A HIDROLOGIA.....	20
	III.1.1-METODOLOGIA	20
	III.1.2-RESULTADOS DA ANÁLISE	20
	III.1.3-CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	22
IV.	IMPACTOS SOBRE A SAÚDE HUMANA	24
	IV.1-DOENÇAS FISIOLÓGICAS.....	25
	IV.2-DOENÇAS TRANSMITIDAS POR VETORES.....	27
	IV.3-CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
V.	IMPACTOS SOBRE A DRENAGEM URBANA	30
	V.1-CARACTERIZAÇÃO GERAL DO SISTEMA DE DRENAGEM	30
	V.2-RELAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM COM O CLIMA.....	31
	V.3-IMPACTOS DA MUDANÇA DO CLIMA NO SISTEMA DE DRENAGEM.....	32
	V.4- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
VI.	IMPACTO SOBRE DESLIZAMENTOS	40
	VI.1-HISTÓRICO DE EVENTOS EXTREMOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	40
	VI.2-MAPAS DE SUSCETIBILIDADE E RISCO.....	41
	VI.3-CENÁRIO FUTURO	44
	VI.4-CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
VII.	IMPACTOS SOBRE RODOVIAS	48
	VII.1-RELAÇÃO DO SETOR DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA COM O CLIMA.....	48
	VII.2-CARACTERIZAÇÃO DA MALHA RODOVIÁRIA	49
	VII.3-IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS	49
	VII.4-EXPOSIÇÃO DA INFRAESTRUTURA E <i>HOTSPOTS</i> CLIMÁTICOS.....	50
	VII.5-AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE VULNERABILIDADE	51
	VII.6-RESULTADOS.....	53
	VII.7-CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
VIII.	IMPACTOS SOBRE A ZONA COSTEIRA	54
	VIII.1-ARCABOUÇO LEGAL E AS MUDANÇAS DO CLIMA.....	54
	VIII.2-CARACTERIZAÇÃO DA ZONA COSTEIRA FLUMINENSE	55

VIII.3-A GESTÃO DA ZONA COSTEIRA E AS MUDANÇAS DO CLIMA	56
VIII.4-CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
Anexo – Anamnese fotográfica dos municípios fluminenses: dois exemplos ilustrativos, a partir do Relatório completo de Impactos na Zona Costeira	59
IX. IMPACTOS NA AGENDA VERDE.....	63
IX.1-INTRODUÇÃO.....	63
IX.2-RELAÇÕES ENTRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, VULNERABILIDADES E A AGENDA VERDE.....	63
IX.3-CARACTERIZAÇÃO DA AGENDA VERDE NO ERJ	64
IX.4-VULNERABILIDADES E IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA A AGENDA VERDE NO ERJ	66
X. MEDIDAS GERAIS DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ERJ	71
X.1-INTRODUÇÃO.....	71
X.2-MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA RECURSOS HÍDRICOS	75
X.3-MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA A SAÚDE HUMANA	78
X.4-MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA DRENAGEM URBANA.....	81
X.5-MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA DESLIZAMENTOS	84
X.6-MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA RODOVIAS	88
X.7-MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA A ZONA COSTEIRA.....	93
X.8-MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA A AGENDA VERDE	97
REFERÊNCIAS CITADAS.....	104
Anexo I – Desastres Naturais e Eventos Extremos no ERJ	111

FIGURAS

Figura 1. Modelo Pressão-Estado-Resposta aplicado à adaptação climática	5
Figura 2. Metodologia de preparação do Plano de Adaptação.....	8
Figura 3. Índices de extremos do clima (valores absolutos médios) referentes ao cenário de emissão RCP 8.5 do modelo Eta/HadGEM2-ES, 2041-2070	14
Figura 4. Regiões Hidrográficas do ERJ e delimitação da Bacia do Rio Paraíba do Sul	18
Figura 5. Anomalias projetadas de vazão para as sub-bacias do Paraíba do Sul, cenários RCP4.5 e RCP8.5, três períodos de 30 anos, Modelos Eta/HadGEM2-ES e Eta/MIROC5.....	21
Figura 7. Fluxograma de impactos causados pela mudança do clima sobre os sistemas de drenagem e suas consequências. Fonte: Elaboração própria (2016)	34
Figura 8. Área e População em função das classes do ISMFI Mno ERJ.....	35
Figura 9. Resultado do ISMFI para o ERJ.....	36
Figura 10. Manchas simuladas de inundação na bacia do Canal do Mangue (CRJ)*	37
Figura 11. Totais pluviométricos (mm) anuais no ERJ – valores médios no período 1961-2012	40
Figura 12. Mapa de suscetibilidade ao deslizamento da Cidade do Rio de Janeiro.....	42
Figura 13. Domínios de risco iminente a escorregamento no ERJ	43
Figura 14. Acréscimos ponderados referentes às precipitações presentes e futuras, Regiões do ERJ, cenário de emissão RCP 8.5, modelo Eta/MIROC5*	45
Figura 15. <i>Hotspot</i> para Temp7dias – Eta/HadGEM2-ES: “Ensemble” RCP 4.5 e 8.5.....	52
Figura 16. <i>Hotspot</i> para Rx1day – “Ensemble” Eta/HadGEM2-ES e Miroc, RCP 4.5 e 8.5.....	52
Figura 17. Divisão territorial para o Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Costeira do ERJ.....	55
Figura 18. Mapa de vegetação potencial (A) e de uso e ocupação do solo (B) do ERJ.....	65
Figura 19. Mapa dos indicadores de vulnerabilidade para a biodiversidade da flora no ERJ*	68
Figura 20. Risco climático no ERJ no período 2041-2070 com base em projeções climáticas pelos modelos Eta/MIROC5 e Eta/HadGEM2-ES nos cenários RCP 4.5 e 8.5	69
Figura 21. Risco climático para o cultivo da cana-de-açúcar e café no ERJ frente às MC	70
Figura 22. Crédito espacial de interações ecológicas a serem restauradas através de reintroduções – ERJ	99
Figura AI.1. Número de desastres naturais associados a eventos extremos no ERJ entre os anos de 1991 a 2016.....	112
Figura AI.2. Número de mortes causadas por desastres naturais no ERJ de 2001 a 2013 (exceto 2012)	113
Figura AI.3. Número de afetados (desalojados, desabrigados e feridos) em decorrência de desastres naturais no ERJ de 2001 a 2013 (exceto 2012)	113

TABELAS

Tabela 1. Tendências anuais dos índices de extremos do clima (médias absolutas para o ERJ)	17
Tabela 2. Índices críticos de pluviosidade adotados pelo DRM-RJ.....	44
Tabela 3. Resumo dos prováveis impactos e as medidas correspondentes	90
Tabela 4. Medidas de adaptação para classes do Índice de Vulnerabilidade.....	91
Tabela 5. Principais riscos para a biodiversidade, agropecuária e cidades e as medidas de adaptação	100
Tabela AI.1. Registros dos desastres naturais ocorridos nos municípios do ERJ, no período de 1991 a 2016, em ordem decrescente de eventos	114

APRESENTAÇÃO

O Estado do Rio de Janeiro (ERJ) é particularmente vulnerável a desastres naturais associados a eventos extremos, em decorrência de históricas e constantes alterações no espaço físico e de questões biofísicas, como o relevo montanhoso, a descaracterização de rios e córregos, o desmatamento da cobertura original de Mata Atlântica, e a ocupação desordenada de sua zona costeira.

Em fins de 2017, a Secretaria do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (SEA) decidiu elaborar um Plano Estadual de Adaptação às Mudanças Climáticas. Esta foi uma iniciativa pioneira no país, já que poucos estados tinham semelhante plano. Como todo plano de governo, seus dois componentes fundamentais são uma base técnica sólida e a validação das recomendações por diversos atores – desde a sociedade civil de maneira geral, até o setor privado, academia, ONGs, além das outras secretarias de governo do Estado.

Medidas de adaptação climática devem ser obviamente precedidas de boas análises de vulnerabilidade – quais são as prováveis tendências do clima futuro, quais as regiões, populações e setores mais expostos e potencialmente mais vulneráveis. Existe muita incerteza sobre todos esses fatores. Como em todos os países do mundo, inicialmente só é recomendável implementar medidas de adaptação quando as incertezas forem mínimas e/ou quando as medidas forem de baixo custo, “sem arrependimento” (isto é, forem justificadas independentemente das mudanças climáticas), e quando gerarem altos co-benefícios (ganhos sociais e econômicos de desenvolvimento não diretamente ligados ao clima). Assim, as medidas de adaptação aqui propostas são de caráter geral e devem ser validadas pela sociedade e pelos setores. Também, analisadas caso a caso, em cada região do estado e contexto específico.

O presente trabalho consiste na base técnica do Plano Estadual de Adaptação às Mudanças Climáticas do Estado do Rio de Janeiro. Pela exiguidade de tempo e de recursos, não esteve prevista a parte de consulta e validação das propostas aqui apresentadas. A consulta deve ser feita a partir da entrega deste trabalho, e ele poderá subsidiá-la. Esta fica como recomendação à próxima Administração que assume o Governo do Estado.

O trabalho foi desenvolvido por um consórcio que reuniu técnicos do Instituto Internacional para a Sustentabilidade (IIS), do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro, e da Universidade Federal do Ceará. Ele foi acompanhado pela Superintendência de Mudanças do Clima da SEA e por técnicos do INEA, através de diversas consultas e reuniões bilaterais.

I. MUDANÇA DO CLIMA GLOBAL, RISCOS, IMPACTOS E ADAPTAÇÃO: CONTEXTO BRASILEIRO

O aquecimento global e as consequentes mudanças climáticas (MC) vêm se manifestando cada vez de maneira mais clara, intensa e frequente. A cada relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a certeza científica não só aumenta como as projeções da velocidade do fenômeno e os impactos previstos crescem de maneira assustadora. Menos de dois anos depois do celebrado Acordo de Paris, que estabeleceu a meta do aumento da temperatura média da Terra em 2 °C, o próprio IPCC lança relatório indicando que a elevação de 1,5 °C já será demasiadamente arriscada e custosa. Vai ficando claro que ademais do esforço global de se conter o aquecimento global de maneira muito mais acelerada, os esforços de adaptação às mudanças climáticas poderão ser significativamente maiores do que até agora previstos.

Ao contrário dos esforços de mitigação, que dependem do conjunto de todos os países e indivíduos do mundo, os esforços de adaptação às mudanças climáticas dependem apenas de cada país individualmente. Alguns países podem não fazer nada para se adaptar, outros podem dispender enormes esforços e recursos para minimizar os impactos esperados. Isto dependerá da intensidade e tipo dos impactos potenciais, da aversão ao risco percebido pelo país, do conhecimento técnico-científico sobre o problema e seus impactos, bem como das alternativas de adaptação disponíveis e custos associados. Em nível de cada país, igualmente, as regiões, estados, municípios e cidades deverão tomar a dianteira e se antecipar ao problema, independentemente dos governos centrais, que não terão capacidade de atender a todos.

No final de 2015, o Governo Federal lançou o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, que visa orientar iniciativas para a gestão e redução do risco climático no longo prazo. O Plano foi elaborado no âmbito do Grupo Executivo do Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima considerando 11 estratégias setoriais e temáticas. O Plano propõe ações, estratégias e diretrizes que visam à gestão e diminuição do risco climático do País, e mecanismos institucionais para sua implementação de forma concertada entre os entes federativos, os setores e a sociedade. Para a articulação federativa, o Plano propõe o estabelecimento de um fórum permanente para concertação com governos estaduais e representação de municípios, cujo papel será elaborar e propor diretrizes e recomendações técnicas, além da harmonização metodológica para a identificação de impactos, gestão do risco climático, análise da vulnerabilidade e opções de adaptação. Na prática, no entanto, esta articulação ainda inexistente, ou existe de forma muito débil, de modo que estados, municípios e

idades têm se adiantado e, proativamente, elaborado planos de adaptação climática sem maior apoio do Governo Federal.

O Estado do Rio de Janeiro (ERJ) é particularmente vulnerável a desastres naturais associados a eventos extremos (Anexo I), em decorrência de históricas e constantes alterações no espaço físico e de questões biofísicas, como o relevo montanhoso, a descaracterização de rios e córregos, e o desmatamento da cobertura original de Mata Atlântica (SOS Mata Atlântica 2018), bem como da ocupação desordenada de sua zona costeira. Além disso, sua localização em uma área de transição entre sistemas atmosféricos favorece a ocorrência de eventos de chuva intensa, ocasionando enchentes, alagamentos e deslizamentos de terra, que acarretam transtornos à sociedade e prejuízos socioeconômicos (ARMAND & S'ANTANNA NETO, 2017; ANDRADE ET AL., 2015).

Ao mesmo tempo, a mudança do clima global é um problema complexo, persistindo incertezas não apenas sobre o fenômeno por si só, como também sobre seus efeitos nas atividades econômicas, sobre os ecossistemas, sobre o capital físico e infraestruturas construídos e, por conseguinte, sobre medidas cabíveis de adaptação. Essa combinação de alta vulnerabilidade com alto nível de incerteza torna bastante desafiador o trabalho de elaboração de um plano de adaptação climática para o ERJ.

A melhor maneira de minimizar esta incerteza é ampliar a base de conhecimento técnico-científico sobre o problema. Isso principia com um levantamento da informação existente segundo uma lógica e metodologia que criem as bases para a elaboração de um plano de adaptação às mudanças climáticas. Este é precisamente o objetivo do presente Plano. Sua qualidade, abrangência, consistência e o grau de avanço de suas propostas refletem diretamente a disponibilidade e a qualidade dos dados levantados. Como todos os planos, ele deverá evoluir à medida que mais informação esteja disponível, novos estudos sejam realizados e uma maior base de agentes seja consultada. O Plano aqui proposto é um primeiro esforço de juntar a informação disponível, identificar as principais vulnerabilidades e esboçar medidas gerais de adaptação cabíveis.

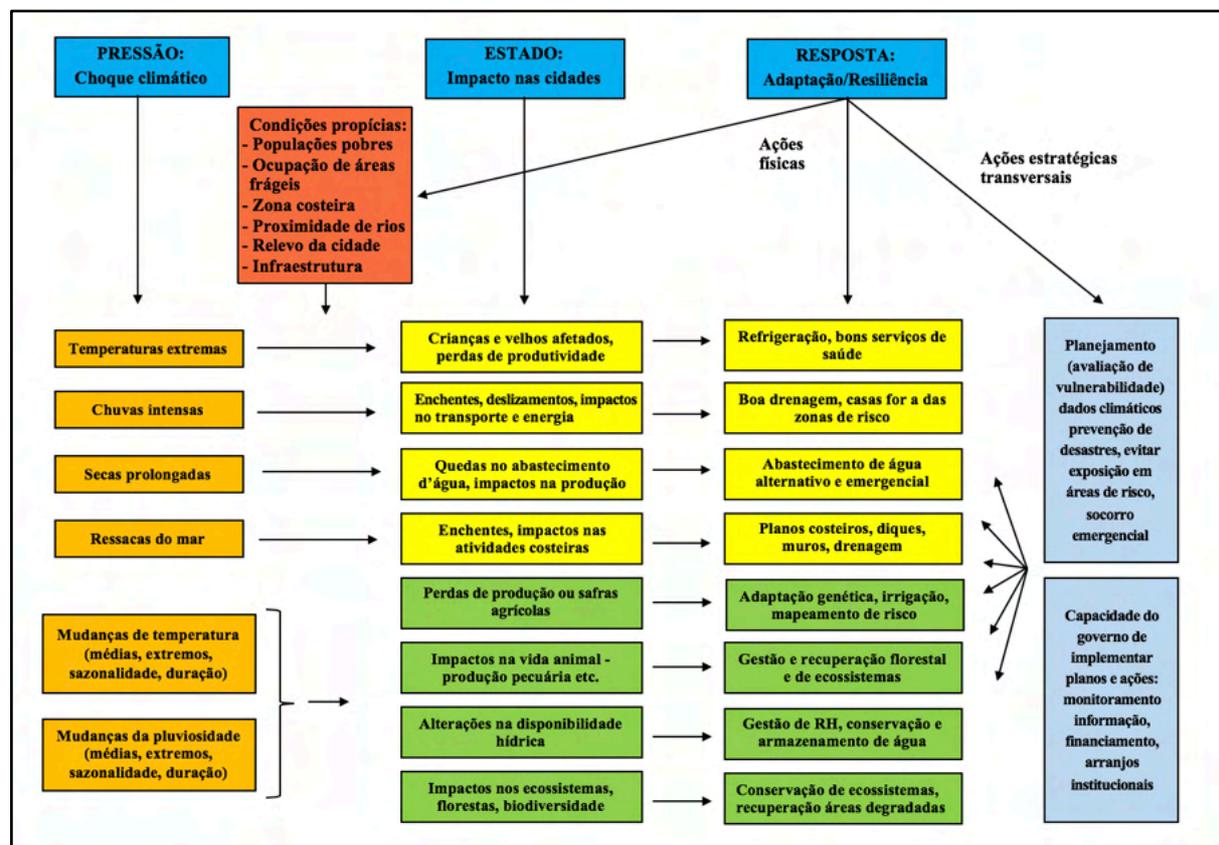
Sobre a adaptação às mudanças climáticas

Margulis et al. (2016) propõem um arcabouço geral para se entender a adaptação às mudanças climáticas seguindo a simples e conhecida abordagem de Pressão-Estado-Resposta (PER). Ela distingue os tipos de fontes dos problemas, as condições que permitem ou propiciam a ocorrência de impactos, os impactos propriamente ditos e medidas de adaptação alternativas. A Figura 1 ilustra as fases PER

no caso das cidades (parte superior) e no caso dos sistemas naturais, ou da “agenda verde” (parte inferior).

As medidas de adaptação propriamente ditas consistem de ações que minimizam as vulnerabilidades e as condições que permitem ou propiciam os impactos, e sobre os impactos caso já tenham ocorrido, minimizando-os. Como a Figura 1 sugere, as ações são de diversos tipos, incluindo fortalecimento institucional, coleta de dados, planejamento, obras físicas, trabalho junto a comunidades, etc.

Figura 1. Modelo Pressão-Estado-Resposta aplicado à adaptação climática



Fonte: Adaptado de Margulis et al. (2016)

Déficit de adaptação e desenvolvimento

O Brasil como um todo já tem uma enorme deficiência em lidar com os riscos climáticos atuais. São inúmeros os casos de deslizamentos, enchentes e inundações, por exemplo, observados no passado recente que resultaram em grandes danos e prejuízos para a sociedade. A dimensão dos impactos depende não apenas da intensidade dos eventos climáticos, mas também do nível de exposição das pessoas e bens, e de sua vulnerabilidade – por sua vez dependente de fatores como a renda da

população afetada, existência de infraestrutura e de serviços públicos, etc. Isto quer dizer que existe já hoje um déficit de adaptação climática, e que as mudanças climáticas podem torná-lo ainda mais grave. Neste sentido, simplesmente “desenvolver” e cobrir os déficits existentes de serviços e infraestruturas é o primeiro passo de uma boa adaptação climática.

Por conta deste fato, confundem-se os conceitos de adaptação com o próprio desenvolvimento. A diferença é conceitualmente importante, mas, na prática, nem tanto: ambos, desenvolvimento e adaptação buscam cobrir deficiências de serviços e infraestruturas em áreas pobres e vulneráveis, que é a principal chave para aumentar a resiliência aos choques climáticos presentes e também futuros. Apesar disso, podem claramente existir conflitos sobre prioridades. A construção de diques e paredões para a proteção de zonas costeiras, ou projetos de expansão e fortalecimento de barragens para torná-las resilientes a temporais e enchentes implicam gastos que devem ser feitos com antecedência para se evitar desastres de maiores proporções, mas competem com gastos urgentes de curto prazo como saúde, educação, transportes e outros investimentos críticos do ponto de vista social e econômico. No entanto, nem todas as medidas de adaptação são caras e complexas: algumas são relativamente simples e baratas, e trazem implicitamente ganhos de bem-estar para populações mais pobres e vulneráveis.

Nesse contexto, é importante introduzir o conceito de Adaptação baseada em Ecossistemas (AbE). Ela consiste em um conjunto de medidas que considera o potencial do capital natural, como a biodiversidade e os ecossistemas, para a adaptação aos impactos climáticos. A abordagem baseia-se na premissa de que ecossistemas saudáveis fornecem mais possibilidades de resposta a estressores climáticos sendo, portanto, mais resilientes (MUNANG ET AL., 2013). Assim, a AbE também atua na prevenção, mitigação e amortecimento dos impactos causados pelas mudanças climáticas. Além disso, visto que populações em situação de pobreza são as mais vulneráveis, considera-se que, se uma medida não reduz a pobreza, dificilmente poderá ser considerada adaptativa em longo prazo (KASECKER ET AL., 2017; SCARANO, 2017).

Um Plano de Adaptação Climática deve se nortear justamente por critérios que eliminem maiores riscos futuros, sejam economicamente justificáveis independentemente das mudanças climáticas (medidas “sem arrependimento”) e, sempre que possível, priorizem medidas de combate à pobreza, atendimento a carências de infraestrutura e de serviços às populações mais vulneráveis – que são as mais pobres – além de proteger, revitalizar e expandir os ecossistemas naturais, promover o crescimento econômico, melhorar as infraestruturas e serviços, etc.

Apesar do déficit de adaptação climática, cabe ressaltar que o ERJ apresenta uma ampla gama de estruturas que facilitam a implementação da AbE, que englobam tanto o capital natural como o capital social. Dentre o capital natural, encontram-se a cobertura natural remanescente e a malha de áreas protegidas, que são importantes reservatórios de carbono e de biodiversidade. Do ponto de vista social, diversas iniciativas governamentais e da sociedade civil fornecem bases e instrumentos que facilitam a implementação de medidas de AbE. A nível federal, o compromisso assumido pelo governo brasileiro de restaurar e reflorestar pelo menos 12 milhões de hectares, até 2030, no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2015); no âmbito do ERJ a cobertura natural remanescente e a malha de áreas protegidas, assim como iniciativas de restauração do INEA, do Programa Rio Rural e de Organizações não Governamentais (ONG).

Metodologia

Inúmeras instituições internacionais desenvolveram guias, metodologias e arcabouços para diferentes esferas de governo elaborar planos de adaptação às mudanças climáticas. A maioria contém os mesmos elementos fundamentais, havendo grande coincidência sobre o conteúdo e os componentes considerados críticos. Dado o escopo menos abrangente e ambicioso deste Plano – como o título sugere, trata-se de uma base técnica de um Plano mais completo – o foco se restringe aos seus aspectos técnicos e se baseia no Guia Metodológico publicado pela WWF-Brasil para elaboração de planos de adaptação climática para entes subnacionais (MARGULIS, 2017)¹.

Conforme sugere a Figura 2, concentrando-se na parte direita que apresenta o sequenciamento dos componentes técnicos, e dentro do quadrado com a borda pontilhada, que representa o núcleo principal, percebe-se que este núcleo central do Plano consiste de três partes distintas. A primeira é conhecer quais são exatamente as mudanças esperadas do clima. Como mencionado, as grandes incertezas sobre essas mudanças forçam o uso da maior gama possível de projeções. Isto quer dizer trabalhar com um conjunto de cenários climáticos ao invés de um único cenário mais provável. O segundo passo consiste em, a partir das projeções das variações climáticas, identificar os impactos esperados, ou o aumento dos impactos, e identificar as vulnerabilidades e riscos das regiões, dos setores, das populações e dos ecossistemas. Por fim, são propostas medidas de adaptação que buscam minimizar as vulnerabilidades e os efeitos dos impactos.

¹ https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/guia_adaptacao_wwf_iclei_revfinal_01dez_2.pdf

Figura 2. Metodologia de preparação do Plano de Adaptação



Fonte: Margulis (2017)

Este Plano de Adaptação foca precisamente nesses três componentes: (1) projeções climáticas, (2) identificação de impactos, e (3) medidas gerais de adaptação. A parte de priorização das medidas de adaptação demandaria que fossem feitas avaliações quantitativas dos custos das diferentes medidas propostas, o que extrapolaria o escopo do trabalho. Igualmente, a internalização (*mainstream*) das ações propostas nas políticas e planos setoriais demandaria interlocução avançada com os setores e que estes também estivessem receptivos a isto. O presente trabalho é apenas um primeiro passo para informar os setores sobre os riscos climáticos e os impactos potenciais a que podem estar sujeitos no caso do ERJ. Por fim, seguindo ainda as etapas propostas na Figura 2, a identificação de lacunas de capacidade governamental implica ter um arcabouço institucional para a implementação do Plano, o que também extrapola o escopo do trabalho.

Em termos de processo, o presente trabalho também não se propôs a fazer consultas aos diversos “*stakeholders*”. Esta é uma parte reconhecidamente fundamental para a elaboração e implementação de qualquer plano, mas demandaria um tempo muito maior que o permitido para a elaboração do produto final. Este foi, assim, o escopo acordado com a SEA – a base técnica de um Plano de Adaptação Climática que demanda, ainda, que sejam feitas consultas aos setores econômicos, às populações

locais, instituições interessadas e com capacidade técnica e, fundamental, aos demais setores do próprio Governo do Estado. Afinal, são eles que eventualmente irão liderar as ações de adaptação ao nível do estado.

Estrutura da Base Técnica do Plano de Adaptação Climática

O trabalho principiou com uma revisão dos principais estudos afins existentes², com objetivos mais abrangentes e não setoriais. Posteriormente, aí sim, os estudos setoriais deste trabalho também principiam com uma revisão de trabalhos técnicos existentes – e que foram compilados num dos Relatórios parciais deste trabalho.

Conforme acordado com a SEA, além de uma análise específica sobre projeções climáticas para o ERJ, os setores contemplados no Plano foram: (i) recursos hídricos, (ii) saúde humana, (iii) drenagem urbana, (iv) riscos de deslizamentos, (v) transportes/rodovias, (vi) zona costeira, e (vii) agenda verde – que inclui os recursos naturais, agropecuária, biodiversidade e ecossistemas.

Este Plano consiste, portanto, de três partes, em linha com a metodologia acima descrita, sendo a primeira dedicada exclusivamente às análises e projeções climáticas para o ERJ – Seção 2. A segunda parte, a mais substantiva, consiste na análise dos impactos esperados a partir das projeções das mudanças climáticas – Seção 3. Como no caso da revisão bibliográfica, um Relatório Parcial deste trabalho consistiu especificamente das análises de impactos setoriais das mudanças do clima no ERJ. A terceira parte consiste de um sumário conjunto de medidas gerais de adaptação climática para o ERJ, feitas também de forma setorial – Seção 4. Uma última seção sumaria lições, faz recomendações de continuidade e de processo para o avanço do Plano de Adaptação – Seção 5.

² Os principais estudos e trabalhos relevantes existentes foram (i) o Plano Estadual Sobre Mudança do Clima (2012), preparado por SEA/INEA, estudo sumário de mitigação e sobre vulnerabilidade climática do ERJ; (ii) Mapa de Vulnerabilidade da População do Estado do Rio de Janeiro aos Impactos das Mudanças Climáticas nas Áreas Social, Saúde e Ambiente, liderado pela Fundação Oswaldo Cruz (2011 e revisado em 2014); (iii) Mapa de Ameaças Múltiplas do Estado, realizado pelo Departamento Geral de Defesa Civil com a participação das 92 Defesas Civas municipais; (iv) Brasil 2040, estudo de adaptação nacional da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República contendo partes focadas em regiões do ERJ; (v) Vulnerabilidade à Elevação do Nível Médio do Mar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, estudo do Instituto Pereira Passos (2012) focado na zona costeira da RM do Rio de Janeiro; e (vi) Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro, concluído no final de 2016.

II. PROJEÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Diversas linhas de evidências demonstram que as atividades humanas, em especial as que são responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa (GEE) em níveis elevados, são primariamente responsáveis pelas mudanças no clima global observadas na era pós-industrial (IPCC, 2014; TRENBERTH, 2015; USGCRP, 2017; WUEBBLES et al., 2017; HENDERSON et al., 2018). O Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do Painel Intergovernamental de Mudança Climática (IPCC) ressalta que, caso sejam mantidos os níveis atuais de emissão de GEE, a previsão seria um aumento de 2,6 a 4,8 °C na temperatura média global (IPCC, 2014) até o final do século.

Uma das mais importantes consequências do aquecimento global diz respeito a mudanças no comportamento de eventos extremos do clima, a exemplo de longos períodos com temperaturas altas ou muito baixas, precipitação intensa e secas prolongadas (MARENGO et al., 2007; WUEBBLES et al., 2017). Os impactos associados incluem alterações em ecossistemas e perda de biodiversidade, interferências negativas na produção de alimentos e abastecimento de água, danos diretos a infraestruturas e serviços estratégicos e aumento de agravos à saúde da população (IPCC, 2014).

O clima futuro tem sido estudado com base em modelos globais e regionais de circulação geral da atmosfera por diversos centros de meteorologia no mundo. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em particular, adaptou o modelo regional Eta, de 20 km de resolução horizontal, para realizar integrações climáticas, presentes e futuras, com base nos Caminhos Representativos de Emissão (RCP), definidos a partir do AR5. As anomalias de temperatura do ar à superfície variam entre 1,1 e 2,6 °C, no RCP 4.5, e entre 2,6 a 4,8 °C, no cenário RCP 8.5, tomando como referência o período futuro 2081-2100, em relação ao *baseline* 1986-2005 (COLLINS et al., 2011; MESINGER et al., 2012; CHOU et al., 2014a, 2014b).

O ERJ passou a ser investigado apenas recentemente do ponto de vista do clima futuro (e.g., DEREZYNSKI, 2011; LUIZ SILVA et al., 2011; DEREZYNSKI et al., 2013; LUIZ SILVA & DEREZYNSKI, 2014; LA ROVERE & SOUSA, 2016), em particular com base em índices de extremos de temperatura do ar e precipitação pluviométrica. Esse conhecimento é reforçado no presente trabalho, no qual são apresentados os resultados da avaliação de projeções de oito índices de extremos do clima, que subsidiaram os estudos das demais equipes temáticas.

II.1-ÍNDICES DE EXTREMOS DO CLIMA

Foram avaliados cinco índices de temperatura: (i) menor temperatura mínima anual (TNn); (ii) sete dias consecutivos mais quentes do ano (Temp7dias); (iii) temperatura máxima média (TMAXmean); (iv) temperatura mínima média (TMINmean); e (v) duração de ondas de calor (WSDI); e três índices de precipitação – (i) períodos secos (CDD); (ii) precipitação anual total (PRCPTOT); e (iii) máxima precipitação anual em um dia (RX1day). Os índices tiveram como referência os cenários de emissão RCP 4.5 e RCP 8.5, dos modelos regionais Eta/MIROC5 e Eta/HadGEM2-ES do INPE para os períodos de integração 1961-1990 (*baseline*) e 2041-2070. Todos os índices foram, direta ou indiretamente, obtidos da Plataforma Projeta, do INPE (projeta.cptec.inpe.br).

Os resultados são apresentados para a totalidade do território do ERJ, assim como por município, em termos de valores mensais e anuais (médios ou absolutos), anomalias (valores anuais médios absolutos e diferenças percentuais) e comportamento espacial, por período de integração (*baseline* e futuro).

A metodologia estatística para a determinação e análise dos índices de extremos foi baseada no *software* Rclimdex, desenvolvido por Zhang e Yang (2004), conforme definições do *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETC-CDMI) e recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM).

O comportamento espacial das variáveis climáticas foi investigado com base em modelagem geoestatística e interpolação da grade regular dos modelos, para estimar valores das variáveis de clima para pontos não amostrados, a partir de pontos cotados próximos. Tendo em vista detectar a significância e a magnitude das tendências anuais dos índices de extremos, procedeu-se à execução do teste de Mann-Kendall e estimativa de Sen, respectivamente (SNEYERS, 1975). Os mapas da Figura 3 ilustram a distribuição espacial dos índices de extremos do clima (valores absolutos médios) referentes ao cenário de emissão RCP 8.5 do modelo Eta/HadGEM2-ES, período de integração 2041-2070. Os mesmos mapas para o RCP 4.5 e para o modelo Eta/MIROC5 podem ser vistos no Relatório de Impactos que embasa a presente Seção. Os principais resultados, por índice de extremos, são discutidos resumidamente a seguir.

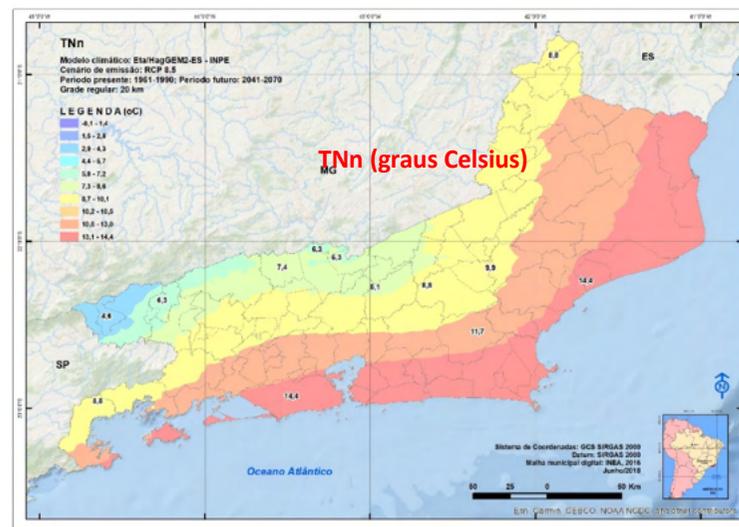
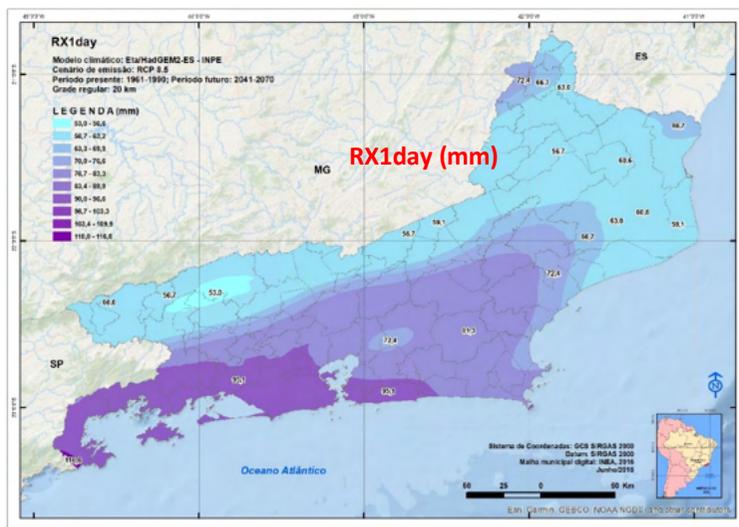
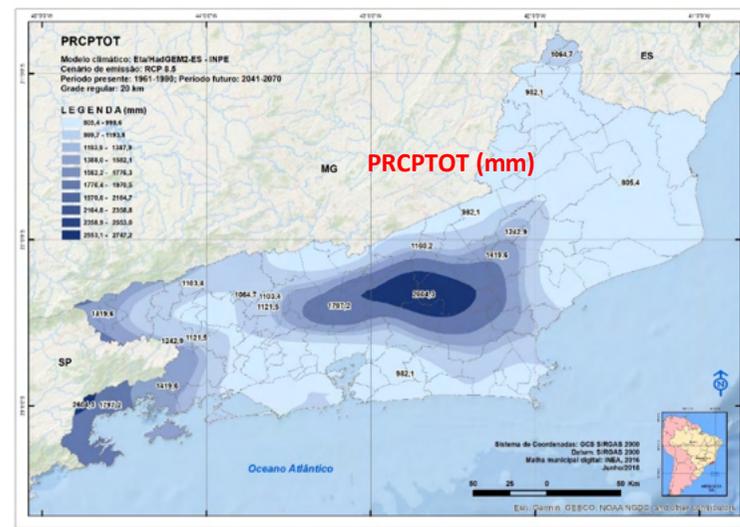
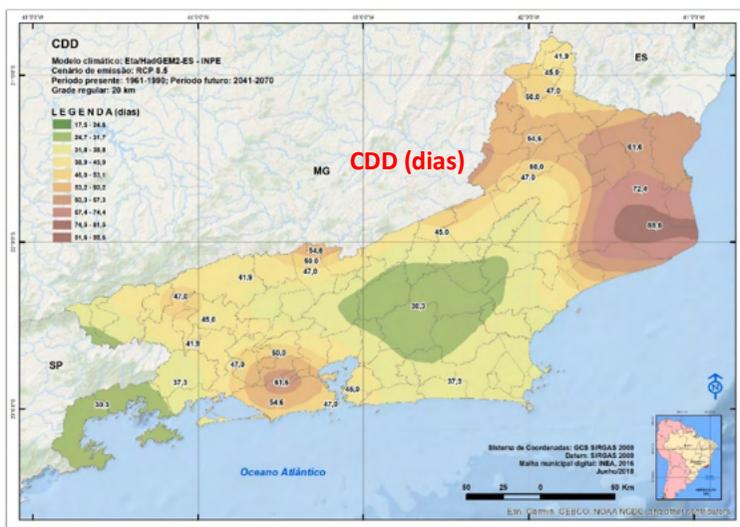
- **CDD:** Os máximos absolutos foram observados nas regiões Noroeste e Norte Fluminense, sobretudo na faixa litorânea. As condições mais severas de dias secos estão associadas ao RCP

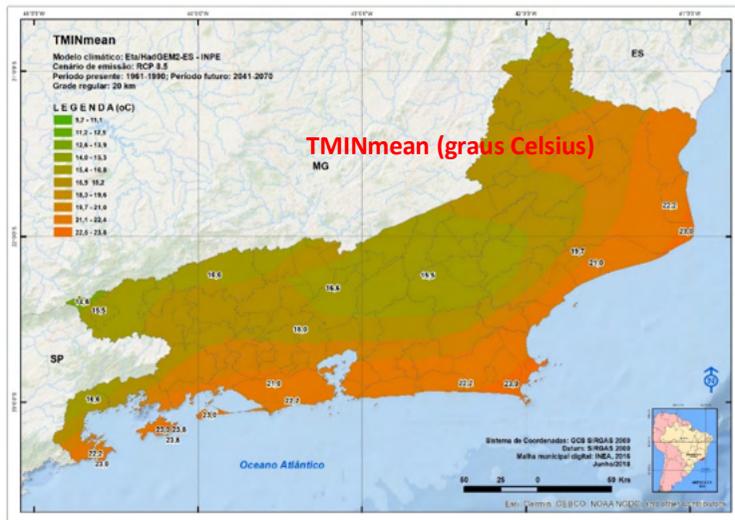
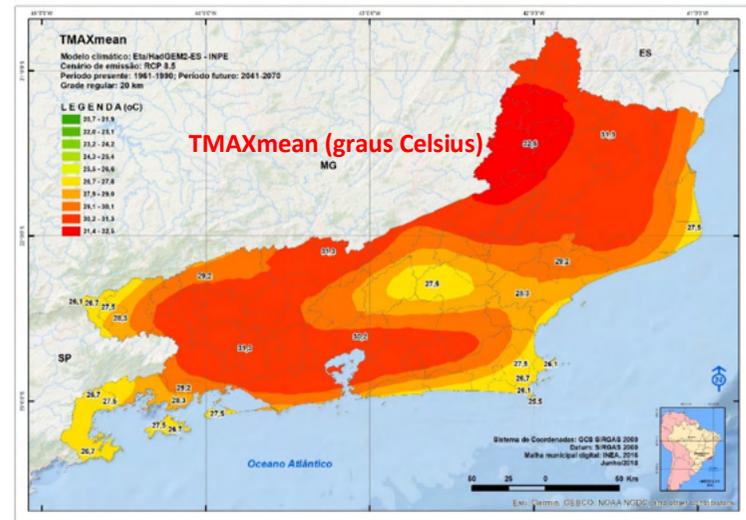
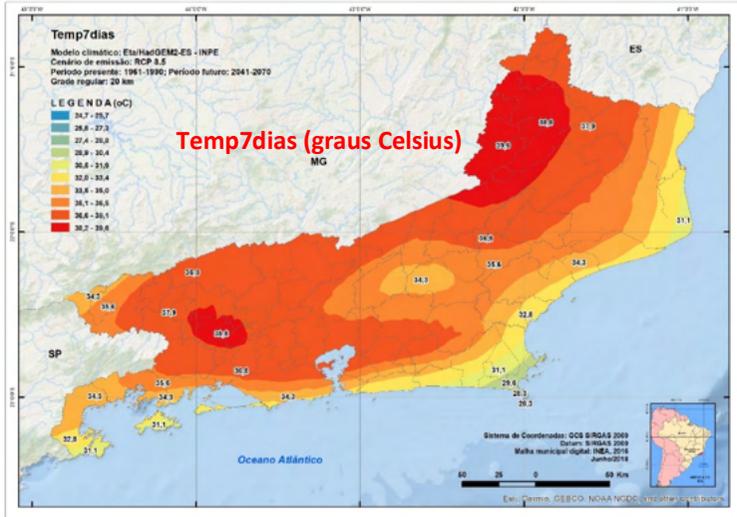
8.5, do Eta/HadGEM2-ES. Para qualquer cenário/modelo, porém, as regiões Serrana e da Costa Verde apresentam condições menos críticas. Os resultados apontam, via de regra, para o aumento do número de dias secos consecutivos em ambos os modelos, mas de forma mais acentuada no Eta/HadGEM2-ES, em especial no RCP 8.5.

- **PRCPTOT:** Para qualquer cenário/modelo, os maiores acumulados de chuvas são verificados na Região Serrana e, os menores, nas Regiões Metropolitana, Baixadas Litorâneas, Norte e Noroeste Fluminense (proximamente ao litoral), assim como na Região Centro-Sul. De um modo geral, há redução significativa e generalizada de chuvas, particularmente no Eta/HadGEM2-ES, em ambos os cenários de emissão.
- **RX1day:** Os maiores volumes de chuva concentrados em 24 h foram detectados nas Regiões Serrana e na Costa Verde, ao passo que os menores foram observados nas Regiões Norte e Noroeste Fluminense, assim como em extensas áreas no Centro-Sul Fluminense e Médio Paraíba. Os resultados indicam que o acumulado de chuvas será maior em qualquer cenário do Eta/HadGEM2-ES, comparativamente ao Eta/MIROC5.
- **TNn:** Com relação à menor temperatura mínima anual, foi verificado gradiente de redução a partir da faixa litorânea para o interior, em ambos os cenários dos dois modelos climáticos, em especial na Região Norte. Os menores valores estão associados à Região Serrana. Sinteticamente, observa-se aumento generalizado de TNn em todo o ERJ, até meados do Século XXI.
- **Temp7dias:** Núcleos com valores mais elevados foram observados nas regiões Norte e Noroeste Fluminense, bem como na Região Metropolitana e parte das Regiões das Baixadas Litorâneas, Centro Sul Fluminense e Médio Paraíba. As regiões de inserção das serras dos Órgãos e Mantiqueira apresentaram os menores valores para este índice de extremo. Para até 2070, os modelos climáticos apontam para o aumento das ondas de calor em todas as regiões do ERJ, havendo maiores incrementos no cenário com maior emissão de GEE (RCP 8.5).
- **TMAXmean:** Até meados do Século XXI, é projetado aumento generalizado da temperatura média máxima em todo o ERJ, com forte incremento nas áreas de baixadas próximas ao litoral e nas Regiões Norte e Noroeste Fluminense. Foram observados núcleos de máximos de temperatura nas Regiões Norte e Noroeste Fluminense, Região Metropolitana, Norte das Baixadas Litorâneas e Sul do Médio Paraíba e Centro-Sul Fluminense. No cenário de maior emissão do Eta/HadGEM2-ES, esse padrão se torna muito mais evidente, implicando, inclusive, no aumento das temperaturas máximas médias nas regiões serranas do estado.

- **TMINmean:** Da mesma forma que para TMAXmean, é projetado aumento de temperatura em todas as regiões para este índice de extremo, até 2070, particularmente na faixa litorânea, e menores valores na Região Serrana, em quaisquer cenários e modelos.
- **WSDI:** O padrão espacial é claramente definido por áreas de maiores valores ao longo do litoral e em alinhamento ao vale do rio Paraíba do Sul, em especial nas Regiões Norte e Noroeste Fluminense, no RCP 8.5, do Eta/HadGEM2-ES. Até meados do Século XXI, constata-se aumento do número de dias quentes consecutivos em ambos os cenários e modelos.

Figura 3. Índices de extremos do clima (valores absolutos médios) referentes ao cenário de emissão RCP 8.5 do modelo Eta/HadGEM2-ES, 2041-2070





II.2-DISCUSSÃO E RESULTADOS

Considerando as alterações estruturais na forma de uso e cobertura do solo pelo qual passou o ERJ ao longo das últimas décadas, potenciais mudanças nos padrões climáticos podem aumentar a frequência de ocorrência de desastres naturais, cujos efeitos são potencialmente mais deletérios para as populações mais vulneráveis em termos socioeconômicos e de saúde. Infraestruturas e serviços estratégicos são particularmente sensíveis, o que remete à necessidade de avaliação e atualização periódica de sua exposição aos extremos do clima e à tomada de ação para a remediação e prevenção de danos.

Nesse contexto, considerando os estudos avaliados sobre tendências do comportamento de extremos do clima nas últimas décadas, sobre o clima futuro do ERJ e os resultados aqui disponibilizados, há concordância sobre o fato de o clima estar mudando ou, ao menos, de que há oscilações consistentes na variabilidade climática, em especial em relação à temperatura e precipitação.

Há, de um modo geral, tendência de aumento dos índices de temperatura, sobretudo com relação à média máxima e média mínima. As diferenças percentuais das anomalias são particularmente maiores para média mínima e menores para média máxima, o que implica em redução da amplitude térmica diária, com elevação generalizada da temperatura. No caso da Região Metropolitana, a potencial elevação da temperatura pode ser exacerbada pelo adensamento urbano em curso, seguido pela intensa impermeabilização do solo, contribuindo para a formação e intensificação de ilhas de calor.

Por outro lado, dias quentes consecutivos tenderão a aumentar significativamente, assim como a duração das ondas de calor, até 2070. Redução estatisticamente significativa poderá ocorrer com relação à precipitação total anual e o acumulado de chuvas em um dia, em ambos os cenários de emissão e modelos. Verifica-se, também, o aumento dos dias secos consecutivos.

Independentemente dos cenários e modelos climáticos, é projetado um clima mais quente e com menores volumes de chuvas. O modelo Eta/HadGEM2-ES, via de regra, projeta clima mais quente e seco, comparativamente ao Eta/MIROC5. Ambos, entretanto, apresentam grau de convergência considerável entre si, em particular com relação à temperatura – Tabela 1.

Tabela 1. Tendências anuais dos índices de extremos do clima (médias absolutas para o ERJ)

Índice de extremo	Eta/MIROC5			Eta/HadGEM2-ES		
	1961-1990	RCP 4.5	RCP 8.5	1961-1990	RCP 4.5	RCP 8.5
CDD	↘	↗	↗	↘	↑	↑
PRCPTOT	↗	↘	↓	↗	↓	↓
RX1day	↑	↗	↘	↗	↓	↓
TNn	↗	↗	↑	↗	↗	↗
Temp7 dias	↗	↗	↑	↗	↗	↑
TMAXmean	↗	↗	↑	↗	↑	↑
TMINmean	↗	↗	↑	↑	↑	↗
WSDI	↗	↗	↑	↗	↑	↑

Tendência não significativa de aumento	TnSA
Tendência significativa de aumento	TSA
Tendência não significativa de redução	TnSR
Tendência significativa de redução	TSR

Fonte: Elaboração própria (2018)

Os resultados apresentados possibilitaram avaliar o comportamento do clima do ERJ até meados do Século XXI, com base em índices estratégicos de extremos do clima. Porém, ainda assim, trata-se de uma análise parcial, uma vez que outros índices de temperatura e precipitação, igualmente importantes, devem integrar um estudo cujo objetivo seja subsidiar o desenvolvimento de uma agenda governamental de adaptação e mitigação. Essa agenda visa enfrentar os impactos das mudanças do clima, considerando infraestruturas e serviços muito caros à população fluminense e que podem estar potencialmente (mais) expostos às severidades de um clima que afigura estar em mudança.

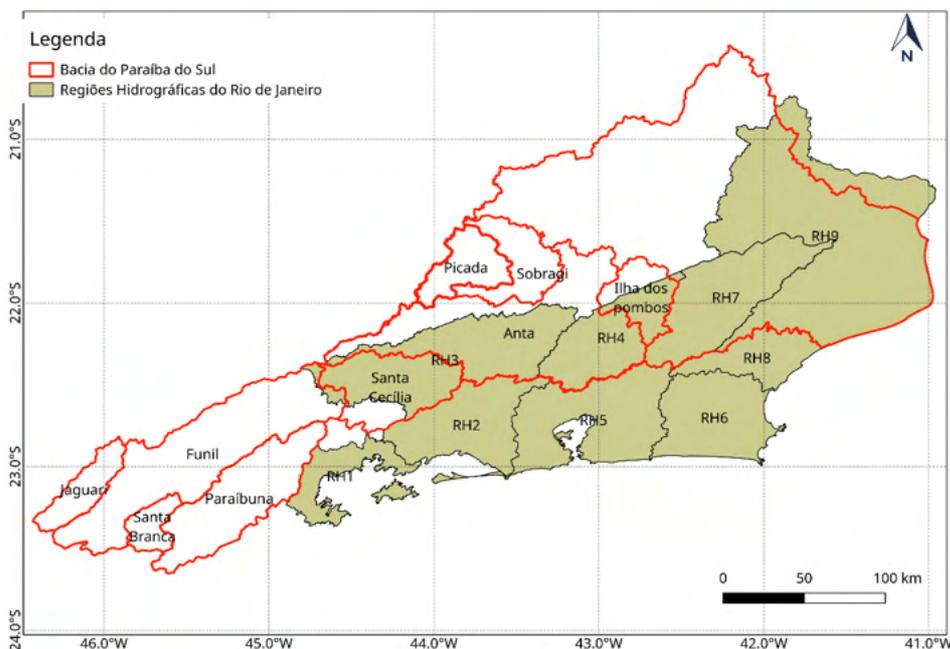
Apesar do contínuo aprimoramento dos modelos climáticos e do crescimento da capacidade computacional, que viabilizou a inclusão de muitos processos físicos e dinâmicos, os resultados alcançados devem ser avaliados com parcimônia, uma vez que há restrições associadas à representação de processos físicos e dinâmicos, numa escala espacial mais fina e restrições de conhecimento sobre todos os processos envolvidos. Por outro lado, a previsibilidade climática para a Região Sudeste apresenta um dos menores graus de confiabilidade, devido à menor dependência com relação ao estado dos oceanos e à grande variedade e variabilidade dos sistemas meteorológicos que a influencia.

III. IMPACTOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS

Um dos primeiros efeitos das mudanças do clima são as perturbações no ciclo da água. Ainda que intuitivo, o entendimento destas perturbações é bastante complexo. As séries históricas climáticas que subsidiam decisões de gestão de recursos hídricos deixam de ser estacionárias e passam a sofrer variações, demandando a investigação de processos físicos que influenciam os padrões médios e sua variabilidade. Por conta da fundamental importância dos recursos hídricos na vida das pessoas, dos setores econômicos e dos ecossistemas, é também fundamental entender como as mudanças climáticas poderão impactar os recursos hídricos no caso particular do ERJ.

O ERJ é dividido em nove unidades estaduais de planejamento e gestão dos recursos hídricos, denominadas Regiões Hidrográficas (RH), com características distintas. São elas: RH I (Baía da Ilha Grande), RH II (Guandu), RH III (Médio Paraíba do Sul), RH IV (Piabanha), RH V (Baía de Guanabara), RH VI (Lagos São João), RH VII (Dois Rios), RH VIII (Macaé e das Ostras) e RH IX (Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana) – Figura 4.

Figura 4. Regiões Hidrográficas do ERJ e delimitação da Bacia do Rio Paraíba do Sul



Elaboração própria (2018)

As maiores vazões de referência no estado estão associadas ao Rio Paraíba do Sul, nas RH II, III e IX. Ele apresenta domínio interestadual possuindo grande complexidade física, política e institucional, que gera dificuldades de gestão e de planejamento estratégico de longo prazo.

Dos 92 municípios do estado, 57 estão na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. O Sistema Hidráulico do rio é formado por quatro reservatórios de regularização – Paraibuna/Paraitinga, Santa Branca, Jaguarí e Funil. Estes procuram garantir a afluência adequada para a operação de Santa Cecília, onde se efetiva a divisão entre as águas que servem de abastecimento para a RMRJ, bacia do rio Guandu, e a vazão que segue para jusante no rio Paraíba do Sul. O abastecimento de cerca de 75% da população total do estado provém da bacia do Paraíba do Sul.

O ERJ apresenta grande heterogeneidade especial quanto à estrutura de demandas. Contudo os setores responsáveis pelas maiores demandas são a indústria e o abastecimento humano, que respondem juntos por 86% da demanda total. Vários polos industriais instalados ao longo das Regiões Hidrográficas do estado têm alto potencial poluidor, especialmente na RH II, onde se concentra a maior demanda industrial do Estado. A RH IV apresenta a maior demanda hídrica para o setor agrícola, sendo também de destaque na RH IX (Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana), principalmente com a cana-de-açúcar. A RH V abrange a maior parte da Região Metropolitana, cuja continuidade e principal vetor de crescimento está na RH II (Guandu), que tem elevada demanda pela alta vazão consumida por termelétricas.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERHI-RJ (INEA, 2014) realizou balanço hídrico entre a disponibilidade e demandas hídricas. Foi feito por Unidade Hidrológica de Planejamento (UHP), destacando a necessidade de garantia do transporte de água para RH V e apontando pontos nas RH III, IV e VII cuja razão demanda/disponibilidade é superior a 50%, no cenário atual. O documento ressalta que muitos municípios que necessitam de ampliação imediata das demandas dependem de sistemas integrados de abastecimento, especialmente os da Região Metropolitana (RH II e V).

O PERHI-RJ cita ainda que a disponibilidade hídrica pode ser comprometida pela vazão necessária à diluição de esgotos na grande maioria dos rios, podendo acentuar os conflitos pelo uso da água. Dentre outros problemas ambientais, destaca também a intrusão salina em alguns aquíferos e ausência de mata ciliar nos principais mananciais, entre outros. No balanço geral, o Plano sugere que a situação no estado é de alerta de escassez hídrica, em função dos diversos fatores de pressão ambiental sobre os recursos hídricos.

III.1-MODELAGEM DOS IMPACTOS CLIMÁTICOS SOBRE A HIDROLOGIA

III.1.1-METODOLOGIA

O objetivo foi gerar informações sobre o impacto das mudanças climáticas sobre as vazões do rio Paraíba do Sul e demais bacias do estado. A metodologia se divide em quatro partes. Inicialmente, faz-se uma análise do clima presente, onde são verificados os comportamentos das séries temporais de vazão, precipitação e secas com diferentes bases de dados para o estado e o rio Paraíba do Sul. Na sequência, é feita uma análise comparativa das variáveis meteorológicas, precipitação e temperatura média anual do modelo regional Eta em comparação ao conjunto de modelos globais disponibilizados pelo IPCC-AR5, para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.

A terceira etapa seleciona os dados de precipitação, insolação, temperatura, umidade e vazão de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e Agência Nacional de Águas (ANA) em nove sub-bacias do rio Paraíba do Sul, para calibração dos parâmetros do modelo hidrológico e estimativa da evapotranspiração potencial. Na sequência, são obtidas as precipitações do modelo regional Eta para o período de integração histórico e os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, para as bacias de interesse, com posterior correção estatística e remoção de viés. A partir das precipitações corrigidas e das evapotranspirações estimadas projetam-se as vazões.

A quarta etapa consiste na utilização do modelo de balanço hídrico vertical de Thornthwaite para as nove Regiões Hidrográficas, a partir das precipitações e evapotranspirações do modelo regional Eta. A metodologia classifica o clima da região com base nas condições hídricas.

III.1.2-RESULTADOS DA ANÁLISE

A análise das séries de vazões anuais médias do Sistema Integrado Nacional na Região Sudeste destaca diferentes sinais quanto à tendência, sendo de aumento na região de São Paulo e redução, ou variabilidade de baixa frequência, nas vazões mais ao norte da Região Sudeste e parte litoral. A bacia do Paraíba do Sul, que possui caráter interestadual e se encontra numa região de transição, mostra uma acentuada variabilidade interanual nas vazões médias anuais e uma tendência negativa no posto de Jaguarí, na nascente do rio, enquanto os demais postos da bacia não apresentam tendência significativa no período. Os valores mínimos de vazões médias anuais e maiores intensidades de extremos de seca foram encontrados durante a crise hídrica de 2013-2015, sugerindo que eventos

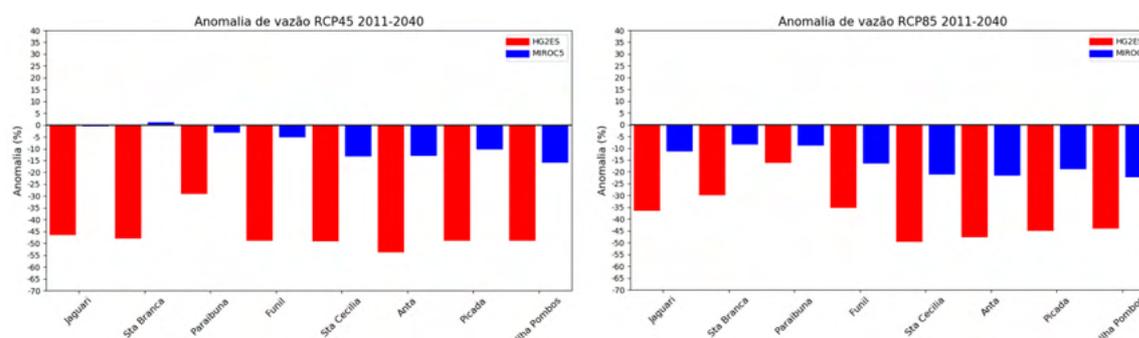
dessa magnitude são raros na série histórica e podem estar associados a mudanças nos patamares de variação das vazões médias anuais.

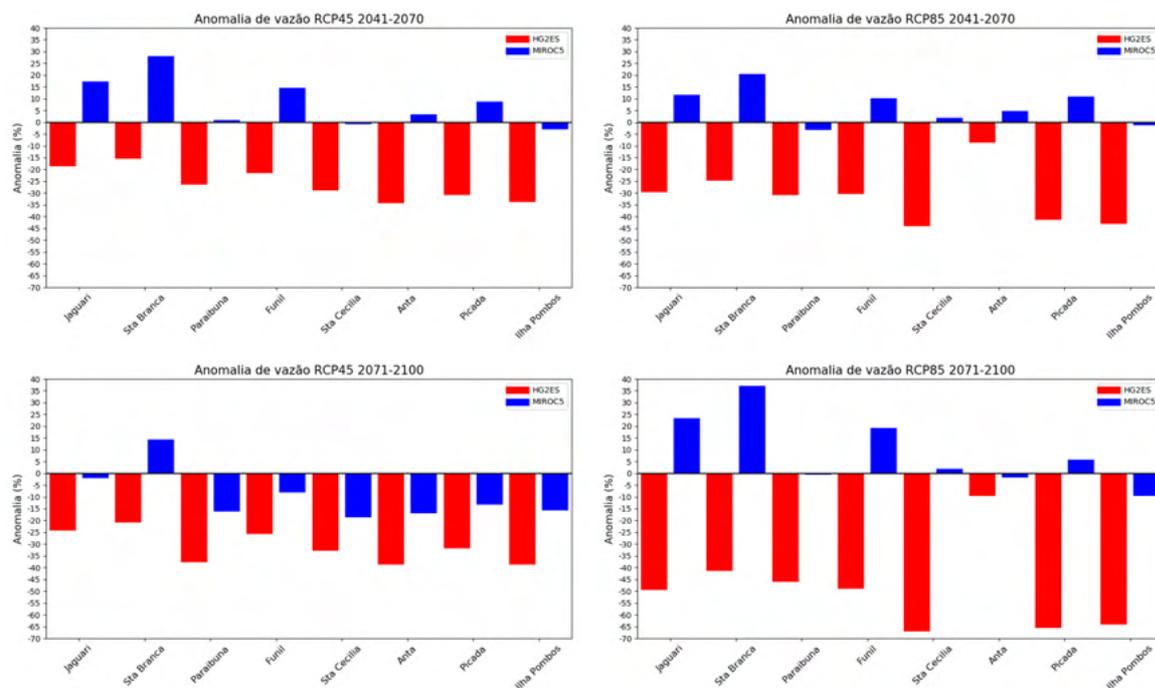
A análise comparativa entre os modelos de mudanças climáticas globais e regionais para o ERJ identificou que o Eta tende a superestimar a magnitude de anomalias de temperaturas médias anuais e possui anomalias de precipitação mais secas do que os seus forçantes globais. Contudo, todos os modelos globais e o regional concordam com o aumento de temperatura e evapotranspiração para os três períodos de integração futuros (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100). Especialmente, as anomalias são menores no litoral, sendo mais intensas na bacia do Paraíba do Sul, especialmente nos trechos do Rio de Janeiro e São Paulo.

Quanto à precipitação futura, as rodadas do modelo regional divergem, contudo concordam que as precipitações no período 2011-2040 devem ser abaixo da média histórica. O modelo Eta/HadGEM2-ES aponta anomalias negativa superiores a 20% em ambos os cenários para todas as regiões analisadas neste período, enquanto o Eta/MIROC5 aponta anomalias entre 0 e 5%. As anomalias negativas mais intensas estão a jusante de Santa Cecília e nas regiões RH IV, RH VII e RH IX.

Com relação às vazões projetadas, a Figura 5 mostra as anomalias conforme projetadas pelo modelo regional Eta/HadGEM2-ES e Eta/MIROC5, para as sub-bacias que compõem a bacia do Paraíba do Sul para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, divididas em três períodos de 30 anos (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100) em comparação ao período de referência (1961-1990).

Figura 5. Anomalias projetadas de vazão para as sub-bacias do Paraíba do Sul, cenários RCP4.5 e RCP8.5, três períodos de 30 anos, Modelos Eta/HadGEM2-ES e Eta/MIROC5





Fonte: Elaboração própria (2018)

Os gráficos da Figura 5 mostram que há divergências entre os modelos quanto ao futuro das vazões. No período de 2011 a 2040, ambos os modelos sinalizam reduções nas vazões médias anuais na bacia do Paraíba do Sul, divergindo apenas em magnitude, especialmente na região a jusante de Santa Cecília. Os modelos divergem quanto ao futuro das vazões: o modelo Eta/HadGEM2-ES mostra redução nas vazões médias anuais de até 65% em Santa Cecília, no período de 2071 a 2100, enquanto o Eta/MIROC5 destaca variações levemente positivas, para o mesmo período e cenário.

O balanço hídrico de Thornthwaite utilizando as simulações do modelo regional concordam que a região mais ao leste da cidade do Rio de Janeiro, especialmente as RH IX e RH VIII, podem apresentar redução nas vazões, sugerindo uma mudança da classe úmida B1 para classes semiúmidas. O modelo Eta/HG2ESM mostra impactos mais significativos, principalmente no cenário RCP 8.5, indicando mudanças de classe em todas as regiões hidrográficas do Rio de Janeiro, sugerindo que o Rio de Janeiro deve se tornar menos úmido.

III.1.3-CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise proposta neste trabalho visou gerar informações sobre o impacto das mudanças climáticas na bacia do Paraíba do Sul e no ERJ. Essas informações podem ser usadas pelos gestores na adoção de políticas e auxiliar na definição de medidas que minimizem os impactos de tais mudanças.

Todos os modelos apresentaram tendência positiva para a temperatura no período de 2011 a 2100 e divergem quanto ao futuro das precipitações e, conseqüentemente, das vazões. O modelo Eta amplifica o sinal das temperaturas em alguns graus Celsius para a região de estudo, em comparação ao seu forçante global. Esse fato é evidente ao se analisar o Eta forçado pelo modelo global HG2ESM.

Embora haja divergência no comportamento do clima futuro, os modelos indicam que a região mais ao leste do estado deve ficar menos úmida, sugerindo alteração na classificação climática das regiões RH IX e RH VIII.

No período de 2011 a 2040, os modelos regionais sinalizam reduções nas vazões médias anuais na bacia do Paraíba do Sul, divergindo apenas em magnitude, especialmente na região a jusante de Santa Cecília.

Os impactos das mudanças climáticas, somadas ao crescimento da demanda na bacia, podem intensificar as crises hídricas na região e causar novos conflitos como o ocorrido entre 2013-2015, entre Rio de Janeiro e São Paulo. O estresse hídrico ao qual se encontram submetidas algumas regiões do Rio de Janeiro e estados vizinhos destacam a necessidade urgente de adaptação para torná-lo mais resiliente.

O ERJ encontra-se num estágio de adaptação insuficiente à variabilidade hidrológica existente (devido à variabilidade climática em múltiplas escalas temporais e a decorrente das alterações no uso e ocupação nas bacias), o que requer que os sistemas de gerenciamentos de recursos hídricos adotem, simultaneamente, medidas que sejam capazes de suprir as vulnerabilidades frente às condições climáticas atuais e às projetadas, com base no crescimento de demanda e mudanças climáticas.

Com isso, é preciso considerar as medidas de adaptação ao clima presente como prioritárias. Nesse sentido, o PERHI-RJ cita a necessidade de ampliação imediata de sistemas de abastecimento nas regiões RH I, RH II, RH V, RH III e RH IX, com destaque para o problema de qualidade de água associado à diluição de esgotos nas RH II e RH V.

IV. IMPACTOS SOBRE A SAÚDE HUMANA

A saúde da população mundial apresenta relações diretas e indiretas com as mudanças do clima. Elas podem não somente aumentar ou diminuir a probabilidade da ocorrência de certas doenças fisiológicas – tipicamente por conta de variações de temperatura – como podem alterar o comportamento da população, tornando-a mais ou menos exposta às doenças relacionadas ao clima, além de poderem também alterar o comportamento de vetores, afetando a incidência de doenças por eles transmitidas.

Existem três caminhos básicos pelos quais as mudanças climáticas afetam a saúde humana (CONFALONIERI & MENNE, 2007):

- Impactos diretos, que se relacionam principalmente com mudanças na frequência de clima extremo, incluindo calor, secas e chuvas fortes;
- Efeitos mediados por sistemas naturais, por exemplo, vetores de doenças, doenças transmitidas pela água e poluição do ar;
- Efeitos fortemente mediados por sistemas humanos, por exemplo, impactos ocupacionais, desnutrição e estresse mental.

Numa primeira aproximação, mesmo com exceções, as mudanças climáticas agem para exacerbar os padrões existentes de problemas de saúde, agindo sobre as vulnerabilidades subjacentes que levam a problemas de saúde, mesmo sem a mudança climática. A vulnerabilidade de uma certa população ou grupo de pessoas às mudanças climáticas depende de diversos fatores, sendo os principais sua localização geográfica, idade, gênero e condições socioeconômicas.

Embora haja ampla evidência dos efeitos do clima na saúde, existem poucos estudos sobre os impactos das mudanças climáticas por si só, e mais particularmente para o caso brasileiro ou do estado do Rio de Janeiro. A conexão entre o clima e os impactos na saúde é suficientemente direta para permitir inferências fortes sobre causa e efeito – por exemplo, a associação entre dias quentes (geralmente definidos em termos dos percentis de temperatura máxima diária para um local especificado) e aumentos na mortalidade é muito robusta. No entanto, muitas das relações ocorrem apenas em determinadas faixas de temperatura, ou de pluviosidade ou de umidade. Além disso, é fundamental identificar como especificamente devem ser medidas as variáveis climáticas – lembrando que em alguns casos interessa a média mensal, noutros a diária, noutros o que importa são os extremos, sendo que estes também podem ser medidos por dia, por hora, por noite, ou pelo número

de dias ou de horas continuadas, etc. No trabalho foram levantadas diversas referências bibliográficas que demonstram estas relações de causa e efeito entre clima e saúde no Brasil e no ERJ, permitindo-se fazer algumas inferências sobre os prováveis impactos que a mudança climática poderá provocar na população fluminense.

Baseado no levantamento bibliográfico realizado, no caso do ERJ, foram identificadas seis principais doenças potencialmente afetadas pelas mudanças do clima e que podem ser classificadas em dois grupos: doenças fisiológicas (cardiovasculares e respiratórias) e doenças vetoriais (dengue, leptospirose, leishmaniose e diarreia). As doenças fisiológicas decorrem fundamentalmente de efeitos diretos de eventos climáticos extremos, enquanto que as doenças vetoriais são efeitos indiretos de alterações no meio ambiente, nos ecossistemas e nos ciclos biogeoquímicos.

IV.1-DOENÇAS FISIOLÓGICAS

Os processos básicos da termorregulação humana são bem compreendidos. A altas temperaturas, o deslocamento do sangue para a superfície do corpo pode levar ao colapso circulatório. Se a temperatura do corpo subir acima de 38 °C (“exaustão pelo calor”), as funções físicas e cognitivas ficam comprometidas; acima de 40,6 °C (“insolação”), os riscos de lesão orgânica, perda de consciência e morte aumentam acentuadamente. Relações de exposição-resposta são bem conhecidas, mas não para diferentes contextos comunitários e para diferentes grupos de idade/sexo. Condições ambientais incluindo ventilação, umidade, radiação de paredes ou teto e a presença de ar condicionado são importantes na determinação dos eventos.

No caso do ERJ, alguns estudos buscaram medir os efeitos de alterações de variáveis climáticas na incidência de doenças fisiológicas, morbidade e mortalidade entre diferentes grupos. Os “*bullets*” buscam resumir algumas destas principais relações:

- Há evidências de que os níveis médios e a variabilidade de temperatura são importantes influências na saúde humana. Estudos de morbidade relacionada à temperatura relatam aumentos nos eventos devido a doenças cardiovasculares, respiratórias e renais, e o impacto tem sido relacionado à duração e intensidade do calor (ARAÚJO, 2017).
- Existe uma relação significativa entre mortes relacionadas a problemas do aparelho circulatório e a temperatura média mensal. As taxas de mortalidade se elevam com

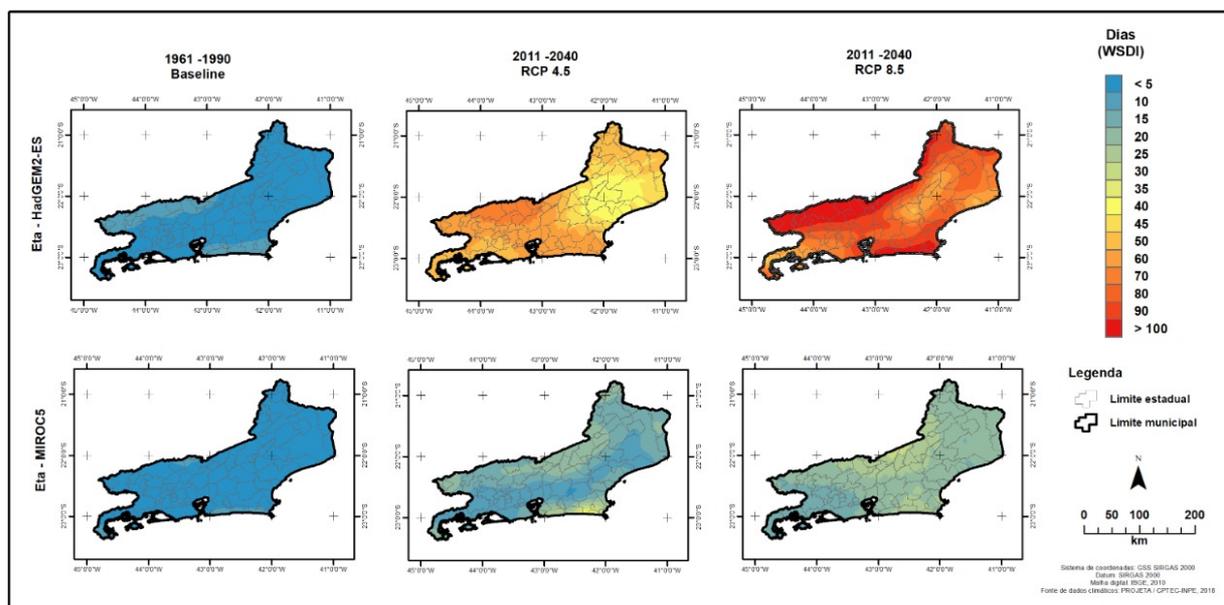
temperaturas médias mensais mais baixas (abaixo de 15 °C) e mais altas (acima de 24 °C). A relação foi pouco significativa para outras doenças (SOUZA et al., 2013).

- Parece existir uma relação positiva entre o número de mortes por doenças vetoriais e maior frequência de meses com temperaturas mais altas, principalmente na faixa 24 °C - 27 °C, e uma relação negativa para a mortalidade relacionada a doenças respiratórias, de tal modo que as mortes aumentam se o número de meses frios é maior. Portanto é possível inferir que o aumento de temperatura tende a aumentar a mortalidade por doenças vetoriais e do sistema circulatório e reduzir as doenças pelo aparelho respiratório.
- As ondas de calor aumentam em 3% a taxa de mortalidade por doenças do aparelho circulatório, e em 30% a taxa de mortalidade por doenças vetoriais. Estes episódios de extremos de temperatura além de aumentarem a mortalidade podem provocar distúrbios na regulação endócrina, no sono, na pressão arterial e no nível de estresse. Um exemplo recente do impacto das ondas de calor foi a da cidade de Santos que matou 32 pessoas idosas na primeira semana de fevereiro de 2010. No dia das mortes, a temperatura chegou a 39 °C e à noite a umidade chegou a 21% (calor seco), condição meteorológica atípica para região e bastante desconfortável para a população local (MONZONI, 2009).
- As crianças com menos de 1 ano de idade, seguidas de mulheres idosas, são os grupos demográficos que mais sofrerão com as variações de temperatura média provocadas pelas mudanças climáticas (SOUZA et al, op.cit.).
- No caso de eventos extremos de calor, os idosos (acima de 65 anos) aparecem como os mais vulneráveis, seguidos das crianças e das populações pobres. Especificamente para as crianças de 0 a 9 anos, foi observado que as ondas de calor aumentam a taxa de internação principalmente por dengue, desidratação e diarreia, sendo a última a mais significativa. Ou seja, o aumento na frequência de episódios de picos de temperatura (dias muito frios ou muito quentes) impacta principalmente os extremos da pirâmide etária (crianças abaixo de 5 anos e idosos acima de 65 anos) e os mais pobres, que são os segmentos mais vulneráveis da população (ARAÚJO, 2017).

O conjunto de mapas abaixo (Figura 6) mostra a tendência da evolução das ondas de calor no ERJ nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, Modelos Eta/HadGEM2-ES e Eta/MIROC5, no período de 2011-2040. O índice WSDI indica o número máximo de dias consecutivos no ano com temperatura máxima acima do percentil 90. Nos quatro cenários climáticos observamos que o WSDI irá aumentar em todo o

estado, embora os dois modelos climáticos não convirjam sobre as regiões aonde esses aumentos ocorrerão. De todo modo, os aumentos de frequência das ondas de calor deverão implicar aumentos da mortalidade por acidentes cardiovasculares.

Figura 6. Ondas de calor projetadas referente a cenários RCP4.5 e RCP8.5, Modelos Eta/HadGEM2-ES e Eta/MIROC5, 2011-2040



Fonte: PROJETA/CPTEC-INPE (2016)

Portanto, seja devido a eventos extremos de calor ou variação de temperatura média mensal, observa-se aumento da ocorrência de doenças cardiovasculares, sendo as crianças, os idosos e os pobres os grupos demográficos mais vulneráveis àquelas variações. Estas doenças em sua maioria são fatais, por isso é necessário especial empenho para reduzir a vulnerabilidade da população fluminense frente às ameaças apresentadas nos cenários climáticos.

IV.2-DOENÇAS TRANSMITIDAS POR VETORES

A dengue é a doença viral transmitida por mosquitos que se espalha mais rapidamente, mostrando um aumento de 30 vezes na incidência global nos últimos 50 anos. A cada ano ocorrem cerca de 390 milhões de infecções por dengue em todo o mundo, das quais cerca de 96 milhões se manifestam com sintomas. A doença está associada ao clima em escalas espaciais e espaço-temporais:

- Das doenças vetoriais ligadas ao clima, a dengue é uma das mais disseminadas e conhecidas no ERJ. Os principais vetores da dengue – *Aedes aegypti* e *Ae. Albopictus* – são sensíveis ao clima. As temperaturas mínima e máxima mensal impactam consideravelmente a ocorrência de dengue no Brasil. Em regiões com temperatura muito baixa ou muito alta a incidência da doença é menor.
- A temperatura mínima média mensal acima de 22 °C está fortemente relacionada com o início de uma epidemia de dengue na cidade do Rio de Janeiro, sugerindo que a temperatura mínima mensal seja um fator limitante para a proliferação da doença (CÂMARA et al., 2009).
- A dengue sofre maior influência da temperatura média do que da precipitação média, e a faixa de temperatura média que representa impacto significativo no número de internações por dengue é entre 26 °C e 29 °C.
- Em relação à pluviosidade, a relação entre a quantidade de chuvas e a incidência de dengue apresentam uma relação não-linear e positiva, porém decrescentes conforme a quantidade de chuvas aumenta. Verões com volume total de chuvas mensais acima de 200 mm dificultam a proliferação da dengue, pois grandes volumes de água podem lavar as larvas e impedir a reprodução do mosquito. Outro trabalho sugere que são as precipitações médias mensais acima de 150 mm que impactam significativamente o de número de internações (PEREDA et al., 2011).
- Pode-se inferir que a incidência de dengue aumenta em períodos de temperaturas quentes e em períodos de chuvas, mas condições extremas de temperatura e pluviosidade a diminuem.
- No caso da leishmaniose, níveis de precipitação acima de 50 mm favorecem a proliferação de doença, havendo evidência (mas não significativa) que nas faixas de temperaturas médias mensais menores que 20 °C, e de 20 a 23 °C há redução do número de internações por leishmaniose, enquanto que na faixa de 26 a 29 °C ou mais há aumento.
- A leptospirose, outra doença vetorial que afeta o ERJ, tem sua transmissão através da água contaminada por urina de roedores. Alguns estudos associam aumento de pluviosidade e inundações com aumento da ocorrência da doença no Brasil (CONFALONIERI & MARINHO, 2007).

De uma forma geral, o aumento médio da temperatura, da umidade do ar e da pluviosidade tendem a impactar a saúde humana ao contribuir com a proliferação de agentes infecciosos, pois favorecem

a procriação dos mosquitos transmissores de doenças ao prolongarem, acelerarem e criarem locais adequados para sua reprodução. Além disto, as inundações facilitam o contato da população com a água contaminada por agentes infecciosos, conseqüentemente elevando a ocorrência de doenças de veiculação hídrica, causadas pelo contato ou ingestão de água contaminada, como leptospirose e diarreia (CURRIERO et al., 2011).

IV.3-CONSIDERAÇÕES FINAIS

A temperatura e pluviosidade são as duas variáveis climáticas que mais influenciam a incidência das doenças sensíveis ao clima, classificadas em doenças fisiológicas (cardiovasculares ou respiratórias) ou vetoriais (dengue, leptospirose, leishmaniose e diarreia). De uma forma geral, temperaturas médias mensais altas, acima de 26 °C, e temperaturas mínimas médias mensais acima de 22 °C favorecem a incidência de doenças vetoriais, enquanto que temperaturas mínimas e máximas mais extremas são limitantes. Os extremos de chuva também reduzem a incidência de doenças vetoriais, pois lavam as larvas dos vetores transmissores de doença. Para a proliferação dos vetores é necessária a ocorrência de chuvas não extremas e locais úmidos.

As doenças fisiológicas são pouco influenciadas pela pluviosidade e significativamente afetadas pelo aumento de temperatura média mensal e pelos eventos de onda de calor, que influenciam positivamente as doenças fisiológicas, principalmente as cardiovasculares. Essas ondas de calor precisam de especial atenção, uma vez que são muitas vezes fatais, diferentemente das doenças vetoriais, apesar da sua dimensão epidemiológica.

O cenário de mudanças do clima para o ERJ aponta para um aumento de temperatura generalizado para todas as regiões, aumento das baixas temperaturas, aumento das temperaturas máximas, aumento nas temperaturas mínimas anuais médias, e aumento do número de dias quentes consecutivos que determinam ondas de calor. Em relação à pluviosidade os resultados apontam, via de regra, para o aumento do número de dias secos consecutivos e redução significativa e generalizada do acumulado de chuva anual no estado, mas não significando estiagem, apenas redução do alto índice pluviométrico. Este quadro sugere um aumento da ocorrência das doenças relacionadas ao clima no Estado, tanto das doenças fisiológicas quanto das doenças vetoriais.

V. IMPACTOS SOBRE A DRENAGEM URBANA

V.1-CARACTERIZAÇÃO GERAL DO SISTEMA DE DRENAGEM

A caracterização dos sistemas de drenagem do estado tem como base a divisão territorial as nove Regiões Hidrográficas (RH), promulgada pela Resolução CERHI-RJ nº 107/2013 e detalhada no Plano Estadual de Recursos Hídricos (COPPETEC, 2014). A divisão das Regiões Hidrográficas foi apresentada na Seção III.

A composição geomorfológica do ERJ é caracterizada por duas grandes áreas, separadas pelas escarpas da Serra do Mar, que atua como divisor central de águas e se estende desde o litoral de Paraty (RH I), até adjacências do município de São Fidélis (RH VII e IX). Ao norte das escarpas, principalmente na área central do estado (RH IV e VII), predominam feições morfológicas de amplitudes altimétricas maiores, como morros, serras escarpadas, serras isoladas e serras locais de transição entre amplitudes altimétricas diferentes. Nas porções sul e sudeste das escarpas, encontram-se feições geomorfológicas de amplitudes altimétricas baixas, com colinas e extensas áreas de planícies fluviais e fluviomarinhas, como, por exemplo, na Baixada Fluminense (RH V), na Região dos Lagos (RH VI) e Baixada Campista (RH IX).

As camadas superiores do solo desempenham protagonismo nas parcelas do balanço hídrico, no transporte de sedimentos e poluição difusa, ao interferir com as taxas relativas aos processos de infiltração, de transformação da precipitação em vazão, formação dos escoamentos, retenções e acúmulos sobre a superfície. O processo de alteração da cobertura do solo pode ser classificado como o principal agente antrópico direto de intensificação de eventos de inundações fluviais e alagamentos urbanos. O ERJ apresenta mais de 55% do seu território composto por áreas classificadas como “campo”, “pasto” e “agricultura” sendo este o maior uso atualmente, representando um potencial de áreas para introdução de medidas estruturais e não estruturais em drenagem, tais como o reflorestamento, zoneamento estratégico para fins hidrológicos e novos processos de urbanização, tendo a drenagem e a minimização dos riscos como eixos estruturantes.

O intenso processo de ocupação do território reflete o grau de intervenção sobre o ambiente natural, alterando processos do meio físico e resultando no agravamento das inundações urbanas na região. As manchas urbanas retratam o processo de crescimento das cidades, onde os principais aglomerados

urbanos estão próximos ao mar e/ou corpos hídricos notáveis, como o caso dos municípios do Rio de Janeiro e Niterói, voltados para a Baía de Guanabara; Santa Cruz, Sepetiba e Itaguaí, voltados para a Baía de Sepetiba; Araruama, Saquarema, Iguaba Grande, voltadas para a Lagoa de Araruama; Resende, Barra Mansa, Campos etc., nas margens do rio Paraíba do Sul.

O padrão de chuvas no ERJ tem características sazonais bem definidas, podendo ser alterado em função de fenômenos meteorológicos, como *El Niño* e *La Niña*:

Outono e Inverno: chuvas normalmente ocasionadas por entradas de frentes frias. Eventos frequentes, de longa duração (aproximadamente três a quatro dias), abrangem todo o estado e são acompanhadas de ventos e queda da temperatura; e

Primavera e Verão: temperaturas elevadas favorecem a formação de nuvens tipo *cumulus nimbus* no final da tarde, dando origem a chuvas convectivas, pela ascensão e esfriamento das massas de ar.

Com o objetivo de organizar os padrões de escoamento gerados pelas chuvas em áreas urbanas, são construídos sistemas de drenagem artificiais nas cidades. Parte desses sistemas, responsáveis pela drenagem das menores parcelas urbanas, como lotes, quadras, ruas, parques, são conhecidos como sistemas de microdrenagem. Outro sistema, conhecido como macrodrenagem, atua na escala da bacia e é caracterizado tanto por elementos naturais da paisagem, como os cursos d'água e talwegues, quanto por intervenções antrópicas para introdução de canais artificiais e condutos de grande porte. A falha de um ou de ambos os sistemas pode levar ao colapso da cidade, paralisando, parcialmente ou por completo, o funcionamento de seus serviços e gerando prejuízos. No entanto, em função de receber a contribuição do sistema de microdrenagem, o sistema de macrodrenagem possui um maior risco associado à sua eventual falha.

V.2-RELAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM COM O CLIMA

Precipitações intensas e suas consequências, como áreas alagadas, inundações, enxurradas e a deposição/transporte de sedimentos, são fenômenos naturais de origem hidrometeorológica, ou seja, diretamente relacionados com o clima. A relação entre o clima e os sistemas de drenagem se configura no ciclo hidrológico, no qual estão presentes diferentes parcelas do movimento da água na natureza: movimentos horizontais, responsáveis pelo transporte de grandes quantidades de água sobre o globo terrestre; e movimentação vertical em dois sentidos, da superfície terrestre para a atmosfera, por

meio do fenômeno de evapotranspiração, e no sentido contrário, da atmosfera para a superfície terrestre, por meio do fenômeno da precipitação.

Quando a água atinge a superfície terrestre, desencadeia uma série de fenômenos que configuram o comportamento do sistema de drenagem, seja ele natural ou antrópico. O desempenho do sistema apresenta um comportamento diretamente relacionado ao regime hidrológico regional e às respostas das parcelas do ciclo hidrológico após a precipitação alcançar a superfície terrestre.

Os impactos causados pelas inundações vêm crescendo devido às modificações antrópicas e a progressiva ocupação das áreas naturais de inundação. Em relação à hidrologia, o processo de urbanização é caracterizado, principalmente, pela supressão da cobertura vegetal, ocupação da calha secundária dos rios, impermeabilização das superfícies, ocupação de áreas potencialmente alagáveis, e intervenções urbanas físicas nos cursos d'água. Em consequência, podem ocorrer uma série de impactos, como a redução da infiltração e da evapotranspiração e o aumento de volumes e da velocidade dos escoamentos superficiais. No Brasil, ainda há problemas de agravamento das inundações ocasionados pela expansão de assentamentos informais, em decorrência de investimentos ainda insuficientes em políticas habitacionais, e pela presença de resíduos sólidos no sistema de drenagem, resultante da ineficiência ou inexistência dos serviços de saneamento básico.

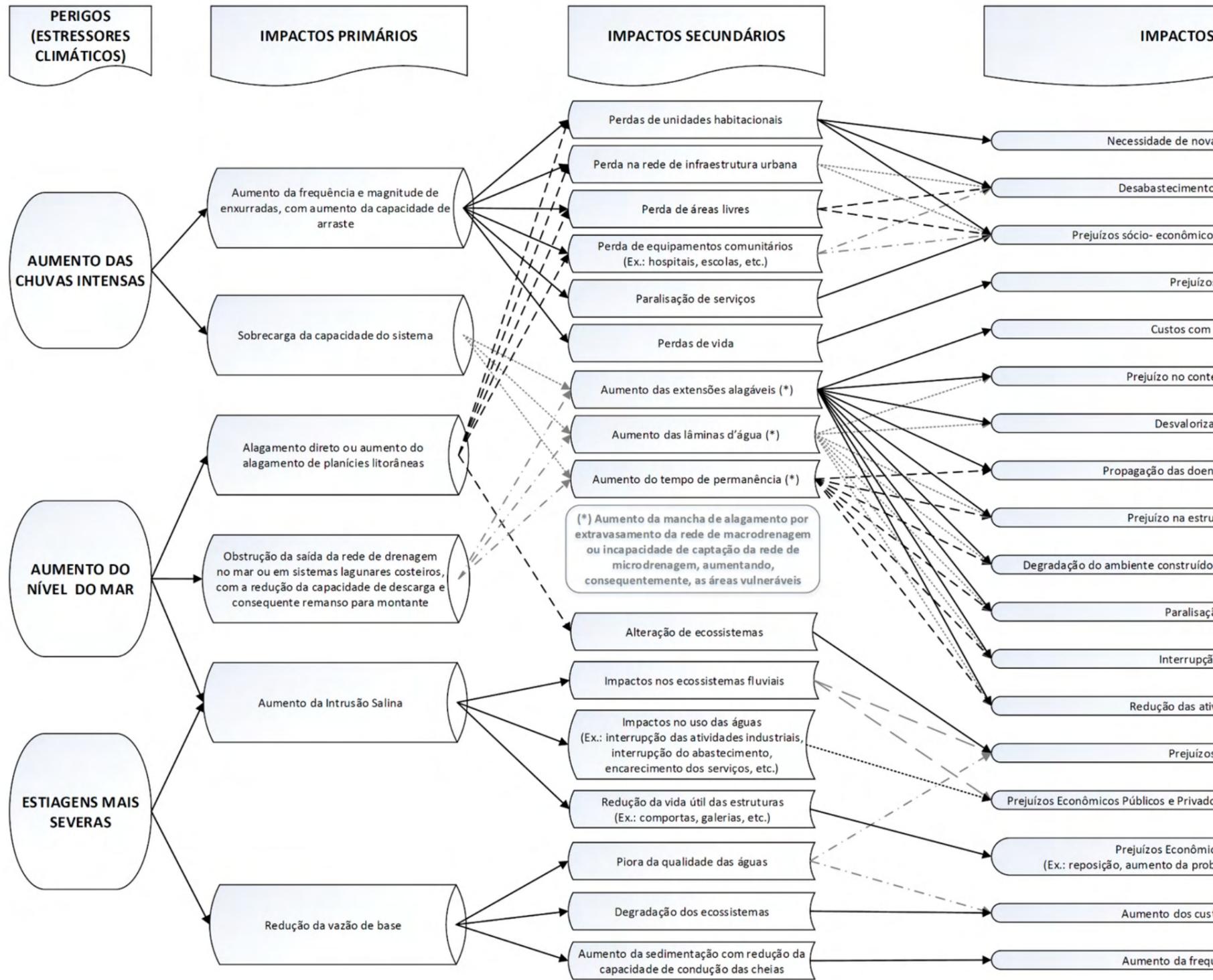
O avanço da urbanização e a consequente modificação no ciclo hidrológico acarretam, por fim, a perda de oportunidades de usos da água, uma vez que reduz a sua disponibilidade na qualidade e/ou quantidade requerida para atendimento de seus diversos usos. Essa dinâmica acaba por formar um ciclo de efeitos inter-relacionados que, em grande parte dos casos, tem como consequência final tanto a degradação do espaço urbano quanto do espaço natural.

V.3-IMPACTOS DA MUDANÇA DO CLIMA NO SISTEMA DE DRENAGEM

As mudanças no clima têm potencial para afetar os sistemas de drenagem em três frentes (estressores climáticos): aumento da intensidade dos eventos de chuva intensa; sobreelevação do nível do mar; e intensificação das estiagens. A ocorrência desses stressores climáticos desencadeia uma série de impactos que pode atingir a totalidade dos sistemas urbanos, inviabilizando o funcionamento da cidade. A Figura 7 apresenta o fluxo de impactos que podem ocorrer nos sistemas de drenagem, a partir da mudança no clima.

A análise dos impactos potenciais é realizada em duas escalas: estadual, em todo o território, considerando as áreas com maior propensão a sofrer alagamentos a partir de informações físicas do território, com uso de ferramenta SIG e análise multicritério; e na escala local, em bacias isoladas, onde foram simulados eventos de cheia para avaliação das consequências de um evento hidrológico potencializado pela mudança no clima.

Figura 7. Fluxograma de impactos causados pela mudança do clima sobre os sistemas de drenagem e suas consequências. Fonte: Elaboração própria (2016)



A avaliação das áreas mais propensas a inundações baseia-se na aplicação do Índice de Suscetibilidade do Meio Físico a Inundações (ISMFI), desenvolvido no Laboratório de Hidráulica Computacional da COPPE/UFRJ³. O ISMFI tem como objetivo representar de maneira qualitativa as áreas mais propensas à ocorrência de enchentes. Foram elaborados mapas de suscetibilidade para quatro cenários: (1) Clima atual; (2) Futuro 1, com sobre-elevação do nível do mar; (3) Futuro 2, com sobre-elevação do nível do mar e aumento de 20% na intensidade de chuva; (4) Futuro 3, com sobre-elevação do nível do mar e aumento de 30% na intensidade de chuva; e (5) Futuro 4, com sobre-elevação do nível do mar e aumento de 40% na intensidade de chuva.

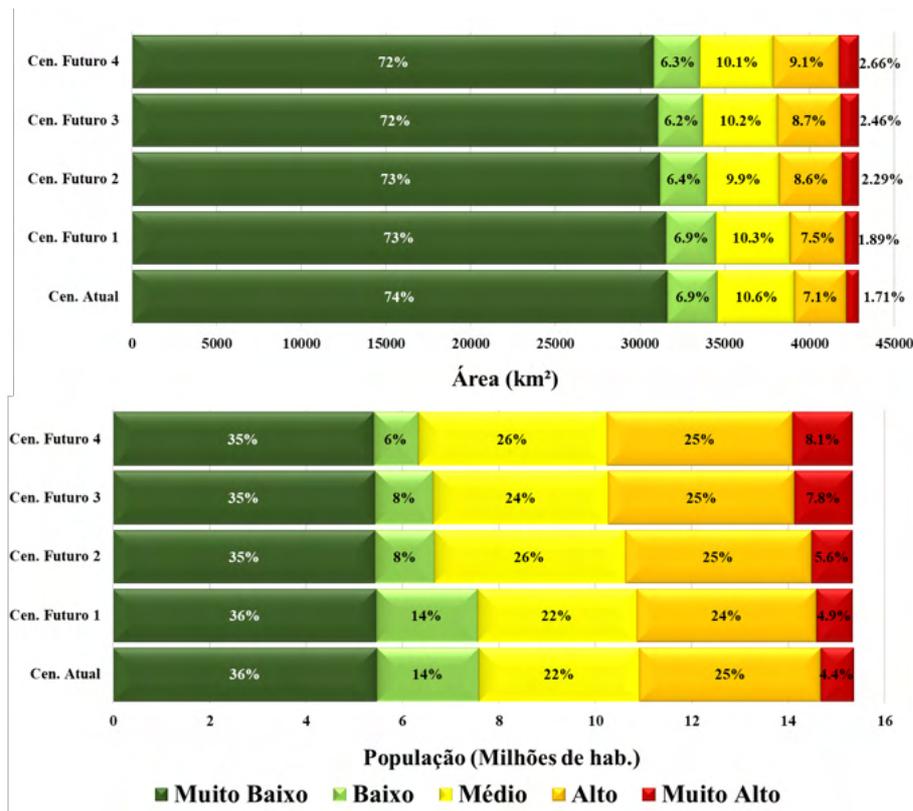
No geral, o ERJ apresenta boa parte de seu território com *muito baixa* e *baixa* suscetibilidade a inundações, ultrapassando 70% de toda sua área em todos os cenários. A população que vive nas áreas com *baixa* suscetibilidade não sofre muitos impactos com as mudanças do clima, mas pode estar sujeita a outros perigos, como enxurradas e deslizamentos. Do Cenário Atual para o Cenário Futuro 4, a população em áreas classificadas com *muito alta* suscetibilidade mais que dobra, ganhando um incremento de 84% – ou seja, passa de 675 mil para 1,24 milhões de pessoas, com um aumento de 55% dessas áreas. Ressalta-se que não foram consideradas variações na população nos cenários futuros, o que gera resultados mais brandos, uma vez que os vetores de ocupação se concentram nas áreas com maior suscetibilidade a inundações, como as planícies fluviais e as de baixada.

As regiões hidrográficas mais afetadas são as com maior porção territorial em planícies de baixada, RH II, RH V, RH VI, RH VIII e RH IX. Apesar de apresentar a maior concentração de população, a RH V que abrange a RMRJ, o impacto no pior cenário é o quarto mais brando. Há um incremento de 55% no número de pessoas vivendo em áreas com *muito alta* suscetibilidade a inundações. O pior caso se apresenta na RH II, que apresenta um incremento de 327% no número de pessoas expostas em áreas com *muito alta* suscetibilidade.

Os resultados da avaliação da suscetibilidade a inundações em cenários de mudanças do clima mostram uma situação grave para o estado fluminense. Uma compilação dos resultados para todos os cenários é apresentada na Figura 8. A espacialização do ISMFI em todo o território do ERJ pode ser vista nos mapas elaborados para o Cenário atual e para o Cenário Futuro 4, mais crítico, apresentados, respectivamente, na Figura 9.

Figura 8. Área e População em função das classes do ISMFI no ERJ

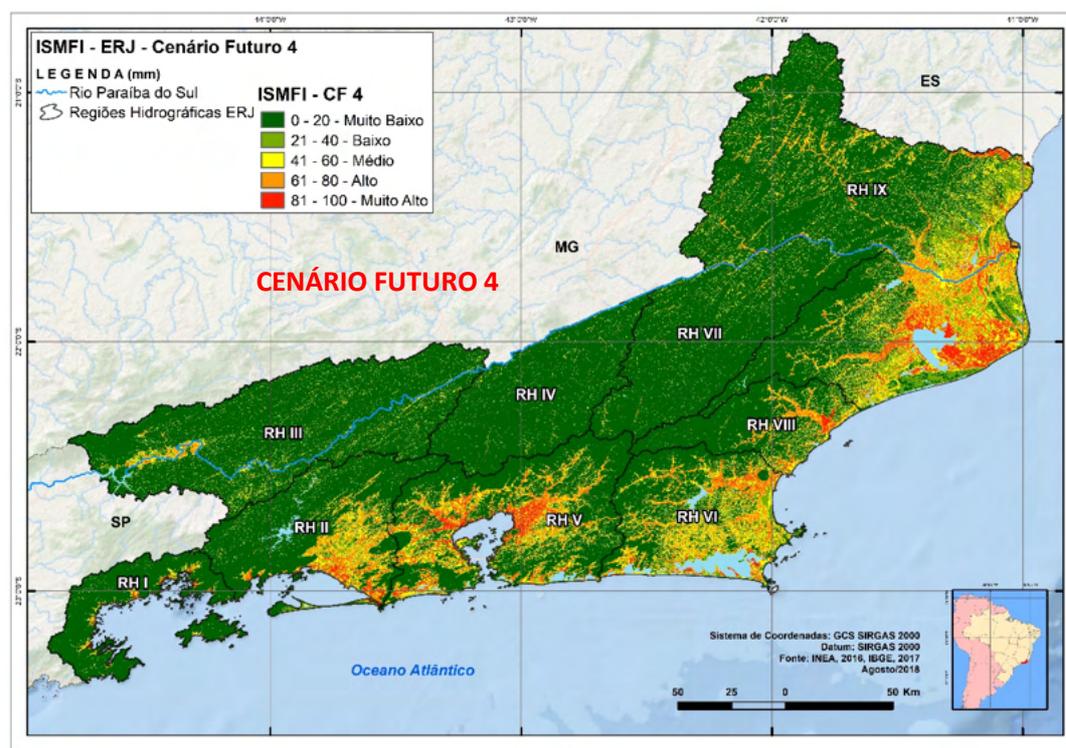
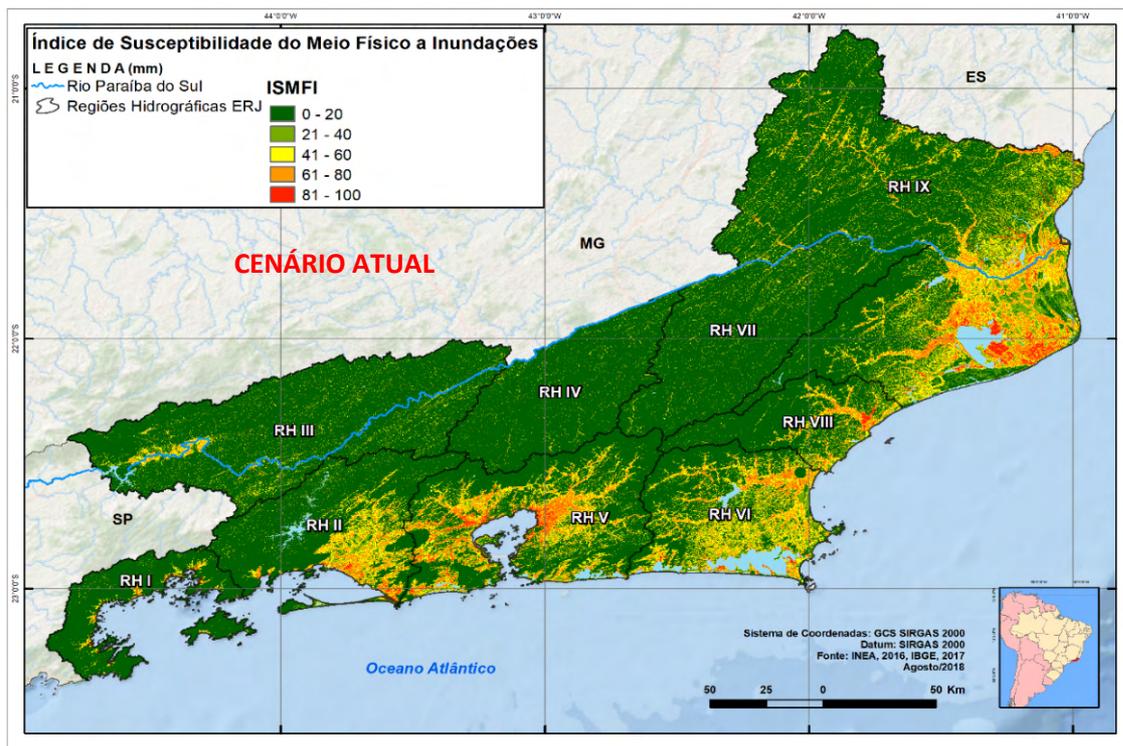
³ O Índice foi desenvolvido como subsídio à realização do Estudo (SOUSA & LA ROVERE, 2016) e na dissertação de mestrado de Miranda (2016).



Fonte: Elaboração própria (2018)

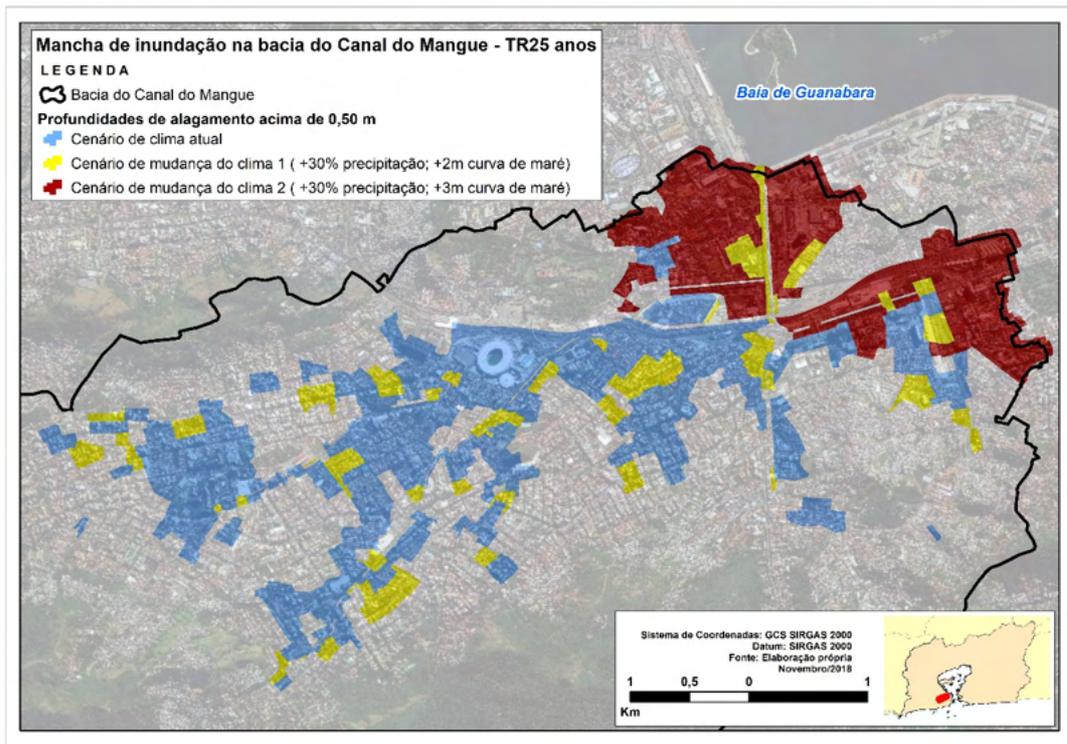
A avaliação local foi realizada na bacia do Canal do Mangue, zona central da CRJ (RH V). A bacia foi escolhida por apresentar alta vulnerabilidade aos estressores climáticos, devido a sua posição costeira, com alta influência dos níveis de maré, e sua conformação geomorfológica, com alta declividade nas cabeceiras e grande planície de inundação, sendo altamente sensível a chuvas intensas. Além disso, a região encontra-se altamente urbanizada e possui papel central na mobilidade da RMRJ. Os resultados das simulações indicam um aumento nas áreas inundadas, considerando o evento com 25 anos de tempo de recorrência. A Figura 10 apresenta as manchas de inundação com profundidades superiores a 0,50 m, que possuem maior grau de impacto nos sistemas urbanos, resultantes dos cenários atual e considerando duas sobre-elevações na maré (+2,0 m e +3,0 m). O aumento das áreas impactadas é significativo, com um incremento de 24% de áreas com profundidades superiores a 0,50 m, para o cenário Futuro 1, e de 74%, para o cenário Futuro 2. Vale ressaltar que áreas já alagadas atualmente passarão a apresentar profundidades de alagamento ainda maiores, potencializando os danos e prejuízos decorrentes das inundações.

Figura 9. Resultado do ISMFI para o ERJ



Fonte: Elaboração própria (2018)

Figura 10. Manchas simuladas de inundação na bacia do Canal do Mangue (CRJ)*



(*) Simulações de uma precipitação com 25 anos de tempo de recorrência, em cenário atual e futuro, com impactos da mudança do clima na intensidade de chuva e nos níveis de maré

Fonte: Elaboração própria (2018)

V.4- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Problemas relacionados a inundações e alagamentos atingem desde os moradores das áreas baixas como das mais altas, com diferentes níveis de urbanização. Essa situação tem forte relação com a topografia do ERJ, que apresenta alto contraste entre regiões de montanhas e encostas escarpadas e planícies fluviomarinhas.

Em função das alterações inerentes ao processo de urbanização, como o incremento de superfícies impermeáveis, intervenções nos recursos hídricos e ocupação de áreas naturalmente inundáveis, os danos e prejuízos relacionados a inundações e alagamentos se sobressaem frente aos seus benefícios ecossistêmicos. Cumpre salientar, porém, que aspectos relativos à ocorrência do fenômeno em si, como frequência, magnitude, distribuição espacial, sincronismo, estacionariedade das séries, podem ser modificados em função de alterações nos padrões climáticos.

As ferramentas de mapeamento do meio físico e modelagem hidrodinâmica das cheias, empregadas no presente estudo envolvendo o ISMFI e o ModCel, fornecem subsídios para o planejamento das

bacias hidrográficas e aprimoramento dos mecanismos de gestão do risco de inundações frente às mudanças do clima, pois apresentam uma análise espacial da evolução da área e população em faixas de susceptibilidade, tanto no cenário atual quanto no futuro.

Os resultados, de forma geral, incluindo os relacionados aos estudos de caso em sub-bacias hidrográficas, indicam que o ERJ apresenta uma situação grave em seus sistemas de drenagem, sendo que a condição atual das cidades já configura um desafio à gestão do risco de inundações, a qual, em um cenário de mudança do clima, tende a se agravar. Dessa forma, devem ser conduzidos estudos de mapeamento do risco de inundações em municípios com maior sensibilidade a alterações no regime de chuvas intensas.

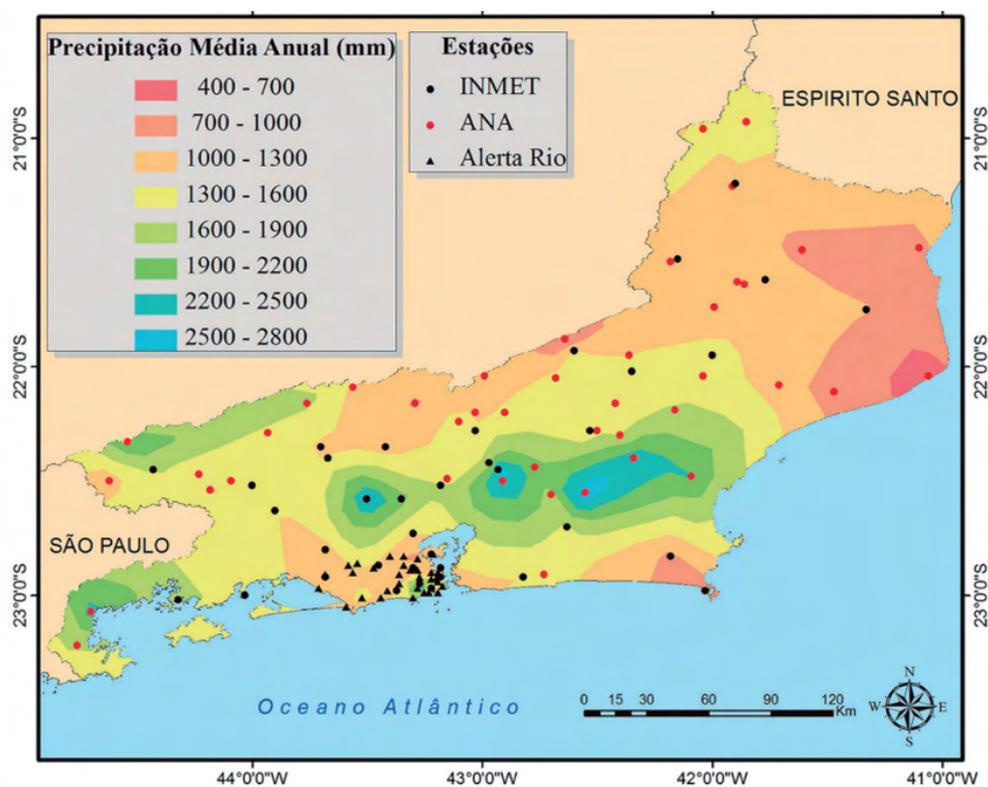
VI. IMPACTO SOBRE DESLIZAMENTOS

Esta Seção apresenta os resultados da avaliação de impactos do clima futuro no ERJ considerando a incidência de deslizamentos e as áreas potenciais de risco. Visando a caracterização do problema são discutidos os fatores predisponentes ao deslizamento em taludes e destaca-se como fator principal a infiltração da água oriunda das chuvas.

VI.1-HISTÓRICO DE EVENTOS EXTREMOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

O ERJ tem um significativo histórico de desastres associados a eventos pluviométricos, que geraram grande número de vítimas fatais e prejuízos financeiros. As maiores incidências de deslizamentos ocorrem nas regiões Serrana, Metropolitana e no Sul do estado. Os totais de chuvas anuais variam bastante de região para região (Figura 11). As chuvas mais intensas localizam-se na Serra e na Costa Verde, com totais anuais superiores a 2.000 mm, praticamente o dobro do que ocorre na Região Metropolitana (em torno de 1.000 mm).

Figura 11. Totais pluviométricos (mm) anuais no ERJ – valores médios no período 1961-2012



Fonte: Dados observacionais do INMET, ANA e Alerta Rio (1961-2012)

Na Cidade do Rio de Janeiro (CRJ), os maiores eventos foram os de: (i) 1966 e 1967 que, juntos, contabilizaram mais de 200 mortes; (ii) 1988, cujos 19 dias ininterruptos de chuva resultaram em 80 mortes e mais de 1.700 notificações de ocorrências; (iii) abril de 2010, quando foram registradas mais de 60 mortes.

Em Niterói, neste mesmo evento de abril de 2010, houve 47 mortes no Morro do Bumba, e dezenas de casas construídas em cima de um antigo lixão foram soterradas por um grande deslizamento de terra e lixo. No total, houve mais de 250 mortos nesse evento de abril de 2010, na RMRJ.

Em Angra dos Reis, em janeiro desse mesmo ano, logo após as festas de réveillon, uma pousada na Praia do Bananal além de sete casas vizinhas foram soterradas. No Morro da Carioca, pelo menos 20 casas foram atingidas, totalizando 53 mortos na cidade do Sul Fluminense.

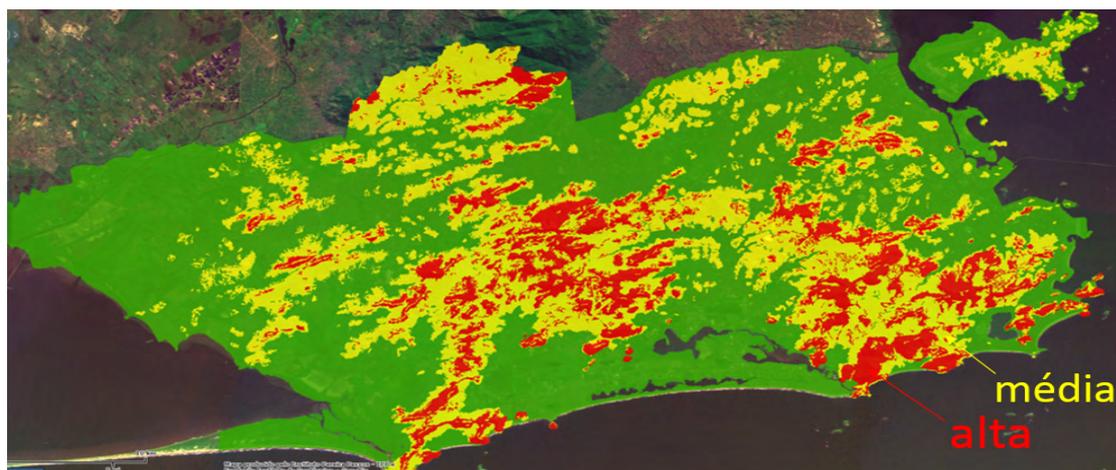
Na região serrana, os principais eventos ocorreram em fevereiro de 1988 e janeiro de 2011. No primeiro, os municípios mais afetados foram Petrópolis e os situados na Baixada Fluminense. Enchentes e deslizamentos de encostas resultaram em 277 mortos e 2.000 desabrigados. Na chuva de 2011 ocorreu o que é considerado o maior desastre socioambiental do País. Os municípios mais atingidos foram Nova Friburgo, Teresópolis, Petrópolis, Sumidouro, São José do Vale do Rio Preto e Bom Jardim, causando 916 mortes, 345 desaparecidos e 35 mil desabrigados.

VI.2-MAPAS DE SUSCETIBILIDADE E RISCO

As áreas de risco compreendem regiões sujeitas a escorregamentos de massa e inundações que têm populações ou instalações em condições vulneráveis a desastres socioambientais. A população que vive em condições de risco tem apresentado um crescimento anual acelerado. No Brasil, o processo de urbanização ocorreu de forma intensa e desigual, e parte da população menos favorecida acaba por ocupar áreas inadequadas para moradias, muitas vezes correndo riscos de vida.

No sentido de melhor caracterizar e/ou reduzir diretamente o risco de acidentes associados a movimentos de massa, a cidade do Rio de Janeiro (CRJ) e o município de Angra dos Reis possuem Mapas de Suscetibilidade a Escorregamentos, que possibilitam identificar imóveis e comunidades em áreas de alto risco. Na CRJ, aproximadamente 30% dos cerca de 13 mil km² vistoriados estão nessa categoria (Figura 12). Em Angra dos Reis o município tem cerca de 33% das pessoas residindo em áreas de alto e muito alta suscetibilidade a deslizamentos (COPPETEC, 2012).

Figura 12. Mapa de suscetibilidade ao deslizamento da Cidade do Rio de Janeiro



Fonte: GEO-RIO (2014)

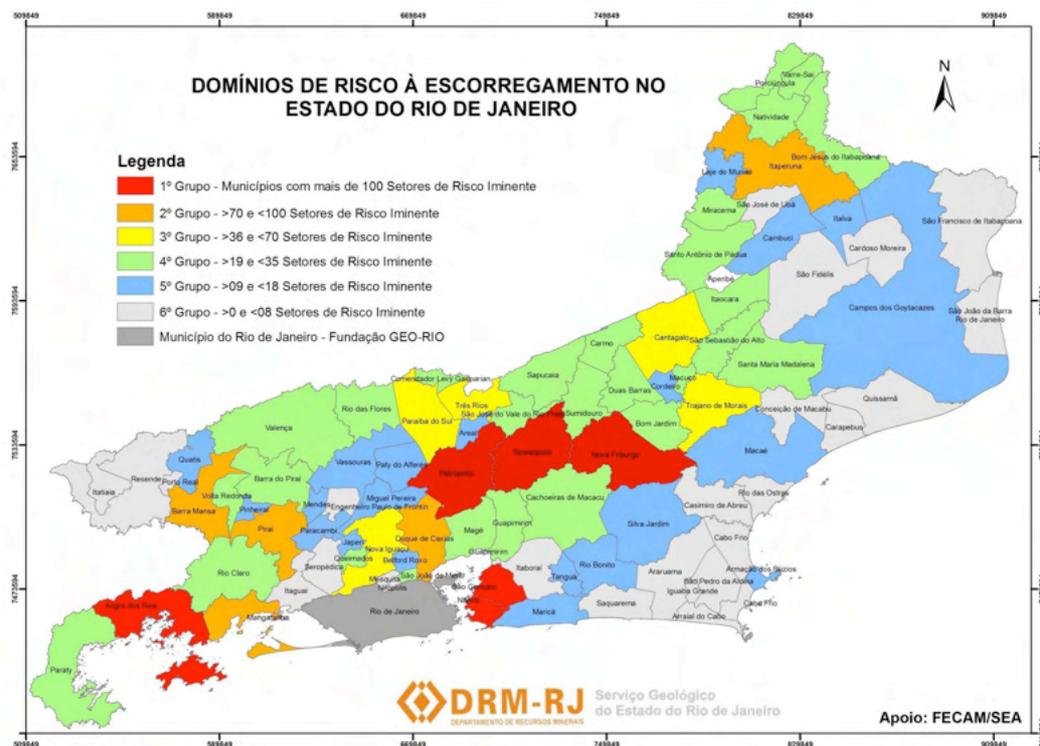
O mapeamento permite estabelecer ações de preparação dos moradores e implantação do Sistema de Alarme por Sirenes. Níveis críticos de pluviosidade prováveis de deflagrar movimentos de massa são monitorados pela rede de 33 estações pluviométricas, espalhadas por todas as regiões da CRJ, com maior concentração nos maciços florestais. Um total de 163 sirenes estão posicionadas em 105 comunidades na CRJ. Já no ERJ estão instaladas um total de 445 sirenes.

Com relação ao estado, o DRM-RJ efetuou, entre 2010 e 2013, levantamentos de áreas com possibilidade eminente de deslizamento – Figura 13. Esses levantamentos englobaram 75 dos 92 municípios do ERJ, tendo identificado 2.519 pontos sob risco iminente, representando 10.755 residências e 44.109 pessoas. Barra do Piraí e Rio Claro, situados no Sul Fluminense, e Cachoeira de Macacu, Duque de Caxias e Magé, na Região Metropolitana, abrigavam cerca de 30% das pessoas em condição de risco. Cachoeira de Macacu, Duque de Caxias e Magé incluem trechos em regiões serranas e estão sujeitas a chuvas intensas. Já Barra do Piraí e Rio Claro (vizinho à Angra dos Reis), situam-se em região na qual tipicamente ocorrem precipitações significativas e onde se tem registros de relevantes deslizamentos.

É muito difícil prever com precisão os deslizamentos provocados pelas chuvas. O processo de ruptura de uma encosta é função da condição da geometria, do processo de infiltração, das características geológicas do maciço, do índice de umidade anterior à chuva e do histórico pluviométrico da região. Nas cidades brasileiras, o período com maior número de movimentos de massa comumente relaciona-se a eventos pluviométricos, destacando-se as chuvas antecedentes à ocorrência (PARIZZI 2010;

CAMPBEL 1975; TATIZANA et. al. 1987; DELMONACO et. al. 1995; KANJI et. al. 2003). Na região sudeste do Brasil o período crítico de chuvas intensas é de outubro a março.

Figura 13. Domínios de risco iminente a escorregamento no ERJ



Fonte: DRM-RJ (2013)

Diversos métodos e correlações são propostos a fim de determinar uma chuva mínima ou um acumulado pluviométrico deflagrador de deslizamentos em taludes, no exterior e em diversas regiões do País⁴.

Estas correlações entre a pluviosidade e a ocorrência de movimentos de massa tem base empírica, probabilística ou físico-matemática. Esse tipo de correlações deve ser utilizado com cautela, pois são específicas para cada região de estudo, sendo o ideal, a elaboração de procedimentos específicos para cada região de interesse.

⁴ Endo, 1970; Lum, 1975; Brand et. al., 1984; Vargas et. al., 1986; Tatizana et al., 1987; Almeida et. al., 1993; Pedrosa, 1994; D’Orsi et al., 2000; Feijó et al., 2001; Kanji et al., 2003; D’Orsi, 2011; Martins, 2014; Dikshit e Satyram, 2017; Mendes, 2016; Luiz, 2017.

Na Tabela 2 apresentam-se os índices críticos de pluviosidade, adotados pelo DRM-RJ, como capazes de deflagrar deslizamentos nas Regiões Serrana, Metropolitana, Norte, Noroeste, Vale do Paraíba e Costa Verde.

Tabela 2. Índices críticos de pluviosidade adotados pelo DRM-RJ

Região	Índices Pluviométricos Críticos
Região Serrana	40mm/h + 100mm/24h + 115mm/96h + 270mm/30 dias
Metropolitana (GEORIO)	≥40mm/h OU ≥125mm/24h OU 200mm/96h + ≥40mm/24h
Norte, Noroeste e Vale do Paraíba	35mm/h + 70mm/24h + 100mm/96h + 300mm/30 dias
Costa Verde	35mm/h + 75mm/24h (ou curva crítica Soares 2006) +115mm/96h + 270mm/30d

Fonte: DRM-RJ (2013)

VI.3-CENÁRIO FUTURO

Com o objetivo de identificar as expectativas de movimentos de massa nas encostas sob condições de precipitação no futuro, foi realizado um estudo para avaliar o impacto dessas chuvas no número de novas ocorrências de movimentos de massa no ERJ. Efetuaram-se simulações computacionais dos eventos pluviométricos para 2041-2070, pelos cenários de emissão RCP 8.5 dos modelos regionalizados Eta/MIROC5 e Eta/HadGEM2-ES, para a condição mais crítica das “chuvas de verão”, que ocorrem entre dezembro e março. Para estes dois cenários de mudanças do clima, comparam-se as médias presentes (1961-1990) e futuras (2041-2070) dos quartis superiores dos montantes de precipitação, visto que a condição controladora dos deslizamentos são as chuvas extremas.

O impacto das mudanças do clima no número de deslizamentos no ERJ foi baseado na abordagem estabelecida por D’Órsi (2011), Silva (2014), Mendes (2016) e Luiz (2017) que relaciona o número de deslizamentos ao montante das chuvas. Deve-se destacar que não se dispõe de informações suficientes para análises detalhadas que englobem as particularidades geológicas e de ocupação observadas nas diferentes regiões do estado.

Por esse motivo, duas abordagens foram adotadas: na primeira se considerou a intensidade horária (I ; mm/hora) associada aos acumulados em 24 horas (A_{24} ; mm/24horas); e na segunda, o balizador foi a intensidade horária e o acumulado de 96 horas (A_{96} ; mm/96horas). Note-se que o acumulado de 24

horas melhor representa locais com encostas mais íngremes e pequenas espessuras de solos que redundem em melhores condições de drenagem da água subterrânea.

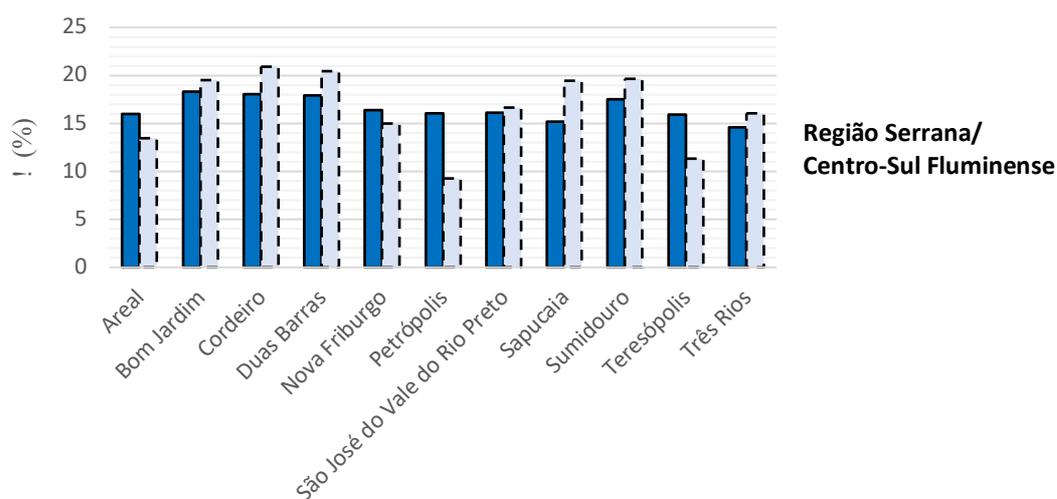
Com os valores determinados de intensidade horária e acumulados de chuva considerando as precipitações presentes e futuras, calculou-se os produtos IA_{24}^n e IA_{96}^n para as diferentes regiões, e daí os acréscimos ponderados destes utilizando a Equação 1.

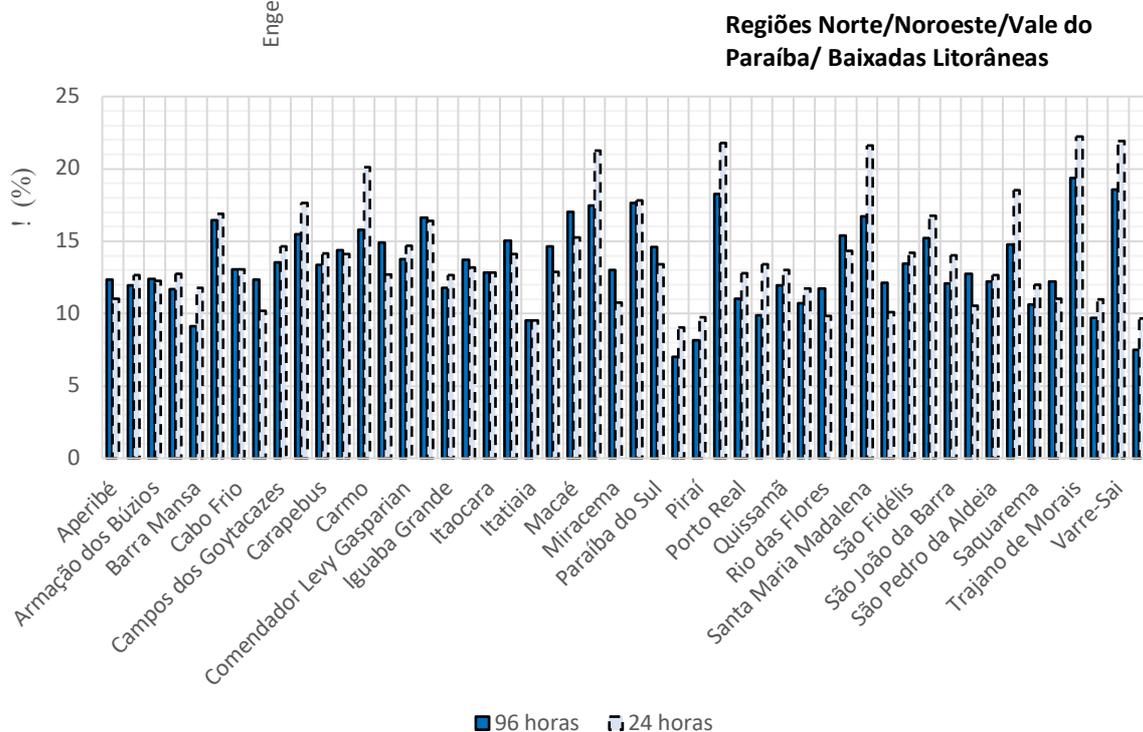
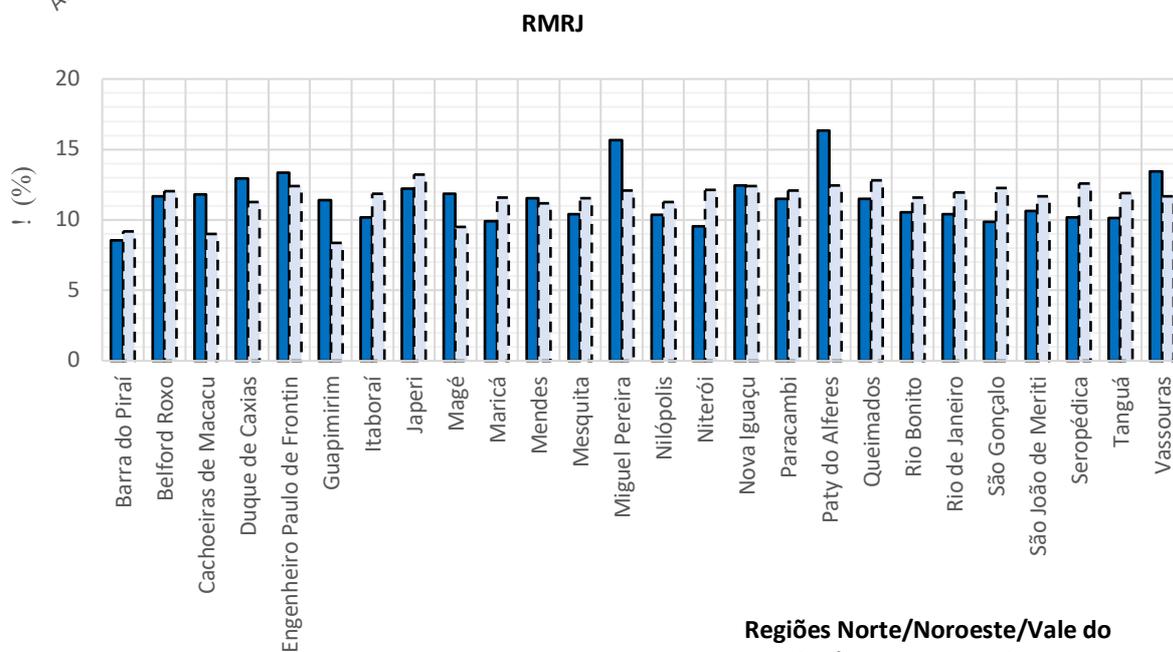
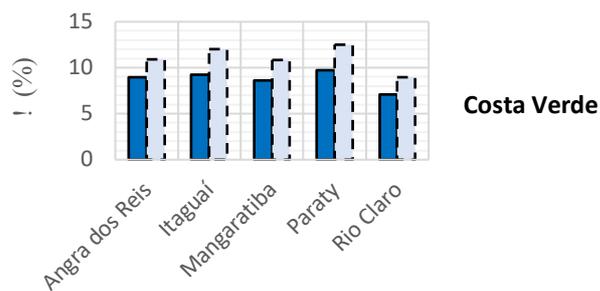
$$\Delta = (IA_{futuro}^n - IA_{presente}^n) / IA_{presente}^n \times 100 (\%) \quad (1)$$

Conforme apresentado na Figura X, o valor de IA^n pode ser associado ao número de ocorrências de deslizamento, assim variações nesse produto indicam possíveis variações no número de novas ocorrências. Ou seja, os valores calculados de Δ indicam os acréscimos percentuais esperados no número de novos deslizamentos em face às mudanças do clima.

A Figura 14 apresenta os valores calculados de Δ para o cenário de emissão RCP 8.5 do Eta/MIROC5. Em linhas gerais, a mesma tendência pode ser observada para as análises na qual se consideraram os acumulados de 24 horas e 96 horas. Os incrementos de novos escorregamentos de massa no ERJ neste cenário foram da ordem de 9% a 22%. Por outro lado, o cenário RCP 8.5 do Eta/HadGEM2-ES indica valores de pluviosidade inferiores aos níveis históricos em todas as regiões do ERJ.

Figura 14. Acréscimos ponderados referentes às precipitações presentes e futuras, Regiões do ERJ, cenário de emissão RCP 8.5, modelo Eta/MIROC5*





* - Acréscimos do produto IA^n correspondentes aos acumulados de 24 horas, I_{24} , e 96 horas, I_{96} , referentes às precipitações presentes e futuras.

Fonte: Elaboração própria (2018)

VI.4-CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o período 2041-2070, considerando os cenários de emissão RCP 8.5 do Eta/MIROC5 e RCP 8.5 do Eta/HadGEM2-ES, foram avaliados o impacto das mudanças climáticas no número de novos deslizamentos no ERJ. Configurando-se o cenário RCP 8.5 do Eta/MIROC5, dependendo do município, se verificarão incrementos da ordem de 9% a 22% na incidência de novos escorregamentos de massa no estado. Segundo este modelo, nas regiões Serrana e do Norte/Nordeste/Vale do Paraíba ter-se-iam os maiores incrementos de novos deslizamentos.

Por outro lado, o cenário RCP 8.5 do Eta/HadGEM2-ES indica valores de pluviosidade inferiores aos níveis históricos em todas as regiões do ERJ e, conseqüentemente, há expectativa de diminuição no número de novos deslizamentos. Deve-se destacar que independentemente do cenário de emissões que se venha configurar, a expansão da ocupação humana nos maciços poderá exacerbar o problema e suas conseqüências.

VII. IMPACTOS SOBRE RODOVIAS

VII.1-RELAÇÃO DO SETOR DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA COM O CLIMA

O objetivo desta Seção é a identificação da vulnerabilidade da malha rodoviária federal e estadual no ERJ às mudanças climáticas. A infraestrutura rodoviária é obviamente exposta aos eventos climáticos e vulnerável a variações das condições climáticas, uma vez que é construída com base em parâmetros de segurança que são determinados incorporando essas condições climáticas aonde será localizada. As principais causas de interrupção dos serviços que proporcionam (transporte de bens e passageiros) dizem respeito a problemas com pavimento, a falhas no sistema de drenagem que acarretam danos nas camadas de base rodoviária, e aos deslizamentos de material oriundo dos taludes que margeiam as vias.

A análise baseia-se nas alterações de determinadas variáveis climáticas, notadamente relativas à precipitação e temperatura, com a identificação das regiões onde tais variáveis sofrerão alterações significativas, de acordo com modelos climáticos estabelecidos e já analisados na Seção 2.

A análise da precipitação tem como objetivo verificar se os dispositivos de drenagem existentes serão suficientes para atender às alterações climáticas previstas. De maneira geral, pode-se dizer que uma elevação de grande magnitude pode provocar inundações e danos na estrutura do pavimento. Por outro lado, uma redução significativa pode provocar obstrução de tais dispositivos, dada a menor capacidade de garantir sua autolimpeza.

A análise da temperatura tem por finalidade verificar se o pavimento asfáltico das rodovias situadas em áreas sujeitas a uma elevação significativa resiste a tal tipo de variação. Foram avaliados os limites de tolerância à temperatura do ar, a partir dos quais podem ocorrer danos à integridade física do pavimento, comprometendo a sua funcionalidade e as condições de operação rodoviária.

Para efeito do trabalho, foram considerados *hotspots* climáticos – regiões onde determinados níveis de temperatura e precipitação do clima futuro ultrapassam os limiares críticos de resistência da infraestrutura rodoviária. No caso da temperatura do ar, baseou-se na determinação do limite inferior e superior de resistência de pavimento asfáltico, a partir dos quais haveria danos à estrutura física das rodovias. Com relação à precipitação, os *hotspots* foram definidos com base na sobreposição dos mapas de precipitação do clima futuro e de intensidade pluviométrica máxima anual registrada em

um dia, para estações pluviométricas estudadas por Pfafstetter (1982), com localização no ERJ, considerando o tempo de recorrência de cinco anos, o mínimo utilizado para dimensionamento de estruturas de drenagem.

Também, com o objetivo de reduzir as incertezas associadas às projeções climáticas, a análise dos *hotspots* foi refinada com base na geração de *ensembles* – conjunto de projeções em detrimento à adoção individual das projeções obtidas por cada um dos quatro membros dos modelos (cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 dos modelos Eta/HadGEM2-ES e Eta/MIROC5). Foram gerados dois *ensembles*, um para o índice Temp7dias e um para o RX1day (chuva máxima de 1 dia). A opção adotada foi a mais conservadora possível, ou seja, considerou-se a união das faixas de variação dos *hotspots*, par a par: quanto maior a faixa de variação, maior a incerteza na previsão e vice-versa.

VII.2-CARACTERIZAÇÃO DA MALHA RODOVIÁRIA

A malha rodoviária federal foi caracterizada do ponto de vista de aspectos administrativos, locacional e do Volume Médio Diário (VMD) de tráfego, assim como condições técnicas, entre as quais: tipo de superfície, estado da pavimentação, geometria e sinalização. Para as rodovias estaduais, a caracterização levou em consideração apenas o estado da pavimentação, com base na experiência dos autores e em buscas pela internet, já que não se dispõem dos dados georreferenciados para a malha estadual.

VII.3-IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS

A seguir, serão apresentados os principais efeitos climáticos e os respectivos impactos potenciais do clima no sistema rodoviário.

Efeito Climático: aumento na frequência de dias muito quentes e ondas de calor (temperaturas altas mais elevadas, aumento da duração das ondas de calor).

Impactos potenciais: aumento da expansão térmica das juntas de dilatação de pontes e superfícies pavimentadas, causando possível degradação; preocupações quanto à integridade do pavimento e migração de asfalto líquido, aumentando a necessidade de manutenção; limitação dos períodos de atividade de construção e maior sobrecarga de trabalho noturno; superaquecimento de veículos e degradação acelerada dos pneus; pressão sobre os custos de

manutenção e construção de estradas e pontes; maior estresse na integridade de pontes, expansão das juntas de concreto, aço, asfalto, revestimento de proteção e selantes; degradação do asfalto, resultando em potenciais paralisações temporárias de tráfego ou aumento do congestionamento de rodovias durante o reparo.

Efeito Climático: aumento na ocorrência de chuvas extremas.

Impactos potenciais: aumento na ocorrência de atrasos e interrupções de trânsito relacionado ao clima; aumento na ocorrência de inundações nas rotas de evacuação; aumento na ocorrência de alagamento em estradas e túneis; aumento da ocorrência de deslizamentos de terra danificando estradas; sistemas de drenagem mais susceptíveis à sobrecarga de maior frequência e severidade, causando inundações; aumento de problemas mais graves e frequentes nas áreas onde as inundações já são comuns; comprometimento da integridade estrutural de estradas, pontes e túneis se os níveis de umidade do solo tornarem-se demasiadamente elevados; danos adversos na estrutura da estrada em função de água parada; aumento da vazão de pico afetando o dimensionamento de pontes e bueiros.

Efeito Climático: aumento da intensidade das chuvas.

Impactos potenciais: evacuações de emergência mais frequentes e potencialmente mais duradouras; mais detritos nas estradas, interrompendo viagens e transporte; obras de arte e outras estruturas elevadas correm risco com altas velocidades do vento; aumento de ameaça à estabilidade dos tabuleiros de pontes; diminuição do tempo esperado de vida útil de rodovias expostos à tempestade; risco de inundações imediatas, com danos causados por força da água e danos secundários causados por colisões com detritos; erosão de rodovias costeiras e de áreas de proteção à infraestrutura costeira; danos aos sinais, iluminação e suportes; redução da taxa de drenagem de terras de baixa altitude depois de chuvas e inundações.

VII.4-EXPOSIÇÃO DA INFRAESTRUTURA E HOTSPOTS CLIMÁTICOS

A temperatura mínima a que os pavimentos podem resistir, no Brasil, situa-se entre -22 °C e -16 °C. Entretanto, podem atingir (+1,6 °C, na pior da hipótese) valor muito superior àqueles para os quais foram projetados. Assim, não há *hotspot* relacionado às temperaturas mínimas. Em outras palavras, baixas temperaturas não são um problema para os pavimentos rodoviários do ERJ em razão das mudanças climáticas.

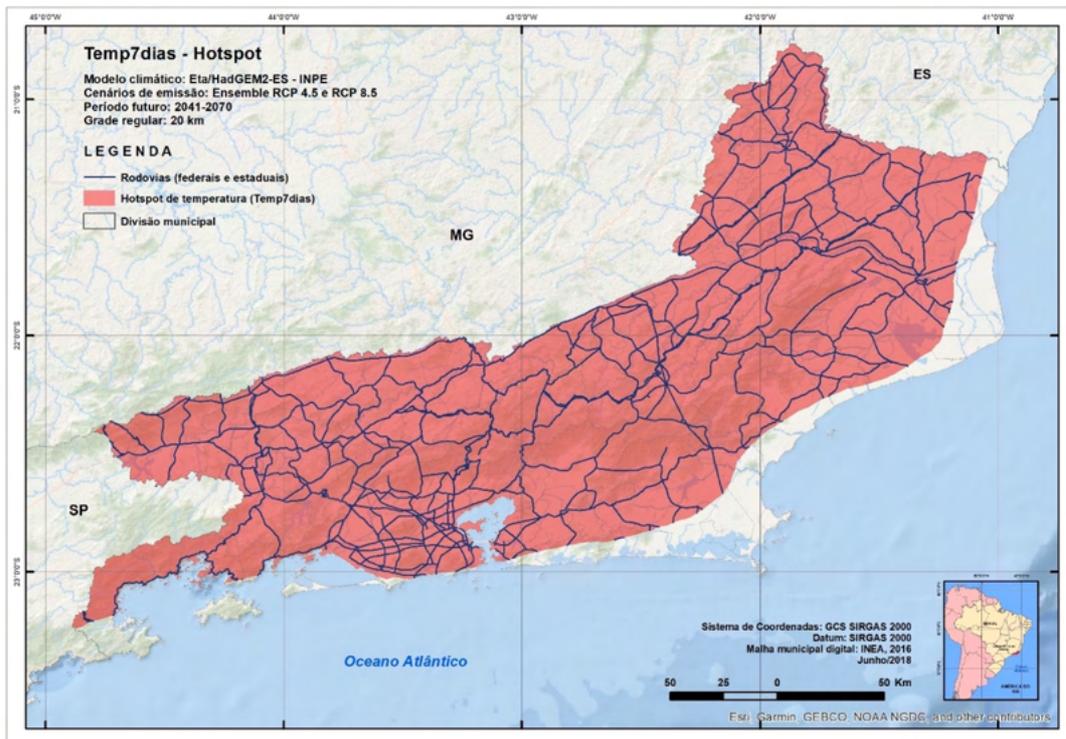
Em favor da segurança, foi considerado que o pavimento no Brasil tem como resistência máxima o valor médio do intervalo das máximas admissíveis, isto é, a temperatura de 64 °C. De acordo com as equações do estudo, foi considerada um *hotspot* a região que apresentou temperatura média dos 7 dias consecutivos mais quentes do ano superior ao valor de 33,4 °C ($T_{MáxAr}$).

Para a precipitação, o *hotspot* gerado diz respeito à comparação entre a precipitação futura e os parâmetros dados pelo *Manual de Drenagem de Rodovias* (PFAFSTETTER, 1982). Dessa forma, considerou-se problemática a área compreendida pelas estações pluviométricas de Alto Itatiaia, Cabo Frio, Nova Friburgo e Petrópolis. A estação de Campos não foi considerada geradora de problemas relativos à precipitação em qualquer modelo, sob qualquer cenário. Já as estações da Cidade do Rio de Janeiro, Teresópolis e Vassouras geraram alterações entre os parâmetros utilizados e o clima futuro para os dois cenários do modelo HadGEM2-ES. A Figura 15 apresenta os resultados do *ensemble* para a variável Temp7dias (unindo os dois cenários do modelo Eta/HadGEM2-ES, já que o modelo Eta/Miroc5 não gerou *hotspots*), enquanto que a Figura 16 apresenta o *ensemble* dos dois modelos em ambos os cenários. A malha de rodovias é também apresentada nas Figuras.

VII.5-AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE VULNERABILIDADE

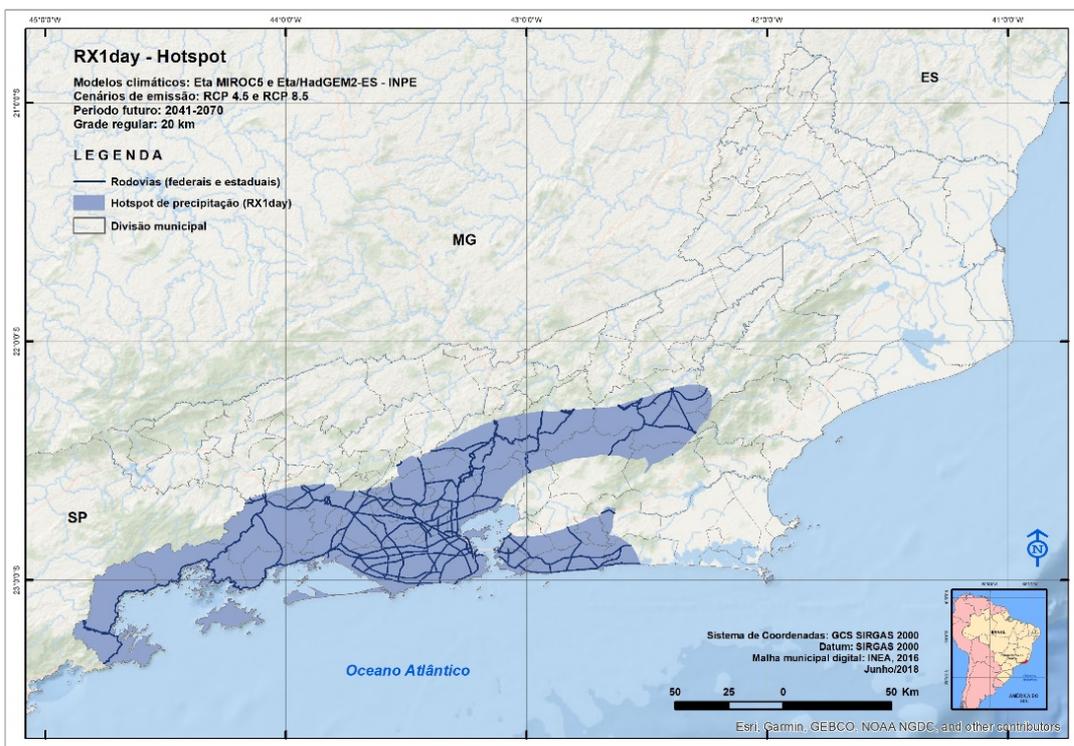
Para a aplicação dos critérios de avaliação de vulnerabilidade, cujo resultado é expresso no Índice de Vulnerabilidade da Infraestrutura Rodoviária (IVIR), foram disponibilizados, pelo DNIT, a base georreferenciada do Sistema Nacional de Viação (SNV) e os dados alfanuméricos do Sistema de Gerenciamento de Pavimento (SGP). A integração entre as duas bases foi realizada pelo código de referência dos trechos da Rede Rodoviária, do Plano Nacional de Viação (PNV), subdividido em subtrechos com características comuns quanto a condições de superfície, tipo de revestimento, geometria e intervalo de extensão entre 300 m a 20 km. Ressalta-se que a malha estadual não se encontra sob este tipo de classificação e, por isso, não dispõe de código SNV, assim, adotou-se a identificação do objeto no arquivo do tipo *shapefile*, obtido para a representação no terreno.

Figura 15. *Hotspot* para Temp7dias – Eta/HadGEM2-ES: “Ensemble” RCP 4.5 e 8.5



Fonte: Elaboração própria (2018)

Figura 16. *Hotspot* para Rx1day – “Ensemble” Eta/HadGEM2-ES e Miroc, RCP 4.5 e 8.5



Fonte: Elaboração própria (2018)

VII.6-RESULTADOS

Foram analisados 548 trechos rodoviários da malha estadual e 251 pertencentes à malha federal. Considerou-se média vulnerabilidade o intervalo de IVIR entre 0,41 e 0,70, ficando classificados como baixa e alta vulnerabilidade os trechos rodoviários situados abaixo e acima dos valores mínimo e máximo deste intervalo, respectivamente.

Para a malha federal, houve 22,3% dos trechos classificados como baixa vulnerabilidade; 70,1% como média; e apenas 7,6% como alta vulnerabilidade. Já para a malha estadual, apenas 1,5% e 2,2% dos trechos apresentam baixa e média vulnerabilidade, respectivamente; enquanto 96,3% podem ser considerados como trechos altamente vulneráveis às mudanças do clima.

As rodovias situadas no ERJ tenderão a sofrer gravemente os efeitos das alterações climáticas, no entanto, a ausência de dados influenciou significativamente o resultado (principalmente o VMD). Apesar de estar em situação mais favorável, a malha federal do estado não garante uma posição de conforto, tendo em vista que a maior parte de seus trechos rodoviários se encontra no intervalo de média vulnerabilidade.

VII.7-CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados apontam a possível necessidade de intervenções, tanto de cunho político quanto no âmbito de engenharia e da gestão de rodovias em diferentes regiões do ERJ, uma vez que, considerando as informações obtidas e a partir dos resultados associados ao IVIR, foi possível observar que diferentes graus de vulnerabilidade requerem distintas ações.

VIII. IMPACTOS SOBRE A ZONA COSTEIRA

O Estado do Rio de Janeiro (ERJ) é, dentre todos os estados da Federação, aquele que apresenta: (i) a maior concentração humana na Zona Costeira (ZC), tanto em termos absolutos quanto em termos relativos à população do estado; e (ii) o maior grau de exposição a eventos de origem oceânica, atmosférica e geológica, associados a condições meteorológicas extremas. Apresenta feições geomorfológicas bastante diversificadas: baías, estuário de rio federal, lagoas, manguezais, ilhas oceânicas, praias arenosas, costões rochosos, falésias vivas do Grupo Barreiras, serras e relevo acidentado junto ao mar, muitas encostas instáveis. Também, intensa urbanização – portos e terminais marítimos, bases navais e militares, usinas termelétricas, indústria do petróleo e gás, agricultura e aquicultura, pesca, turismo, patrimônio histórico e artístico – principalmente essas atividades que tornam a Zona Costeira Fluminense (ZCFlu) uma das mais ricas do país, responsável por mais de 90% do PIB do estado (IBGE, 2015) e, no entanto, uma das mais vulneráveis. Consequentemente, ao se considerar os impactos das mudanças do clima sobre a ZCFlu, na busca preventiva de possíveis respostas, não se pode dissociar tal investigação das ações do Gerenciamento Costeiro.

VIII.1-ARCABOUÇO LEGAL E AS MUDANÇAS DO CLIMA

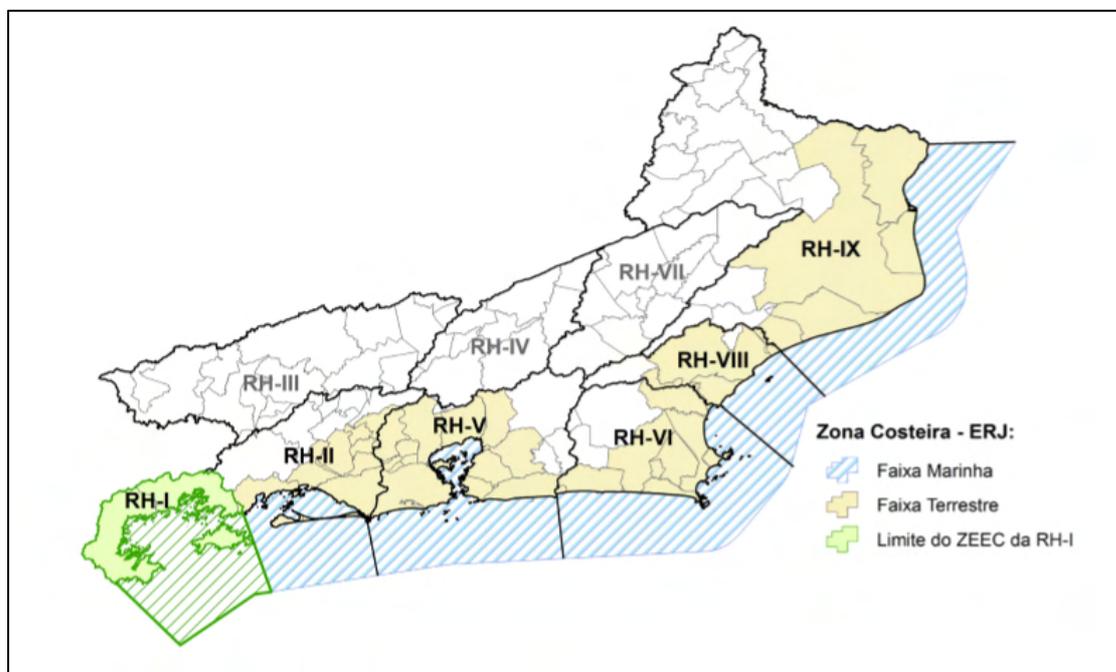
Tomando como base a legislação vigente no ERJ referente às mudanças do clima e aquela referente ao Gerenciamento Costeiro, percebe-se que tratam de dois universos paralelos. Na legislação sobre mudanças do clima (Lei 5.690/2010, que institui a Política Estadual sobre Mudança Global do Clima e Desenvolvimento Sustentável, regulamentada pelo Decreto 43.216/2011), não são mencionados os ambientes, os fenômenos ou as atividades na ZC. Por outro lado, o Gerenciamento Costeiro sequer conseguiu se transformar em Lei, apesar de existir Projeto de Lei com este objetivo em tramitação na Assembleia Legislativa do Estado, desde 2011. Percebe-se, pois, que o ERJ não dispõe de mecanismos legais quando se trata das mudanças do clima na ZC, dispondo apenas dos meios e dos instrumentos da legislação federal para agir, o que o enfraquece como agente ordenador do território. Diante dessa lacuna e a título de comparação, destacam-se as legislações estaduais equivalentes de outros estados, como Santa Catarina e Pernambuco, onde as questões do Gerenciamento Costeiro e das mudanças do clima estão mais avançadas.

VIII.2-CARACTERIZAÇÃO DA ZONA COSTEIRA FLUMINENSE

A ZCFlu é composta por 34 municípios, abrangendo, aproximadamente, 17.500 km², ou cerca de 40% da área do ERJ. Pelo Censo IBGE de 2010, a região concentrava 80% da população do estado e era responsável por 81% do PIB; em 2015, a mesma região já respondia por 94% do PIB estadual. Ao longo de uma extensão estimada entre 800 e 1200 km, dependendo do detalhamento do contorno, a costa fluminense é extremamente diversificada, o que exige sua compartimentação para fins de gestão territorial. Assim, discutem-se três possíveis segmentações:

- A primeira baseia-se em características fisiográficas relacionadas a processos físicos costeiros – hidrodinâmica, transporte de sedimentos, ação de ondas;
- A segunda, nas Microrregiões do IBGE, conceito de subdivisão territorial que foi superado pelas Regiões Geográficas Imediatas;
- A terceira, nas Regiões Hidrográficas, onde são selecionados os municípios que compõem a ZC, de acordo com a Lei Federal 7.661/1988. Esta última foi a escolhida pelo INEA para o Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro do ERJ (ZEEC-RJ) – Figura 17.

Figura 17. Divisão territorial para o Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Costeira do ERJ



Fonte: INEA (2018)

Qualquer segmentação apresenta pontos favoráveis e desfavoráveis, cabendo ao Estado decidir a melhor maneira para agregar os municípios para fins de gestão territorial. O Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) prevê entre seus instrumentos a formação de Comitês Regionais. De certo modo, os Comitês de Bacias poderiam servir como núcleo para formação dos Comitês Costeiros, mas a vantagem administrativa nem sempre acompanharia a dinâmica ambiental, pois haveria municípios em duas bacias hidrográficas distintas. Além disso, nem sempre a questão hídrica interfere nos processos costeiros, como é o caso da poluição por óleo no mar, exploração de areia, mobilidade de dunas, dragagem das lagoas e de áreas oceânicas, para citar alguns exemplos. Por outro lado, haveria municípios (Quissamã, Carapebus) que estão vinculados à Região Hidrográfica do rio Paraíba do Sul, mas que são totalmente independentes deste rio, enquanto que economicamente estão vinculados ao município de Macaé. A segmentação da ZCFlu refere-se, portanto, a uma questão política a ser resolvida pelo ERJ, que deverá levar em conta aspectos econômicos, sociais, ecológicos e ambientais.

VIII.3-A GESTÃO DA ZONA COSTEIRA E AS MUDANÇAS DO CLIMA

A partir da caracterização fisiográfica (ou ambiental) dos municípios e de suas atividades econômicas, é possível inferir os agentes naturais impactantes, primeiro passo para se desenhar possíveis respostas, e uma orientação para estudos posteriores mais aprofundados. Este raciocínio motivou a elaboração de um levantamento detalhado, para cada município costeiro fluminense, aonde foram enumeradas as vulnerabilidades atuais, avaliados qualitativamente alguns impactos esperados e aplicados três indicadores: o grau de consciência sobre problemas costeiros; alerta e preparo para as respostas às mudanças do clima; e a capacidade de gestão para operações de emergência (BROWN et al., 2014). Este exercício foi cunhado de *“Anamnese fotográfica dos municípios (costeiros) fluminenses”*. Por seu tamanho, ele não é apresentado neste relatório mais sumário, mas ao final desta Seção apresenta-se, a título ilustrativo, as resultantes das Regiões de Saquarema e Maricá, e Niterói e São Gonçalo.

Percebe-se que existem graves problemas ao longo da costa fluminense, resultado de décadas de planejamento inadequado, omissão do Poder Público, desconhecimento sobre a dinâmica natural do ambiente, falta de monitoramento e projeto ou execução inadequados das obras civis próximas à orla. Conforme apresentado na referida anamnese, os problemas estariam associados aos seguintes agentes naturais e econômicos:

- As morfologias naturais: praias, falésias, restingas, lagunas, embocaduras, estuários, rios;
- Os biomas aquáticos e terrestres: manguezais, Mata Atlântica, restingas;
- O relevo natural: planícies, morros, serras;
- A urbanização: estradas, benfeitorias na orla, prédios comerciais e moradia;
- Os serviços básicos: energia, abastecimento de água, saneamento, comunicação;
- As atividades econômicas: turismo, exploração de petróleo e gás, geração de energia, portos, estradas de ferro, rodovias, pesca, aquicultura, agricultura por irrigação, mineração de areia, de conchas e de saibro.

Os impactos estariam associados aos seguintes agentes naturais:

- Ondas: podem ser geradas por vento sobre os grandes espelhos d'água fluminenses (baías, lagoa Feia, lagoa de Araruama) ou podem vir do oceano com altura, período e direção variáveis ao longo dos anos, como consequência das mudanças do clima;
- Nível do Mar Eustático: os valores previstos são comparativamente pequenos em relação a outras variações, da ordem de dezenas de centímetros, em prazo relativamente longo;
- Nível do Mar Dinâmico: considera-se tanto a maré meteorológica quanto a astronômica, atingindo centenas de centímetros;
- Ventos: ação sobre todas as atividades econômicas, cita-se acidente com guindaste no Terminal de Itaguaí, navio que abalroou pilar da Ponte Rio–Niterói;
- Precipitação intensa: problemas de drenagem, afogamento das redes de drenagem;
- Outras formas de precipitação: granizo, tromba d'água.

À exceção da elevação do nível do mar eustático, todos os demais agentes são difíceis de serem previstos com exatidão, quando associados aos cenários do IPCC, pois as ferramentas computacionais disponíveis ainda não são robustas o suficiente para fazer o *downscaling*, ou seja, sair do cenário macroscópico climatológico e elaborar uma previsão meteorológica ou oceanográfica, dentro do cenário vigente.

Diversos efeitos e fenômenos relatados no início do Século XX continuam a ser reportados no presente: hoje, como no passado mais distante, é escasso o conhecimento sobre os agentes oceanográficos que afetam a ZC. Em levantamento preliminar envolvendo a Cidade do Rio de Janeiro, identificaram-se ressacas excepcionais em 1853, 1913, 1963, 2013, 2015, sugerindo tempos de recorrência longos, da ordem de 50 anos (LA ROVERE & SOUSA, 2016). Diversas consequências foram

relatadas, tais como inundação das áreas no entorno das lagoas costeiras; galgamento das avenidas litorâneas, ação das ondas em estruturas costeiras, prédios e benfeitorias na orla e na segurança das pistas de aeroportos; afogamento das saídas de drenagem pluvial; elevação do lençol freático, com inundação de andares subterrâneos, galerias de distribuição (eletricidade, telefone, gás etc.), tubulações de abastecimento de água e tanques de armazenamento de combustível.

Já os ventos intensos têm capacidade de elevar o nível do mar junto à costa; associados à precipitação intensa, seriam inundadas grandes áreas da Baixada Fluminense (alta concentração populacional), da Baixada Campista, da Baixada de Sepetiba e do rio São João (áreas agrícolas). Além desses efeitos, haveria a destruição de estradas litorâneas, como no trecho entre o cabo de São Tomé e Atafona, em Macaé e Rio das Ostras, de Saquarema a Itaipuaçu (Maricá) e a orla oceânica da Cidade do Rio de Janeiro.

Mudanças no regime de ventos, associadas à redução da precipitação, também poderiam potencializar a formação e mobilidade de dunas nas restingas de Macaé à foz do rio Paraíba do Sul ou em Arraial do Cabo e Cabo Frio, ou ainda na restinga de Massambaba, entre Arraial do Cabo e Saquarema. No caso de eventos extremos, seria particularmente importante verificar a estabilidade das antenas de comunicação e de telefonia móvel, torres de transmissão e a rede de alta tensão que liga Angra dos Reis ao Rio de Janeiro, incluindo a verificação da estabilidade das encostas da Serra do Mar por onde passa esta rede.

Em particular, seria importante determinar os impactos das mudanças climáticas nos portos (especialmente os situados em costa aberta) e sistemas de navegação nas baías de Guanabara, de Sepetiba e da Ilha Grande. Regime de ventos e condições climáticas (temperatura, precipitação) interferem, também, com material estocado (por exemplo, combustão espontânea do carvão). Considerando, ainda, o elevado grau de exposição dos portos, há que se verificar a interferência do clima nas operações portuárias.

VIII.4-CONSIDERAÇÕES FINAIS

Reunindo os efeitos e as condições dos agentes naturais citados, pode-se começar a decidir quais respostas seriam mais adequadas. Assim, mostra-se que o embasamento legal, as ações políticas, a organização administrativa, a participação da sociedade e o conhecimento sobre a dinâmica ambiental compõem um quadro complexo que precisa ser, necessariamente, avaliado no contexto do

Gerenciamento Costeiro. Introduce-se, então, quatro níveis de ação: federal (ações de mapeamento unificado de batimetria do mar territorial e relevo da área costeira adjacente, em referência altimétrica e planimétrica comuns, por exemplo); estadual (aquisição e tratamento de informações ambientais, por exemplo); regional (avaliação de impactos ambientais e econômicos de empreendimentos de maior porte, por exemplo); municipal (em geral o município tem recurso para aprovar obras em locais indevidos, mas não para corrigir os efeitos adversos, por exemplo).

Anexo – Anamnese fotográfica dos municípios fluminenses: dois exemplos ilustrativos, a partir do Relatório completo de Impactos na Zona Costeira

Saquarema e Maricá

Baixa consciência sobre problemas costeiros: (i) efeitos da elevação relativa do nível do mar associada ao volume dos oceanos (nível eustático), à maré meteorológica e à subsidência do terreno; (ii) inundação do entorno da Lagoa de Saquarema.

Alerta e preparo para respostas às mudanças climáticas: (i) monitoramento do nível do mar e das lagoas referenciado ao *datum* IBGE; (ii) ainda não há referências geodésicas confiáveis para se avaliar as evoluções morfológicas que estão a ocorrer no momento, tanto da orla quanto da batimetria submersa; (iii) não há monitoramento de ondas regional, que seja de livre acesso ao Poder Público; (iv) não há monitoramento meteorológico sistemático suficientemente densificado na região; (v) o IBGE refez a rede de nivelamento geométrico desde Macaé até Arraial do Cabo, e deverá estender até a Ponta da Armação em Niterói.

Gestão para operações de emergência: (i) os municípios recebem *royalties* do petróleo e deveriam começar a implementar redes de monitoramento próprias para condições naturais extremas (ondas, chuvas, ventos, nível do mar, inundação) concomitantes; (ii) papel do estado em montar cooperação entre municípios.

	<p>Ocupação da restinga em Saquarema em local propenso ao galgamento pelas ondas em condição de ressaca e maré meteorológica.</p> <p>https://www.adoodbr.com/adpics_new/b8b00e6180dc3183bbe86de9d79f58ae.jpg</p>
	<p>Estrutura na embocadura da lagoa de Saquarema necessitará de manutenção.</p> <p>Foto: C.F. Neves, 2007</p>
	<p>Lagoa de Saquarema: com o nível d'água mais elevado, o esgoto retorna para as casas.</p> <p>Foto: C.F. Neves, 2007</p>
	<p>Em Maricá são recorrentes as cheias da lagoa, inundando a planície costeira, já bastante comprometida e ocupada. Os moradores costumam fazer mutirões para abrir o canal da Lagoa principal.</p> <p>https://melhoresdestinosdobrasil.com.br/wp-content/uploads/2016/07/marica-50km-do-rio-de-janeiro1.jpg</p>

Niterói e São Gonçalo

Alta consciência sobre problemas costeiros: (i) efeitos da elevação relativa do nível do mar associada ao volume dos oceanos (nível eustático), à maré meteorológica e à subsidência do terreno; (ii) inundação da planície costeira, atingindo população que ocupa locais indevidos; (iii) questões relacionadas à qualidade da água e à drenagem urbana em função das mudanças de precipitação; (iv) efeitos de deslizamento de massa em função da precipitação; (v) cidades vulneráveis a ventos fortes; (vi) ação mais forte das ondas na orla oceânica de Niterói pode atrair a organização de eventos de surf.

Alerta e preparo para respostas às mudanças climáticas: (i) monitoramento do nível do mar e das Lagoas de Piratininga e de Itaipu, referenciados ao *datum* IBGE; (ii) em futuro próximo haverá referências geodésicas confiáveis para se avaliar as evoluções morfológicas que estão a ocorrer no momento, tanto da orla quanto da batimetria submersa das praias oceânicas assim como no interior da baía; (iii) levantamento batimétrico das praias de Icaraí até Jurujuba e topográfico do entorno é uma tarefa para ser cumprida em futuro próximo; (iv) faz-se necessário estabelecer monitoramento de ondas regional, que seja de livre acesso ao Poder Público; (v) há monitoramento meteorológico sistemático mas precisa ser suficientemente densificado na região; (vi) o IBGE refez a rede de nivelamento geométrico desde Macaé até Arraial do Cabo, e deverá estender até a Ponta da Armação em Niterói; (vii) deve ser reforçado o sistema de transporte por barcas para diversos destinos no interior da baía, por uma questão estratégica, como opção emergencial de transporte, no caso de desastre ambiental, ou como opção de reduzir emissões de GEE.

Gestão para operações de emergência: (i) os municípios no entorno da Baía de Guanabara especialmente Rio de Janeiro e Niterói, deveriam começar a implementar redes de monitoramento próprias para condições naturais extremas (ondas, chuvas, ventos, nível do mar, inundação); (ii) papel do estado em montar cooperação entre municípios.

	<p>Destruição do muro de contenção do aterro do calçadão de Piratininga devida a ressaca em 2001.</p> <p>Foto: Dieter Muehe, 2001</p> <p>https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Praia-de-Piratininga-Destruicao-de-muro-apos-ressaca-de-2001-A-direita_fig1_258079351</p>
	<p>Ressacas em Icaraí e outras praias de Niterói no interior da Baía de Guanabara só acontecem quando ocorrem ondas de SO. Em 29/5/2011 forte ressaca atingiu Niterói, causando muitos danos e inundando as ruas da orla de Icaraí.</p> <p>https://www.youtube.com/watch?v=HlorQhM1FD0</p>

	<p>As Lagoas de Piratininga e de Itaipu localizam-se na orla oceânica de Niterói. Na década de 1960 foi aberto um canal ligando a Lagoa de Itaipu com o mar, visando instalar uma marina e um loteamento em ilhas no interior desta lagoa. Abriu-se um canal entre as duas lagoas, a de Piratininga foi drenada em direção à de Itaipu, reduziu a profundidade e expôs extensos bancos de lama e areia. Os bancos de areia dentro de Piratininga foram loteados e casas construídas.</p> <p>http://www.embarquenaviagem.com/2013/01/28/lagoa-de-piratininga-finalmente-sera-revitalizada/</p>
	<p>Navegação na baía de Guanabara é uma questão de segurança estratégica para a população moradora na região de influência de Niterói.</p> <p>http://www.labhoi.uff.br/antigo-predio-da-estacao-das-barcas-de-niteroi-centro-1958-foto-almiro-barauna</p>
	<p>Deslizamentos de massa em diversos locais da cidade. Imagem do Morro do Bumba.</p> <p>http://www.rota83.com/wp-content/uploads/2012/01/deslizamento-morro-do-bumba.jpg</p>

IX. IMPACTOS NA AGENDA VERDE

IX.1-INTRODUÇÃO

A presente Seção tem como objetivo discutir os riscos de impactos das mudanças climáticas sobre a Agenda Verde no ERJ e o potencial de mitigação e adaptação do setor a estas mudanças. A Agenda Verde refere-se à proteção e reparo dos ecossistemas, à mitigação da perda ou da deterioração dos sistemas de suporte da vida natural, à gestão diante de desastres naturais, e à prevenção da degradação dos recursos naturais (COCK, 2004; BOLNICK et al., 2006; KHAN, 2014; BARROS, 2015). Considerando que os agroecossistemas são os ecossistemas dominantes do Antropoceno, responsáveis por grande parte da degradação atual, mas também a principal interface entre as interações humanas e ambientais, a inclusão da produção agropecuária na Agenda Verde é essencial para endereçar os desafios de sustentabilidade (DE CLERCK et al., 2016).

A Agenda Verde é intrinsecamente dependente do clima e, conseqüentemente, altamente sujeita aos impactos das mudanças climáticas. De acordo com o IPCC, os sistemas naturais mais vulneráveis a estas mudanças são aqueles que perderam uma parte significativa de seus mecanismos de suporte à vida (ex.: diversidade genética e de espécies, cobertura vegetal), ao passo que os sistemas humanos mais vulneráveis são as populações em situação de pobreza. Além disso, destaca-se que impactos humanos diretos, como mudanças no uso da terra, continuarão a dominar as ameaças à maioria dos ecossistemas nas próximas três décadas, e as mudanças climáticas tendem a exacerbar estes e outros impactos na biodiversidade (SETTELE et al., 2014).

IX.2-RELAÇÕES ENTRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, VULNERABILIDADES E A AGENDA VERDE

Estudos sobre os impactos das mudanças climáticas na biodiversidade apontam para três tipos de resposta dos organismos: 1) adaptação às novas condições através de alterações nos padrões fisiológicos ou fenológicos; 2) deslocamento da distribuição geográfica; ou 3) extinção. Em ecossistemas terrestres já impactados por mudanças do uso do solo, a movimentação de indivíduos em direção a condições climáticas adequadas pode ser dificultada, dado que nem todas as espécies são capazes de se deslocar entre os fragmentos de habitat (OPDAM & WASCHER, 2004; LUIGI, 2011). Em ecossistemas aquáticos, além da temperatura e pluviosidade, outros parâmetros associados direta ou indiretamente às mudanças climáticas (como salinidade e acidificação) provocam graves alterações

na estrutura e funcionamento das comunidades (JEPPESEN et al., 2010; BERNARDINO et al., 2016; HORTA et al., 2016; MARINO et al., 2018).

Nos agroecossistemas, as distribuições dos cultivos agrícolas e das criações animais estão associadas às condições climáticas, em especial à disponibilidade hídrica, aos padrões de precipitação e às variações de temperatura (HOOGENBOOM, 2000). O clima também afeta as interações das plantas com outros organismos vivos, como polinizadores, dispersores, herbívoros e diversos microrganismos, incluindo pragas (PEREIRA et al., 2002; POTTS et al., 2016). Assim, alterações nos padrões climáticos podem influenciar a produtividade e qualidade dos produtos agropecuários e, conseqüentemente, a segurança alimentar e nutricional da população.

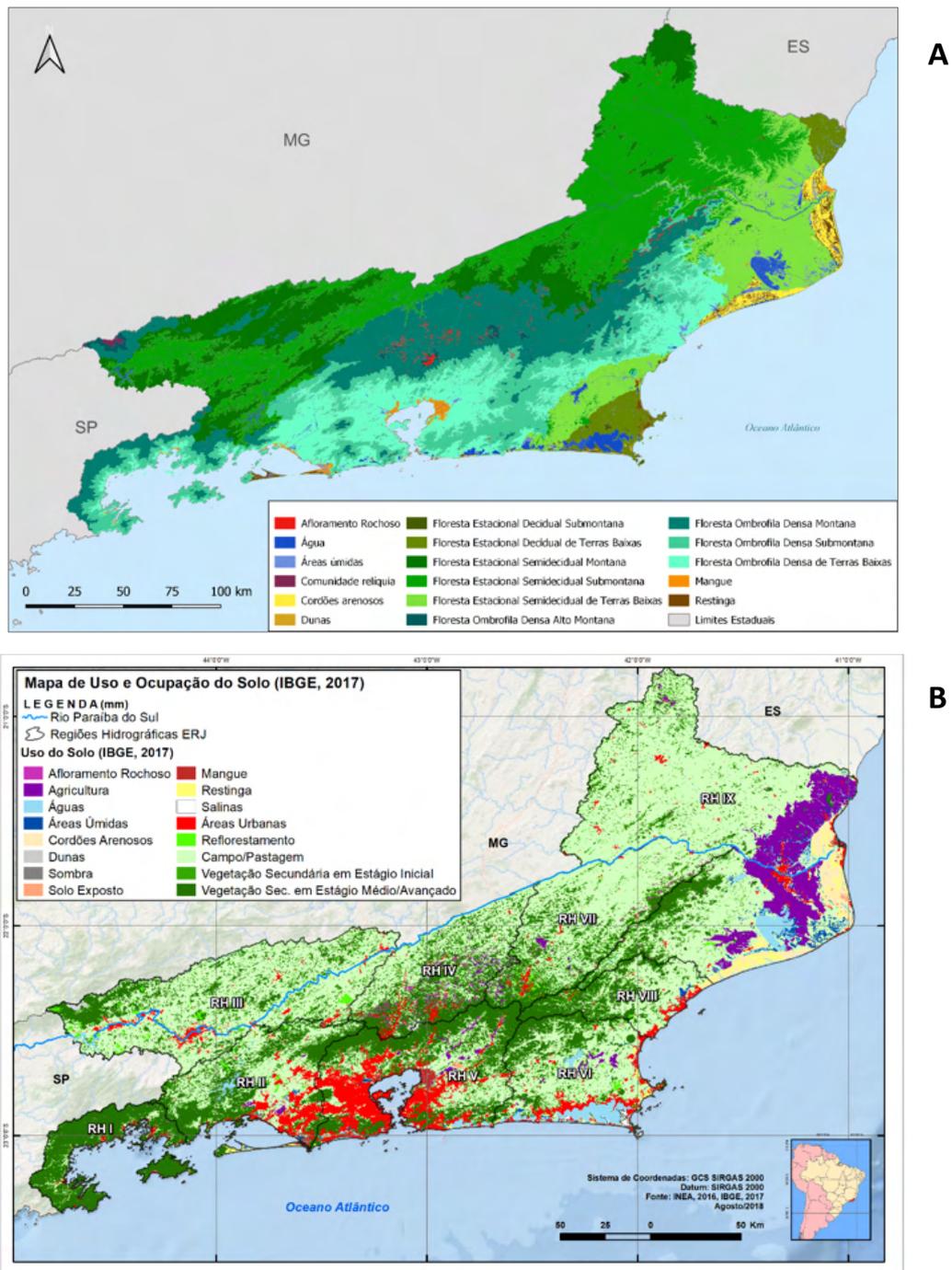
IX.3-CARACTERIZAÇÃO DA AGENDA VERDE NO ERJ

O ERJ, totalmente inserido no bioma Mata Atlântica, teve sua paisagem alterada profundamente em decorrência dos ciclos econômicos e desenvolvimento histórico pioneiros nessa região, que provocaram uma drástica redução e fragmentação da sua vegetação nativa: pouco mais de 30% do território é coberto por vegetação nativa, sendo a maior parte do Estado ocupada pela agropecuária, com destaque para as pastagens. A maior parte da vegetação nativa é composta por formações florestais, que constituem grandes reservatórios de carbono e biodiversidade. A vegetação remanescente está concentrada nas áreas centro e sul do Estado, enquanto as áreas mais desmatadas estão localizadas nas regiões Norte e Noroeste (Figura 18A). Dentre as formações vegetacionais florestais e não florestais, é possível encontrar desde restingas e manguezais nas planícies costeiras e fluviais, passando por florestas de baixadas, florestas estacionais decíduais e semidecíduais submontana, até chegar nos maciços serranos, onde encontram-se florestas ombrófilas densas montana e alto montana e campos de altitudes (SEA, 2011) – Figura 18B. Ela mostra também o mapa de uso e ocupação do solo, destacando-se a enorme mancha de ocupação urbana no entorno da Baía de Guanabara e boa parte da zona costeira.

Atualmente, o ERJ abriga a maior proporção de florestas e campos de altitude preservados da Mata Atlântica. Campos de altitude, assim como restingas e manguezais, estão particularmente sujeitos a condições ambientais extremas por ficarem mais expostos a condições adversas. A vulnerabilidade dos ecossistemas de campos de altitude ocorre, principalmente, devido à sensibilidade das espécies a altas temperaturas, enquanto os habitats costeiros como restingas e manguezais estão sujeitos a aumentos nos níveis do mar (IPCC, 2014). Como esses habitats são reconhecidos por serem

importantes sumidouros de carbono (DIAS et al., 2006), sua perda pode atuar sinergicamente com as mudanças no clima e ter efeitos catastróficos sobre a captura de carbono atmosférico. Além disso, o ERJ é berço de uma grande diversidade de fauna e flora endêmica (MARTINELLI et al., 2018; PNUD, 2018), sendo especialmente vulnerável às mudanças do clima.

Figura 18. Mapa de vegetação potencial (A) e de uso e ocupação do solo (B) do ERJ



Fonte: Vegetação potencial elaboração própria a partir de SEA (2011); Uso do solo IBGE (2017)

Em relação à agropecuária, destaca-se que, em geral, as pastagens fluminenses apresentam baixa produtividade e alto grau de degradação. Esta característica fornece uma oportunidade de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, uma vez que a recuperação das pastagens contribui para o sequestro de carbono e para o aumento de produtividade, liberando áreas para outros usos agrícolas e para a recuperação florestal, que pode aumentar mais o sequestro de carbono nas paisagens rurais (STRASSBURG et al., 2014; SEAPPA, 2018).

Estima-se que menos de 4% do território fluminense é destinado à agricultura. Atualmente, a maior área de cultivo é a da cana de açúcar, concentrada na região Norte, seguida por aipim, café e banana. A produção de café se concentra no Noroeste Fluminense e outro polo está na região Serrana, que também se destaca na produção olerícola (EMATER, 2018; SEAPPA, 2018). Apesar da pouca área, salienta-se a alta diversidade de culturas produzidas, especialmente na Região Metropolitana. Assim, mais do que o impacto das mudanças climáticas sobre um cultivo específico, é importante avaliar o risco dessas mudanças sobre o sistema agroalimentar.

A produção agrícola no ERJ vem diminuindo, tanto em termos absolutos como em área. Por outro lado, a agricultura orgânica vem crescendo no estado, trazendo diversificação da produção (SIQUEIRA et al., 2018). O crescimento do número de grupos e agricultores envolvidos com a produção, certificação orgânica e venda direta é de grande importância para a mitigação dos impactos da agricultura e adaptação dos sistemas agroalimentares às mudanças climáticas. Nesse contexto, é importante ressaltar a atuação do Programa de Desenvolvimento Rural Sustentável em Microbacias Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro (Rio Rural), que vem promovendo a adoção de práticas agroecológicas e de conservação dos recursos naturais, com grande potencial de sinergia entre mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

IX.4-VULNERABILIDADES E IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA A AGENDA VERDE NO ERJ

Os riscos para a biodiversidade foram avaliados com base nos indicadores de cobertura florestal e da ocorrência de espécies endêmicas ameaçadas da flora. A avaliação para a agropecuária foi realizada com base nos seguintes indicadores: riscos de produção de pastagens, estresse animal, produção de cana-de-açúcar e café, assim como a dependência de polinizadores dos cultivos agrícolas. Além disso,

foi analisada a vulnerabilidade da segurança alimentar no ERJ, com base em indicadores sobre a origem dos alimentos consumidos e da participação destes no orçamento familiar.

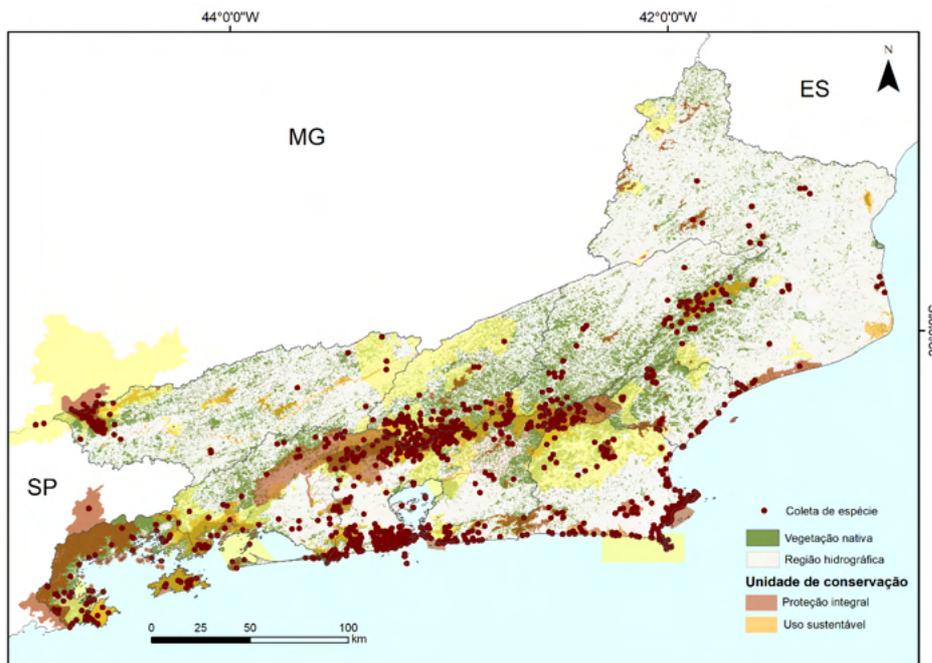
Biodiversidade e Ecossistemas

Em termos de biodiversidade, o alto grau de fragmentação das paisagens fluminenses e a baixa permeabilidade da matriz impactam negativamente a diversidade genética da fauna endêmica. Populações pequenas já ameaçadas de extinção ou com baixas capacidades de dispersão correm alto risco de se tornarem extintas (MARTINELLI, 2018). Além de populações e espécies em áreas de baixada altamente fragmentadas, espécies endêmicas restritas a topos de morros também estão altamente vulneráveis, uma vez que não poderão se deslocar para locais mais altos em busca de temperaturas adequadas a seus nichos climáticos caso não se adaptem às novas condições climáticas (ex.: espécies dos campos de altitude do Médio Paraíba).

É importante ressaltar que os registros de espécies de flora endêmica do ERJ estão concentrados dentro de Unidades de Conservação, que devem sofrer uma menor perda vegetal do que outras áreas, além de auxiliar na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. Ainda assim, muitos fragmentos de vegetação nativa permanecem desprotegidos. Alguns destes, como os observados na Região Serrana, apresentam um número considerável de espécies endêmicas, altamente vulneráveis a distúrbios em seu ambiente – Figura 19.

Além disso, o bioma Mata Atlântica deve se reduzir em função das mudanças climáticas. Essas alterações poderão desencadear uma substituição das comunidades de plantas por outras mais adaptadas a menores disponibilidades hídricas, sendo áreas de Floresta Estacional provavelmente as fitofisionomias mais afetadas por essas alterações climáticas, devido à expansão do Cerrado sobre áreas de Mata Atlântica (MARENGO, 2007; RAGHUNATHAN et al., 2015; FRANÇOSO, 2016).

Figura 19. Mapa dos indicadores de vulnerabilidade para a biodiversidade da flora no ERJ*



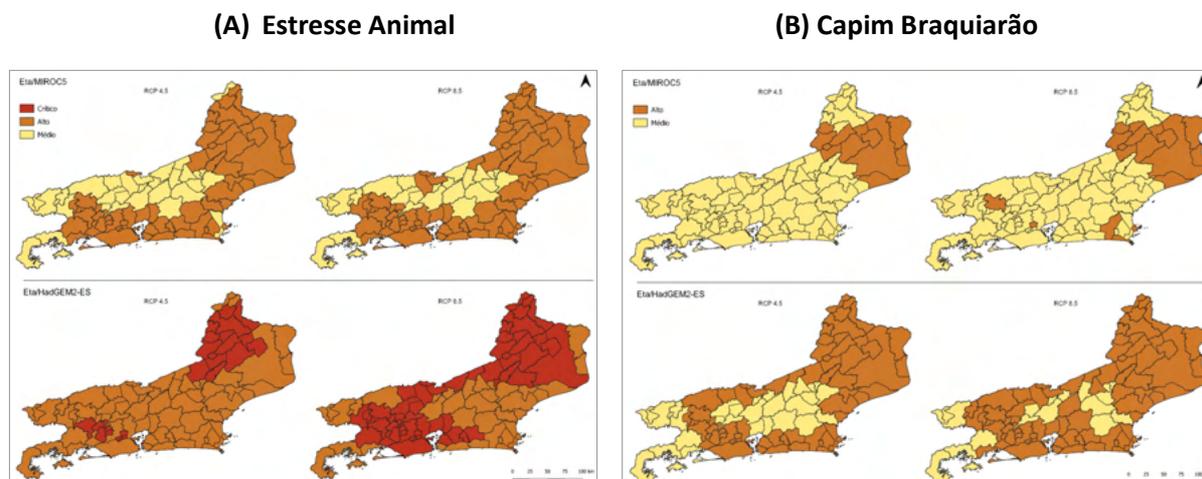
(*) Vulnerabilidade é demonstrada a partir de pontos de coleta de espécies endêmicas ameaçadas de flora no ERJ, fragmentos de vegetação nativa e sua presença ou ausência em UCs.

Fonte: Elaboração própria (2018)

[Agropecuária](#)

Em termos de pecuária, o aumento de temperatura poderá aumentar o estresse animal e afetar sua produtividade (HOOGENBROOM, 2000). No presente estudo, os resultados indicam que este risco varia de médio a crítico, dependendo do modelo e do cenário. Para a produção de pastagens, constatou-se que todos os municípios do ERJ apresentam risco médio e alto de perdas, com nenhum município classificado com risco baixo ou crítico para ambos os modelos e ambos cenários – Figuras 20 (a) e (b).

Figura 20. Risco climático no ERJ no período 2041-2070 com base em projeções climáticas pelos modelos Eta/MIROC5 e Eta/HadGEM2-ES nos cenários RCP 4.5 e 8.5

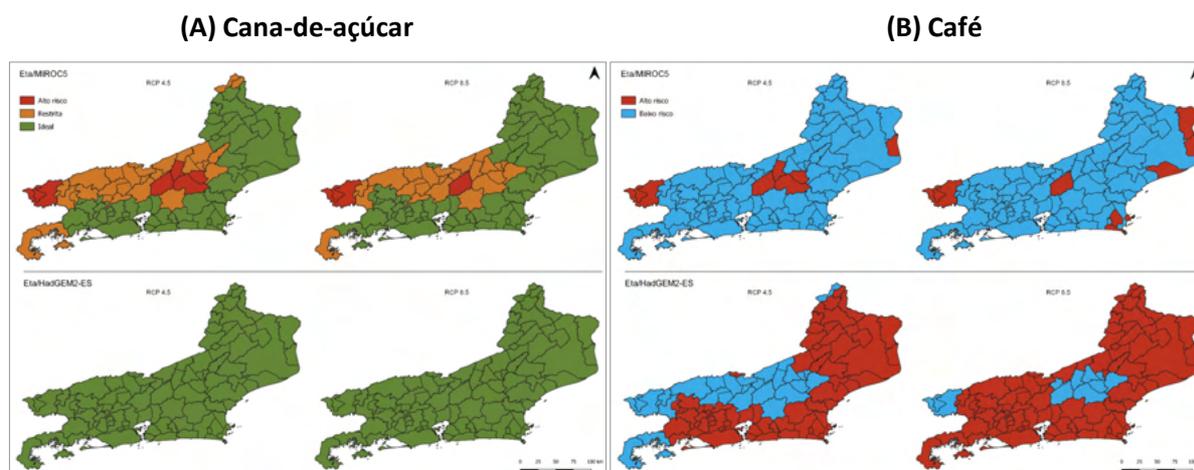


Fonte: Elaboração própria (2018)

Para a agricultura, avaliou-se o risco climático para a cana-de-açúcar, considerando o parâmetro temperatura anual média. Os resultados indicam que, para o modelo Eta/HadGEM2-ES, independente do cenário (RCP 4.5 ou 8.5), o plantio dessa cultura é ideal em todo o ERJ. Em contrapartida, nos dois cenários do modelo Eta-MIROC5, existem áreas onde o cultivo é restrito ou de alto risco (Figura 21A). No entanto, destaca-se que as projeções de risco foram baseadas apenas em temperatura, sem levar em conta a disponibilidade hídrica, uma variável importante ao se considerar que o rendimento da cana-de-açúcar vem caindo nas últimas décadas devido à diminuição das chuvas e ao aumento da frequência de veranicos (SEAPPA, 2018). Nesse sentido, destaca-se que, com base no índice de satisfação das necessidades de água (ISNA), é prevista a redução das áreas com aptidão agrícola para diversas culturas (cana-de-açúcar, trigo, soja, arroz sequeiro, feijão e milho) frente às mudanças climáticas (DECO, 2018).

Com relação ao plantio de café arábica, há um aumento do risco climático, observando o aumento da temperatura no período 2041-2070 em todos os cenários e modelos (Figura 21B). Além dos impactos diretos sobre o desenvolvimento das plantas, as mudanças climáticas devem alterar a distribuição espacial de pragas do café – como nematóides (*Meloidogyne incognita*) e bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*) (GHINI et al., 2008). Também são previstos impactos sobre a disponibilidade de polinizadores associados ao café e a outros cultivos relevantes no Estado, como o tomate, maracujá e feijão (GIANNINI et al., 2015; 2017).

Figura 21. Risco climático para o cultivo da cana-de-açúcar e café no ERJ frente às MC



Fonte: Elaboração própria (2018)

Em relação à segurança alimentar, a produção atual no Estado supre menos de um terço da demanda atual de alimentos da população fluminense (CONAB, 2018), de modo que o ERJ apresenta uma alta sensibilidade frente aos impactos das mudanças climáticas. Destaca-se que a ocorrência de eventos extremos, além de prejudicar a produção de alimentos, pode impedir o abastecimento dos centros consumidores, levando a aumentos de preços.

X. MEDIDAS GERAIS DE ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ERJ⁵

X.1-INTRODUÇÃO

Medidas de adaptação climática demandam que se conheça, antes de mais nada, as ameaças a que, no caso, o ERJ estará sujeito. Os riscos potenciais dependerão dos cenários climáticos que efetivamente irão se concretizar no futuro, mas, evidentemente, não é possível precisar estes cenários. As análises feitas nas Seções precedentes apresentaram os riscos potenciais por setor, para diferentes cenários climáticos. Quando os cenários convergem para uma mesma tendência, a tomada de decisão fica mais fácil e com menor incerteza, em princípio. No entanto, como mostrado na Seção 2, as tendências de aumentos de temperatura, medidos das mais variadas maneiras, convergem entre as projeções, mas as de precipitação apresentam expressivas diferenças.

Essa situação não é específica ao ERJ, mas aqui há de fato maior incerteza e divergência entre os modelos, pelo fato do ERJ ser uma zona de transição em termos das tendências das mudanças climáticas entre as Regiões Sul (com tendência de aumentos de precipitação) e Nordeste (com tendências de diminuição), tornando a previsão ainda mais incerta e difícil.

Diante dessas incertezas sobre as tendências climáticas, as estratégias de adaptação devem ter como foco inicial o déficit de adaptação presente, buscando solucionar os problemas decorrentes dos impactos presentes dos eventos climáticos. As medidas de adaptação dessas estratégias devem, assim:

- (i) Ser “sem arrependimento” (*low-regret* ou *no-regret*, do inglês): as medidas sem arrependimento são as que já se justificam no presente, e devem ser financiadas e implementadas de todo modo, porque geram benefícios sociais maiores que seus custos (na margem), além dos possíveis benefícios climáticos.
- (ii) Gerar os maiores co-benefícios possíveis: referem-se ao fato de que a grande maioria dessas medidas atendem muito além das vulnerabilidades aos eventos climáticos. São tipicamente medidas conhecidas de melhoria de infraestruturas (por exemplo: abastecimento de água, coleta de esgoto, drenagem de águas pluviais), de serviços públicos, de “esverdeamento” das cidades e bairros, atendimento a emergências, entre outras. São medidas que podem ser pensadas como de adaptação climática com

⁵ Essa Seção é em boa parte baseada em Margulis et al, 2018.

co-benefícios sociais, ou com objetivos sociais com co-benefícios de adaptação climática.

- (iii) Ser de baixo custo: incluem informação, capacitação, sistemas de alerta de riscos, monitoramento e previsão do clima, e, principalmente, medidas clássicas de boa operação e manutenção das infraestruturas existentes. Esta última é certamente o tipo de medida mais importante e prioritária de adaptação climática.

As medidas propostas neste Plano são “apenas” uma base técnica. São todas de caráter geral e devem ser aplicadas e testadas (“postas em prática no terreno”) para serem possivelmente validadas. A adaptação climática é um problema local e deve ser pensada caso a caso: cada localidade tem suas peculiaridades e apesar de ser sempre possível se beneficiar de outras experiências, as condições locais são únicas, tanto em termos físicos como socioeconômicos, culturais, políticos, etc. Portanto, em geral não vale a regra de “um tamanho único para todos” (do inglês, *one size fits all*).

As medidas de adaptação são propostas com o intuito de permitir ao ERJ evitar, lidar e se recuperar dos impactos das mudanças climáticas. É claro que a grande maioria de ações de adaptação será tomada pelos indivíduos, empresas, comunidades, e não necessariamente pelos governos. Assim, cabe ao Estado disponibilizar dados e informações à população, para que possa tomar decisões bem informada, e induza o setor privado e as pessoas a se anteciparem na adaptação às mudanças climáticas.

O conhecimento técnico-científico sobre a mudança do clima aumentará constantemente e, provavelmente, os eventos extremos começarão a se manifestar de forma mais clara em termos de localização, intensidade e frequência, mesmo que apenas em termos mais agregados. Esta conjugação permitirá que a tomada de decisões seja menos incerta. Esta situação não é específica ao Brasil: mesmo nos países mais desenvolvidos, as medidas de adaptação permanecem ainda “tímidas”, e em raros casos são feitos investimentos vultosos.

A despeito do setor ambiental do ERJ, por intermédio da SEA, ter tomado a liderança na preparação deste Plano, é importante salientar a necessidade de “*mainstreaming*” – isto é – as medidas de adaptação devem ser pensadas, lideradas e implementadas, principalmente, pelos próprios setores. Isto chama a atenção para a importância de prosseguimento deste trabalho em termos de compartilhamento, discussão e integração com as outras Secretarias de Governo e segmentos da sociedade.

Por fim, como todo exercício de planejamento de governo, o Plano proposto só se caracterizará como tal na medida em que contiver explícitas as prioridades de ação. Evidentemente, existem diversas maneiras de se definirem prioridades. Do ponto de vista econômico, por exemplo, as primeiras ações a serem implementadas devem ser aquelas mais custo-efetivas (as ações que para um mesmo investimento produzem o maior retorno econômico dentre as competidoras). Do ponto de vista social, pode-se priorizar ações que beneficiem maior proporção de indivíduos pobres, ou de determinada população específica. Do ponto de vista operacional, pode-se priorizar ações que já estejam contempladas em planos de ações existentes na agenda de governo. Ou priorizar aquelas ações de mais fácil implementação. Enfim, existe uma miríade de critérios alternativos e tipicamente complementares a ditar o que deve ser prioritário para um governo, e a decisão sobre estes critérios extrapola o âmbito do estudo proposto – e fica como sugestão de continuidade a este exercício.

Antes de passar para as subseções com as recomendações de adaptação por setor, os dois boxes, a seguir, resumiriam: (i) as recomendações gerais de adaptação climática da Associação Americana de Engenheiros Civis (ASCE, do inglês) – Box 1; e (ii) um pouco do contexto nacional sobre a gestão do risco de desastres, assunto intimamente ligado à adaptação às mudanças climáticas – Box 2.

BOX 1. Medidas de Adaptação Gerais segundo ASCE (2015)

- Adotar abordagens integradas: a adaptação deve ser incorporada nas políticas centrais, planejamento, práticas e programas, sempre que possível.
- Priorizar os mais vulneráveis: os planos de adaptação devem priorizar ajudar pessoas, lugares e infraestrutura que são mais vulneráveis aos impactos climáticos e serem projetados e implementados com envolvimento significativo de todas as partes da sociedade.
- Utilizar a melhor ciência disponível: a adaptação deve basear-se no melhor conhecimento científico disponível para a compreensão dos riscos, impactos e vulnerabilidades das mudanças do clima.
- Construir parcerias fortes: a adaptação requer coordenação entre múltiplos setores e escalas e deve basear-se nos esforços e conhecimentos existentes de uma vasta gama de partes interessadas privadas.
- Aplicar métodos e ferramentas de gestão de riscos: o planejamento da adaptação deve incorporar métodos e ferramentas de gestão de risco para ajudar a identificar, avaliar e priorizar opções para reduzir vulnerabilidade às potenciais implicações ambientais, sociais e econômicas das mudanças do clima.
- Aplicar abordagens baseadas em ecossistemas: a adaptação deve, quando relevante, levar em consideração estratégias para aumentar a resiliência do ecossistema e proteger os serviços ecossistêmicos críticos, minimizando a vulnerabilidade dos sistemas humanos e naturais às mudanças do clima.

- Maximizar benefícios mútuos: a adaptação deve, sempre que possível, usar estratégias que complementem ou apoiem diretamente outras iniciativas climáticas ou ambientais relacionadas, como esforços para melhorar a preparação para desastres, promover a gestão sustentável de recursos e reduzir as emissões de gases de efeito estufa, incluindo o desenvolvimento de tecnologias.
- Avaliar continuamente o desempenho: os planos de adaptação devem incluir metas mensuráveis e métricas de desempenho para avaliar continuamente se as ações adaptativas estão alcançando resultados desejados.

FONTE: ASCE (2015). Sumário e tradução livres, de responsabilidade da equipe do trabalho.

BOX 2. Gestão do Risco de Desastres

Os desastres naturais podem ser classificados quanto à natureza do fenômeno natural com potencial em causar danos, sendo os mais expressivos: inundações, tempestades, terremotos, temperaturas extremas, escorregamentos, secas, ventanias e atividades vulcânicas. Podem ser diferenciadas duas estratégias de abordagem e, conseqüentemente, de intervenção sobre o fenômeno: dimensões físicas e dimensões sociais dos desastres (STALLINGS, 2001):

Viana (2016) apresenta a GDR em três fases: (i) Redução do risco (antes do desastre); (ii) Manejo do desastre (durante o desastre); (iii) Recuperação (depois do desastre). Ressalta que, no Brasil, a Defesa Civil concentrou grande parte da responsabilidade pelo tema, resultando em uma abordagem altamente reativa, com maior foco nas ações de recuperação. Apenas em 2011, após o desastre ocorrido na Região Serrana do ERJ, o Governo Federal, por meio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), implementou um sistema de alertas antecipados da probabilidade de ocorrência de desastres naturais, associados aos fenômenos de deslizamentos de encostas e inundações. Nesse contexto, foi criado o Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN), o qual, além do gerenciamento das informações das estações de monitoramento, também tem por objetivo *“promover desenvolvimentos científicos, tecnológicos e inovadores para avançar na qualidade e confiabilidade dos alertas, e na prevenção e mitigação desses desastres”*.

De forma mais direta, apenas em 2012 o Brasil passou a contar com uma Lei específica para GDR, por meio da promulgação da Lei Federal nº 12.608/12, que estabelece as diretrizes básicas para implementação da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNDEC) e cria também o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), a partir do Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC). A ocorrência do desastre da Região Serrana, de 2011, marca um divisor de águas na política nacional de gestão de riscos, motivando uma série de medidas de fortalecimento, aprimoramento e integração do sistema de defesa civil (MIGUEZ, DI GREGORIO & VERÓL, 2018).

A PNPDEC constituiu um arranjo institucional em nível federal que, integrado com órgãos/instituições estaduais e municipais, deve funcionar sobre quatro eixos interdependentes: (i) gestão da ocupação urbana; (ii) mapeamento; (iii) monitoramento e alerta; e (iv) resposta a desastres. Cada eixo está sob responsabilidade de órgãos/instituições com missões específicas (MIGUEZ, DI GREGORIO & VERÓL, 2018).

FONTE: Elaboração própria, pela equipe de drenagem urbana

X.2-MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA RECURSOS HÍDRICOS

A implementação de uma estratégia de gestão adaptativa requer a compreensão de que o clima age como vetor de transformações que aumentam e potencializam os riscos (SOUZA FILHO et al., 2016), sendo necessárias ações de planejamento em diversas escalas temporais. Nesse sentido, é necessário que haja governança da água, que se configura como um processo gradual e contínuo que precisa ser constantemente aprimorado em função do aumento das incertezas e riscos gerados, principalmente pelas mudanças climáticas (SOUZA FILHO et al, 2016; CGEE, 2014). A estratégia deve buscar alimentar as decisões dos gestores dos recursos hídricos e usuários de água nas bacias ao longo do tempo para que o uso dos recursos hídricos seja o mais eficiente possível (CGEE, 2014).

As recomendações de medidas gerais de adaptação baseiam-se nas análises da situação presente dos recursos hídricos no ERJ. As medidas de adaptação iniciais são essencialmente as preconizadas no Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI-RJ), reconhecidamente um trabalho de muito maior envergadura e profundidade do que aqui se propôs. O PERHI-RJ enfatiza a necessidade de garantia do transporte de água para RH II e V, destaca pontos nas RH III, IV e VII cujo cruzamento demanda *versus* disponibilidade é superior a 50% no cenário atual, e destaca que a disponibilidade hídrica pode ser comprometida pela vazão necessária à diluição de esgotos na grande maioria dos rios do estado. O Plano sugere que a situação no Rio de Janeiro é de alerta de escassez hídrica e que o Rio de Janeiro encontra-se num estágio de adaptação insuficiente frente à variabilidade hidrológica existente (devido à variabilidade climática em múltiplas escalas temporais e a decorrente das alterações no uso e ocupação nas bacias).

Conforme mencionado na Introdução da Seção, as medidas de adaptação propostas são classificadas em políticas públicas e institucionais, levantamento de dados e de conhecimento técnico-científico, medidas a serem tomadas com as comunidades e/ou grupos específicos, e medidas que envolvem intervenção física (tipicamente de engenharia).

A. Medidas de Política Pública e Institucionais

- Adaptação flexível com base em ciclos de planejamento: estabelecer diretrizes e metas para todo o ERJ, monitorar as ações e indicadores de resultados, construir cenários futuros, projetar possíveis respostas à adaptação.

- Acompanhamento das medidas propostas no PERHI-RJ e deste Plano, sendo necessário avaliar como as mudanças no clima afetam as medidas já propostas.
- Cumprimento das metas do Programa Estadual Rio + Limpo (Pacto pelo Saneamento), para minimizar os impactos da possível redução de disponibilidade hídrica, principalmente na Bacia da Baía de Guanabara e na Bacia do Rio Guandu.
- Integração da gestão entre governos estaduais e municipais, principalmente com foco na Bacia do Paraíba do Sul: impor limites à instalação de novos usuários, especialmente a montante de Santa Cecília e nos demais trechos fluminenses; definir políticas de racionamento associadas a níveis de metas nos reservatórios, com vistas à garantia de abastecimento da RMRJ; e garantir que tanto a vazão transposta para o rio Guandu quanto a vazão remanescente no rio Paraíba do Sul sejam mantidas.
- Regularização do uso da água, com aperfeiçoamento da cobrança pelo seu uso, cadastro dos usuários, e estabelecimento de outorga e fiscalização.
- Estabelecimento de metas de redução de perdas hídricas, especialmente para os sistemas de abastecimento que necessitam de ampliação imediata (Guandu/Lajes/Acari e Imunana/Laranjal).
- Estabelecimento de metas de reuso da água, especialmente para os usuários que não necessitam de potável, como a refrigeração em termoeletricas.

B. Medidas de levantamento de dados técnicos e conhecimento científico

- Ampliação da rede de monitoramento hidroclimática, especialmente nas regiões do ERJ não pertencentes à Bacia do Paraíba do Sul.
- Monitoramento dos fenômenos hidrometeorológicos usando as ferramentas existentes para as diferentes escalas temporais de planejamento.
- Avaliação do risco climático, analisando e aperfeiçoando continuamente o mapeamento de perigos, das exposições e das vulnerabilidades; conferir a necessária robustez à outorga e submetê-la a simulações em diferentes condições climáticas; desenvolver estudos de impactos da mudança do clima com base em toda a informação disponível sobre modelagem climática, para permitir uma análise sobre incerteza.
- Intensificação do monitoramento da qualidade da água nos rios e reservatórios visando subsidiar as decisões sobre operação do sistema hidráulico da bacia, e alertar os usuários de água sobre potenciais problemas de qualidade da água, decorrentes da prática de vazões muito baixas.

- Enquadramento dos corpos hídricos para estabelecer metas.
- Monitoramento das perdas hídricas e aumento da eficiência dos sistemas de abastecimento que necessitam de ampliação imediata.
- Monitoramento da exploração dos aquíferos e de todos os mecanismos que podem intensificar as pressões nos recursos hídricos.
- Criação de um sistema de banco de dados de recursos hídricos, reunindo as informações existentes sobre clima e recursos hídricos e armazenamento das informações de monitoramento previstas neste documento, tanto quantitativa como qualitativa.

C. [Medidas a serem tomadas com as comunidades e/ou grupos específicos](#)

- Criação de planos de contingência de secas associados ao planejamento de longo prazo e continuamente atualizados, pois orientarão as ações em momentos de eventos extremos e deverão preparar as condições que mitiguem a ocorrência dos mesmos.
- Desenvolvimento e/ou aprimoramento de sistemas de alerta precoce existentes para alerta de cheias e secas.
- Elaboração de boletins periódicos com as informações de monitoramento; estabelecimento de comunicação tanto com os gestores e usuários das bacias; uso de indicadores de seca e de qualidade da água na comunicação e níveis dos reservatórios estratégicos.
- Elaboração de plano de capacitação técnica para adaptação e seminários de divulgação de conhecimento e sensibilização de órgãos públicos.

D. [Medidas que envolvem intervenção física](#)

- Renovação de instalações ineficientes, especialmente as ligadas à RMRJ, identificando as regiões mais vulneráveis e priorizá-las.
- Definição de regras de lançamento de efluentes, especialmente associadas à mineração e indústria.
- Manutenção das condições de fluxo da água por meio de dragagens e escavações periódicas.
- Ampliação dos sistemas de abastecimentos citados pelo PERHI-RJ, sobretudo nas regiões mais afetadas pelas mudanças climáticas.

X.3-MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA A SAÚDE HUMANA

Independentemente das mudanças climáticas, o ERJ, como a maior parte dos estados brasileiros, defronta-se com sérios problemas no setor de saúde. A dimensão destes problemas, sua importância social, econômica e política transcendem muito a própria questão climática aqui abordada, de modo que não teria sentido colocar a adaptação às mudanças climáticas como prioridade do setor saúde. Ao contrário, qualquer estratégia de adaptação climática deve se submeter ao contexto do setor saúde e tomar como ponto de partida as suas condições atuais e dificuldades existentes. Isto quer dizer que as recomendações de adaptação às mudanças climáticas do ponto de vista da saúde da população fluminense começam justamente pela melhoria do quadro geral do setor saúde e sua capacidade de atendimento à população do estado.

Do mesmo modo, as vulnerabilidades às mudanças climáticas em termos de saúde da população apenas se “adicionam” às vulnerabilidades a outras ameaças e riscos. A população mais vulnerável a eventos climáticos extremos via de regra será a mesma que já é vulnerável a enfermidades causadas ou agravadas pelas más condições sociais, de saneamento, de saúde em geral, de acesso a serviços públicos e infraestrutura, etc.

Neste sentido, apesar das primeiras e mais urgentes recomendações de adaptação climática no setor saúde serem aquelas já preconizadas e reivindicadas pelo próprio setor, transcenderia ao escopo deste trabalho fazer uma descrição ou análise destas medidas. Assim, o foco proposto se dá sobre medidas de monitoramento, informação, prevenção e remediação das doenças mais diretamente ligadas às mudanças climáticas que, como discutido na Seção de Impactos, são prioritariamente os problemas fisiológicos decorrentes das ondas de calor e o possível aumento ou agravamento da incidência de doenças zoonóticas, como consequência de mudanças nas condições ambientais que favorecem a transmissão dessas doenças.

Historicamente, diversos eventos climáticos, ou deles decorrentes, como deslizamentos e enxurradas, causaram severos impactos na população fluminense em termos de mortalidade, morbidade e traumatismos. Os impactos futuros das mudanças climáticas na saúde, em todo o mundo, criarão um estresse adicional sobre problemas já existentes, podendo aumentar a sua incidência, intensidade, frequência ou duração (CONFALONIERI, 2007). Esta vulnerabilidade a eventos climáticos pode ser diminuída por meio de políticas de prevenção e mitigação, capazes de evitar ou limitar a exposição da população ao calor excessivo (ARAÚJO 2017), ou ao contato com vetores de doenças transmissíveis.

As estratégias gerais de minimizar os impactos das mudanças climáticas sobre a saúde humana demandam antecipação de medidas, como o fortalecimento do monitoramento de endemias em áreas mais vulneráveis, boletins de previsão do tempo com informações sobre a saúde humana, avaliações de vulnerabilidades a extremos climáticos, melhoria da educação ambiental e de saúde, coordenação de órgãos de governo, entre outras. Medidas que amenizem o calor excessivo também são necessárias, principalmente nas áreas urbanas de alta concentração populacional e já expostas a extremos de temperatura, ainda que muitas dessas medidas sejam de responsabilidade de governos municipais e locais.

A. Medidas de Política Pública e Institucionais

- Melhoria na gestão de risco de desastres, com fortalecimento e capacitação da Defesa Civil.
- Coordenação entre saúde e outros setores para lidar com mudanças no padrão de incidência e alcance geográfico de doenças.
- Abordagem mais multi-setorial no setor para contribuir para a segurança sanitária e lidar com emergências e mudanças climáticas.
- Estratégias de prevenção, alerta e controle para riscos infecciosos de alta ameaça.
- Treinamento dos funcionários para reconhecer e tratar o estresse pelo calor.
- Parcerias com o setor de educação nos mais altos níveis para fortalecer a governança no planejamento e regulamentação da educação em saúde.
- Promoção de ambientes saudáveis e acesso a serviços de saúde de forma equitativa para evitar impactos desproporcionais na saúde pública de populações vulneráveis.
- Implementação de estratégias de saúde em todas as políticas intersetoriais para assim abordar os determinantes sociais e ambientais da saúde.
- Melhoria da infraestrutura das unidades de saúde para o atendimento das vítimas do clima – tanto doenças fisiológicas como traumáticas por ocasião de eventos extremos e desastres naturais.
- Elaboração de planos de ação para hospitais e asilos que visem atender as vítimas durante as ondas de calor.
- Garantia do fornecimento de água sem interrupções, principalmente no verão.

B. [Medidas de levantamento de dados técnicos e conhecimento científico](#)

- Mapeamento de vulnerabilidades e monitoramento dos grupos de maior risco às doenças vetoriais e ondas de calor.
- Melhoria no acompanhamento e observação das doenças.
- Desenvolvimento de estudos que relacionem diversos tipos de enfermidades com variáveis climáticas.
- Desenvolvimento de um sistema integrado de informações de morbidade e mortalidade resultante de eventos climáticos extremos.
- Estímulo à realização de pesquisa em diferentes escalas espaciais, integrando o setor saúde com outros setores, como habitação, urbanização, demografia, climatologia, qualidade do ar etc.

C. [Medidas a serem tomadas com as comunidades e/ou grupos específicos](#)

- Instalação de sistemas de alerta de calor que poderão ajudar as pessoas a adaptar seus comportamentos ao clima.
- Implantação de um sistema emergencial integrando escolas, empresas, hospitais, aeroportos, portos etc.
- Esclarecimento da opinião pública em geral sobre o processo de mudança climática e suas possíveis consequências e riscos para a saúde da população.
- Capacitação de pessoas e comunidades para que possam tomar decisões conscientes, baseadas em informações técnicas.
- Fortalecimento de campanhas educativas de saneamento e controle de criadouros dos vetores da dengue, zika e chikungunya.
- Criação e fortalecimento de redes comunitárias para troca de conhecimento e práticas.
- Capacitação da população para responder a desastres e emergências causadas por eventos climáticos extremos e desastres.

D. [Medidas que envolvem intervenção física](#)

- Adoção de medidas biológicas para diminuir o calor urbano, principalmente o plantio de árvores, que fornecem sombra e resfriamento através da evaporação.

- Adoção de telhados verdes em casas e edifícios, uso de cercas verdes nas calçadas, plantio de grama e de árvores, criação de espaços verdes, como praças e parques, inclusive com uso de aspersores de água e bebedouros públicos.
- Incentivo às construções que facilitem a ventilação, refrigeração e iluminação adequadas.
- Uso de ar-condicionado e ventiladores para amenizar as altas temperaturas, principalmente em locais públicos, com possibilidade de hospedar pessoas mais idosas e/ou mais jovens nas áreas carentes e já sujeitas a altas temperaturas noturnas.
- Construção de parques lineares para recuperar fundos de vales de rios e córregos das cidades e bairros por meio da implantação de áreas de lazer, saneamento e limpeza dos rios. É uma alternativa para resgatar a função de drenagem natural, minimizar os efeitos das enchentes, reduzir áreas de risco, além de acrescentar uma função social a estes espaços.
- Estabelecimento e implementação de sistemas de alerta de ondas de calor para aumentar a consciência pública da exposição a altas temperaturas, e fortalecer/focar ações junto aos mais idosos.

X.4-MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA DRENAGEM URBANA

Esta Seção delinea um conjunto de medidas adaptativas para redução dos impactos das inundações frente aos cenários futuros de agravamento dos eventos intensos de precipitação.

A solução tradicionalmente adotada para a drenagem urbana visa ao aumento da velocidade dos escoamentos com obras de canalização dos rios, o que acaba transferindo o problema para jusante e implica em continuadas intervenções localizadas após eventos de inundação. Uma abordagem mais atual busca soluções que proporcionam a retenção artificial das águas pluviais, a fim de compensar as perdas na retenção natural. Tem como focos principais: respeitar o funcionamento natural da bacia hidrográfica; minimizar os impactos da urbanização; melhor controlar os riscos de inundações; minimizar custos com readequações do sistema de drenagem.

O planejamento urbano e dos sistemas de drenagem com uma abordagem centrada na questão das águas urbanas, buscando o incremento da resiliência a inundações, introduz medidas estruturais mais aptas a lidar com possíveis impactos da mudança no clima, assim como prevê a adoção de medidas não estruturais que visam à harmonização dos sistemas urbanos com o ciclo natural de cheias.

O planejamento de ações voltadas tanto para a proteção das áreas muito suscetíveis e atualmente ocupadas com alta densidade, quanto para o controle da expansão urbana sobre áreas ainda não ocupadas, que podem vir a se tornar áreas críticas, principia com o mapeamento da suscetibilidade do meio físico a inundações. A priorização do adensamento em áreas mais seguras é um caminho para reduzir futuros aumentos dos prejuízos e danos resultantes dos eventos de inundações.

De forma geral, devem ser propostas medidas de adaptação que buscam o aumento da resiliência do sistema. A resiliência a inundações pode ser entendida em 4 diferentes vieses:

- Capacidade do sistema de drenagem continuar resistindo ao longo do tempo, mesmo em condições adversas;
- Capacidade do sistema de drenagem recuperar funções após um evento de falha, ou seja, manutenção de tempos de alagamento em patamares baixos, com a cidade voltando a funcionar logo após o evento;
- Capacidade de recuperação (física, monetária etc.) do sistema afetado (sociedade), permitindo a reposição das perdas diversas;
- Antecipação do evento, tanto na escala do planejamento como para preparação e resposta.

A. [Medidas de Política Pública e Institucionais](#)

- Sistematização da gestão de risco de desastres naturais em todos os níveis governamentais (municipal, estadual e federal).
- Criação de incentivos para elaboração dos planos municipais de manejo de águas pluviais, em consonância com os municípios adjacentes e inseridos nas mesmas bacias hidrográficas.
- Incorporação dos conceitos de Drenagem Urbana Sustentável e Cidades Sensíveis a Água no planejamento urbano.
- Valorização do Sistema de Espaços Livres com novas conexões que visem maior interação do meio natural e urbano – utilização de infraestrutura verde e paisagens multifuncionais, propiciando a criação de corredores ecológicos, interligando parques, APA e fomentando a reconstituição da vegetação.
- Utilização do conceito de parques urbanos de transição, para diminuir pressões de expansão urbana (formal e informal) sobre unidades de conservação e planícies de inundação de rios;

- Incorporação de técnicas compensatórias em sistemas de drenagem no licenciamento de empreendimentos (reservatórios na escala do lote, jardins de chuva, biovaletas, pavimentos permeáveis, telhados verdes, trincheiras de infiltração etc.).
- Elaboração do Plano Estadual de Redução de Risco de Desastres Naturais.
- Realização de zoneamento urbano, com delimitação das áreas inundáveis e restrições de ocupação.
- Readequação/expansão de Sistema de Alerta de Cheias.

B. [Medidas de levantamento de dados técnicos e de conhecimento científico](#)

- Expansão da rede de monitoramento hidrometeorológico já definidos em estudo do INEA.
- Revisão da base cartográfica estadual, em escala compatível com o planejamento urbano, abrangendo: (i) modelos digitais de terreno e elevação; (ii) cadastro da rede hidrográfica; e (iii) definição das bacias hidrográficas principais.
- Elaboração de estudos e mapas de risco de inundações, contendo: (i) mapeamento da vulnerabilidade, e (ii) mapeamento do perigo (inundações).

C. [Medidas a serem tomadas com as comunidades e/ou grupos específicos](#)

- Elaboração do Plano Estadual de Educação Ambiental.
- Concessão de incentivos a mecanismos de proteção individual para redução de prejuízos.
- Implantação de mecanismos de comunicação do risco de maneira transparente com a sociedade civil.
- Minimização de lançamentos descontrolados de esgoto e evitar o espalhamento de lixo que tendem a comprometer o funcionamento do sistema de drenagem e ameaçar a saúde pública.

D. [Medidas que envolvem intervenção física](#)

- Introdução de dispositivos de drenagem urbana sustentável no tecido urbano.
- Uso de soluções que privilegiem a infiltração e a armazenagem: medidas de infiltração que reduzam volumes de escoamento; medidas de armazenagem que permitam controlar vazões na rede, diminuindo picos e permitindo menor dependência da capacidade de descarga na rede e, em particular, na foz junto ao mar.

- Aumento quantitativo e qualitativo da utilização e desempenho das estruturas de proteção, tais como reservatórios de detenção/retenção.
- Manutenção constante dos sistemas de micro e macrodrenagem, com controle da produção de sedimentos.
- Realocação de ocupações em áreas com alto risco de inundações.
- Relocação de habitações presentes em áreas de risco de inundação, minimizando perdas e abrindo espaço para a passagem de cheias.
- Recuperação de ecossistemas e devolução de áreas naturalmente inundáveis, a partir do conceito de Adaptação baseada em Ecossistemas (AbE).
- Busca de alternativas viáveis e funcionais de requalificação fluvial urbana.
- Expansão da rede de monitoramento hidrometeorológico já definidos em estudo do INEA.
- Reflorestamento de áreas estratégicas, como topos de morro e margens de rios, visando à redução do escoamento superficial, o aumento da interceptação e infiltração da água no solo, além da redução da erosão.
- Utilização de medidas de bioengenharia no trato fluvial, reflorestamento com vegetação nativa.
- Medidas de retenção natural de água, desbaste, controle de erosão pela vegetação nas margens dos rios, recarga artificial de aquíferos, renaturalização de planícies de inundação;
- Manejo florestal comunitário, restauração de pântanos/terraços alagadiços.
- Renaturalização, terras encharcadas, medidas de retenção natural de água, construção de áreas úmidas artificiais.

X.5-MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA DESLIZAMENTOS

O risco de desastres continuará aumentando na maioria dos países, dado que mais pessoas estarão expostas a extremos climáticos. Esses desastres aumentarão a distribuição não uniforme do risco entre países ricos e pobres, de modo que o gerenciamento de risco torna-se crítico para conter as fatalidades e outros impactos (RCCD, 2012).

Uma vez que é conhecido o perigo de ocorrer um determinado desastre socioambiental e, na maioria dos casos, inevitável, o objetivo é amenizar a exposição ao perigo por meio do desenvolvimento de capacidades individuais, institucionais e da coletividade que possam contrapor-se aos perigos e danos. Considera-se essencial o papel da participação comunitária e sua capacidade de entendimento e enfrentamento do risco de desastre.

Sabendo que há um grande desequilíbrio entre as ações de prevenção de desastres e as ações de resgates de urgência após sua ocorrência, as ações preventivas de redução de riscos não oferecem a mesma visibilidade, nacional e internacionalmente, em relação aos programas de atendimentos de emergência, devido à grande exposição na mídia que estes normalmente proporcionam. Isto seria o motivo das políticas de prevenção normalmente receberem menos recursos financeiros e serem menos atendidas por pelos órgãos competentes (VEYRET, 2007).

No entanto, deve haver um equilíbrio entre as medidas de redução de risco e de gerenciamento do impacto dos desastres. Como exemplo desse equilíbrio tem-se países como Colômbia, México e outros países do Caribe, que incluem reservas em seus processos orçamentários para eventos ambientais que lá são comuns. Para este equilíbrio é solicitado uma dedicação intensa na antecipação e na redução do risco.

As medidas de gerenciamento de risco devem ser continuamente melhoradas e adaptadas para melhor fazer frente aos eventos atuais e riscos extremos. Incluem-se medidas como planejamento do uso do solo, desenvolvimento e cumprimento de normas de construção, melhorias na vigilância sanitária e epidemiológica, sistemas de alerta preventivos e planos de evacuação, gerenciamento e restauração de ecossistemas, entre outros.

Conforme indicado na Seção sobre impactos, a modelagem matemática indicou que as regiões Serrana e Norte-Nordeste-Vale do Paraíba terão os maiores incrementos de novos deslizamentos. No entanto, permanecem incertezas relativamente à pluviosidade futura, existindo cenários com diminuição das chuvas intensas, o que implicaria diminuição no número de novos deslizamentos. Deve-se destacar que independentemente do cenário de emissões que se venha configurar, a expansão da ocupação humana nos maciços poderá exacerbar o problema e suas consequências.

A. [Medidas de Política Pública e Institucionais](#)

- Independentemente das mudanças do clima, tem-se hoje identificados no ERJ inúmeros locais com elevada densidade populacional e elevada suscetibilidade a movimentos de massa. O planejamento para eliminar esse risco, que é notório no ERJ especialmente na época das chuvas intensas de verão, é prioritário – através de informação, remoção, reflorestamento, obras de contenção, e/ou demais medidas cabíveis.

- É fundamental que o planejamento urbano oriente a expansão das cidades de forma a evitar locais sabidamente mais vulneráveis a eventos climáticos e possíveis deslizamentos, evitando comprometer a segurança da população que venha a se instalar nesses novos locais. Áreas de baixa suscetibilidade devem ser priorizadas para expansão urbana.
- As áreas de média suscetibilidade, assim como as áreas de alta suscetibilidade com floresta degradada ou vegetação arbustiva e rasteira, também poderão ser utilizadas para esse fim, desde que sejam executadas intervenções de engenharia (obras de drenagem e contenção) para minimização da suscetibilidade.
- Elaboração de mapas de susceptibilidade e risco ao deslizamento. Na organização desses mapas deve-se considerar, além da probabilidade de ocorrência do evento, o número de pessoas e bens envolvidos, e os potenciais danos. Os mapas de risco possibilitam estabelecer a ordem de prioridade de execução das intervenções e ações emergenciais de atendimento à população.
- Monitoramento de chuvas e inventário de deslizamentos deve ser prática corrente de forma a permitir correlacioná-los. Isso permitirá estabelecer critérios específicos de alarme ao deslizamento para cada região, notando que eles variam com as condições geológicas, geomorfológicas, vegetação e de ocupação existentes em cada uma.
- Desenvolvimento de cartilhas com orientação para a população sobre a importância de manter a drenagem natural livre, o não lançamento de lixo e evitar a supressão vegetal, cortes e aterros em encostas. Deve-se difundir de maneira simples os efeitos adversos de tais procedimentos. Manuais com orientações básicas sobre não conformidades em encostas devem ser disponibilizadas à população e como proceder no caso de sinais de instabilidade e em períodos de grandes chuvas.
- O estado deve dar suporte técnico e logístico, principalmente às pequenas prefeituras. Este esforço deveria incluir preparação de material didático e cursos itinerantes de qualificação para o corpo técnico das prefeituras.

B. [Medidas de levantamento de dados técnicos e conhecimento científico](#)

- Para permitir a elaboração dos mapas de suscetibilidade e risco ao deslizamento (item anterior), elas devem ser representadas sobre base topográfica ou ortofotos devidamente georeferenciadas. Idealmente estes mapas devem ser produzidos na escala 1:2.000 e validados utilizando inventários de escorregamentos pretéritos. Busca-se na elaboração desses mapas identificar regiões com características similares, perante os processos geodinâmicos. Os mapas de suscetibilidade ao deslizamento retratam a integração dos seus fatores deflagradores:

- os tipos de solo e geologia;
 - a hidráulica superficial e profunda e a vegetação;
 - a declividade dos terrenos; e
 - a ação antrópica – cortes, aterros, obstrução de drenagem natural e depósitos de lixo.
- Para elaboração dos mapas de risco deve-se:
 - estimar a probabilidade de ocorrência de deslizamentos regionalmente;
 - avaliar para cada região, as consequências sociais e econômicas potenciais advindas;
 - realizar inventários de bens e das populações potencialmente expostas.

C. [Medidas a serem tomadas com as comunidades e/ou grupos específicos](#)

- Como medida prioritária, é fundamental que as populações e comunidades já expostas aos maiores riscos sejam informadas sobre eles. Diversas dessas comunidades já têm acesso a essa informação, através das Defesas Civas municipais e outras instituições, inclusive da sociedade civil organizada.
- Garantia de que todas as comunidades e populações do Estado vulneráveis aos deslizamentos tenham acesso aos sistemas de informação e alerta, incluindo procedimentos emergenciais.
- Implantação de sistema de alarme por sirenes. Correlações específicas entre chuvas e deslizamento nos diferentes locais devem embasar os critérios de acionamento. Os níveis críticos de pluviosidade prováveis de deflagrar movimentos de massa devem ser monitorados pelas redes de estações pluviométricas espalhadas pelas regiões da ERJ.

D. [Medidas que envolvem intervenção física](#)

- As moradias localizadas nas áreas de suscetibilidade alta e muito alta devem ser removidas. Obras de estabilização nestas áreas tipicamente representam uma relação custo/benefício muito elevada, além de exigir a remoção de grande parte das moradias para permitir a execução das estruturas de contenção. A remoção de moradias próximas aos limites das áreas de suscetibilidade alta e muito alta devem ser analisadas caso a caso.
- Após a remoção das moradias, deverão ser retirados os entulhos e executadas obras de regularização dos taludes remanescentes, rede de drenagem superficial, drenagem profunda e revegetação.
- A drenagem profunda deve ser indicada somente em locais situados em cotas baixas na encosta.

- Caso haja necessidade de se preservar construções em áreas de alta ou muito alta suscetibilidade, deverão ser elaborados projetos de estabilização que tornem estas áreas seguras.
- Nas áreas de suscetibilidade média propõe-se a redução do grau de suscetibilidade, com a instalação de redes de drenagem superficial e profunda. Boas condições de drenagem são capazes de impactar favoravelmente a estabilidade de uma encosta. A drenagem superficial compreende dispositivos como canaletas, descida d'água em degraus e caixas de passagem, com a finalidade de minimizar a infiltração de água no terreno, coletando e encaminhando as águas pluviais até a rede pública existente.
- A drenagem profunda pode ser estabelecida com base em dispositivos introduzidos no terreno para facilitar a saída de água do interior da massa de solo e/ou de rocha reduzindo as poropressões (Dreno Horizontal Profundo-DHP). É necessária, também, a eliminação de dispositivos deficientes de abastecimento de água, esgoto e drenagem (canalizações clandestinas, reservatórios de água e sumidouros) e implantação de novas redes.
- Para garantir a estabilização de trechos pontuais, deve-se implantar estruturas de contenção (solo grampeado, reforço de cortinas ancoradas, barreiras para controle de fluxo de detritos).
- Para a execução das intervenções deverão ser elaborados projetos básicos e executivos, que demandam prévias investigações geotécnicas (sondagens e ensaios de laboratório), instalação de medidores de nível d'água, e teste de carga em ancoragens de antigas cortinas. Recomenda-se que os DHP sejam executados, prioritariamente, nas cotas mais baixas das encostas e com comprimento mínimo que garanta uma penetração de pelo menos 4 m em rocha fraturada.

X.6-MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA RODOVIAS

Os principais impactos das mudanças climáticas sobre a infraestrutura rodoviária são causados por chuvas torrenciais e também por temperaturas muito elevadas. As medidas de adaptação não se restringem a intervenções na infraestrutura física do sistema. Existem distintas classificações para elas, podendo focar tanto na infraestrutura quanto no campo institucional e operacional/gestão. A adaptação técnica inclui modificações nos padrões de construção e manutenção. As medidas institucionais incluem incentivo à conscientização do problema das mudanças climáticas entre os diferentes atores setoriais e instancias governamentais, desenvolvimento de planos de avaliação, etc. Medidas institucionais devem ser estudadas e incorporadas de forma conjunta com as medidas operacionais, a fim de melhorar a eficácia do processo de adaptação (KALANTARI, 2011).

As medidas sobre a infraestrutura física podem ser classificadas em três grupos: preservação, melhoria e substituição. Em muitos casos, nem todas as medidas podem ser aplicadas, dada as características de cada região e das rodovias em questão. Muitas vezes, também, não é possível evitar o impacto provocado pelas mudanças climáticas com medidas de preservação e/ou melhorias, mas somente recuperar ou substituir (RATTANACHOT et al., 2015).

É importante ressaltar que medidas de adaptação em estruturas existentes devem estar inseridas nos cronogramas de reparo e manutenção concebidos com base no seu tempo de vida útil. Para a construção de novas infraestruturas é necessário identificar o aspecto climático de maior relevância, ou seja, o de maior impacto potencial sobre a obra a ser feita (CEDR, 2012).

No que tange à questão infraestrutural, as medidas de adaptação devem ser incorporadas no momento de elaboração de projeto e construção de novas infraestruturas, ou ser incorporadas na manutenção e retroalimentação de estruturas existentes, chamadas de medidas de verificação (*climate proofing*) (COCHRAN, 2009).

A literatura mostra uma escassez de estudos que avaliem os custos de implementação de medidas de adaptação às mudanças do clima no setor de transporte. A escolha deve dar preferência àquelas economicamente ótimas, ou seja, onde possa haver maior benefício para a sociedade e com benefícios obviamente maiores que os custos (CHINOWSKY et al., 2013). No caso deste trabalho, recomenda-se a realização de um estudo econômico sobre os custos e benefícios de alternativas de adaptação tendo como base os resultados aqui apresentados.

Por fim, deve-se enfatizar que as medidas de adaptação voltadas para o setor de transporte devem ser coerentes com as políticas de mudanças de uso do solo da região, o que corrobora a busca pela redução de vulnerabilidades do setor frente às mudanças climáticas de forma harmônica com outros setores econômicos, com o meio ambiente e a população (UCCRN, 2011).

Baseado na literatura utilizada e na necessidade de identificação de medidas de adaptação adequadas ao caso brasileiro, a Tabela 3 traz uma seleção de proposições que podem ser aplicadas para diferentes impactos no campo dos dois estressores climáticos utilizados neste estudo.

Tabela 3. Resumo dos prováveis impactos e as medidas correspondentes

Impacto Climático Relevante	Possíveis Medidas de Adaptação
<p>Aumento de temperatura (<u>Temperatura</u>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de diferentes materiais mais resistentes ou mais apropriados, tais como: <ul style="list-style-type: none"> ▪ ligantes mais resistentes, mas ambientalmente seguros ▪ pavimento com percentagens mais elevadas de enchimento ▪ pavimento do tipo <i>cheap seal</i> ▪ utilização de diferentes materiais para aumentar a refletância do pavimento, diminuindo sua temperatura ▪ requisitos mais elevados para os tipos de agregados, visando aumentar o atrito interno • Retroalimentar as estradas existentes com materiais mais resistentes • Instituir regulamentação de redução da velocidade máxima • Manejo do tráfego, procurando retirar o transporte de carga pesada do modal e transferindo para modais mais apropriados ao transporte (ferrovias e hidrovias, por exemplo) • Incentivar novas tecnologias de pneus que causem menos atrito ao pavimento • Evitar o desenvolvimento de novas rodovias em áreas identificadas como <i>hotspots</i> • Realizar obras de construção em dias mais frios – agendar as obras para estação do ano mais propícias
<p>Eventos extremos de chuvas, tempestades e consequentes enchentes (<u>Precipitação</u>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a capacidade de drenagem para lidar com os transbordamentos dos rios, construção de infraestruturas apropriadas (barragens, diques e açudes) • Revisar os drenos com frequência • Melhorar o bombeamento • Criar mapas de enchentes identificando as áreas mais vulneráveis onde as infraestruturas precisam ser protegidas/melhoradas ou evitadas no futuro e levantar as rotas alternativas • Exigir que as futuras rodovias possuam avaliação de risco para enchentes • Restringir a construção nas áreas de alto risco de enchente • Melhorar a gestão nas planícies de inundação • Construir rodovias aptas a enfrentar diferentes tipos de clima • Melhorar os espaços verdes e de proteção a inundação • Melhorar as condições de monitoramento do subleito, especialmente após grandes chuvas e/ou enchentes • Realizar manutenção regular
<p>Aumento simultâneo de temperatura e precipitação (<u>Temperatura e Precipitação</u>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Políticas de uso do solo desencorajando o desenvolvimento em áreas de risco • Avaliar se os materiais utilizados estão nos padrões para suportar o aumento na frequência dos eventos • Adaptar os padrões de construção para os novos eventos • Melhorar o sistema de previsão do tempo a fim de promover melhores planos de ação e melhor se preparar para potenciais danos

Fonte: Elaboração própria, com base em Eichhorst (2009); CEDR (2012); NJTPA (2012); World Road Association (2012)

Com base no levantamento de informações sobre os possíveis defeitos e nas propostas de medidas de adaptação elencadas, é possível fazer uma análise mais focada para este estudo, tendo como base o Índice de Vulnerabilidade da Infraestrutura (IVIR) desenvolvido. A Tabela 4 mostra, de acordo com o IVIR, o tipo de ação – substituição, prevenção ou melhoria – que deve ser tomada, assim como o prazo para a execução das ações mais convenientes para cada classe de IVIR.

Tabela 4. Medidas de adaptação para classes do Índice de Vulnerabilidade

Índice de Vulnerabilidade (IVIR)	Tipo de Ação	Prazo de Execução	Ações
0,71 – 1,00	Substituição	Longo	Retirada completa da estrutura existente e construção de nova estrutura com resistência superior. Considerar execução de novo projeto geométrico.
0,41 – 0,70	Preservação	Médio	Reestruturação de ativos existentes, com substituição de estruturas em caráter pontual.
0,00 – 0,40	Preservação/ Melhoria	Curto	Respostas de Operação & Manutenção. Correção de defeitos locais.

Fonte: Elaboração própria (2018)

A. [Medidas de Política Pública e Institucionais](#)

- Instituição de regulamentação de redução da velocidade máxima;
- Manejo do tráfego, procurando retirar o transporte de carga pesada deste modal e transferindo para modais mais apropriados ao transporte (ferrovias e hidrovias, por exemplo).
- Incentivo a novas tecnologias de pneus que causem menos atrito ao pavimento.
- Restrição ao desenvolvimento de novas rodovias em áreas identificadas como *hotspots*.
- Criação de mapas de enchentes identificando as áreas mais vulneráveis onde as infraestruturas precisam ser protegidas/melhoradas ou evitadas no futuro e levantar as rotas alternativas.
- Exigência de que futuras rodovias possuam avaliação de risco para enchentes;
- Melhorar a gestão nas planícies de inundação.

B. [Medidas de levantamento de dados técnicos e conhecimento científico](#)

- Melhoria das condições de monitoramento do subleito, especialmente após grandes chuvas e/ou enchentes.

- Melhoria do sistema de previsão do tempo a fim de promover melhores planos de ação e melhor se preparar para potenciais danos.
- Avaliação se os materiais utilizados estão nos padrões para suportar o aumento na frequência dos eventos.

C. [Medidas a serem tomadas com as comunidades e/ou grupos específicos](#)

- Desenvolvimento de políticas de uso do solo desencorajando o desenvolvimento em áreas de risco.
- Restrição à construção em áreas de alto risco de enchente.
- Melhoria dos espaços verdes e de proteção à inundação.

D. [Medidas que envolvem intervenção física](#)

- Aumento da capacidade de drenagem para lidar com os transbordamentos dos rios.
- Construção de infraestruturas apropriadas (barragens, diques e açudes).
- Revisão dos drenos com frequência.
- Melhoria do bombeamento em áreas suscetíveis à inundação.
- Realização de manutenção regular.
- Adaptação aos padrões de construção para os novos eventos.
- Retroalimentação das estradas existentes com materiais mais resistentes.
- Construção de rodovias aptas a enfrentar diferentes tipos de clima.
- Uso de diferentes materiais mais resistentes ou mais apropriados, tais como: ligantes mais resistentes, mas ambientalmente seguros, pavimento com percentagens mais elevadas de enchimento, e pavimento do tipo *cheap seal*.
- Utilização de materiais que aumentem a refletância do pavimento, diminuindo sua temperatura.
- Estabelecimento de requisitos mais elevados para os tipos de agregados, visando aumentar o atrito interno.

X.7-MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA A ZONA COSTEIRA

O Relatório de Impactos das mudanças do clima sobre a Zona Costeira Fluminense (ZCFlu) procurou evidenciar que o embasamento legal, as ações políticas, a organização administrativa, a participação da sociedade e o conhecimento sobre a dinâmica ambiental compunham um quadro complexo, que deveria ser, necessariamente, avaliado no contexto do Gerenciamento Costeiro.

As ações preconizadas pela Política Estadual da Mudança do Clima incluem o controle das emissões de GEE, os incentivos à Economia de Baixo Carbono, o fomento a novas formas de geração de energia, o reflorestamento e recuperação de áreas de florestas, as ações conservacionistas e de manejo sustentável das atividades agropecuárias, entre outras medidas de conservação de recursos naturais. No entanto, não prevê ações na ZCFlu, nem mesmo o monitoramento ambiental da indústria de petróleo e gás.

Para cada município da ZCFlu, foram enumeradas as vulnerabilidades atuais e em geral verificou-se baixo nível de consciência e fraca capacidade de resposta a situações de emergência. O levantamento identificou que existem inúmeros problemas costeiros para os quais não se dispõe sequer de informações ambientais mínimas para se diagnosticar suas causas.

As respostas para as mudanças do clima têm sido concentradas exclusivamente no Poder Executivo. Contrariando esta visão, propõe-se que haja uma divisão de responsabilidades com o Legislativo Federal, Estadual e Municipal, de modo a garantir recursos financeiros e governança para ações de longo prazo, condizentes com as escalas temporais das mudanças do clima.

Buscou-se a experiência internacional referente ao monitoramento e à gestão territorial da zona costeira nos EUA, no Reino Unido e na Nova Zelândia. Nos EUA existe vasta informação disponível ao público, inclusive mapas de inundação, sistemas de alerta meteorológico e oceanográfico, estabelecimento de rotas de fuga e instalação de locais de refúgio em caso de desastres naturais. A prática de seguro patrimonial é utilizada como controle de ocupação do litoral, cobrando-se prêmios decrescentes à medida que uma propriedade esteja posicionada mais distante da costa ou do risco de inundação. O *US Army Corps of Engineers* projeta obras de proteção costeira e existe legislação federal e estadual que estabelece dotação orçamentária para monitoramento e proteção costeira, bem como legislação que impede a aplicação de recursos públicos para proteger áreas que estejam em processo de erosão continuada.

Da experiência inglesa, são dignas de nota a estruturação de uma política para a zona costeira, a compartimentação da zona costeira da Inglaterra e do País de Gales e a implantação de mecanismos de consulta popular (<https://www.gov.uk/government/publications/shoreline-management-plans-smps>).

Da experiência neozelandesa, é notável o sistema de monitoramento ambiental conduzido por uma empresa estatal que também recebe contribuições privadas, a *National Institute for Water and Atmospheric Research* (NIWA) (<https://www.niwa.co.nz/about/our-company>). Este seria um modelo organizacional a ser considerado pelo ERJ, pois a empresa além do monitoramento, também é responsável por pesquisas aplicadas.

A multiplicidade de perspectivas de gestão da zona costeira reflete-se também numa multiplicidade de responsabilidades e atribuições legais entre diferentes esferas e órgãos de governo. Seria impossível fazer recomendações de medidas de adaptação às mudanças climáticas para a zona costeira fluminense pensando na competência estrita do governo do Estado. Assim, antes de proceder a estas, os dois parágrafos a seguir sumariam recomendações aos governos federal e municipais que são complementares às feitas para o Estado, apresentadas posteriormente.

Governo federal: Realizar o levantamento batimétrico do Mar Territorial Brasileiro e o levantamento topográfico da Zona Costeira Adjacente visando a elaboração de um Modelo Digital de Terreno Unificado (dito *sem costura* ou *seamless*) da ZCFlu, conduzir o Projeto ALTBAT (mapeamento digital do relevo de fundo do Mar Territorial Brasileiro e ZC adjacente, implementar exigência da NORMAM-11 da Capitania dos Portos que condiciona financiamentos federais para obras e empreendimentos costeiros sujeitos à ação de ondas ou de marés, fomentar pesquisa sobre temas costeiros e mudanças climáticas, transferir para imagens de satélites coletadas pelo INPE e os dados observados em boias para os estados, avaliar a vulnerabilidade de portos e terminais marítimos localizados no ERJ às mudanças do clima de ondas, ventos e elevações transientes do nível do mar (maré meteorológica) e adequar as estruturas de acordo, alterar cota de estradas federais que sejam inundadas ou construir proteção adequada para aquelas localizadas muito próximas ao mar ou deslocar eixo da estrada, identificar e proteger patrimônio histórico que esteja ameaçado por ondas, nível do mar, nível de rio ou ventos.

Governos municipais: Implantar redes de comunicação para alerta de ressacas, chuvas, ventos ou elevações transientes do nível do mar, estabelecer Pontos de Reunião e Rotas de Fuga seguras em

caso de eventos costeiros extremos, remover a população residente em áreas costeiras de risco, impedir a ocupação ou a urbanização de áreas de risco ou incompatíveis com a morfodinâmica local, ou sujeitas à erosão costeira, ou terrenos inundáveis às margens de estuários e sistemas lagunares, identificar formas alternativas de aproveitamentos econômicos de áreas alagáveis, adequar as redes de drenagem urbana às novas condições hidrológicas e de nível do mar, e promover atividades para atualização dos professores das redes municipais de ensino em temas relacionados à dinâmica ambiental costeira.

A. Medidas de Política Pública e Institucional

- Aprovação da Lei Estadual do Gerenciamento Costeiro, regulamentando-a, estabelecendo uma segmentação para a ZCFlu, criando os Fóruns Regionais, e prevendo recursos financeiros.
- Estabelecimento de diretrizes para utilização de impostos federais e estaduais (*royalties* do petróleo, imposto foreiro dos terrenos de marinha, taxa de faróis) que deveriam ser repassados aos municípios para fins de reduzir a exposição a fenômenos marinhos e costeiros.
- Adaptação do Decreto 43.216/2011 que regulamenta a Política Estadual da Mudança do Clima às especificidades da Zona Costeira, incluindo os impactos na ZC dos diversos usos de recursos hídricos e sedimentológicos nas bacias hidrográficas; as atividades de pesca e de aquicultura; o reflorestamento de manguezais; os impactos da indústria de petróleo e gás.
- Articulação política com os diversos municípios para que sejam implementadas legislações municipais que contemplem o Gerenciamento Costeiro e a Política de Mudanças do Clima.
- Capacitação do corpo técnico dos órgãos públicos estaduais, especialmente o INEA, para tratar de assuntos relacionados ao meio ambiente marinho ou costeiro e à engenharia costeira.
- Promoção da descentralização das ações de Defesa Civil, especialmente na Zona Costeira, reforçar e reformular as ações regionais criando Centros de Operação Regionais (COR), um para cada Segmento Costeiro, com atribuições semelhantes às do COR-Rio, com as funções de coordenar ações de Defesa Civil, receber e repassar ao INEA informações ambientais da respectiva área de cobertura, incluindo manutenção da rede de monitoramento; apoiar os municípios necessitados; divulgar informes à população sobre eventos extremos, incluindo ressacas e maré meteorológica.
- Organização de cursos de capacitação ou de atualização em temas relacionados ao ambiente costeiro direcionado a profissionais dos órgãos ambientais, estaduais e municipais.
- Criação ou adaptação de cursos técnicos de nível médio e pós-médio localizados no ERJ que contemplem hidrologia, oceanografia, meteorologia, hidrografia e geomorfologia.

- Incentivo e/ou ampliação da formação de professores para Educação Fundamental em temas relacionados ao ambiente costeiro nas IES do estado (UERJ, UENF, UEZO).
- Fomento a projetos de pesquisa e de formação de pessoal técnico para temas costeiros.

B. [Medidas de levantamento de dados técnicos e de conhecimento científico](#)

- Garantia de apoio logístico, operacional, financeiro e político para a realização do levantamento geodésico da ZCFlu, incorporando a parcela submersa (mar territorial) e a parcela emersa, visando a elaboração de um MDT.
- Implantação de Rede Estadual de Monitoramento Costeiro (REMCo), que contemple, de forma integrada, o monitoramento meteorológico, oceanográfico, geomorfológico, e geológico nos diversos segmentos costeiros do ERJ, capacitar instituição para efetuar o tratamento e a interpretação dos dados coletados, divulgar as informações obtidas.
- Condução de mapeamento e cubagem de jazidas de areias ao longo da costa fluminense, para fins de utilização em engordamentos artificiais de praias.

C. [Medidas a serem tomadas com as comunidades e/ou grupos específicos](#)

- Identificação da população residente em áreas de risco (encostas, restingas, pontais de praia, calhas de rios, estuários e baías, manguezais), suscetíveis a deslizamentos, inundação ou erosão.
- Verificação da resiliência da rede de esgotamento sanitário em caso de elevação transiente do nível do mar (maré meteorológica). O mesmo para os demais serviços públicos afins.
- Estabelecimento de linhas de financiamento à população afetada por desastres naturais.

D. [Medidas que envolvem intervenção física](#)

- Estabelecimento de novas rotas de navegação nas baías e lagoas fluminenses, como medida emergencial de alternativa de transporte em caso de inundação de vias públicas.
- Inspeções periódicas da integridade física dos emissários submarinos.
- Realização de dragagem de portos e de canais de acesso, com aproveitamento das areias dragadas.
- Construção ou manutenção de diques de proteção contra inundação ao longo de estuários e baixadas.

- Manutenção de embocaduras lagunares e retornar a areia à praia.
- Engordamento de praias sujeitas a erosão ou onde seja inviável a remoção de benfeitorias.
- Construção de muros de proteção costeira capazes de resistir à ação das ondas.
- Alteração de cotas de estradas estaduais que sejam inundadas ou construir proteção adequada para aquelas localizadas muito próximas ao mar ou deslocar eixo da estrada.

X.8-MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA A AGENDA VERDE

A adaptação pode ser entendida como um processo de ajuste dos sistemas naturais e humanos diante dos efeitos atuais e previstos das mudanças do clima. Nos sistemas humanos, a adaptação procura moderar ou evitar danos ou explorar oportunidades benéficas. Em alguns sistemas naturais, a intervenção humana pode facilitar o ajuste ao clima esperado e seus efeitos (FIELD et al., 2014). Assim, são indicadas medidas que visam aumentar a resiliência dos ecossistemas e agroecossistemas, bem como das populações humanas que dependem destes.

Considerando o potencial adaptativo dos ecossistemas, as medidas indicadas nesta Seção são centradas no conceito de Adaptação baseada em Ecossistemas (AbE). Nesse sentido, além das estruturas existentes no Brasil e no ERJ, destacadas na Seção I deste Relatório, que podem facilitar a implementação da AbE, salienta-se também o Portal da Restauração Florestal Fluminense, o Observatório Florestal Fluminense e o Banco Público de Áreas para Restauração. Do lado do setor agropecuário, destacam-se o Plano ABC, e Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO), que têm como componentes centrais a recuperação dos agroecossistemas, contribuindo para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas. De forma semelhante, o Programa de Desenvolvimento Rural Sustentável em Microbacias Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro (Rio Rural), promove a adoção de práticas agroecológicas e de conservação dos recursos naturais, apresentando potencial de sinergia entre mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

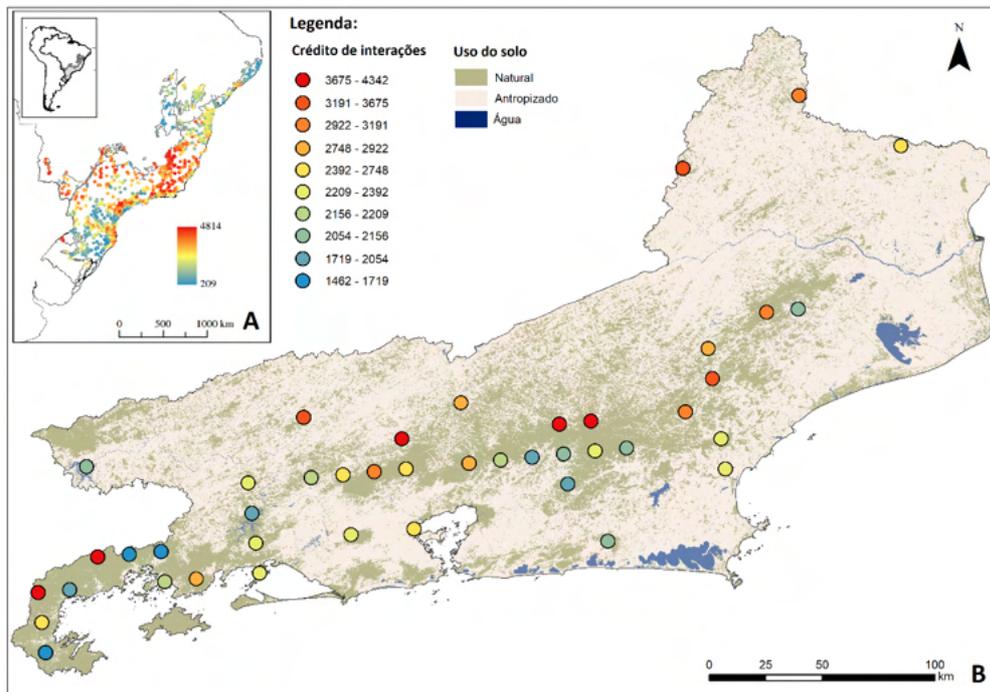
Apesar do grande potencial da restauração de APP (Áreas de Preservação Permanente) e RL (Reservas Legais) para a adequação ambiental das propriedades rurais e como uma medida de AbE, existem diversas limitações para que ganhe escala – como os custos de restauração para proprietários rurais, a insuficiência da assistência técnica e a deficiências das cadeias produtivas relacionadas à restauração: tanto do lado dos insumos (sementes e mudas) como de mercados (produtos florestais e serviços ambientais).

Considerando a necessidade de restauração para o aumento de habitats e da conectividade para a biodiversidade, como o potencial da restauração para a geração de empregos e fortalecimento da economia regional, recomenda-se como principal estratégia de AbE no ERJ a promoção da Restauração de Paisagens Florestais (RPF), uma vez que esta combina mitigação, adaptação e melhoria da qualidade de vida humana (RIZVI et al., 2015). A RPF pode ser definida como “*um processo planejado que visa reaver a integridade ecológica e aumentar o bem-estar humano em paisagens degradadas ou desflorestadas*” (MANSOURIAN et al., 2005; 2017). Nesta perspectiva, uma ampla gama de ações que visam recuperar ecossistemas degradados fazem parte do *continuum* restaurativo, incluindo a restauração ecológica *stricto sensu*, mas não se limitando a ela, a partir do entendimento de que esta integração fornece melhores condições para a recuperação em larga escala.

Ressalta-se que a restauração é uma medida complementar à conservação dos remanescentes, não devendo justificar novos desmatamentos (MCDONALD et al., 2016). Diversos fragmentos de vegetação necessitam de medidas de manejo como o controle de espécies invasoras e enriquecimento ecológico, tanto com a reintrodução de plantas extintas localmente como também através da reintrodução de fauna. Nesse sentido, destaca-se o estudo publicado recentemente por Marjakangas et al. (2018), no qual os autores identificam áreas prioritárias para a reintrodução de fauna na Mata Atlântica. Essas áreas prioritárias são definidas a partir do crédito de interações, que pode ser definido como o número de interações que podem ser restauradas em determinada área a partir da colonização ou reintrodução de espécies (GENES et al., 2017). Na Mata Atlântica, o crédito espacial das interações ecológicas variou entre 209 e 4.814 interações (Figura 22A). Já no ERJ, o crédito que variou entre 1.463 e 4.342, demonstrando a importância de ações de refaunação para a manutenção das funções ecossistêmicas dos remanescentes (Figura 22B). Dentre os 43 pontos avaliados no ERJ, 32 estão dentro de alguma Unidade de Conservação (UC), sendo 22 destes em UC de Proteção Integral, que podem ser consideradas como mais adequadas para este tipo de ação.

Figura 22. Crédito espacial de interações ecológicas a serem restauradas através de reintroduções

– ERJ



Fonte: Elaboração própria (2018)

Destaca-se também que a recuperação de agroecossistemas é um pilar essencial da RPF (DE PINTO et al., 2017). Tendo em vista a baixa produtividade das pastagens do ERJ, o planejamento conjunto entre restauração e intensificação da produção agropecuária podem ser consideradas uma oportunidade para a RPF. A recuperação e o redesenho de agroecossistemas, ou seja, a conversão de sistemas simplificados para sistemas complexos como, por exemplo, de monocultivos para sistemas agroflorestais (SAF), podem contribuir para o aumento da resiliência dos próprios agroecossistemas (ALTIERI et al., 2015). Além disso, agroecossistemas complexos podem contribuir para a conservação da biodiversidade, por se apresentarem como matrizes mais permeáveis para diversas espécies ou até mesmo como habitat (ex: ESTRADA et al., 2012). Assim, considerando a necessidade de aumento da produção agropecuária para reduzir a vulnerabilidade da segurança alimentar da população do ERJ, recomenda-se também a ampliação dos incentivos à produção de base agroecológica e o fortalecimento das cadeias produtivas locais, agregando valor aos produtos e fortalecendo a economia do Estado.

As cores mais quentes representam hotspots de crédito, enquanto as cores mais frias representam locais onde há menos interações de dispersão de sementes a serem restauradas por reintroduções.

Fonte: A) Marjakangas et al. (2018) B) Elaboração própria a partir dos dados gentilmente cedidos por Marjakangas et al. (2018).

Ressalta-se também o potencial de integração destas iniciativas com a gestão de resíduos sólidos, destinando resíduos orgânicos para a compostagem ao invés de aterros sanitários. Desta maneira, a compostagem apresenta-se como uma oportunidade para a recuperação de solos e para a mitigação das mudanças climáticas, reduzindo gases de efeito estufa (GEE) derivados do transporte destes resíduos e da sua decomposição anaeróbica desassistida.

A Tabela 5 resume os principais riscos para a biodiversidade, agropecuária e cidades e as medidas de adaptação associadas. Em seguida, as medidas de adaptação são agrupadas conforme nos demais temas e setores.

Tabela 5. Principais riscos para a biodiversidade, agropecuária e cidades e as medidas de adaptação

Riscos	Medidas de Adaptação
BIODIVERSIDADE	
Fragmentação e redução do tamanho de populações e perda de diversidade genética Perda de espécies e interações ecológicas	Aumento da proteção através do fortalecimento da gestão de UCs e incentivo a criação de RPPN; restauração de habitats e aumento da conectividade através da criação de corredores ecológicos adoção de agroecossistemas mais complexos, reintrodução de espécies e reforços populacionais; controle de espécies invasoras.
Redução da qualidade de ecossistemas aquáticos (ex: eutrofização, assoreamento)	Recuperação e manutenção de áreas naturais no entorno dos corpos hídricos (APP) via isolamento de nascentes e áreas de recarga hídrica, restauração de matas ripárias, desenho de UC para a conservação de comunidades aquáticas, implantação de aceiros e despoluição de ecossistemas aquáticos.
AGROPECUÁRIA	
Redução na produção das pastagens	Adoção de técnicas de manejo de pastagem: rotação, espécies adaptadas, diversificação da alimentação animal.
Estresse animal (conforto térmico)	Adoção de agroecossistemas mais complexos, como arborização das pastagens e implementação de sistemas silvopastoris de alta diversidade.
Reduções na produção agrícola	Adoção de sistemas de produção agroecológicos: agroecossistemas mais complexos (policultivos e SAF), diversificação, utilização de variedades adaptadas à seca, práticas para a conservação e recuperação de solos, como cobertura, compostagem, adubação verde, rotação.
Perda de polinizadores	Aumentar a heterogeneidade ambiental das paisagens, com campos de cultivo menores, agroecossistemas mais complexos, faixas destinadas ao plantio de flores em terras marginais, aumento da oferta de recursos para a nidificação, redução do uso de agrotóxicos, estímulo à meliponicultura.

Riscos	Medidas de Adaptação
Redução da disponibilidade e da qualidade da água	Construção de barraginhas e fossas biodigestoras (ou ecológicas), recuperação e manutenção de áreas naturais no entorno dos corpos hídricos (APP), e práticas de conservação do solo.
CIDADES	
Enchentes	Infraestruturas que facilitam a infiltração da água, parques lineares, telhados verdes, dispositivos de drenagem, como bacias, poços e valas de infiltração, bioretenção e pavimentos permeáveis.
Deslizamento de terra	Proteção de remanescentes florestais e recuperação de encostas.
Ilhas de calor	Infraestrutura para a absorção de calor: arborização urbana, parques lineares, telhados verdes e jardins verticais.
Segurança alimentar e nutricional	Incentivo à agricultura urbana e peri-urbana, hortas comunitárias, centrais de compostagem, promoção de circuitos curtos de comercialização, estímulo a abertura de novas feiras orgânicas e agroecológicas.

Fonte: Elaboração própria (2018)

Por fim, seguem as medidas de adaptação da Agenda Verde agrupadas como nos demais setores:

A. Medidas de Política Pública e Institucionais

- Garantia de manutenção dos remanescentes de habitat, melhorar a gestão de Áreas Protegidas e fortalecer os programas de conservação, mitigando outras ameaças à biodiversidade (como perda de habitat, fragmentação, espécies invasoras e poluição).
- Promoção do envolvimento da sociedade através de estruturas participativas de governança (ex: comitês de bacia hidrográfica).
- Ampliação dos incentivos fiscais e socioambientais para a conservação e restauração (ex: programas de PSA e incentivos fiscais para a criação de RPPN);
- Incentivo a atividades de ecoturismo e agroecoturismo.
- Implementação do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) e identificar áreas prioritárias para restauração (considerando o potencial de regeneração natural e custos).
- Estruturação e fortalecimento da cadeia produtiva (agro)florestal – desde a coleta de sementes e produção de mudas até a comercialização de produtos oriundos das áreas em processo de recuperação.
- Facilitação do acesso a linhas de crédito para que os proprietários consigam viabilizar a recuperação de APP e RL.

- Incentivo ao cultivo de alimentos e o desenvolvimento da silvicultura de espécies nativas como alternativas econômicas para a recuperação da vegetação nativa.
- Fortalecimento das políticas voltadas à produção agroecológica, com a capacitação dos técnicos extensionistas e ampliação da Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER), ampliação dos recursos e facilitação do acesso a linhas de crédito voltadas para a produção sustentável (Plano ABC e PRONAF).
- Promoção de circuitos curtos de comercialização (incluindo compras institucionais como PAA e o PNA e estimulando a abertura de novas feiras orgânicas e agroecológicas nas cidades).
- Implementação de programas de conservação de polinizadores, estimulando a redução do uso de agrotóxicos e promovendo o plantio de flores em áreas agrícolas.

B. [Medidas de levantamento de dados técnicos e conhecimento científico](#)

- Promoção de estudos voltados para uma melhor compreensão sobre a relação entre biodiversidade, mudanças climáticas e impactos sobre os serviços ecossistêmicos.
- Incentivo a pesquisas e programas de monitoramento de longa duração, facilitando o aprendizado contínuo e o manejo adaptativo.
- Fomento a abordagens participativas de monitoramento, pautados na ciência cidadã.
- Avanço no conhecimento relacionado à coleta de sementes, produção de mudas e corte seletivo.
- Promoção de estudos sobre o potencial de retorno econômico de projetos de restauração, gerando receitas, e não apenas dispêndio para os proprietários de terras.
- Fortalecimento da perspectiva agroecológica nas instituições de ensino, pesquisa, defesa agropecuária e Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER).

C. [Medidas a serem tomadas com as comunidades e/ou grupos específicos](#)

- Promoção de campanhas de conscientização para a sociedade como um todo sobre a importância da biodiversidade para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas.
- Promoção de campanhas voltadas para o consumo responsável e local, incluindo a adoção de dietas com menor dependência de produtos de origem animal.
- Desenvolvimento de projetos de educação ambiental com os produtores, cooperativas e tomadores de decisão sobre a importância da biodiversidade para a produção agropecuária.

- Fornecimento de apoio técnico a agricultores para a implementação de agroecossistemas mais complexos (ex: sistemas agroflorestais biodiversos, complexos e sucessionais; sistemas silvipastoris; ILPF).
- Criação de escolas técnicas rurais, incentivando o desenvolvimento rural sustentável e valorizando o trabalhador rural e evitando o êxodo rural.
- Incentivo à produção de alimentos em regiões urbanas, de modo a reduzir a vulnerabilidade da população a eventos extremos.
- Priorização de ações de incentivo a restauração e práticas agroecológicas em assentamentos rurais, especialmente com foco na juventude rural e em mulheres agricultoras.

D. Medidas que envolvem intervenção física

- Aumento da conectividade da paisagem através da promoção da RPF, baseada em diferentes estratégias de restauração, incluindo não só o plantio de mudas e o manejo da regeneração natural, mas também a intensificação sustentável da produção agropecuária, com o incentivo a adoção de agroecossistemas mais complexos como SAF e sistemas silvopastoris.
- Promoção do plantio de faixas de flores para polinizadores e incentivar a utilização de culturas agrícolas na fase inicial dos plantios de recuperação.
- Reintrodução de espécies dispersoras de sementes em áreas defaunadas porém adequadas para a sua permanência buscando restabelecer interações ecológicas.

REFERÊNCIAS CITADAS

ALMEIDA , M. C. J., NAKAZAWA , A., TATIZANA , C. Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos no Município de Petrópolis, RJ. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Anais, 2: 129 – 133, 1993.

ARAÚJO, P.H.C. Ensaio econômico sobre ondas de calor e seus impactos sobre a saúde no Brasil. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Economia Aplicada, UFV, 2017.

ARMOND, N. B., SANT'ANNA NETO, J. L. Entre eventos e episódios: ritmo climático e excepcionalidades para uma abordagem geográfica do clima no município do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Climatologia, 2017, 20.

ASCE (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS), 2015. Adapting Infrastructure and Civil Engineering Practice to a Changing Climate. Edited by Olsen, J.R. ISBN 978-0-7844-7919-3, 103p.

BARROS, A. T. Agenda verde internacional e seus impactos no Brasil. Revista de Estudos e Pesquisas sobre as Américas, 9(2), pp. 1-36, 2015.

BERNARDINO A. F. et al. Benthic Estuarine Communities in Brazil: Moving Forward to long term Studies to Assess Climate Change Impacts. Brazilian Journal of Oceanography, 64. DOI: 10.1590/S1679-875920160849064, 2016.

BOLNICK, J. et al. A pro-poor urban agenda for Africa: clarifying ecological and development issues for poor and vulnerable populations. Human Settlements Discussion Paper Series. Theme: Urban Change – 2. A report to the Ford Foundation, 2006.

BRAND, E.W., PREMCHITT, J., PHILLIPSON H. B. Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. In: Proceedings of 4th International Symposium on Landslides, v.1, pp. 377–384, Toronto, Canada, 1984.

BRASIL, Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: volume 2: estratégias setoriais e temáticas: portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016 / Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA. 2 v, 2016.

BROWN, S., NICHOLLS, R., HANSON, S., BRUNDRIT, G., DEARING, J. A., DICKSON, M. E., GALLOP, S. L., GAO, S., HAIGH, I. D., HINKEL, J., JIMENEZ, J. A., KLEIN, R. J. T., KRON, W., LAZAR, A. N., NEVES, C. FREITAS., NEWTON, A., PATTIARATCHI, C., PAYO, A., PYE, K., SANCHEZ-ARCILLA, A., SIDDALL, M., SHAREEF, A., TOMPKINS, E. L., VAFEIDIS, A. T., VAN MAANEN, B., WARD, P. J. & WOODROFFE, C. D. (2014). Shifting perspectives on coastal impacts and adaptation. Nature Climate Change, 4 (September), 752-755.

CÂMARA, F. P., GOMES, A. F., SANTOS, G. T. D., & CÂMARA, D. C. P. Clima e epidemias de dengue no Estado do Rio de Janeiro. *Rev Soc Bras Med Trop*, 42(2), 137-40, 2009.

CAMPBELL, R. H. Soil slips, debris flows, and rainstorms in the Santa Mônica Mountains and vicinity, southern California. In: US Geological Survey Professional, Paper # 851, pp. 51, U.S. Government Printing Office, Washington DC, 1975.

CHOU, C.S., et al. 2014a. Evaluation of the Eta simulations nested in three Global Climate Models. American Journal of Climate Change, 3: 438-454.

CHOU, C.S., et al. 2014b. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. *American Journal of Climate Change* 3: 512-525.

COCK, J. Connecting the Red, Brown and Green: the environmental justice movement in South Africa - A case study for the UKZN Project entitled: globalisation, marginalisation and new social movements in post-apartheid South Africa. School of Development Studies, University of KwaZulu-Natal, Durban – South Africa, 2004.

COELHO-ZANOTTI, M S. S., & LUIZ TEIXEIRA GONÇALVES, F. (2010). Statistical analysis aiming at predicting respiratory tract disease hospital admissions from environmental variables in the city of São Paulo. *Journal of environmental and public health*, 2010.

COLLINS, W.J.; BELLOUIN, N.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; GEDNEY, N.; HALLORAN, P.& HINTON, T. 2011. Development and evaluation of an Earth-System model – HadGEM2. *Geoscientific Model Development* 4: 1051–1075.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, 2018. Disponível em <<http://dw.ceasa.gov.br>>. Acesso em: 17 de outubro de 2018.

CONFALONIERI, U. E., & MARINHO, D. P. Mudança climática global e saúde: perspectivas para o Brasil. *Revista Multiciência*, 8, 48-64, 2007.

COPPETEC. Mapeamento de áreas de riscos, frente aos deslizamentos de encostas no Município de Angra dos Reis, RJ, Governo do Estado do Rio de Janeiro, Secretaria de Estado do Ambiente – SEA, Instituto Estadual do Ambiente – INEA, 2012.

COPPETEC. Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro. Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente LabHid, COPPE/UFRJ, 2014.

CURRIERO, F. C., PATZ, J. A., ROSE, J. B., & LELE, S. The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948–1994. *American journal of public health*, 91(8), 1194-1199, 2001.

DECLERCK, F. A. J. et al. Agricultural ecosystems and their services: the vanguard of sustainability? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 23, pp. 92–99, 2016.

DECO – Departamento de Conservação de Ecossistemas. Impactos da Mudança do Clima na Mata Atlântica. Brasília, DF: DECO, 108 p, 2018.

DELMONACO, G.; IPPOLITO, F.; MARGOTTINI, C. The CEC Project. Meteorological Factors influencing slope stability and slope movement type: evaluation of hazard prone areas. In: *Proceedings of 1st Review Meeting of Hydrological and Hidrogeological Risks*, pp. 259-283, R. Casale ed., Official Publications of European Communities, Bruxelas, 1995.

DERECZYNSKI, C.P. 2011. Impactos sobre o meio físico: Clima e mudanças climáticas na Cidade do Rio de Janeiro. Pp. 43-73. In: GUSMÃO, P.P. (coord.). *Megacidades, vulnerabilidades e mudanças climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. UFRJ e INPE. Rio de Janeiro/RJ.

DERECZYNSKI, C.P.; LUIZ SILVA, W. & MARENGO, J.A. 2013. Detection and projections of climate change in Rio de Janeiro, Brazil. *American Journal of Climate Change* 2 (1): 25-33.

DIKSHIT, A., SATYAM, N., Rainfall thresholds for the prediction of landslides using empirical methods in Kalimpong, Darjeeling, India. JTC1 Workshop on Advances in Landslide Understanding, Barcelona, Spain, 2017.

D'ORSI R.N., FEIJÓ R.L.; PAES, N.M. Rainfall and Mass Movements in Rio de Janeiro. In: Proceedings of 31st International Geological Congress, (CD) Rio de Janeiro, Brasil, 2000.

D'ORSI, R. N. Correlação entre Pluviometria e Escorregamentos no Trecho da Serra dos Órgãos da Rodovia Federal BR-116 RJ (Estrada Rio-Teresópolis). Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

EMATER-RJ - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio de Janeiro. Acompanhamento Agrícola, 2018. Disponível em <<http://www.emater.rj.gov.br/tecnica.asp>>. Acesso em: 12 de setembro de 2018.

ENDO, T Probable distribution of the amount of rainfall causing landslides. Annual report, Hokkaido Branch, Govern. Forest Experiment Station, pp.123– 136, Sapporo, Japan, 1970.

FEIJÓ, R.L.; PAES, N.M.; D'ORSI, R.N. Chuvas e movimentos de massa no município do Rio de Janeiro. In: 3ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (3ª COBRAE). Anais. Rio de Janeiro. p.223-230, 2001.

FRANÇOSO, R. D. Relatório do Produto nº 3 do Contrato nº 2015/000191 – BRA/11/001: Mapas da distribuição espacial futura de nichos climáticos dos biomas brasileiros. Brasília, 2016.

GEO-RIO. Manual Técnico de encostas. Prefeitura do Rio de Janeiro. Volume 1 - 517 páginas e Volume 2 - 187 pp, 2014.

GHINI, R. et al. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 43(2), pp. 187-194, 2008.

GIANNINI, T. C., CORDEIRO, G. D., FREITAS, B., SARAIVA, A. M., IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. Journal of Economic Entomology, 108, pp. 839-848, 2015.

GIANNINI, T. C. ET AL. Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. PloS one, 12(8), e0182274, 2017.

GRACIE, R., BARCELLOS, C., MAGALHÃES, M., SOUZA-SANTOS, R., & BARROCAS, P. R. G. Geographical scale effects on the analysis of leptospirosis determinants. International journal of environmental research and public health, 11(10), 10366-10383, 2014.

HENDERSON, R.M.; REINERT, S.A.; DEKHTYAR, P. & MIGDAL, A. 2018. Climate change in 2018. Implications for business. Harvard Business School. Cambridge, MA. EUA.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. Agricultural and Forest Meteorology, 103, pp. 137-157, 2000.

HORTA P. A. et al. Rhodoliths in Brazil: Current Knowledge and Potential Impacts of Climate Change. Brazilian Journal of Oceanography, 64. In press. DOI: 10.1590/s1679-875920160870064, 2016.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C. B. et al. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32, 2014.

JEPPESEN, E. et al. Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. *Hydrobiologia*, 646, pp. 73–90, 2010.

KANJI, M. A., MASSAD, F., CRUZ, P. T., Debris flows in areas of residual soils: occurrence and characteristics. In: Proceedings of International Workshop on Occurrence and Mechanisms of Flows in Natural Slopes and Earthfills. IWFLAWS 2003, Associazione Geotecnica Italiana - v.2, pp.1–11, Sorrento, Italia, 2003.

KASECKER, T. P., RAMOS-NETO, M. B., DA SILVA, J. M. C., SCARANO, F. R. Ecosystem-based adaptation to climate change: defining hotspot municipalities for policy design and implementation in Brazil. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2017, 1-13.

KHAN, S.. Towards sustainability: managing integrated issues of the Brown and the Green Agenda in water governance and hazard mitigation. *Policy Brief*, pp. 1-9, 2014.

LA ROVERE, E. L. & SOUSA, D. S. Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro. Relatório. Centro Clima – COPPE, 2016.

LUIZ SILVA, W. & DEREZYNSKI, C.P. 2014. Caracterização climatológica e tendências observadas em extremos climáticos no Estado do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências* 37 (2): 123-138.

LUMB, P. Slope failures in Hong Kong. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, London, v.8, p.31-35, 1975.

LUIZ, B. J., Pluviosidade Crítica e Aspectos Agravantes de Deslizamentos nas Encostas da Cidade do Rio de Janeiro – Período de 1998 A 2002. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

LUIZ SILVA, W., DEREZYNSKI, C.P. & CHOU, S.C. 2011. Tendências observadas e projeções futuras de extremos climáticos na Cidade do Rio de Janeiro. In: IV Simpósio Internacional de Climatologia. Mudanças Climáticas e seus Impactos em Áreas Urbanas. João Pessoa/PB.

MARENCO, J.A.; ALVES, L.; VALVERDE, M.; ROCHA, R. & LABORBE, R. 2007b. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 5. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Brasília/DF.

MAPBIOMAS, 2018. Disponível em <<http://mapbiomas.org>>. Acesso em: 17 de outubro de 2018.

MARINO, N. dos A. C. et al. Geographical and experimental contexts modulate the effect of warming on top-down control: a meta-analysis (M Anderson, Ed.). *Ecol. Lett*, in press, 2018.

MARGULIS, S., 2016. - Rumo a um Framework para Cidades e Mudanças do Clima no Brasil. Com Albuquerque, L. e Morais, L.M. The World Bank. Relatório em análise interna do Banco Mundial. Brasília, Junho 2016.

MARGULIS, S., 2017. Por que Estados, Municípios e Cidades tem que se adaptar às Mudanças Climáticas? WWF (World Wildlife Fund, Brasil). Brasília, Dezembro de 2017, 73p.

MARGULIS, S. AMONI, M., PEREIRA, H., GRAMKOW, C., MENEZES, L.S., CASTRO, T., BANDEIRA, A., ROSMAN, P.C.C., 2018. Mudança do Clima, Infraestruturas Críticas no Brasil e Dano Econômico (Brasil 2040). Relatório Final. Projeto do Ministério do Meio Ambiente “*Geração de Subsídios Técnicos para Elaboração da Estratégia de Implementação dos Compromissos da Temática de Adaptação da NDC Brasileira*”. Instituto Internacional para a Sustentabilidade, GIZ e Instituto Clima e Sociedade. Brasília, 136p.

MARTINELLI, G., MARTINS, E., MORAES, M., LOYOLA, R., AMARO, R. Livro Vermelho da Flora Endêmica do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro: SEA – Secretaria de Estado do Ambiente: Andrea Jakobsson Estúdio, 456p, 2018.

MARTINS, T. da F.; Pluviometria crítica de escorregamentos na cidade do Rio de Janeiro: Comparação entre regiões e períodos. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.

MENDES, C.S. Mudanças climáticas e seus impactos econômicos sobre a saúde humana: uma análise da leishmaniose e da dengue no Brasil. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Economia Aplicada, UFV, 2013.

MENDES, C. G.; Pluviosidade Crítica e Aspectos Geológicos-Geotécnicos Deflagradores de Deslizamentos nas Encostas da Cidade do Rio de Janeiro – Período de 2010 a 2012. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

MESINGER, F.; CHOU, S.C.; GOMES, J.L.; JOVIC, D.; BASTOS, P. & BUSTAMANTE, J.F. 2012. An upgraded version of the Eta Model. *Meteorology and Atmospheric Physics* 116: 63-79.

MIGUEZ, M.G., DI GREGORIO, L.T., & VERÓL, A. P., 2018. Gestão de Risco e Desastres Hidrológicos. 1ª Ed. Elsevier, Rio de Janeiro. ISBN 978-85-352-8731-8

MIRANDA, F.M. Índice de Susceptibilidade do Meio Físico a Inundações como Ferramenta para o Planejamento Urbano. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.

MONZONI, M. Diretrizes para formulação de políticas públicas em mudanças climáticas no Brasil. Centro de Estudos em Sustentabilidade da EAESP e Observatório do Clima, São Paulo, 2009.

MUNANG, R. et al. Climate change and ecosystem-based adaptation: a new pragmatic approach to buffering climate change impacts. *Curr Opin Environ Sustain*, 2013, 5(1), pp. 67–71. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.12.001>

NOBRE, C. A., YOUNG, A. F., SALDIVA, P., MARENGO, J. A., NOBRE, A. D., ALVES JR, S., ... & LOMBARDO, M. Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. Embaixada Reino Unido, Rede Clima e Programa FAPESP em Mudanças Climáticas, 2010.

OPDAM, P., WASCHER, D. Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. *Biological Conservation*, 117(3), pp. 285-297, 2004.

PEDROSA, M. das G. A. Análise de Correlações entre Pluviometria e Escorregamento de Taludes. 1994. 343 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1994.

PEREDA, P. C., DE OLIVEIRA ALVES, D. C., & DE ALMEIDA RANGEL, M. Elementos Climáticos e Incidência de Dengue: Teoria e Evidência para Municípios Brasileiros. In 33^o Meeting of the Brazilian Econometric Society, 2011.

PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R., SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002.

PFAFSTETTER, O. Chuvas Intensas no Brasil: Relação entre Precipitação, Duração e Frequência de Chuvas em 98 Postos com Pluviógrafos – Rio de Janeiro, Departamento Nacional de Obras de Saneamento - Coordenadoria de Comunicação Social, 2a. ed., 426p., 1982.

PNUD. Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil, 2018. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil>>. Acesso em: 13 de out. 2018.

POTTS, S. G. et al. Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Report. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. pp36. ISBN 9789280735680, 2016.

RAGHUNATHAN, N., FRANÇOIS, L., HUYNEN, M. C., OLIVEIRA, L. C., HAMBUCKERS, A. Modelling the distribution of key tree species used by lion tamarins in the Brazilian Atlantic forest under a scenario of future climate change. *Regional Environmental Change*, 15(4), pp. 683-693, 2015.

SCARANO, F. R. Ecosystem-based adaptation to climate change: concept, scalability and a role for conservation science. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 2017, 15(2), pp. 65-73.

SEA/INEA - Secretaria do Ambiente. O estado do ambiente: indicadores ambientais do Rio de Janeiro/ Organizadoras: Júlia Bastos e Patrícia Napoleão. – Rio de Janeiro: SEA; INEA, 160 p. ISBN 978-85-63884-05-3, 2011.

SEAPPA - Secretaria de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento. Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura do Estado do Rio de Janeiro (PLANO ABC-RJ), 2018.

SETTELE, J. et al. Terrestrial and inland water systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B. et al., 2014. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 271-359, 2014.

SILVA, G. F. Influência da pluviometria em movimentos de massa nas encostas da rodovia BR-116/RJ. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.

SIQUEIRA, A. P. P., TUBENHLAK, F., FONSECA, M. F. D. A. C., FELIPPE, E. L. D. C. Sistemas Participativos de Garantia no estado do Rio de Janeiro, Brasil: Para além da garantia das qualidades dos produtos orgânicos. *Cadernos de Agroecologia*, 13(1), 2018.

SNEYERS, R. 1975: Sur l'analyse statistique des series d'observations. Genève. Note technique, 143. Organisation Météorologique Mondiale. 192 p.

SNV - Sistema Nacional de Viação. 2015. Plano Nacional de Viação e Sistema Nacional de Viação.

SOUZA, E. C. D., COELHO, A. B., LIMA, J. E. D., CUNHA, D. A. D., & FÉRES, J. G. Impactos das mudanças climáticas sobre o bem-estar relacionado à saúde no Brasil, 2013.

STRASSBURG, B. et al. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *Global Environmental Change*, 28, pp. 84-97, 2014.

TATIZANA, C., OGURA, A. T., CERRI, L. E. S., ROCHA, M. C. M., Modelamento numérico da análise de correlação entre Chuvas e Escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar. In: Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, v. 2, pp. 237-248, ABGE, São Paulo (SP), Brasil, 1987.

TRENBERTH, K.E. 2015. Has there been a hiatus? *Science* 349: 691-692.

THE U.S. GLOBAL CHANGE RESEARCH PROGRAM (USGCRP). 2017. Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment. Vol. I WUEBBLES, D.J., D.W. FAHEY, K.A. HIBBARD, D.J. DOKKEN, B.C. STEWART, AND T.K. MAYCOCK (eds.). U.S. Global Change Research Program. Washington, DC, USA. 470 p.

VARGAS Jr, E., COSTA FILHO, L.M., PRADO CAMPOS, L.E. A study of the relationship between the stability of slopes in residual soils and rain intensity. In: Proceedings of International Symposium on Environmental Geotechnology, pp.491-500, Bethlehem – Pennsylvania, EUA, 1986.

VIANA, V.J., 2016. Gestão de risco de desastres no Brasil: leitura das estratégias locais de redução de riscos de inundação em Nova Friburgo, RJ. Tese de Doutorado - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 407f. : il.

WUEBBLES, D.J., D.R. EASTERLING, K. HAYHOE, T. KNUTSON, R.E. KOPP, J.P. KOSSIN, K.E. KUNKEL, A.N. LEGRANDE, C. MEARS, W.V. SWEET, P.C. TAYLOR, R.S. VOSE, AND M.F. WEHNER. 2017. Our globally changing climate. In: Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment. Vol. Pp. 35-72. In: WUEBBLES, D.J., D.W. FAHEY, K.A. HIBBARD, D.J. DOKKEN, B.C. STEWART, AND T.K. MAYCOCK (eds.). U.S. Global Change Research Program. Washington, DC. USA.

ZHANG, X. & YANG, F. 2004. RCLimDex (1.0). User manual. Climate Research Branch Environment. Downsview. Canada.

Anexo I – Desastres Naturais e Eventos Extremos no ERJ

Eventos extremos são eventos climáticos que apresentam valores elevados, acima dos limiares médios para uma determinada localidade, normalmente associados a eventos de precipitação. Os fenômenos El Niño e La Niña são os mais conhecidos responsáveis por causar extremos climáticos na América Latina. Enquanto El Niño provoca aumento da temperatura na região Sudeste brasileira, La Niña causa aumento de frio, e ambos podem variar muito quanto a sua influência no clima. Além desses fenômenos, os padrões provocados pela temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico tropical e sul impactam as correntes do Brasil e das Malvinas (DE CAMARGO et al., 2013; DIAS, 2014), que influenciam a trajetória de frentes frias nas regiões Sul e Sudeste e o regime de chuvas no Nordeste.

O risco de eventos extremos tanto de chuva e frio quanto de calor e seca tende a crescer com o aumento da temperatura média global nos cenários de mudança climática, apresentando uma variabilidade maior que a conhecida atualmente (Dias, 2014). O caráter e a severidade dos impactos dos extremos climáticos não são apenas relacionados a sua dimensão natural, mas também às suas consequências dentro de um contexto social específico. Assim, um evento extremo pode se caracterizar como desastre ao se tornar um acontecimento danoso súbito, inesperado ou extraordinário, e que exprime a materialização de uma vulnerabilidade social (MATTEDI & BUTZKE, 2001). Tais eventos extremos podem ser influenciados por uma ampla gama de fatores, incluindo mudanças antropogênicas (IPCC).

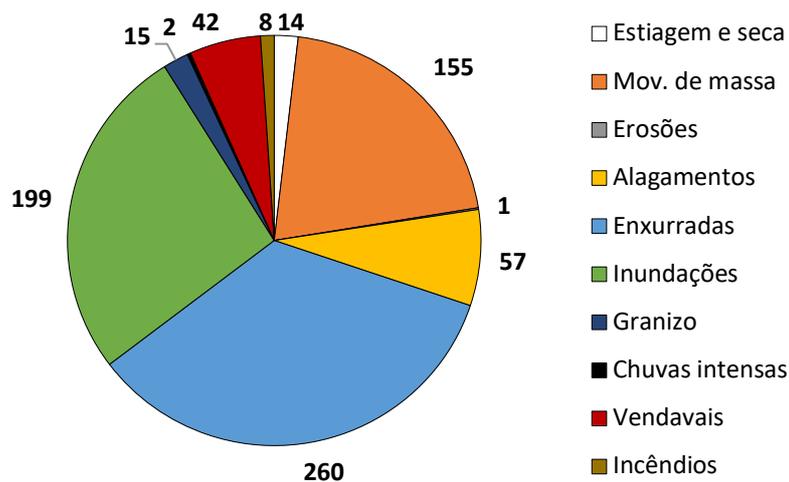
Desde o início do processo de urbanização do Rio de Janeiro, morros, áreas alagadas e manguezais vem sendo derrubados e aterrados para a ampliação da cidade, processos estes que ocorrem ainda nos dias de hoje. Essas constantes alterações no espaço físico do estado são elementos importantes para o entendimento de alguns dos principais problemas ambientais urbanos do ERJ (COELHO, 2007; ARMAND & S'ANTANNA NETO, 2017). Paralelamente, a histórica ocupação de áreas consideradas de risco ambiental por populações mais pobres evidencia falhas no processo de urbanização e na distribuição desigual de renda.

Aliadas a complexidade urbana e social do RJ, algumas questões biofísicas amplificam o risco de desastres tais como: o relevo montanhoso, a descaracterização de rios e córregos, o elevado grau de desmatamento da cobertura original de Mata Atlântica (SOS Mata Atlântica 2018), além da sua localização em uma área de transição entre sistemas atmosféricos (ARMAND E S'ANTANNA NETO,

2017; ANDRADE, PINHEIRO E DOLIF NETO, 2015), que provocam eventos de chuva intensa. Tais eventos são responsáveis por enchentes, alagamentos e deslizamentos de terra, que normalmente causam diversos transtornos à sociedade e acarretam prejuízos socioeconômicos.

O ERJ tem um antigo histórico de desastres naturais associados a eventos extremos (DERECZYNSKI et al., 2009; Atlas dados entre 1991 e 2012; SEDEC, 2013-2016). Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED, UFSC) e dados provenientes do Sistema Integrado de Informação sobre Desastres (SEDEC - Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil), entre 1991 e 2016, o ERJ foi atingido por 753 eventos relativos a desastres naturais, impactando 90 dos seus 92 municípios (Tabela AI.1). O maior deles ocorreu em 2011, quando mais de 900 pessoas morreram na Região Serrana. De fato, o município com maior número de episódios é Petrópolis, atingido por 36 ocorrências de desastres naturais, todos relacionados a extremos de pluviosidade. O município de São Gonçalo está em segundo lugar, com 27 ocorrências também relacionadas a chuva, seguido de Campos dos Goytacazes, na Região Norte Fluminense com 25 ocorrências relacionadas a estiagens e seca, vendavais e incêndios. De maneira geral, os eventos de enxurradas são os desastres mais frequentes no estado, seguido de inundações e movimentos de massa (Figura AI.1). Esses desastres indicam a propensão do estado a sofrer eventos extremos ligados à pluviosidade, que afetam diretamente a população local, levando os municípios a decretar estado de alerta e de emergência e/ou calamidade pública.

Figura AI.1. Número de desastres naturais associados a eventos extremos no ERJ entre os anos de 1991 a 2016



Fonte: CEPED (1991 a 2012) e SEDEC (2013 a 2016)

As principais consequências desses desastres são: ocorrência de mortes, populações desabrigadas, desalojadas e feridas, problemas de saúde, gastos com reconstruções, assistências, auxílios de custo, além de causarem constante insegurança na população, principalmente as que se encontram em áreas vulneráveis como margens de rios e encostas. De acordo com dados do Observatório do Clima e Saúde da Fiocruz, os danos humanos resultantes desses desastres naturais entre os anos de 2001 a 2013 (exceto 2012 por ausência de dados) somaram: 1.381 mortes, 150.809 desalojados, 43.491 desabrigados e 7.882 feridos, como (Figuras Al.2 e Al.3).

Figura Al.2. Número de mortes causadas por desastres naturais no ERJ de 2001 a 2013 (exceto 2012)

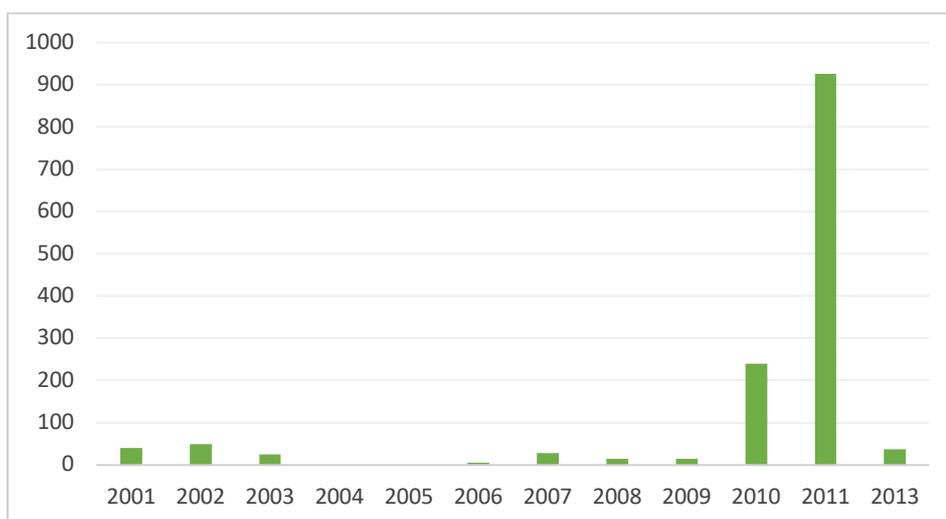
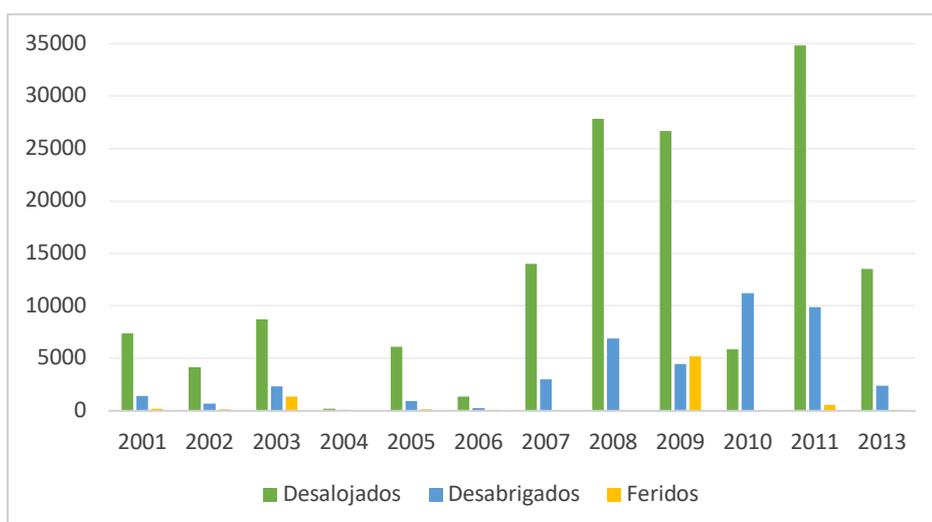


Figura Al.3. Número de afetados (desalojados, desabrigados e feridos) em decorrência de desastres naturais no ERJ de 2001 a 2013 (exceto 2012)



Dados: ICICT/Fiocruz para ambas Figuras Al.2 e Al.3.

Tabela A1.1. Registros dos desastres naturais ocorridos nos municípios do ERJ, no período de 1991 a 2016, em ordem decrescente de eventos

Municípios	Estiagem e	Mov. de	Erosões	Alagamentos	Enxurradas	Inundações	Granizo	Chuvas	Vendavais	Incêndios	Total
Petrópolis		18		4	7	6		1			36
São Gonçalo		16		1	5	5					27
Campos dos Goytacazes	1			2	7	10			4	1	25
Bom Jesus do Itabapoana	1	2			10	11					24
Angra dos Reis		9		6	4	4					23
Mangaratiba		5		1	8		1		8		23
Guapimirim		5		2	1	5			4	3	20
Belford Roxo		3		6	5	3			2		19
Silva Jardim		3		1	5	4			4	2	19
Natividade	3	5			5	4					17
Teresópolis		6		1	4	5					16
Itaperuna	2				6	7					15
Aperibé					3	10	1				14
Barra Mansa		2			6	5	1				14
Paraíba do Sul				2	7	5					14
Macaé				8	1	1			2		12
Macuco		3		1	3	5					12
Miracema	1	1			8	1			1		12
Barra do Pirai		2		1	9						12
Duque de Caxias		1		3	1	7					12
Cardoso Moreira	1				3	7					11
Italva	1	1			4	5					11
Paty dos Alferes		2			5	2	1		1		11
Rio Bonito		3		1	7						11
Trajano de Moraes		2			8		1				11
Cambuci		1			4	5					10
Pirai		7		1	1				1		10
Mendes		2			5	2					9
Porciúncula		2			1	6					9
São Francisco do Itabapoana	3			1		5					9
Laje do Muriaé		1			2	5					8
Paraty		1			6	1					8

Japeri				1	5			2		8
Magé		4		1	1	2				8
Niterói		5			2					7
Santo Antônio de Pádua					2	4		1		7
São Fidélis					4	3				7
São João da Barra			1	2	1	2		1		7
Três Rios		1			5	1				7
Varre-Sai					2	2		3		7
Queimados		2		2	1	1		1		7
Rio Claro		3			4					7
São João de Miriti		2		3	1	1				7
Valença		2			4		1			7
Nova Friburgo		1			4	1				6
Paracambi				1	3			2		6
Rio de Janeiro		3			1	2				6
Sapucaia		1			4	1				6
Saquarema		3		1	1			1		6
Sumidouro					6					6
Casimiro de Abreu						4		1		5
Comendador Levy Gasparian		1			3	1				5
Conceição de Macabu		1			4					5
Cordeiro		3			1	1				5
Itaboraí				2		2	1			5
Araruama				1	1	1	1	1		5
Cachoeira de Macacu				1	3	1				5
Mesquita					2	3				5
Nova Iguaçu		2			2	1				5
Rio das Flores					4		1			5
Tanguá					3	2				5
Bom Jardim		1			1	2				4
Cantagalo		3				1				4
Carmo					3	1				4
Iguaba Grande				1	1	1	1			4
Itaocara		1			2	1				4

Quatis					3				1		4
Quissamã	1				1	1				1	4
Resende					3	1					4
São José de Ubá					2	1	1				4
São Pedro da Aldeia					2	1	1				4
São Sebastião do Alto		2			1	1					4
Seropédica						4					4
Areal		1			2						3
Carapebus					2					1	3
Engenheiro Paulo de Frontin		1			2						3
Nilópolis		1				2					3
Porto Real					2	1					3
Volta Redonda							2		1		3
Maricá		1			1	1					3
Cabo Frio					1		1				2
Itatiaia					2						2
Miguel Pereira		1			1						2
Pinheral					1	1					2
São José do Vale do Rio Preto					1	1					2
Arraial do Cabo					1						1
Duas Barras		1									1
Itaguaí					1						1
Total	14	155	1	57	260	199	15	2	42	8	753

Fonte: CEPED (1991 a 2012) e SEDEC (2013 a 2016)