



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO

DEFESA CIVIL



GOVERNO DO
Rio de Janeiro



Centro de Estudos e Pesquisas em Defesa Civil

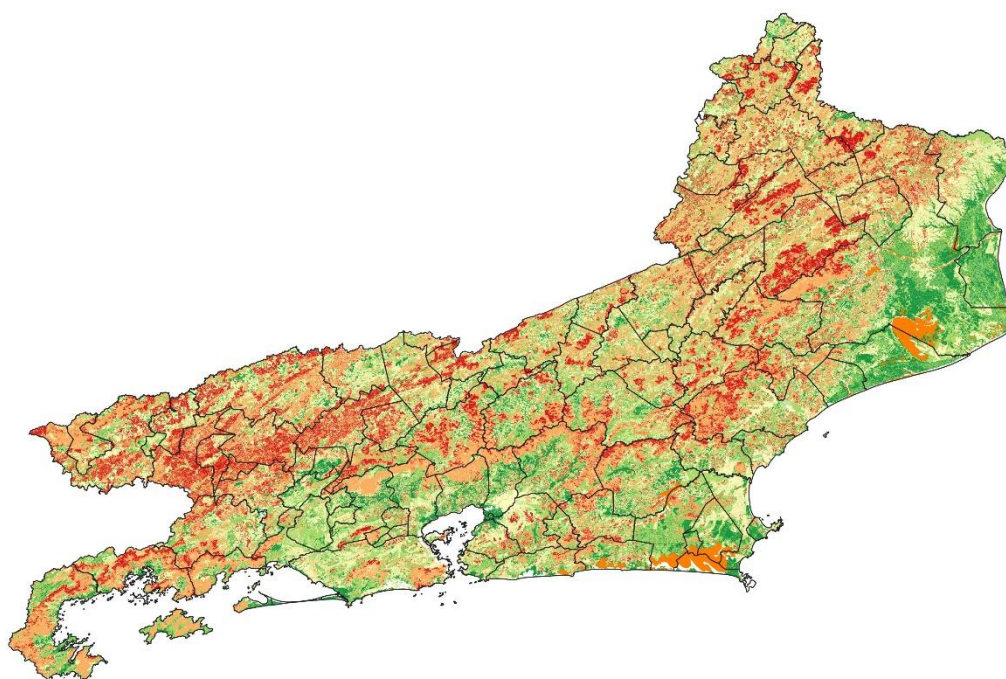


RELATÓRIO DE SUSCEPTIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA – 2020

SISTEMA ESTADUAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL

Defesa Civil Estadual, trabalhando na resiliência

Identificação de áreas susceptíveis a movimentos de massa no Estado do Rio de Janeiro com uso do método AHP e Sistemas de Informações Geográficas



DEZEMBRO DE 2020

Governador do Estado do Rio de Janeiro

Cláudio Bonfim de Castro e Silva

Secretário de Estado de Defesa Civil

Cel BM Leandro Sampaio Monteiro

Subsecretário de Estado de Defesa Civil

Cel BM Marcio Romano Correa Custodio

Superintendente Operacional de Defesa Civil

Cel BM Alexandre Silveira de Souza

Diretor do Inst. Científico e Tecnológico De Defesa Civil

Cel BM Marcello Silva da Costa

Diretor da Escola de Defesa Civil

Cel BM Mario Martins Lopes

Diretor do Centro de Estudo e Pesquisas em Defesa Civil

Cel BM Demetrio Jorge do Monte Saldanha

Supervisão Editorial e Revisão Textual

Ten Cel BM Rodrigo Werner da Silva

Coordenação Editorial e Revisão Textual

Maj BM Samir Batista Fernandes

Elaborador Textual e Organizador

Leandro de Souza Camargo CREA 2016100176

Todos os direitos Reservados.

É permitida a reprodução de dados e de informações contidos neste relatório, desde que citada fonte.

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	6
1.1.	OBJETIVO GERAL.....	8
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
2.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
2.1.	MATERIAIS.....	10
2.2.	MÉTODO.....	11
2.3.	ÁREA DE ESTUDO.....	17
3.	RESULTADOS.....	20
3.1.	USO E COBERTURA DO SOLO.....	20
3.2.	GEOMORFOLOGIA.....	21
3.3.	PEDOLOGIA.....	23
3.4.	LITOLOGIA.....	24
3.5.	PRECIPITAÇÃO.....	26
3.6.	DECLIVIDADE.....	31
3.7.	AHP.....	32
3.8.	VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	40
3.8.1.	CURVA ROC.....	42
3.9.	ESTIMATIVA DE AFETADOS EM POTENCIAL POR MOVIMENTOS DE MASSA.....	43
4.	DISCUSSÃO.....	51
5.	CONCLUSÕES.....	54
6.	RECOMENDAÇÕES.....	55
	BIBLIOGRAFIA.....	57
7.	APÊNDICES.....	64

RESUMO

Movimento de massas no mundo e em países como o Brasil produzem prejuízos nas esferas sociais e econômicas culminando na perda de bens e, nos casos extremos, vidas humanas. O presente estudo tem como objetivo identificar áreas com maior susceptibilidade a movimentos de massa no estado do Rio de Janeiro a partir da elaboração de uma metodologia passível de ser reproduzida com diferentes dados e escalas em um ambiente de Sistemas de Informações Geográficas. O método empregado envolveu: (1) A pesquisa bibliográfica, com a finalidade de determinar os principais condicionantes que deflagram os eventos de movimentos de massa; (2) A reclassificação dos condicionantes em diferentes notas e a representação destes em mapas; (3) A atribuição de pesos para cada condicionante empregando o processo de análise hierárquica (AHP) segundo seu grau de importância; (4) A combinação linear dos condicionantes para geração dos modelos previsores que indiquem áreas suscetíveis a movimentos de massa no período mensal e anual; (5) A comparação estatística do inventário de movimentos de massa no Estado do Rio de Janeiro com as classes de susceptibilidade do modelo preditivo no período anual mediante a gráficos ROC para a avaliação do modelo de classificação; (6) A estimativa da população potencialmente afetada por movimentos de massa em valores absolutos e percentuais. Os resultados demonstram uma AUC acima de 0,90 entre o modelo de classificação anual e o inventário de movimentos de massa a uma frequência de 65% de ocorrências nas classes alta e muito alta nos processos naturais e 70% nos processos induzidos, demonstrando que a metodologia empregada pode contribuir de maneira relevante na identificação de regiões propensas a movimentos de massa.

Palavras chave: Movimentos de massa, Sistemas de Informações Geográficas, AHP, Curva ROC

1. INTRODUÇÃO

Os processos de urbanização no Brasil, a partir do século XX trouxeram profundas modificações nos volumes, direções e composição dos fluxos migratórios populacionais e os padrões de ocupação territorial (DE CARVALHO, 2019). Com a entrada do capital internacional, a partir do final da década de 1950, o Brasil passou de uma sociedade essencialmente agrícola, a produtor de industrializados (BAENINGER, 2011), resultando na concentração de aglomerados urbanos detentores de uma infraestrutura habitacional incompatível com o novo padrão de ocupação do solo e impactando principalmente populações de maior vulnerabilidade social (FERREIRA, 2009), que em sua maioria reside em encostas propensas a movimentos de massa (ROSA FILHO, 2010)

Movimentos de massa, também conhecidos como deslizamentos, são processos naturais que atuam na dinâmica das vertentes, deslocando materiais que recobrem as superfícies das encostas, tais como solos, rochas e vegetação, presentes nas regiões montanhosas e serranas em várias partes do mundo, principalmente naquelas onde predominam climas quentes e úmidos mais frequentes nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil (TOMINAGA et al., 2009). Embora façam parte da dinâmica superficial do planeta, no Brasil e no mundo, a ocorrência de movimentos de massas em áreas urbanas tem potencial de produzir danos e prejuízos nas esferas econômicas, sociais, ambientais (TOMINAGA, 2007; TOMINAGA et al., 2009; DOURADO et al., 2012; BRITO, 2014; HAQUE et al., 2016; DO AMARAL et al., 2020) e, em casos extremos perdas de vidas humanas (DOURADO et al., 2012). Nesse sentido, Froude & Petley (2018) destacam que entre os anos de 2004 e 2018, movimentos de massa foram responsáveis por mais de 4862 mortes no mundo. No Brasil, estima-se que 3.355 mortes, entre os anos de 1988 e 2013, foram provocadas por movimentos de massa (IPT, 2014).

No Estado do Rio de Janeiro (ERJ) a dinâmica histórica da ocupação em encostas (GUERRA et al., 2007; ROSA FILHO, 2010; DE OLIVEIRA FILHO, 2012) sem o planejamento do uso e ocupação do solo favorecem a ocorrência de eventos associados a movimentos de massa com potencial de atingir as dimensões de um desastre (TOMINAGA, 2007), como a catástrofe que alcançou a região serrana em janeiro de 2011 (DOURADO et al., 2012), e o morro do Bumba em abril de 2010 (JÚNIOR & DORIGON, 2015).

Diante deste quadro, as ações de ordenamento territorial são necessárias para evitar ou mitigar eventos danosos com origem nos movimentos de massa (BRITO, 2014), contudo, a extensão territorial e as diferentes características regionais do ERJ dificultam a aplicação dos instrumentos de ordenamento urbano (PERES et al., 2013), sendo necessária a prévia seleção de tais áreas. Com base nesta perspectiva, áreas passíveis a ocorrência de movimentos de massa demandam técnicas sofisticadas de identificação e gerenciamento, para que possam diminuir e mitigar as consequências danosas, caso ocorram esses eventos, contribuindo para a tomada de decisão e as ações de planejamento urbano que visam a previsão e prevenção de sua ocorrência por parte da sociedade e Estado. Destaca-se neste processo o uso dos Sistemas de Informações Geográficas, imprescindível e primordial na identificação, avaliação e análise do fenômeno (SESTINI, 2009; CANAVESI et al., 2013; BRITO, 2014; AZEVEDO et al., 2015; HONG et al., 2016; MOKHTARI & ABEDIAN, 2019) com aplicações que podem subsidiar soluções práticas e de baixo custo (BRITO, 2014; CAMARGO & SILVA, 2017; CAMARGO et al., 2019; GUERRA et al., 2019)

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1991) susceptibilidade a movimento de massas é definido como indicativo da potencialidade a ocorrência de processos naturais e induzidos em uma área, dividida em classes de probabilidade de ocorrência de escorregamentos, gerados por chuvas intensas. A determinação das áreas susceptíveis a movimentos de massa, é preconizada pela seleção e hierarquização dos condicionantes que favorecem o fenômeno de estudo (TOMINGA, 2009), os quais podem ser integrados com uso da análise de multicritérios. A análise multicritério, consiste na investigação de alternativas para a resolução de problemas a partir de modelos quantitativos e variáveis qualitativas ou quantitativas, simulando e avaliando simultaneamente vários cenários em busca de uma solução otimizada. Fundamenta-se em modelar espacialmente diferentes critérios, os quais estabelecem a seleção de áreas propícias para aquele propósito (JORDÃO & PEREIRA, 2006), através de conceitos como: restrição - critérios relacionados às questões legais, associadas à impossibilidade de alteração do ambiente em localizações específicas; e adequabilidade - escala de valores adotada para representar a maior adequação de uma área em relação à outra. Este processo é realizado a partir da adoção de pesos, cuja técnica AHP (*Analytical Hierarchical Process*), metodologia consolidada e desenvolvida por Saaty (1990), e amplamente utilizada na literatura científica (MEIRELLES et al., 2018; BASU & PAL, 2019;

EL JAZOULI et al., 2019; BAHRAMI et al., 2020; DE OLIVEIRA BISPO et al., 2020; CAMARGO & SILVA, 2017;), consiste na comparação de importância par a par, onde todos os fatores são ordenados de forma implícita, reduzindo a arbitrariedade e eventuais inconsistências na obtenção dos pesos para cada fator. O processo de desenvolvimento dos pesos avalia a consistência da comparação, indicando se foi ou não aleatória (JORDÃO & PEREIRA, 2006; LORENTZ et al., 2012).

Embora existam alguns trabalhos no âmbito municipal sobre a susceptibilidade a movimentos de massa no ERJ (GOMES et al., 2004; GARCIA et al., 2016; CAMARGO & SILVA, 2017; MEIRELLES et al., 2018; GUERRA et al., 2019), nenhum deles ressaltam a abordagem aqui sugerida, o que evidencia a relevância desta pesquisa para o ERJ, bem como para as instituições de planejamento, resposta e controle locais.

Portanto, o objetivo deste trabalho é, através da aplicação de metodologias com origem nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e a análise multicritério, identificar quais regionais de defesa civil evidenciam maior fragilidade à ocorrência de movimentos de massa, a partir da construção de mapas de susceptibilidade, que em diferentes níveis de hierarquia, identificam os municípios de maior vulnerabilidade a movimentos de massa, estabelecendo uma estimativa da população potencialmente afetada pelo desastre. Os resultados fornecem suporte em análises espaciais e tomadas de decisão diante da complexidade do tema, com potencial de subsidiar, permitir e facilitar a avaliação, análise e gestão destes fenômenos em escala local e regional, por parte dos órgãos de planejamento e controle (prefeituras, defesa civil e áreas de proteção ambiental).

1.1. OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo identificar as áreas que apresentam maior susceptibilidade a movimentos de massa no Estado do Rio de Janeiro.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A fim identificar as áreas de maior susceptibilidade, esta pesquisa aborda como objetivos específicos:

- O desenvolvimento de um método passível de ser reproduzido para outras regiões susceptíveis a diferentes tipos de movimentos de massa em um ambiente de Sistemas de Informações Geográficas;
- A reclassificação dos condicionantes em diferentes notas e a representação destes em mapas;
- A determinação de pesos estatísticos mediante aplicação da análise de multicritérios;
- A estimativa da população potencialmente afetada, em valores absolutos e percentuais, por eventos de movimentos de massa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

Para composição deste estudo utilizou-se como base de dados: (a) Os dados de uso e cobertura do solo e geomorfologia procedentes do Instituto Estadual do Ambiente (INEA, 2018) na escala 1:250.000; (b) Os dados pedológicos oriundos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2010) na escala 1:5.000.000; (c) Os dados topográficos provenientes do satélite *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS, 2006) com resolução espacial de 12,5 m; (d) Os dados climatológicos procedentes do *WorldClim*, compreendidos entre 1977 – 2000, com resolução espacial de aproximadamente 1 km (FICK & HIJMANS, 2017); (e) Os dados litológicos obtidos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2004) na escala de 1: 1.000.000 das cartas SF 23 e SF 24; (f) O programa de geoprocessamento *Quantum GIS* na versão 3.10; (f) O programa *Excel* na versão 2010; (g) programa estatístico *R Gui* na versão 3.6.2. O Quadro 2.1 relaciona a fonte e a resolução espacial dos dados obtidos.

Quadro 2.1- Relação entre a fonte de dados e a resolução espacial dos dados obtidos.

Dado Espacial	Formato	Escala/Resolução	Órgão
Uso e Cobertura do Solo	Vetorial	1:250.000	INEA
Geomorfológico	Vetorial	1:250.000	INEA
Pedológico	Vetorial	1:5.000.000	EMBRAPA
Litológico	Vetorial	1:1.000.000	CPRM
Precipitação	Matricial	1Km	<i>WorldClim</i>
Declividade	Matricial	12,5 m	<i>ALOS</i>

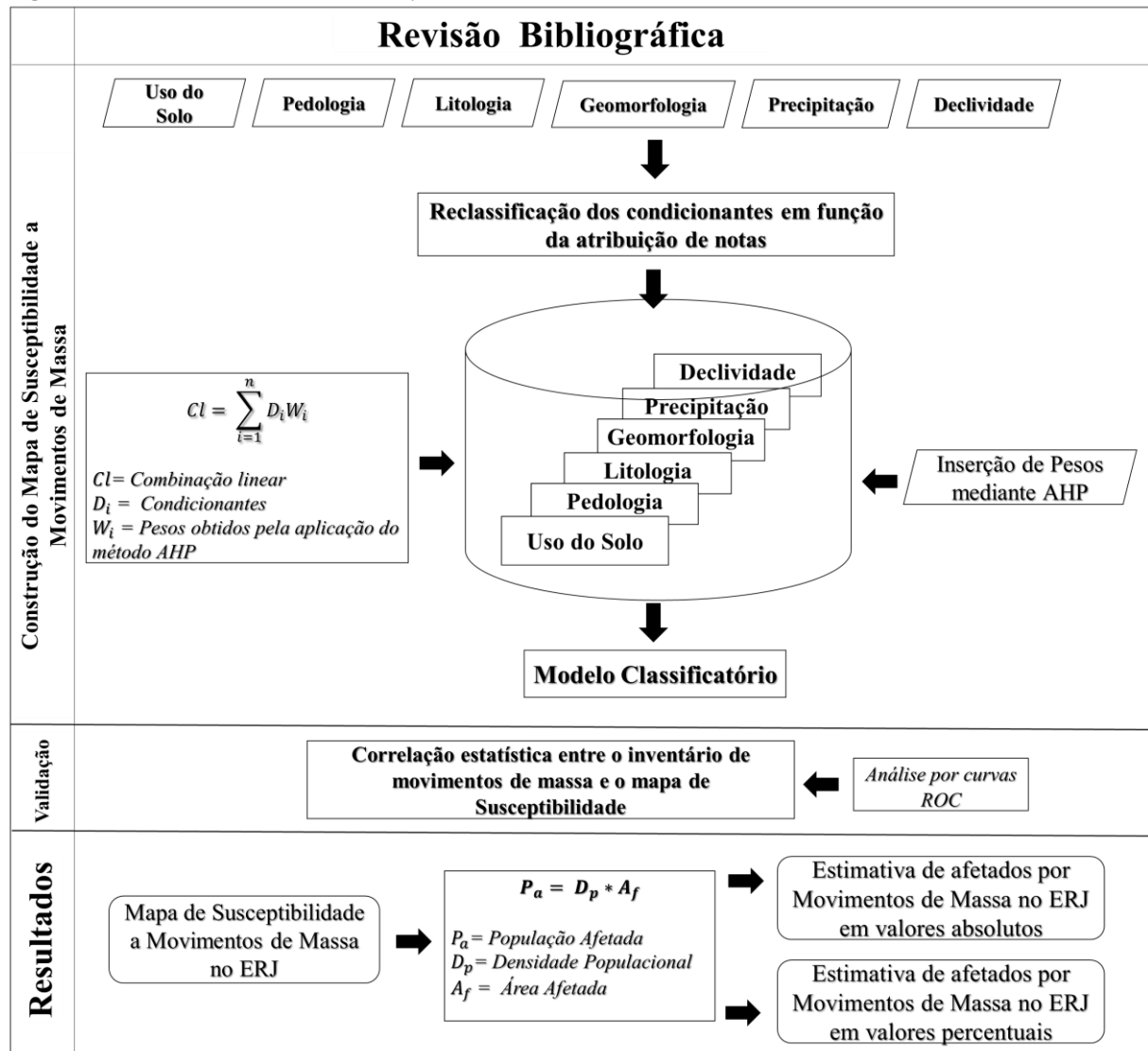
Fonte: Autores (2020)

2.2. MÉTODO

Os procedimentos de construção e edição dos mapas foram realizados como uso do programa QGIS 3.10. O fluxograma da Figura 1 exhibe os procedimentos metodológicos da pesquisa, a qual foi baseada em seis abordagens integradas, sendo elas:

- (1) A adoção dos fatores que potencializam os eventos de movimentos de massa, denominados condicionantes, assim como, a obtenção e o pré-processamento de dados de diferentes fontes e formatos;
- (2) A separação dos condicionantes em intervalos de classificação com a atribuição de notas que indicam o nível de contribuição que estes exercem sobre os eventos de movimentos de massa;
- (3) O estabelecimento do nível de importância que cada condicionante exerce sobre o evento de movimentos de massa mediante utilização do método AHP;
- (4) A combinação linear dos condicionantes para geração dos modelos previsores que indiquem áreas susceptíveis a movimentos de massa no período mensal e anual para o ERJ;
- (5) A validação dos resultados obtidos com a relação entre as frequências de ocorrências por classes de susceptibilidade e o uso do método *Receiver Operating Characteristic* (ROC) e *Area Under the Curve* (AUC) com objetivo de mostrar o limiar entre taxas de acertos e erros do modelo preditor no período anual;
- (6) A estimativa da população potencialmente afetada por eventos de movimentos de massa nos períodos anual e mensal.

Figura 1. Método utilizado na elaboração do estudo.



Fonte: Autores (2020)

A previsão de movimentos de massa é resultante da conjunção de fatores condicionantes combinados (VANACÔR & ROLIM, 2012). Segundo Fernandes et al., (2001), Clerici et al., (2002), Tominaga (2009), Faria (2011), Vanacôr & Rolim (2012), Stabile et al., (2013), Guerra et al., (2019), Pozzobon et al., (2019) os principais fatores que deflagram os movimentos de massa, são respectivamente: O uso e ocupação do solo, a pedologia, a litologia, a geomorfologia, a precipitação e a declividade, que combinados podem propiciar ruptura de taludes em encostas.

O pré-processamento dos dados ocorreu mediante integração e transformação para um formato compatível a todos os condicionantes adotados como descrito em Castro

e Ferrari (2016). Os dados de origem vetorial foram transformados para o formato matricial e reclassificados segundo método adotado por Guerra *et al.* (2019), com o uso do programa QGIS 3.10, com diferentes níveis de importância em função de suas características climatológicas e geobiofisiográficas. O referido procedimento objetiva realizar a álgebra de mapas, voltados a produção dos mapas mensais de susceptibilidade a movimentos de massa no ERJ (CAMARGO & SILVA, 2017).

Após a compatibilização dos formatos e reclassificação dos condicionantes, as coordenadas geográficas foram transformadas em métricas utilizando a projeção cônica equivalente de Albers (DE OLIVEIRA & SARAIVA, 2015) estimando a área ocupada por cada classe de susceptibilidade no ERJ em quilômetros quadrados (CAMARGO, *et al.*, 2019).

O estabelecimento dos pesos, ou grau de contribuição de cada condicionante, deu-se através da análise de multicritérios, utilizando o método denominado *Analytic Hierarchy Process* (AHP) a exemplo de trabalhos como Ouma *et al.* (2014), Gigović *et al.* (2017), Camargo *et al.* (2019), os quais utilizaram metodologia semelhante na identificação de áreas vulneráveis a inundações e incêndios florestais.

O método AHP tem por ideia central determinar os critérios e seus pesos a partir das preferências dos decisores, convertendo as preferências, ou julgamentos humanos, em valores numéricos para construir um modelo de tomada de decisão. Os pesos representam a prioridade dada a cada elemento ou critério, que podem ser organizados em hierarquias, dividindo o problema geral em avaliações de menor importância, enquanto mantém, ao mesmo tempo a participação desses problemas menores na decisão global. Ou seja, ao encarar um problema complexo, é mais fácil dividi-lo em outros menores pois, quando solucionados individualmente e depois integrados, representam a decisão do problema inicialmente buscada.

Conforme descrito por Saaty (1990) e Costa (2002) a tomada de decisão é norteadas por três princípios:

- (i) Construção da hierarquia – partindo-se de um problema conhecido, deve-se estruturá-lo em níveis hierárquicos, desenvolvendo uma matriz de comparação pareada, de modo a facilitar a sua compreensão e a sua avaliação, explicitando o raciocínio humano. São identificados os

elementos-chave para a tomada de decisão e organizados por compatibilidade;

- (ii) Definição das prioridades – o decisor relaciona os objetos às situações identificadas, fazendo comparações pareadas de acordo com os critérios analisados; e
- (iii) Avaliação da consistência – a medida da consistência de um julgamento é avaliada mediante um índice de consistência aleatória que deve ser menor que 0,1.

A importância relativa entre dois condicionantes é medida de acordo com uma escala numérica de 1 a 9 (SAATY, 1990) onde o ponto 1 denota que os dois condicionantes têm igual importância e o ponto 9 indica que um condicionante é muito mais significativo do que o correspondente condicionante de coluna com o qual é comparado. A escala de comparação pode ser exemplificada conforme **Quadro 2.2**.

Quadro 2.2 - Escala de julgamento de importância do Método AHP

Valores Numéricos	Termos Verbais	Descrição
1	Igual Importância	Duas alternativas contribuem igualmente para o objetivo
3	Moderadamente mais importante	Uma alternativa apresenta leve favorecimento em relação à outra
5	Fortemente mais importante	Uma alternativa apresenta forte favorecimento em relação a outra
7	Muito fortemente mais importante	Uma alternativa apresenta elevado favorecimento em relação à outra e sua dominância é demonstrada na prática
9	Extremamente mais importante	Uma alternativa é favorecida em relação à outra.
2,4,6 e 8	Valores intermediários	Condição intermediária entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1990)

Os condicionantes utilizados são organizados no formato matricial, denominada de Matriz de Comparação Pareada, que mede a correlação entre os fatores elencados. Após a construção da matriz de julgamentos, os elementos são normalizados e extraí-se a média aritmética das linhas, gerando respectivamente a matriz dos pesos calculados (w_i).

A verificação lógica da matriz de pesos calculados, também denominada de autovetor, é ancorada na construção do autovalor máximo ($\lambda_{m\acute{a}x}$) e no índice de consistência aleatória.

A consistência de uma matriz requer que o autovalor máximo (λ_{max}) seja igual ao número de linhas (ou colunas) da matriz de comparação paritárias n (número que representa a ordem da matriz). Quanto mais próximo λ_{max} for de n , mais consistente será o resultado. O autovalor é calculado por meio da Equação 1.

Equação 1:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Aw_i}{w_i}$$

Onde: w_i corresponde aos pesos calculados e Aw_i é a matriz resultante do produto da Matriz de Comparação Pareada pela matriz dos pesos calculados (w_i).

Para avaliação da medida de consistencia da decisão, Saaty (1990) propos o cálculo da Razão de Consistência (RC). A RC descreve a integridade ou qualidade dos julgamentos realizados, sendo obtida pela razão entre o Índice de Consistência (IC) e o Índice de Consistência Aleatório (CA).

O Índice de Consistência de uma matriz de comparações paritárias indica o afastamento do autovalor de um valor teórico esperado n , e esse desvio é dado pela expressão $(\lambda_{max} - n)$. Essa diferença é medida em relação ao número de graus de liberdade da matriz $(n - 1)$. O índice de consistência é calculado conforme a Equação 2.

Equação 2:

$$IC = (\lambda_{m\acute{a}x} - n) / (n - 1)$$

O Índice de Consistência aleatória (CA) representa o valor que seria obtido em uma matriz de comparação paritária de ordem n em que não fossem realizados julgamentos lógicos, preenchendo-se os elementos com valores aleatórios. A determinação do CA foi realizada para uma amostra de 500 matrizes recíprocas positivas, de ordem de até 11 por 11, geradas aleatoriamente, encontrando os valores apresentados no **Quadro 2.3**.

Quadro 2.3 - Índice de Consistência Aleatória em função da Matriz 11 por 11.

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CA	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Fonte: Adaptado de Saaty (1990)

Para determinação da Razão de Consistência (RC), o índice de consistência (IC) é comparado com o Índice de Consistência Aleatório (CA) visando determinar a qualidade do julgamento realizado. A Razão de Consistência é calculada conforme Equação 3.

Equação 3:

$$RC=IC/CA$$

Baseado nos valores numéricos fornecidos pela aplicação do método AHP a cada condicionante, foi estabelecido o nível de significância ou peso de cada fator, sendo posteriormente realizada a combinação linear ponderada dos fatores, conforme Equação 4, com objetivo de integrar os condicionantes em um único modelo preditivo que classifique as regiões mais susceptíveis a eventos de movimentos de massa no período mensal e anual.

Equação 4

$$Cl = \sum_{i=1}^n D_i W_i$$

Onde:

Cl= Combinação linear

D_i = Condicionantes

W_i = Pesos obtidos pela aplicação do método AHP

Com objetivo de avaliar a acurácia do modelo cartográfico proposto, eventos de movimentos de massa no ERJ, obtidos do inventário de deslizamentos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, foram comparados com o mapa de susceptibilidade anual obtendo-se a frequência de ocorrência por classes de

susceptibilidade. Nesta etapa foram utilizados os métodos *Receiver Operator Characteristic* (ROC) e *Area Under the Curve* (AUC), ao nível de significância de 5%. Segundo Alatorre et al., (2006) o método ROC é utilizado para gerar um gráfico composto pela sensibilidade (verdadeiro positivo), que representa os pontos de inventário corretamente classificados, e especificidade (falso positivo), correspondente às regiões do inventário que não foram corretamente classificadas. Enquanto a AUC representa a área sob a curva ROC e consiste em uma estatística de acurácia que varia entre 0,5 e 1, onde os valores próximos a 0,5 representam falha do modelo e valores próximos a 1 indicam sucesso do modelo adotado.

Feita a validação do modelo classificatório, as áreas de maior susceptibilidade (polígonos) estimadas em quilômetros quadrados, mediante a transformação de coordenadas geográficas para métricas com uso da projeção de Albers, foram multiplicadas pela densidade populacional municipal com objetivo de estimar o número de afetados em potencial por movimentos de massa, em valores absolutos e percentuais.

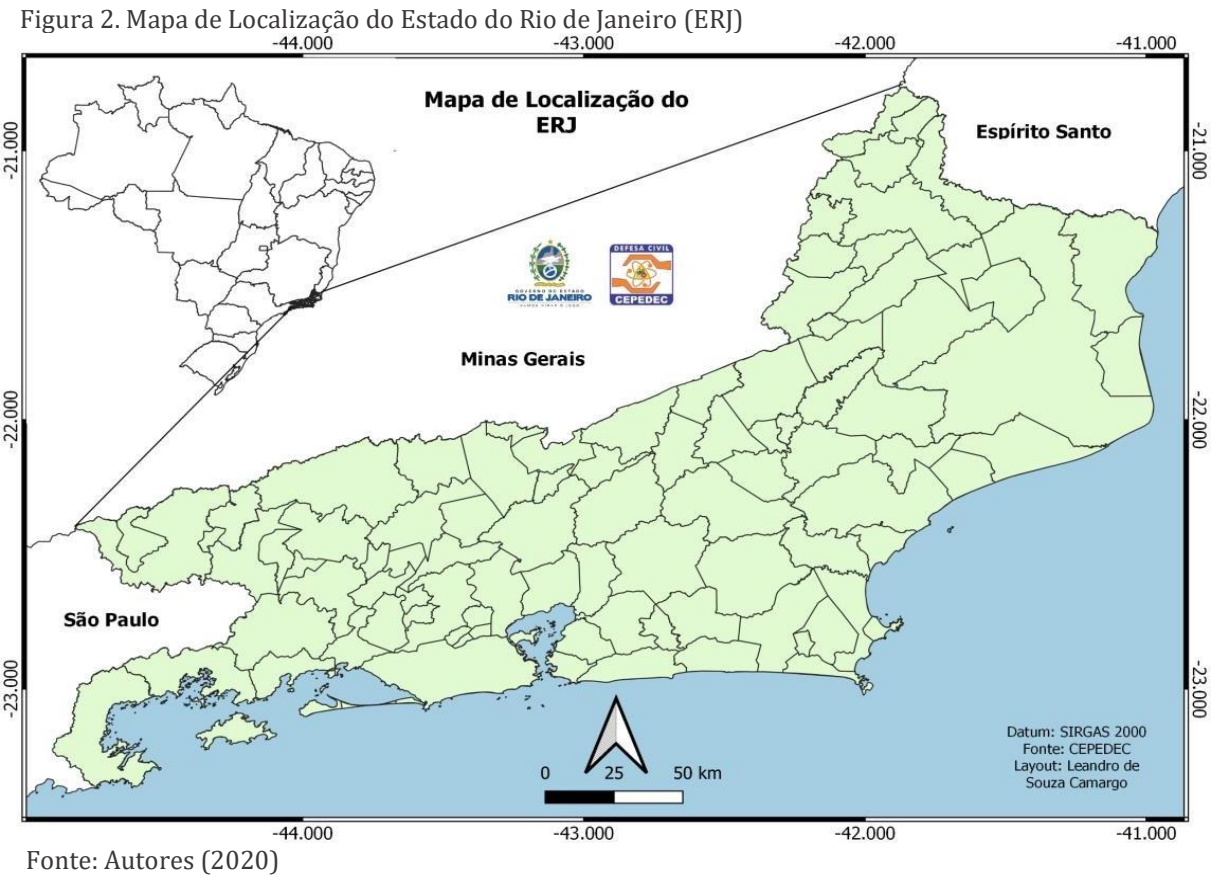
A estimativa da população potencialmente afetada por eventos de movimentos de massa foi realizada a partir do produto dos polígonos classificados com susceptibilidade da ordem muito alta, alta e média, em quilômetros quadrados, com os dados de densidade populacional municipal, obtidos do censo demográfico de 2010 (IBGE, 2019).

Os valores obtidos foram organizados no formato tabular, com uso do *software* Excel, e separados em Regionais de Defesa Civil (REDEC). As REDEC são estruturas logísticas e operacionais da defesa civil estadual que prestam apoio a nível regional em situações de pré e pós desastre, de maneira a possibilitar que haja maior proximidade entre a esfera estadual e municipal nas ações preventivas relacionadas à minimização de desastres. Por fim, os resultados obtidos também foram representados em mapas que indicam e categorizam o número de afetados por eventos de movimentos de massa em valores absolutos e percentuais.

2.3. ÁREA DE ESTUDO

O Estado do Rio de Janeiro (ERJ), Figura 3, é uma das 27 unidades federativas do Brasil, localizado a sudeste da região Sudeste do país, tendo como limites os estados de

Minas Gerais (norte e noroeste), Espírito Santo (nordeste) e São Paulo (sudoeste), além do Oceano Atlântico (leste e sul). Ocupa uma área de aproximadamente 43.780.173 km², compreendido ente os fusos UTM 23S e 24S de coordenadas geográficas 22º 54' S e 43º 10' W, com população estimada 16.718.956 pessoas e densidade demográfica média de 365,23 hab/m² (IBGE, 2017).



A climatologia do ERJ é extremamente influenciada pela topografia, a qual descreve o regime de precipitação (ANDRÉ et al., 2007). Há extensas áreas próximas ao nível do mar, como a baixada litorânea e a região norte do Estado, e áreas montanhosas com altitudes acima de 1500 metros. Estas configurações orográficas influenciam de forma marcante a distribuição espacial da precipitação nessas áreas geográficas

O ERJ possui clima quente com áreas úmidas, semiúmidas e secas. Nas áreas onde há a predominância do clima úmido, quase todos os meses do ano são chuvosos, já nas áreas onde predomina o clima semiúmido, de quatro a seis meses são secos, isto é, quase não chove neste período. Por fim, nas áreas de clima tropical seco, são mais de sete meses

de pouca chuva, variando principalmente em função do relevo e proximidade do mar (CEPERJ, 2010).

A predominância do clima tropical semiúmido ocorre nas áreas de baixas altitudes, com destaque para as áreas da Baixada Fluminense e região metropolitana do Rio de Janeiro. Estas regiões apresentam temperatura média anual em torno de 24° C, chuvas abundantes no verão e invernos secos, e pluviosidade anual maior que 1.500 mm (BASTOS & NAPOLEÃO, 2010).

O clima tropical de altitude ocorre nas terras altas (Serra do Mar, parte do Vale do Paraíba do Sul e Planalto de Itatiaia) e se caracteriza por temperaturas mais amenas, com médias mensais de 22°C para o mês mais quente, devido à altitude do relevo. Apresenta verões pouco quentes e chuvosos, e invernos frios secos (BASTOS & NAPOLEÃO, 2010).

O clima tropical se destaca na porção nordeste do ERJ. Este tipo de clima possui como característica uma estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca nos períodos de inverno, de maio a outubro, com destaque para o mês de julho que é considerado o mais seco. A temperatura média no mês mais frio é superior ao 18°C e as precipitações anuais ultrapassam os 1.800 mm (BASTOS & NAPOLEÃO, 2010).

Convém destacar que algumas áreas do ERJ apresentam características de Clima Tropical Seco, como o município de Arraial do Cabo. As características gerais desse tipo de clima é a ocorrência de uma estação seca com uma precipitação anual média de 750 mm (BASTOS & NAPOLEÃO, 2010).

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos descrevem de forma quantitativa e qualitativa a variação das condicionantes enquanto aspectos que servem de base para a análise do fenômeno estudado, cuja representação feita através de tabelas, gráficos e mapas, expressam numérica, estatística e espacialmente a distribuição das classes de susceptibilidade para o problema em questão, subsidiando as análises espaciais de sua ocorrência no ERJ. A seguir, é apresentado o conjunto de elementos integrados que formularam o mapa de susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massas.

3.1. USO E COBERTURA DO SOLO

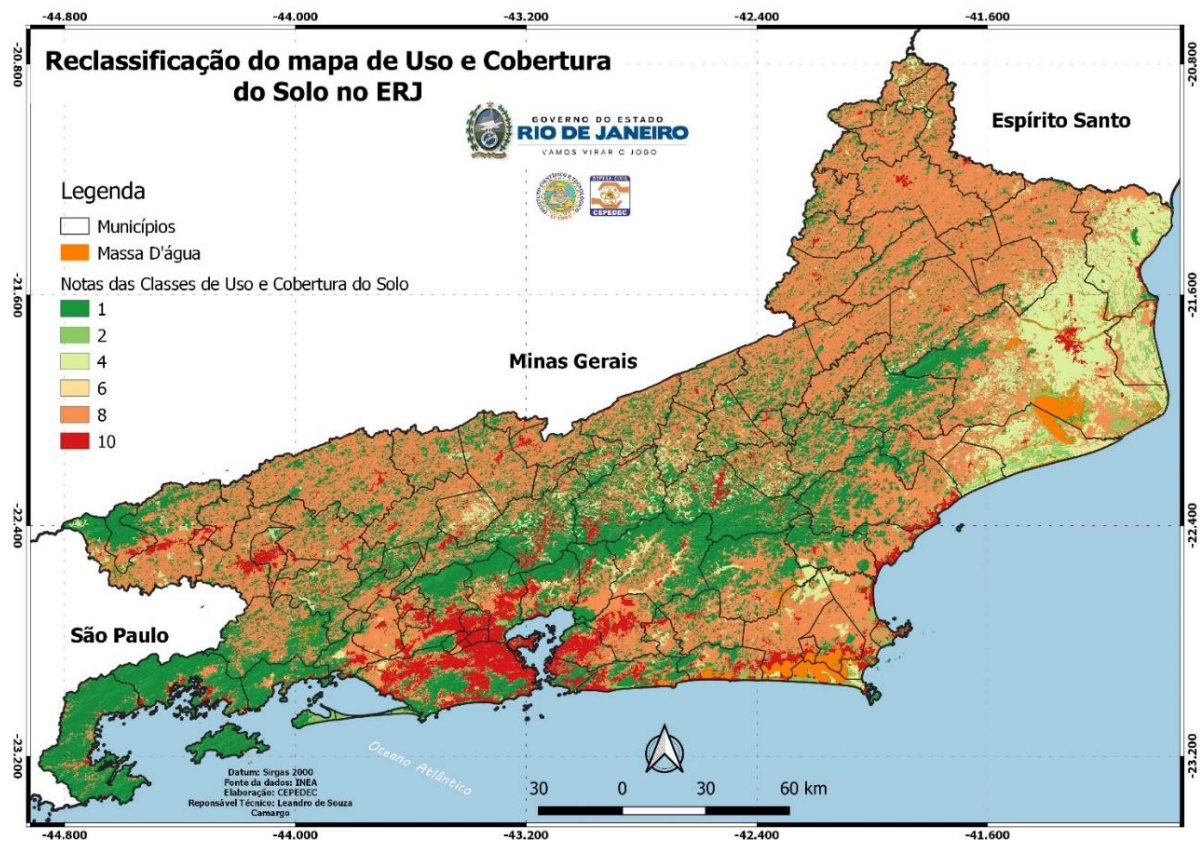
A reclassificação do mapa de uso e cobertura do solo segundo o método proposto por Guerra *et al.* (2019), excluindo-se as massas d'água, demonstra o arranjo espacial das distintas tipologias do ERJ (Figura 3). De acordo com a reclassificação obtida, a classe de Campos/Pastagens ocupa 22.727 Km², seguida pela classe de Floresta/Mnague/Comunidade relíquia com 12712 Km². Ressalta-se que devido à escala cartográfica utilizada, obras de contenção ou estabilidade de encostas não são contempladas neste estudo. O Quadro 3.1. sintetiza a reclassificação adotada.

Quadro 3.1. Reclassificação do mapa de uso e cobertura do solo

Classes de Uso do Solo INEA	Notas	Área (Km ²)	Área (%)
Floresta/Mangue/Comunidade relíquia	1	12721	30%
Dinâmica Fluvial/Restinga/Área úmida	2	878	2%
Reflorestamento/Agricultura	4	3408	8%
Salinas/Cordão Arenoso/Afloramento Rochoso	6	826	2%
Campos/Pastagens	8	22727	53%
Urbano	10	2470	6%

Fonte: Autores (2020)

Figura 3. Mapa de uso e cobertura do solo reclassificado em diferentes notas



Fonte: Autores (2020)

3.2. GEOMORFOLOGIA

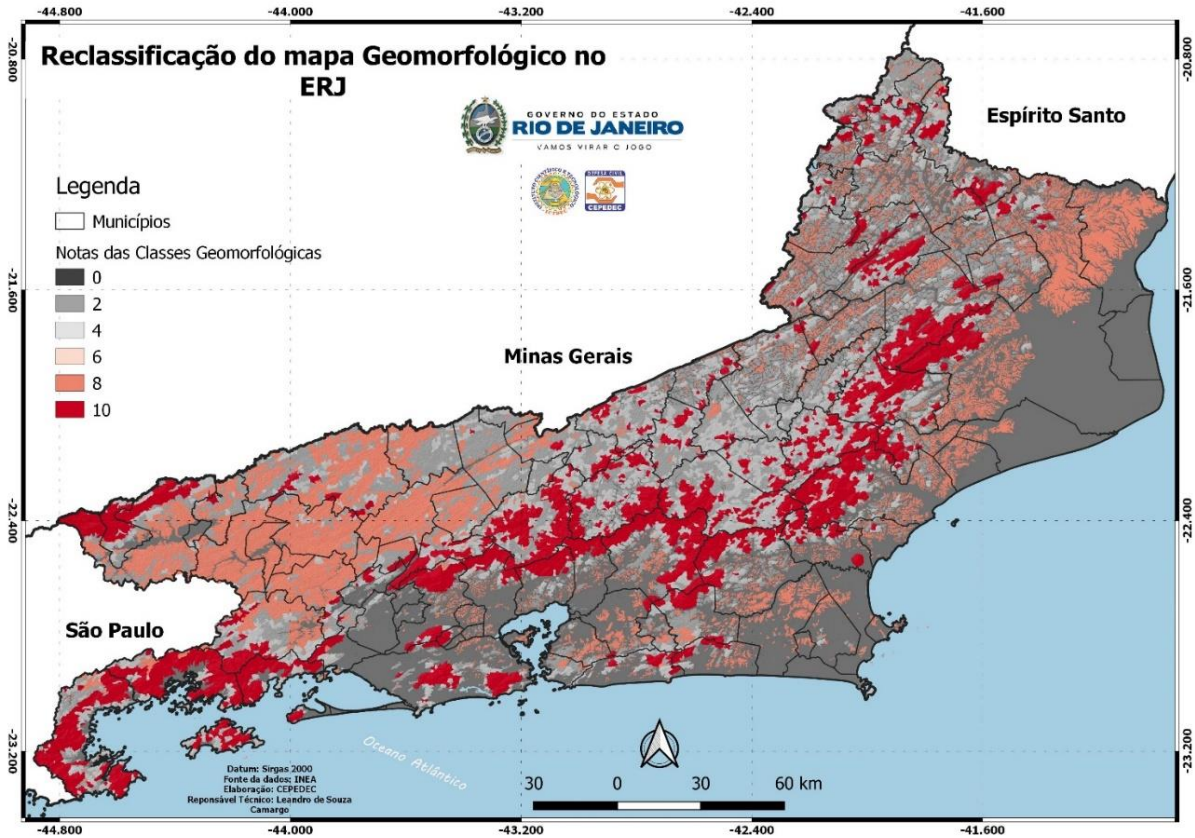
A reclassificação do mapa geomorfológico segundo o método proposto por Guerra *et al.* (2019), foi baseado na taxonomia de relevo, na qual são identificados os domínios morfoestruturais, regiões geomorfológicas, unidades geomorfológicas e formas de relevo simbolizadas na Figura 4 e hierarquizadas em diferentes notas, conforme quadro 3.2. As Planícies fluviais e Flúvio-marinhas/cordões arenosos, reunidos, equivalem a uma área de 13.816 Km², seguida pelas serras escarpadas com 8.481 Km² predominante nas REDECs Costa Verde e Serrana.

Quadro 3.2. Reclassificação do mapa geomorfológico

Classes geomorfológicas	Notas	Área (Km²)	Área (%)
Planícies fluviais e Flúvio-marinhas/cordões arenosos, dunas e restingas	1	13816	31%
Morros	2	7703	17%
Serras Isoladas e Locais	3	6286	14%
Colinas	8	826	2%
Serras Escarpadas	10	8481	19%

Fonte: Autores (2020)

Figura 4. Mapa geomorfológico reclassificado em diferentes notas.



Fonte: Autores (2020)

3.3. PEDOLOGIA

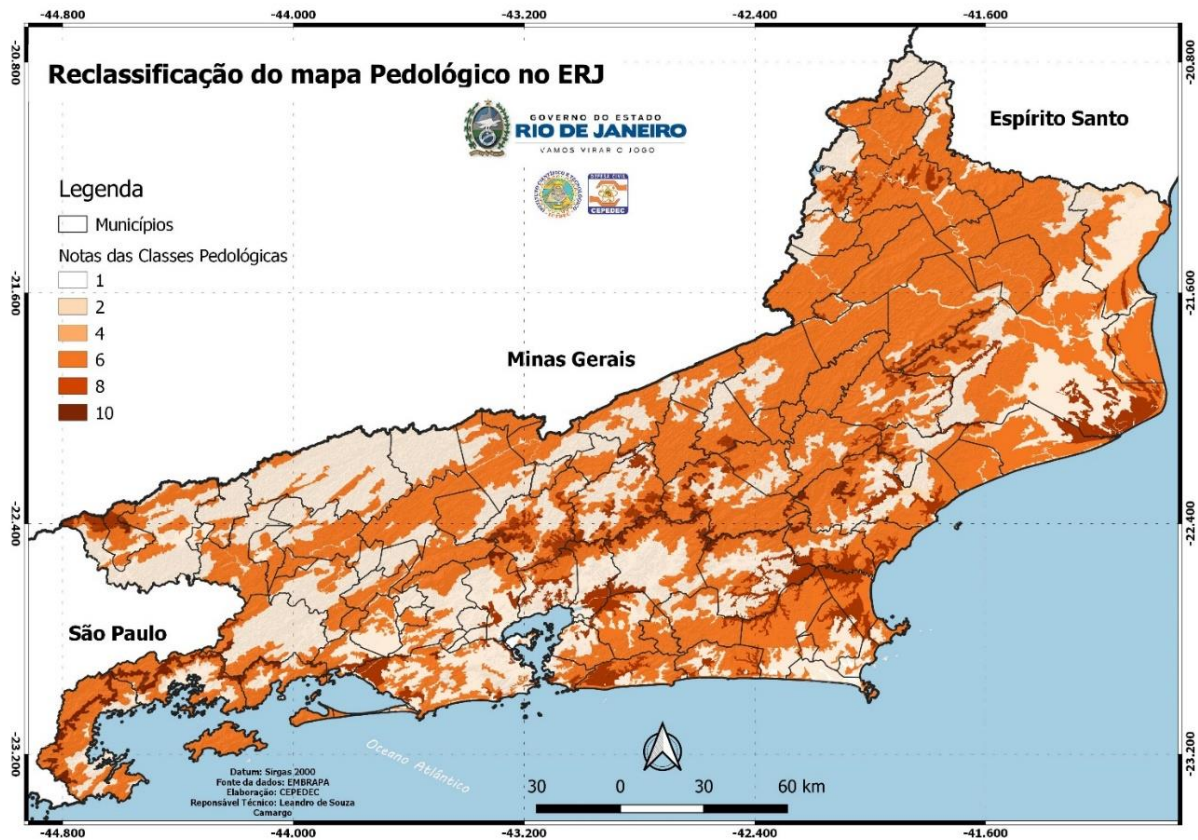
A reclassificação do mapa pedológico seguiu o método proposto por Guerra *et al.* (2019), segundo as características que interferem na capacidade de infiltração, percolação e condutividade hidráulica do solo (MENDONÇA *et al.*, 2009), assim como a variação do grau de potencialidade a deslizamentos devido a espessura do solo (HO *et al.*, 2012). A Figura 5 representa as distintas classes pedológicas do ERJ e o quadro 3.3 resume os critérios adotados na reclassificação.

Quadro 3.3. Reclassificação do mapa pedológico

Classes Pedológicas	Notas	Área (Km ²)	Área (%)
Área de intervenção antrópica (aterro, terraplanagem, mineração, etc.)/Salina	1	93	0%
Latossolo Vermelho-Amarelo álico/Água - Corpo de água/Ilha/Urbano/ Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	2	15278	35%
Solos Orgânicos distróficos	4	156	0%
Cambissolo álico/Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico/Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico/Podzólico	6	24635	56%
Glei Pouco Húmico eutrófico Glei Pouco Húmico salino solodico/ Glei Pouco Húmico álico/Afloramentos rochosos	8	2898	7%
Solos Litólico álico/Brunizem Avermelhado	10	630	1%

Fonte: Autores

Figura 5. Mapa pedológico reclassificado em diferentes notas.



Fonte: Autores (2020)

3.4. LITOLOGIA

A reclassificação das unidades litológicas e suas características genéticas foram baseadas na resistência aos processos erosivos e, conseqüentemente, aos de deslizamentos (PINTO et al., 2015) segundo os vazios existentes entre os grãos minerais (ROCHA, 1981). As notas das variáveis foram obtidas diretamente reclassificação de Guerra el al., (2019) através da média aritmética do conjunto de litologias presentes numa mesma área, determinando a hierarquização das notas conforme quadro 3.4.

Quadro 3.4. Reclassificação do mapa litológico

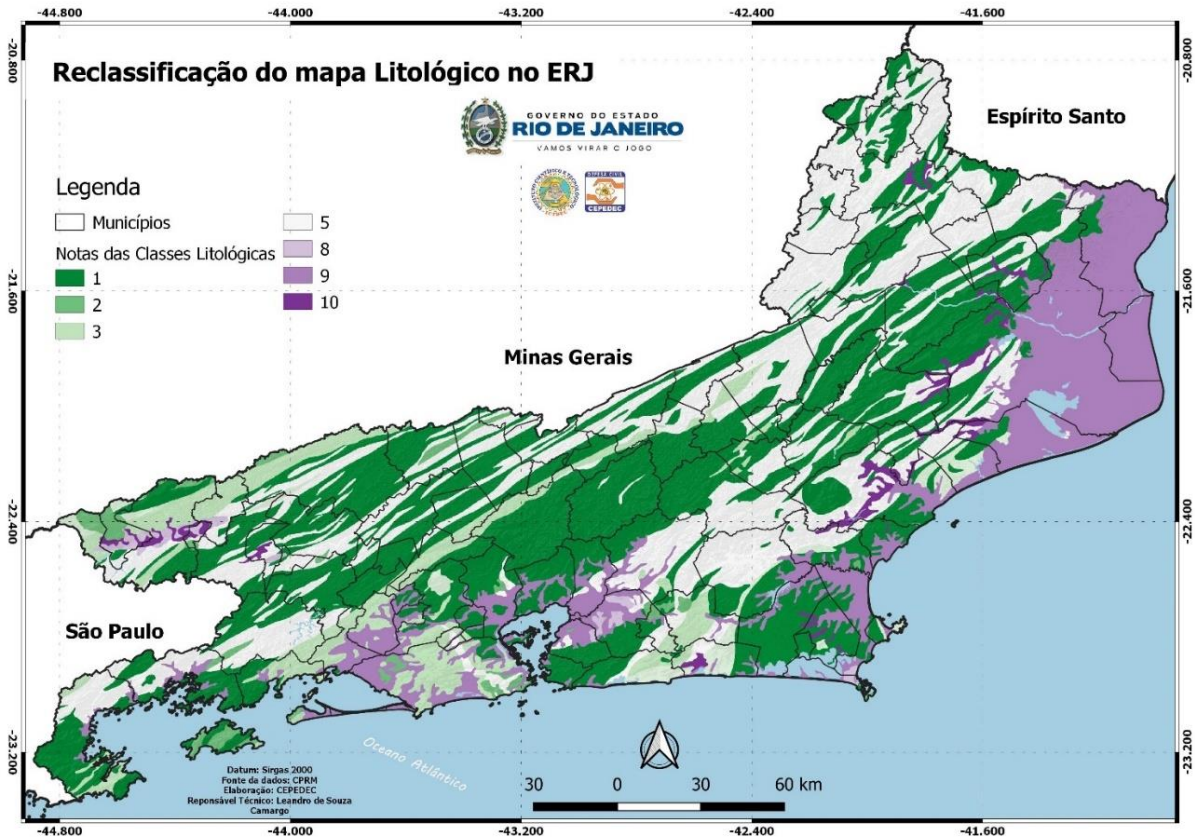
Classes Litológicas	Notas	Área (Km ²)	Área (%)
Biotita granito, Monzogranito, Charnockito, Enderbitito, Granito, Granitóide, Granodiorito, Leucogranito, Metagranito, Metagranodiorito,	1	17660	41%

Sienogranito, Monzogranito, Leucogranito, Tonalito			
Albita anatexito, Biotita gabro, Charnockito, Diatexito, Enderbito, Fenito, Fóide sienito Fonolito, Fonolito, Foyaíto, Foyaíto, Gnaiss, Gnaiss granítico, Granitóide, Kinzigito, Lamprófiro, Leucogranito, Litchfieldito, Migmatito estromático, Monzonito, Nefelina sienito, Nordmarkito, Norito, Ortognaisse, Ortognaisse tonalítico, Paragnaisse, Pseudoleucita fonolito,, Pseudoleucita foyaíto, Pseudoleucita sienito, Pseudoleucita tinguáto, Pulaskito, Quartzito, monzonito Traquito.	2	656	2%
Biotita gnaiss Brecha magmática, Fotolito, Foyaíto, Gabro, Gnaiss granulítico, Granito, Lamprófiro, Lherzolito, Metadiorito, Metagabro Metatonalito, Ortognaisse Monzonito, Nefelina sienito Nordmarkito Norito, Ortognaisse Peridotito, Pulaskito, Quartzito diorito Quartzito gabro, Traquito, Tufo alcalino,	3	3065	7%
Biotita gnaiss, Biotita granito, Brecha magmática, Fonolito, Foyaíto, Gnaiss, Kinzigito, Mica, xisto, Nefelina sienito, Paragnaisse, Quartzito, Rocha calcissilicática, Xisto	4	727	2%
Biotita gnaiss, Brecha magmática, Fonolito, Foyaíto, Gnaiss, Kinzigito, Mica xisto, Nefelina sienito, Paragnaisse, Quartzito, Rocha calcissilicática, Xisto.	5	12830	30%
Arenito, Arenito, Argilito, Argilito arenoso, Conglomerado, Diamictito, Lamito Sedimento siliciclástico	8	281	1%

Areia, Arenito conglomerático, Argila, Argilito arenoso, Silte	9	6975	16%
Areia, Argila, Cascalho	10	703	2%

Fonte: Autores (2020)

Figura 6. Mapa litológico reclassificado em diferentes notas.

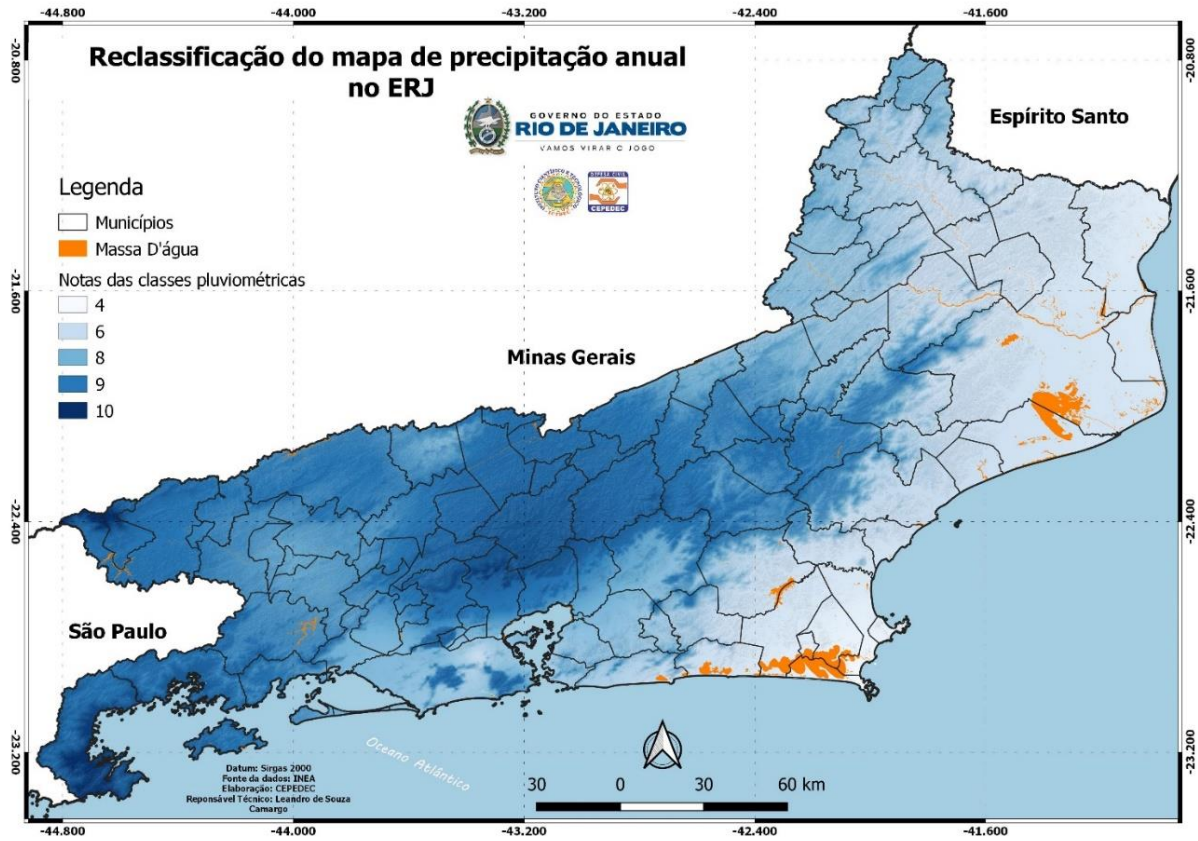


Fonte: Autores (2020)

3.5. PRECIPITAÇÃO

A reclassificação do mapa de precipitação anual, seguiu o método de Janks (FERREIRA, 2016), conforme quadro 3.5, e os demais limiares de precipitação foram elaborados segundo a premissa de quanto maior a precipitação média mensal, maior a suscetibilidade a deslizamentos (DOURADO et al., 2012), conforme os intervalos preconizados por Medeiros & Barros (2011), Silva et al., (2011), de Oliveira et al., (2016), León (2020), denotando o grau de potencialidade a deslizamentos exposto no quadro 3.5.1. A Figura 7 ilustra a distribuição pluviométrica anual e a Figura 8 representa as variações mensais do regima de chuvas no ERJ.

Figura 7. Mapa pluviométrico anual reclassificado em diferentes notas



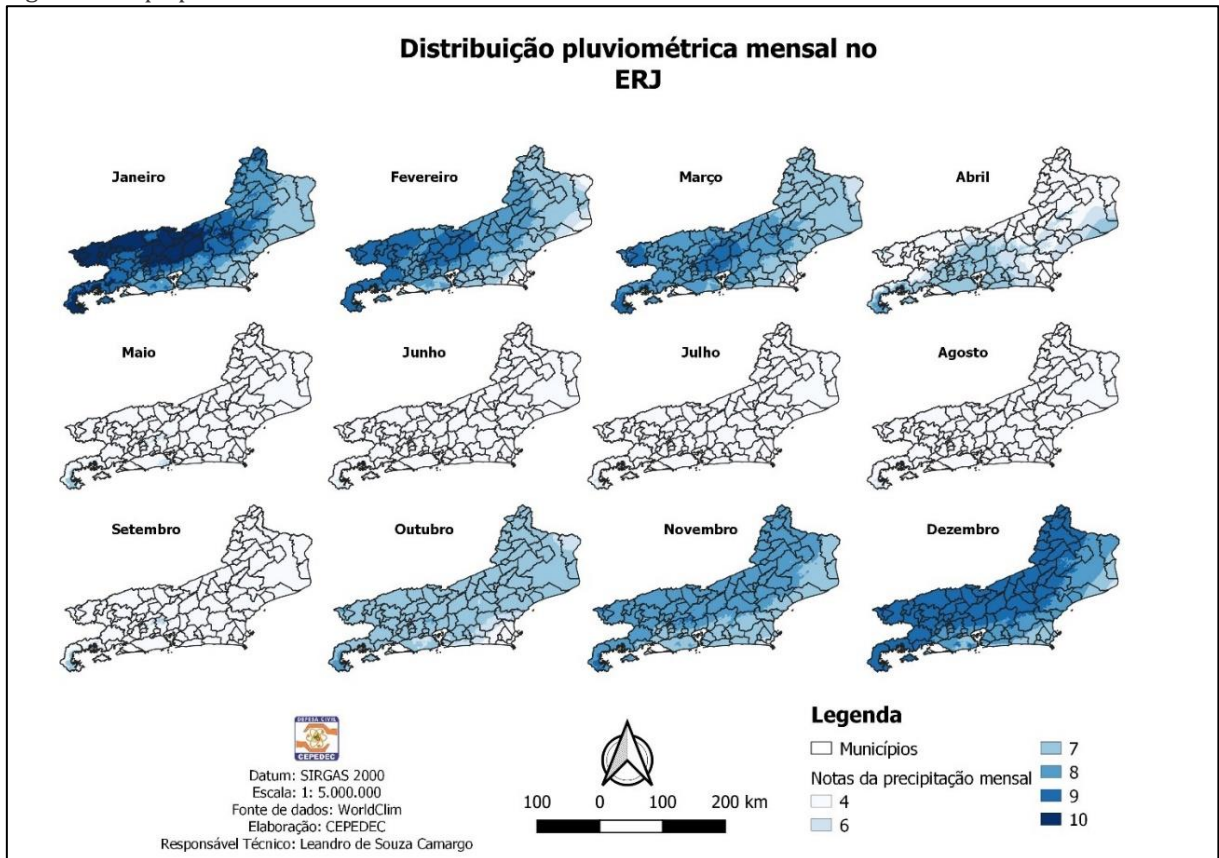
Fonte: Autores (2020)

Quadro 3.5. Reclassificação do mapa pluviométrico no regime anual

Anual			
Limiares de escoamento	Notas	Área (Km ²)	Área (%)
812 mm – 1.158 mm	4	12278	28%
1.158 mm – 1.347 mm	6	10683	24%
1.347 mm – 1.544 mm	8	14371	33%
1.544 mm – 1.830 mm	9	5528	13%
1.830 mm – 2.384 mm	10	917	2%

Fonte: Autores (2020)

Figura 8. Mapa pluviométrico reclassificado em diferentes notas



Fonte: Autores (2020)

Quadro 3.5.1. Reclassificação dos mapas pluviométricos no regime mensal

Janeiro			
Limiares de escoamento	Notas	Área (Km ²)	Área (%)
0 mm – 90 mm	4	126	0%
90 mm – 100 mm	6	316	1%
100 mm – 150 mm	7	10416	24%
150 mm – 200 mm	8	11219	26%
200 mm – 350 mm	9	10790	25%
>350 mm	10	10917	25%
Fevereiro			
Limiares de escoamento	Notas	Área (Km ²)	Área (%)
0 mm – 90 mm	4	1753	4%
90 mm – 100 mm	6	2250	5%
100 mm – 150 mm	7	14102	32%
150 mm – 200 mm	8	14719	34%

200 mm – 350 mm	9	10958	25%
>350 mm	10	0	0%
Março			
Limiares de escorregamento	Notas	Área (Km²)	Área (%)
0 mm – 90 mm	4	546	1%
90 mm – 100 mm	6	1378	3%
100 mm – 150 mm	7	18550	42%
150 mm – 200 mm	8	18095	41%
200 mm – 350 mm	9	5213	12%
>350 mm	10	0	0%
Abril			
Limiares de escorregamento	Notas	Área (Km²)	Área (%)
0 mm – 90 mm	4	23736	54%
90 mm – 100 mm	6	8742	20%
100 mm – 150 mm	7	10573	24%
150 mm – 200 mm	8	731	2%
200 mm – 350 mm	9	0	0%
>350 mm	10	0	0%
Maió			
Limiares de escorregamento	Notas	Área (Km²)	Área (%)
0 mm – 90 mm	4	42692	98%
90 mm – 100 mm	6	684	2%
100 mm – 150 mm	7	402	1%
150 mm – 200 mm	8	4	0%
200 mm – 350 mm	9	0	0%
>350 mm	10	0	0%
Junho			
Limiares de escorregamento	Notas	Área (Km²)	Área (%)
0 mm – 90 mm	4	43661	100%
90 mm – 100 mm	6	104	0%
100 mm – 150 mm	7	18	0%
150 mm – 200 mm	8	0	0%

200 mm – 350 mm	9	0	0%
>350 mm	10	0	0%
Julho			
Limiares de escorregamento	Notas	Área (Km²)	Área (%)
0 mm – 90 mm	4	43655	100%
90 mm – 100 mm	6	108	0%
100 mm – 150 mm	7	20	0%
150 mm – 200 mm	8	0	0%
200 mm – 350 mm	9	0	0%
>350 mm	10	0	0%
Agosto			
Limiares de escorregamento	Notas	Área (Km²)	Área (%)
0 mm – 90 mm	4	43685	100%
90 mm – 100 mm	6	94	0%
100 mm – 150 mm	7	3	0%
150 mm – 200 mm	8	0	0%
200 mm – 350 mm	9	0	0%
>350 mm	10	0	0%
Setembro			
Limiares de escorregamento	Notas	Área (Km²)	Área (%)
0 mm – 90 mm	4	42698	98%
90 mm – 100 mm	6	571	1%
100 mm – 150 mm	7	515	1%
150 mm – 200 mm	8	0	0%
200 mm – 350 mm	9	0	0%
>350 mm	10	0	0%
Outubro			
Limiares de escorregamento	Notas	Área (Km²)	Área (%)
0 mm – 90 mm	4	1546	4%
90 mm – 100 mm	6	3361	8%
100 mm – 150 mm	7	38137	87%
150 mm – 200 mm	8	739	2%

200 mm – 350 mm	9	0	0%
>350 mm	10	0	0%
Novembro			
Limiares de escorregamento	Notas	Área (Km²)	Área (%)
0 mm – 90 mm	4	26	0%
90 mm – 100 mm	6	332	1%
100 mm – 150 mm	7	13650	31%
150 mm – 200 mm	8	29102	66%
200 mm – 350 mm	9	674	2%
>350 mm	10	0	0%
Dezembro			
Limiares de escorregamento	Notas	Área (Km²)	Área (%)
0 mm – 90 mm	4	28	0%
90 mm – 100 mm	6	147	0%
100 mm – 150 mm	7	4113	9%
150 mm – 200 mm	8	11803	27%
200 mm – 350 mm	9	27640	63%
>350 mm	10	51	0%

Fonte: Autores (2020)

3.6. DECLIVIDADE

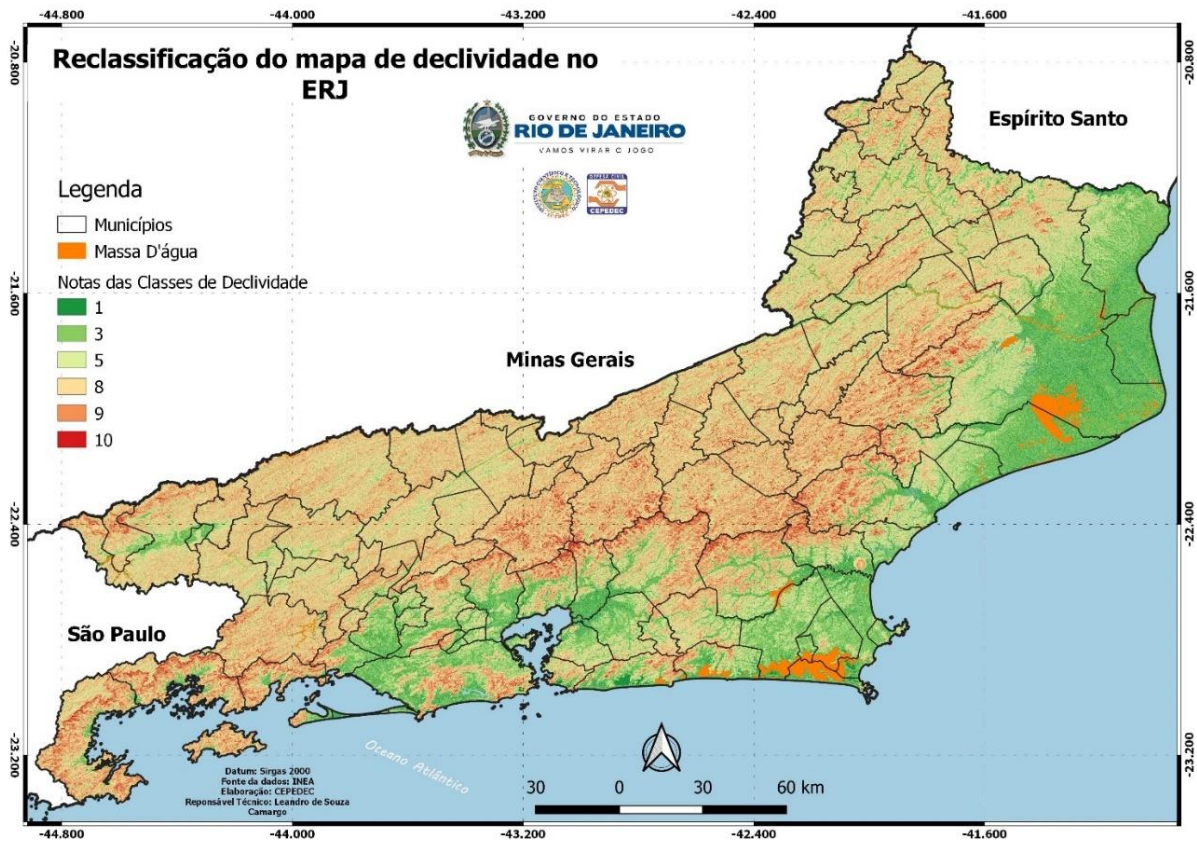
A reclassificação do mapa de declividade seguiu a metodologia proposta pela EMBRAPA (2006) segundo as classes de relevo, embasado pelos MDE's (Modelos Digitais de Elevação), sendo este um dos principais fenômenos desencadeadores dos processos de deslizamentos (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; DOMINGUEZ-CUESTA, 2012; WILDE et al., 2018, GUERRA et al., 2019). A figura 9 representa as distintas classes de declividade do ERJ e o quadro 3.6 resume os critérios adotados na reclassificação.

Quadro 3.6. Reclassificação do mapa de declividade

Classes de declividade	Notas	Área (Km ²)	Área (%)
Relevo Plano (0% a 3%)	1	3688	8%
Relevo Suavemente Ondulado (3% a 8%)	3	7947	18%
Relevo Ondulado (8% a 20%)	5	8341	19%
Relevo Fortemente Ondulado (20% a 45%)	8	15556	36%
Relevo Montanhoso (45% a 75%)	9	6983	16%
Relevo Fortemente Montanhoso (acima de 75%)	10	1057	2%

Fonte: Autores (2020)

Figura 9. Mapa de declividade reclassificado em diferentes notas.



Fonte: Autores (2020)

3.7. AHP

Conforme equação 1, os elementos na extremidade esquerda da matriz, dispostos em colunas, quando comparados com o fator correspondente na linha superior, denotam o grau de importância que um condicionante exerce sobre outro. O resultado da construção da Matriz de comparação pareada é demonstrado no quadro 3.7.1.

Quadro 3.7.1. Grau de importância de cada condicionante

Condicionantes	Uso do Solo	Geomorfologia	Pedologia	Litologia	Precipitação	Declividade
Uso do Solo	1,00	1,00	3,00	2,00	1,00	1,00
Geomorfologia	1,00	1,00	2,00	3,00	1,00	1,00
Pedologia	0,33	0,50	1,00	1,00	0,50	0,33
Litologia	0,50	0,33	1,00	1,00	0,50	0,33
Precipitação	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00
Declividade	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00

Fonte: Autores (2020)

A partir da decisão proposta, os elementos da matriz de julgamentos foram normalizados, ou seja, cada elemento foi dividido pela somatória dos elementos da coluna a que ele pertence, realizando-se média aritmética simples dos elemetos correspondentes à linha da matriz normalizada, gerando o peso para cada condicionante. O resultado é demonstrado no quadro 3.7.2.

Quadro 3.7.2. Matriz normalizada dos condicionantes e determinação a dos pesos estatísticos

Condicionantes	Uso do Solo	Geomorfologia	Pedologia	Litologia	Precipitação	Declividade	Pesos
Uso do Solo	0,21	0,21	0,25	0,17	0,20	0,21	0,21
Geomorfologia	0,21	0,21	0,17	0,25	0,20	0,21	0,21
Pedologia	0,07	0,10	0,08	0,08	0,10	0,07	0,09
Litologia	0,10	0,07	0,08	0,08	0,10	0,07	0,09
Precipitação	0,21	0,21	0,17	0,17	0,20	0,21	0,19
Declividade	0,21	0,21	0,25	0,25	0,20	0,21	0,22

Fonte: Autores (2020)

Após a determinação do peso, ou autovetor, determina-se a consistência lógica dos resultados pela aplicação da Equação (2) conforme Quadro 3.7.3.

Quadro 3.7.3. Matriz de consistência lógica

$Aw_{i=}$

1,00	1,00	3,00	2,00	1,00	1,00
1,00	1,00	2,00	3,00	1,00	1,00
0,33	0,50	1,00	1,00	0,50	0,33
0,50	0,33	1,00	1,00	0,50	0,33
1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00

X

0,21
0,21
0,09
0,09
0,19

=

1,26
1,26
0,51
0,51
1,17

1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00	0,22	1,34
------	------	------	------	------	-------------	------	------

Fonte: Autores (2020)

De acordo com Saaty (1990), quando a razão de consistência for inferior a 0,1 a razão dos coeficientes de ponderação são aceitáveis, caso contrário, uma reavaliação dos julgamentos é exigida. Feito estes procedimentos, os resultados do uso das equações (1), (2) e (3) podem ser resumidos no quadro 3.7.4.

Quadro 3.7.4. Resumo dos valores obtidos da análise por método AHP

Autovalor	6,05
Índice de consistência	0,01
Razão de consistência	0,01

Fonte: Autores (2020)

A partir da aplicação do método AHP e do SIG QGIS 3.10, foi realizada a combinação linear dos condicionantes, processado na calculadora de campo, “*Raster Calculator*”, designando um modelo cartográfico preditor, o qual indica as áreas com maior possibilidade de serem afetadas por eventos de deslizamentos em função de sua sazonalidade. A Equação 5 foi utilizada na construção dos mapas de susceptibilidade. A Figura 10 ilustra o resultado obtido no quadro anual e a Figura 11 retrata os resultados mensais obtidos, assim como os quadros 3.7.5 e 3.7.6 descrevem a classificação de susceptibilidade, os intervalos de divisão de classes e as estimativas de áreas em quilômetros quadrados e percentuais.

Equação 5:

$$\text{SUSCEPTIBILIDADE} = 0,21*U + 0,21*Ge + 0,09*Pe + 0,09*Li + 0,19*Pr + 0,22*De$$

Onde:

U = Matriz de uso e cobertura do solo;

Ge = Matriz de geomorfologia;

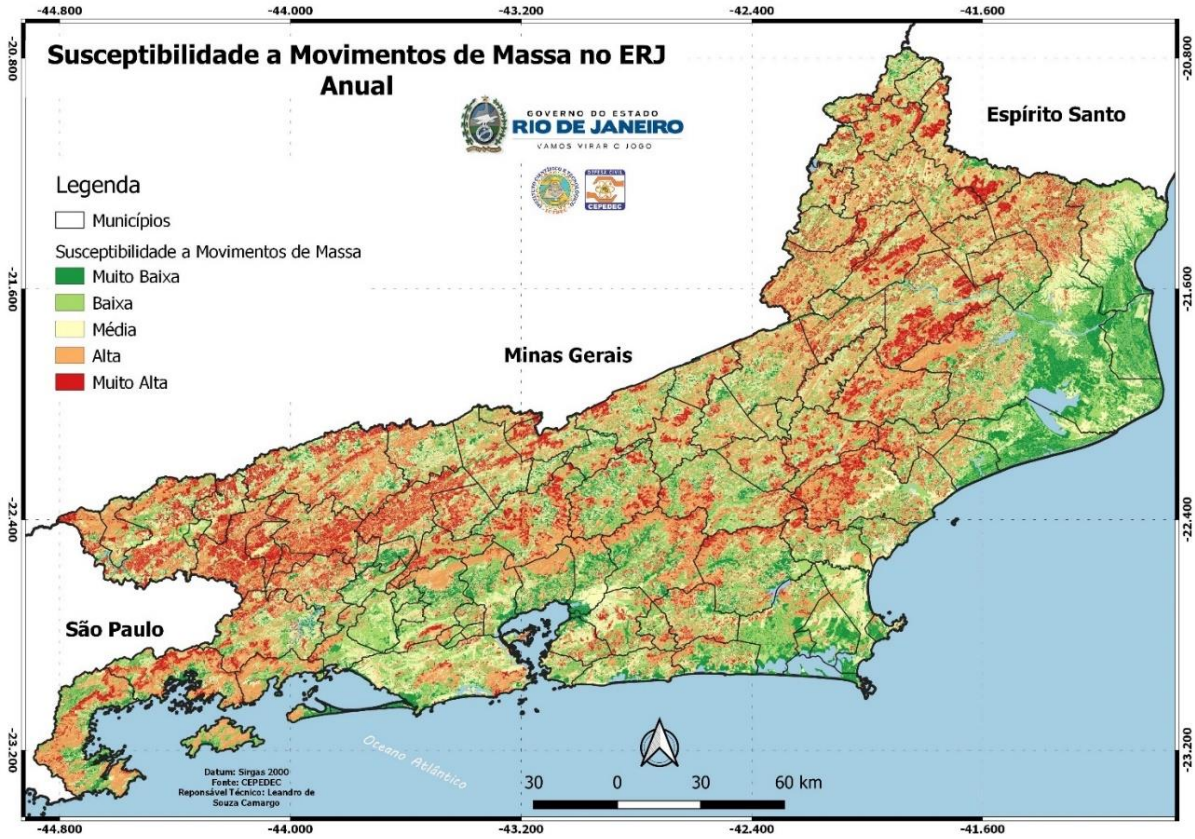
Pe = Matriz de pedologia;

Li = Matriz de litologia;

Pr = Matriz de precipitação;

De = Matriz de declividade.

Figura 10. Mapa de susceptibilidade a movimentos de massa no regime anual para o ERJ.



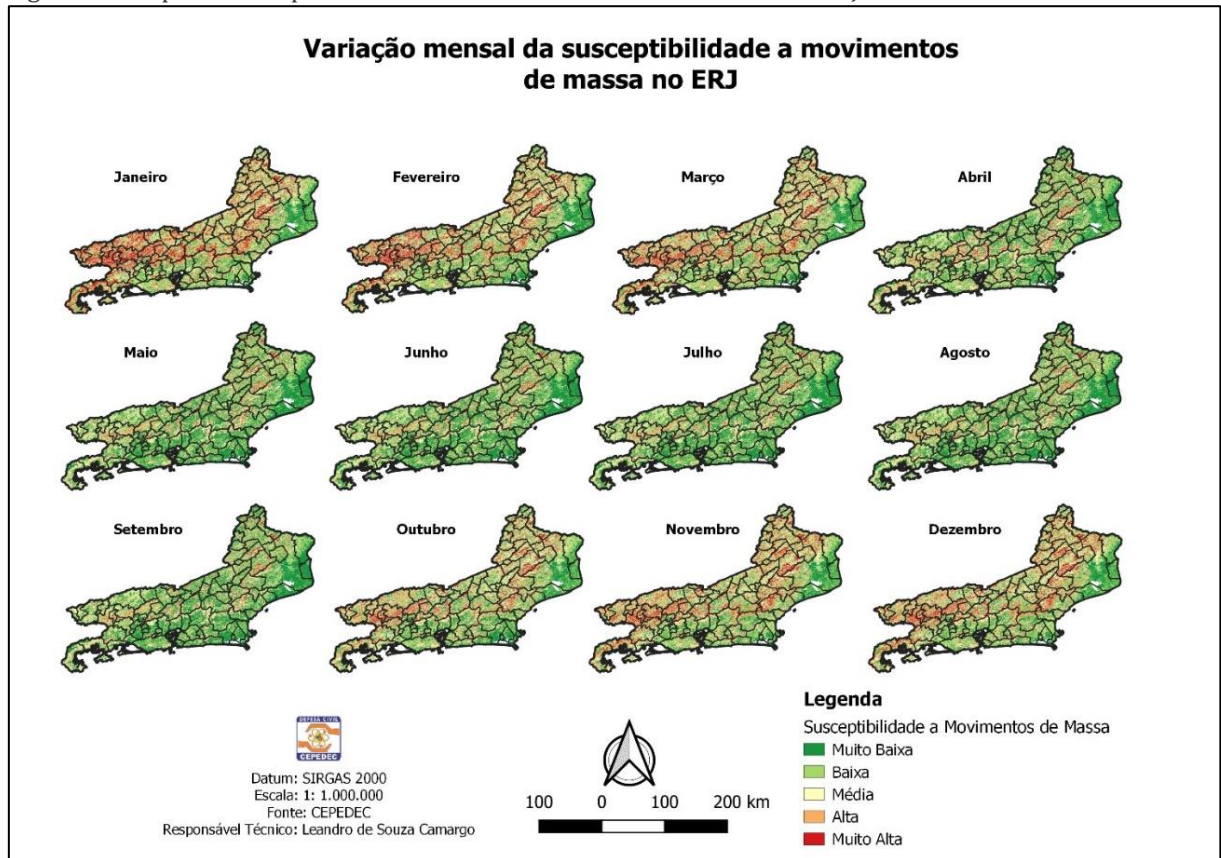
Fonte: Autores (2020)

Quadro 3.7.5. Susceptibilidade anual a moviementos de massa no ERJ

Anual				
Susceptibilidade a escorregamentos	Intervalos	Notas	Área (Km ²)	Área (%)
Muito Baixo	77 - 290	1	8417	11%
Baixo	290 - 380	2	17917	24%
Médio	380 - 460	3	18083	24%
Alto	460 - 466	4	21580	29%
Muito Alto	466 - 783	5	9564	13%

Fonte: Autores (2020)

Figura 11. Mapa de susceptibilidade mensal a movimentos de massa no ERJ.



Fonte: Autores (2020)

Quadro 3.7.6. Susceptibilidade mensal a movimentos de massa no ERJ

Janeiro				
Susceptibilidade a escorregamentos	Intervalos	Notas	Área (Km ²)	Área (%)
Muito Baixo	100 - 375	1	5867	14%
Baixo	375 - 495	2	11695	28%
Médio	495 - 600	3	11507	27%
Alto	600 - 700	4	6678	16%
Muito Alto	700 - 920	5	6684	16%
Fevereiro				
Susceptibilidade a escorregamentos	Intervalos	Notas	Área (Km ²)	Área (%)
Muito Baixo	100 - 375	1	7291	17%
Baixo	375 - 495	2	11510	27%
Médio	495 - 600	3	12902	30%

Alto	600 - 700	4	5011	12%
Muito Alto	700 - 920	5	5716	13%
Março				
Susceptibilidade a escorregamentos	Intervalos	Notas	Área (Km²)	Área (%)
Muito Baixo	100 - 375	1	7018	17%
Baixo	375 - 495	2	11904	28%
Médio	495 - 600	3	13365	31%
Alto	600 - 700	4	5094	12%
Muito Alto	700 - 920	5	5050	12%
Abril				
Susceptibilidade a escorregamentos	Intervalos	Notas	Área (Km²)	Área (%)
Muito Baixo	100 - 375	1	12001	28%
Baixo	375 - 495	2	13799	33%
Médio	495 - 600	3	11470	27%
Alto	600 - 700	4	3172	7%
Muito Alto	700 - 920	5	1988	5%
Maio				
Susceptibilidade a escorregamentos	Intervalos	Notas	Área (Km²)	Área (%)
Muito Baixo	100 - 375	1	15078	36%
Baixo	375 - 495	2	13334	31%
Médio	495 - 600	3	10163	24%
Alto	600 - 700	4	2547	6%
Muito Alto	700 - 920	5	1308	3%
Junho				
Susceptibilidade a escorregamentos	Intervalos	Notas	Área (Km²)	Área (%)
Muito Baixo	100 - 375	1	15199	36%
Baixo	375 - 495	2	13361	31%
Médio	495 - 600	3	10038	24%

Alto	600 - 700	4	2541	6%
Muito Alto	700 - 920	5	1290	3%
Julho				
Susceptibilidade a escorregamentos	Intervalos	Notas	Área (Km²)	Área (%)
Muito Baixo	100 - 375	1	15199	36%
Baixo	375 - 495	2	13361	31%
Médio	495 - 600	3	10038	24%
Alto	600 - 700	4	2541	6%
Muito Alto	700 - 920	5	1290	3%
Agosto				
Susceptibilidade a escorregamentos	Intervalos	Notas	Área (Km²)	Área (%)
Muito Baixo	100 - 375	1	15199	36%
Baixo	375 - 495	2	13361	31%
Médio	495 - 600	3	10038	24%
Alto	600 - 700	4	2541	6%
Muito Alto	700 - 920	5	1290	3%
Setembro				
Susceptibilidade a escorregamentos	Intervalos	Notas	Área (Km²)	Área (%)
Muito Baixo	100 - 375	1	15086	36%
Baixo	375 - 495	2	13301	31%
Médio	495 - 600	3	10173	24%
Alto	600 - 700	4	2563	6%
Muito Alto	700 - 920	5	1307	3%
Outubro				
Susceptibilidade a escorregamentos	Intervalos	Notas	Área (Km²)	Área (%)
Muito Baixo	100 - 375	1	8551	20%
Baixo	375 - 495	2	11880	28%
Médio	495 - 600	3	13993	33%

Alto	600 - 700	4	4022	9%
Muito Alto	700 - 920	5	3984	9%
Novembro				
Susceptibilidade a escorregamentos	Intervalos	Notas	Área (Km²)	Área (%)
Muito Baixo	100 - 375	1	8551	20%
Baixo	375 - 495	2	11880	28%
Médio	495 - 600	3	13993	33%
Alto	600 - 700	4	4022	9%
Muito Alto	700 - 920	5	3984	9%
Dezembro				
Susceptibilidade a escorregamentos	Intervalos	Notas	Área (Km²)	Área (%)
Muito Baixo	100 - 375	1	5466	13%
Baixo	375 - 495	2	11456	27%
Médio	495 - 600	3	12357	29%
Alto	600 - 700	4	6632	16%
Muito Alto	700 - 920	5	6519	15%

Fonte: Autores (2020)

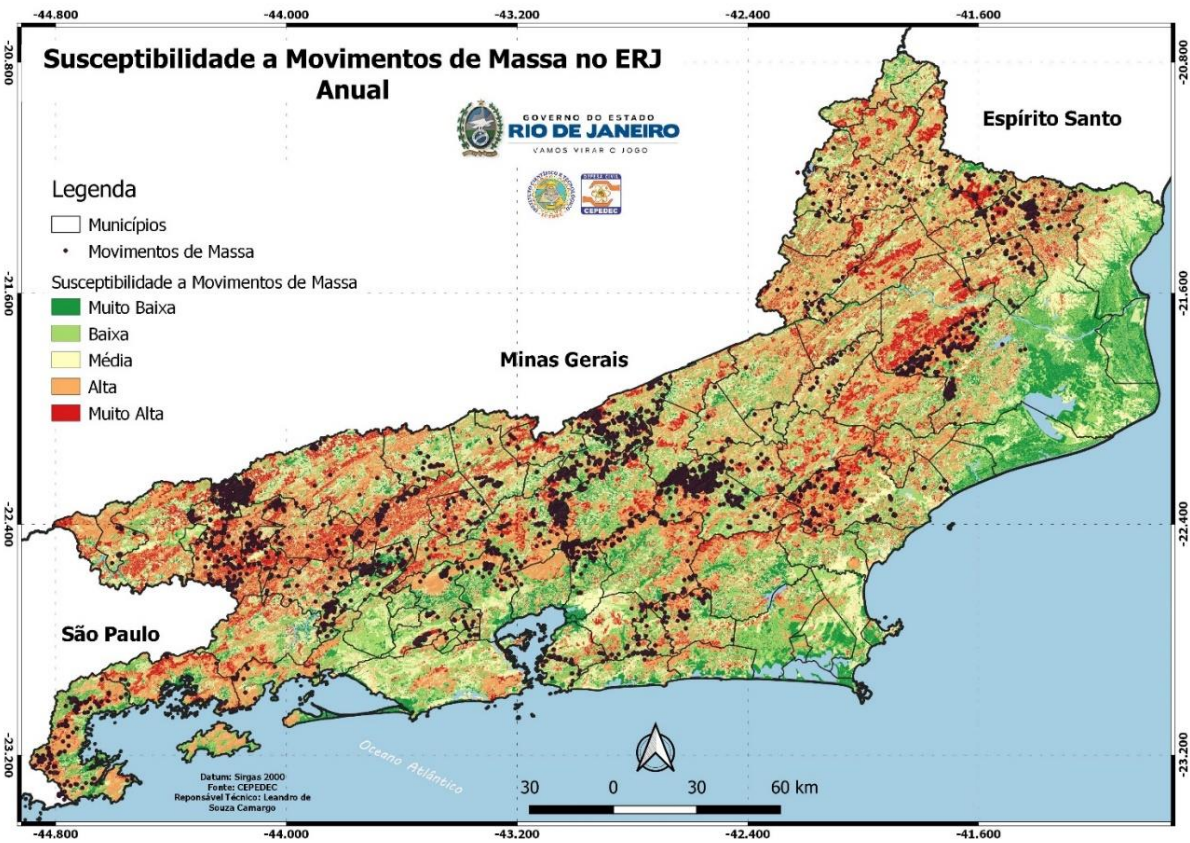
No período anual, 42% do ERJ, equivalente a 31.144 Km², estão classificados com a susceptibilidade alta e muito alta, destacando-se as REDECs Sul e Costa verde, uma vez que possuem 56% de seu território identificado como favorável a movimentos de massa. As regiões do ERJ classificadas com susceptibilidade média correspondem a 18083 Km² ou 24 % do território, distinguindo-se as REDEC Capital com 364 Km². As classes de susceptibilidade muito e baixa são proporcionais a 26334 Km² ou 35% do ERJ e concentram-se nas REDECs Litorânea e Metropolitana, com 2795 Km² e 1285 Km² ou 35% da extensão territorial de ambas.

Os resultados apontam acréscimo da susceptibilidade a movimentos de massa a partir do mês de outubro, evidenciado pelo aumento percentual das classes altas e muito altas sendo proporcionais a 18% ou 8006 Km² do ERJ, com ápice no mês de janeiro e queda a partir do mês de maio, mantendo-se até setembro onde há um recomeço do ciclo sazonal.

3.8. VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos para a validação dos mapas de suscetibilidade, por meio de seu cruzamento com os 3775 escorregamentos mapeados, são apresentados na Figura 12.

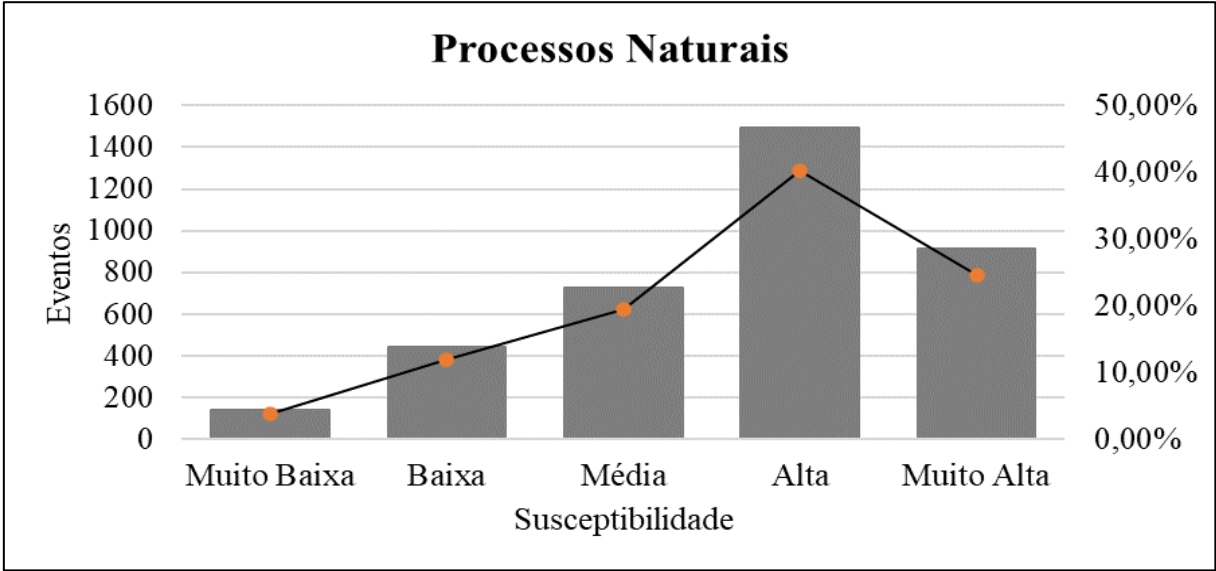
Figura 12. Mapa de susceptibilidade a movimentos de massa em junção com eventos de deslizamentos.



Fonte: Autores (2020)

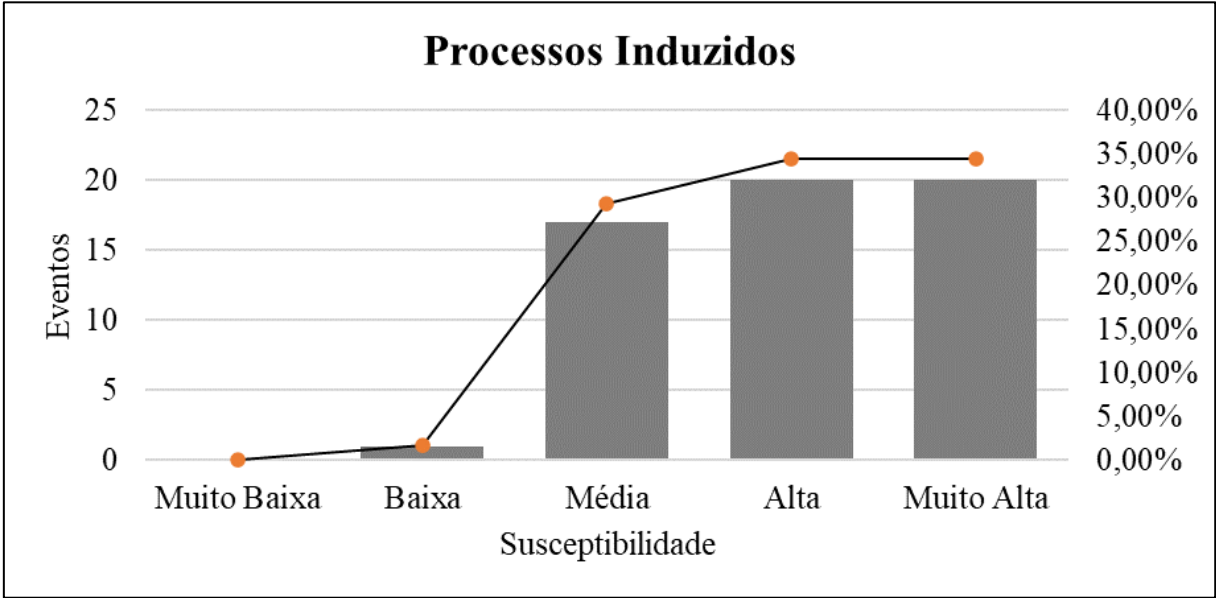
A representação em valores totais e em percentuais de escorregamentos em cada classe de suscetibilidade cabe a Figura 13, divididos em processos 3717 naturais e 58 induzidos.

Figura 13. Distribuição dos escorregamentos nas diferentes classes de suscetibilidade.



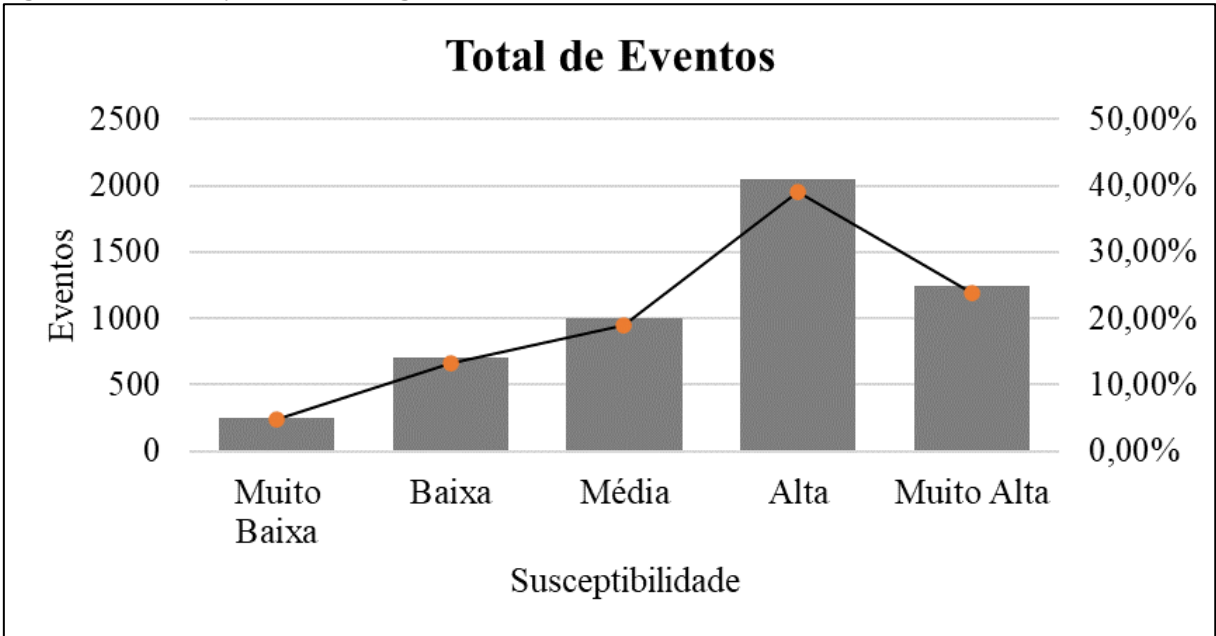
Fonte: Autores (2020)

Figura 14. Distribuição dos escorregamentos nas diferentes classes de suscetibilidade nos processos induzidos.



Fonte: Autores (2020)

Figura 15. Distribuição dos escorregamentos nas diferentes classes de suscetibilidade no total de eventos.



Fonte: Autores (2020)

Nos processos naturais, os movimentos de massa foram inseridos, principalmente, nas classes de suscetibilidade alta, com 1496 registros, equivalente a 40,17% do total. A classe muito alta abrangeu, por sua vez, 24,51% dos registros. As classes muito baixa e baixa totalizaram 585 casos, o que equivale a 3,85% e 11,89% do total respectivamente nesta ordem. A junção das classes alta e muito alta representam 65% do total de eventos no período anual.

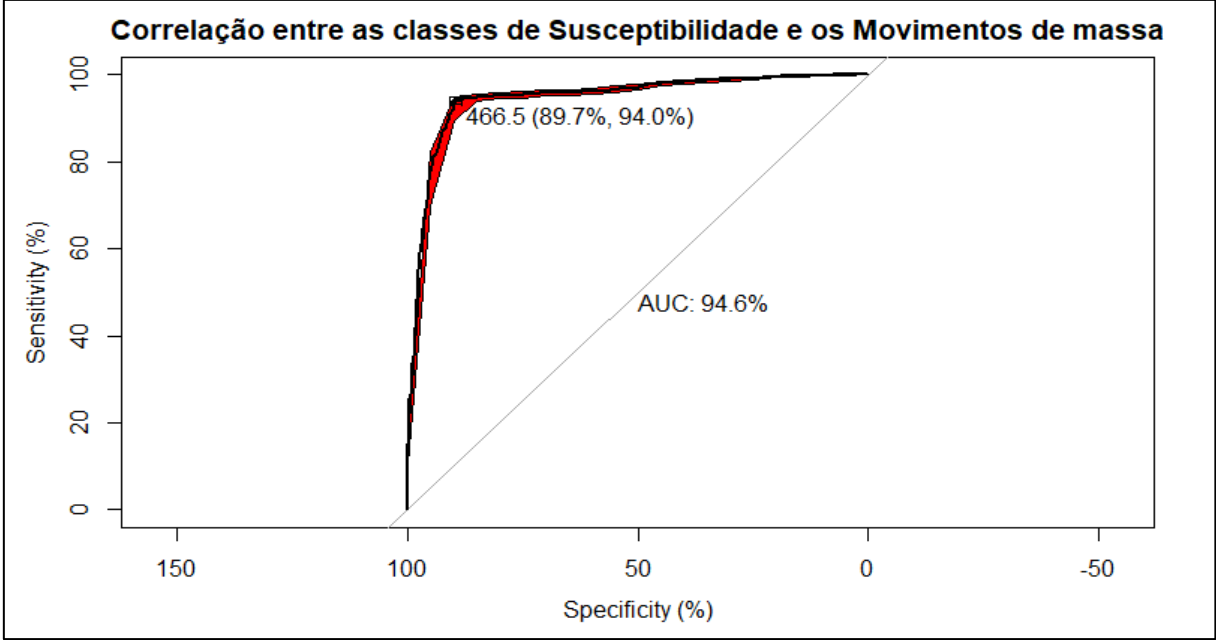
Nos processos induzidos, não foram detectados registros de deslizamentos na classe muito baixa e 34,48% das 58 ocorrências de escorregamento encontram-se na classe de suscetibilidade muito alta e alta de equânime. As classes média e baixa apresentaram 17 e 1 ocorrências, o que equivale a 31% de todos os registros. 1002 eventos foram registrados na classe média, 19% do total e 954 foram detectados nas classes muito baixa e baixa, equivalente a 13% e 5% do total.

3.8.1. CURVA ROC

A curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) obtida para o cenários anual demonstrou que a adoção dos intervalos de suscetibilidade (Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto) são convergentes com os eventos de movimentos de massa, uma vez que valores de AUC (*Area Under The Curve*) acima de 0,90 caracteriza o bom

desempenho do modelo proposto (GUZZETTI, 2006). Os resultados obtidos para AUC, obtidos a partir da validação cruzada, classificaram como falsos negativos (FN) eventos que ocorreram nas classes muito baixa, baixa e média e as ocorrências nas classes alta e muito alta foram considerados verdadeiros positivos (VP) com uma acurácia de 0,9464 para 42% da área de estudo.

Figura 16. Métricas das classes de susceptibilidade a partir do intervalo alto e muito alto.

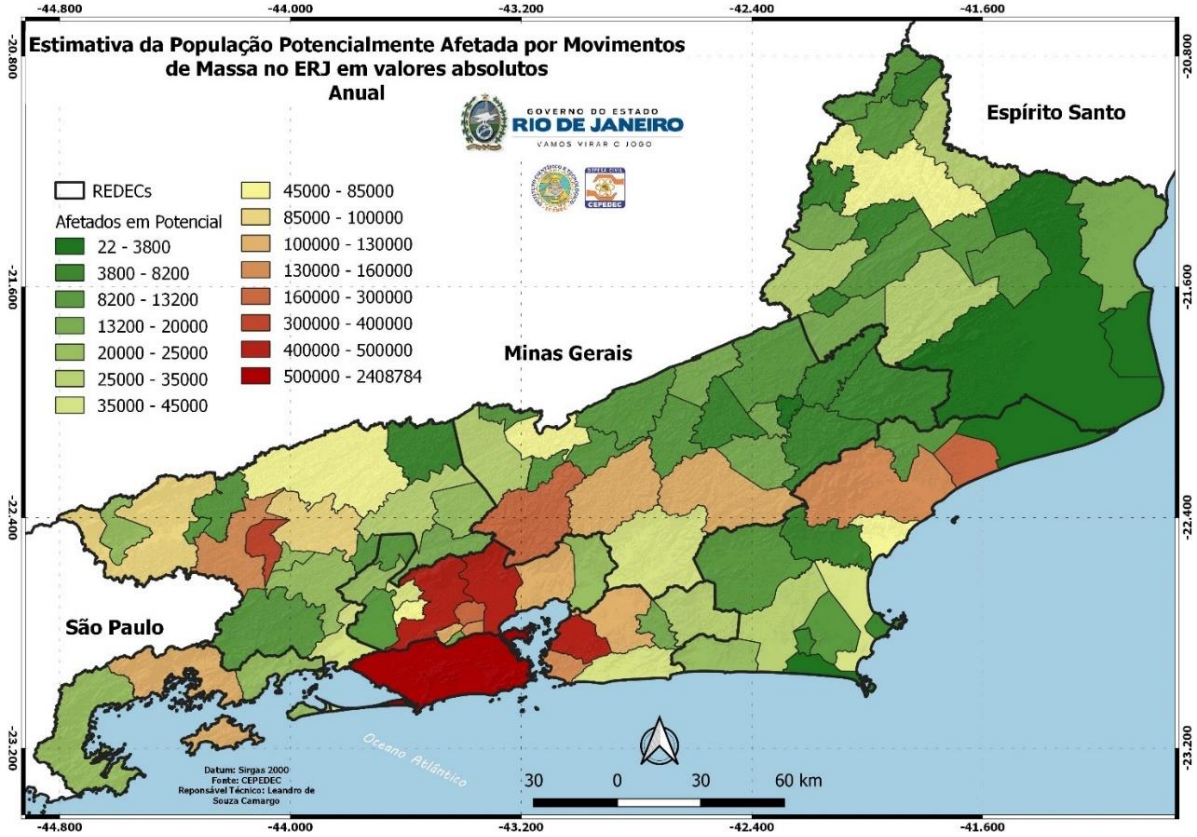


Fonte: Autores (2020)

3.9. ESTIMATIVA DE AFETADOS EM POTENCIAL POR MOVIMENTOS DE MASSA

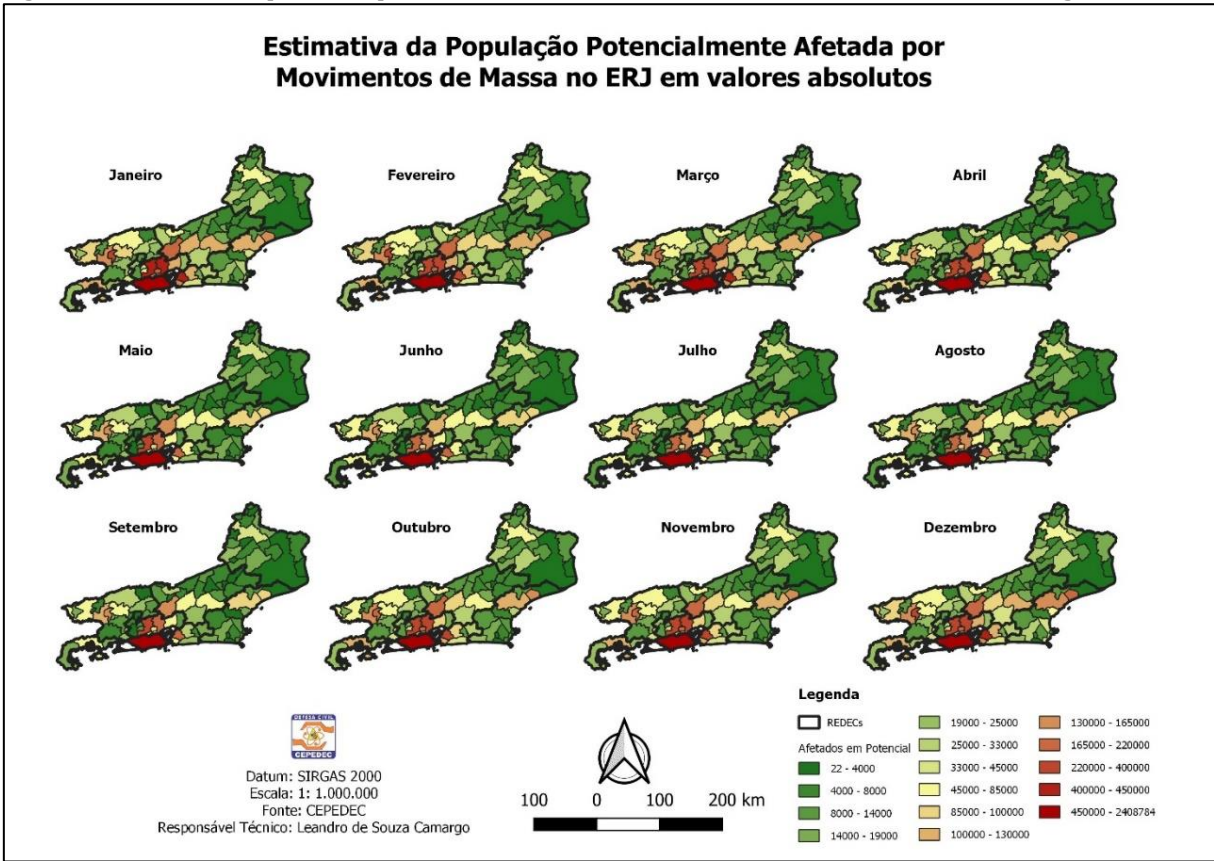
Os resultados da estimativa de afetados em potencial por movimentos de massa estão ilustrados nas Figuras 17, 18, 19 e 20 mediante mapas que estabelecem a possibilidade, em números absolutos e percentuais, máxima de afetados caso o adensamento populacional se faça na integralidade das áreas propensas a movimentos de massa categorizada a partir da classe de susceptibilidade média, e representado no quadro 3.8 no regime anual.

Figura 17. Afetados em potencial por movimentos de massa no ERJ em valores absolutos no regime anual.



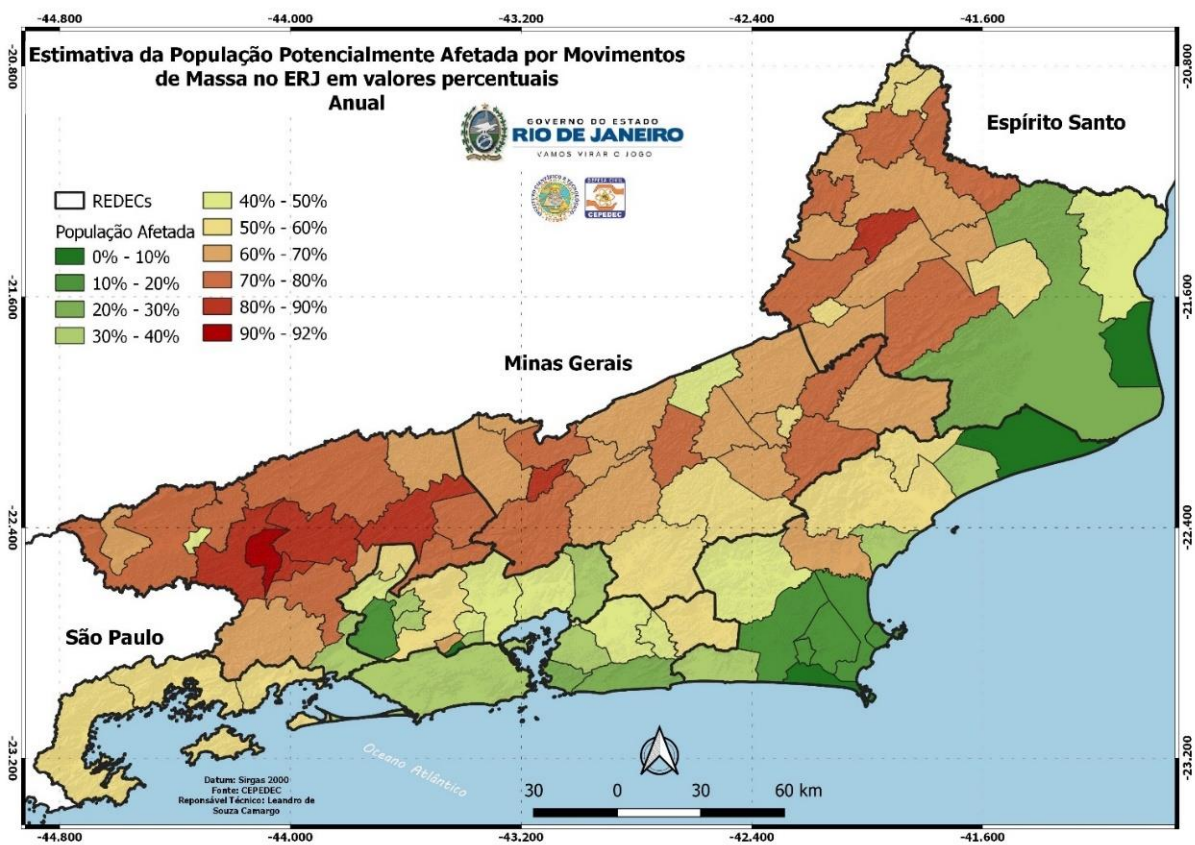
Fonte: Autores (2020)

Figura 18. Afetados em potencial por movimentos de massa no ERJ em valores absolutos no regime mensal.



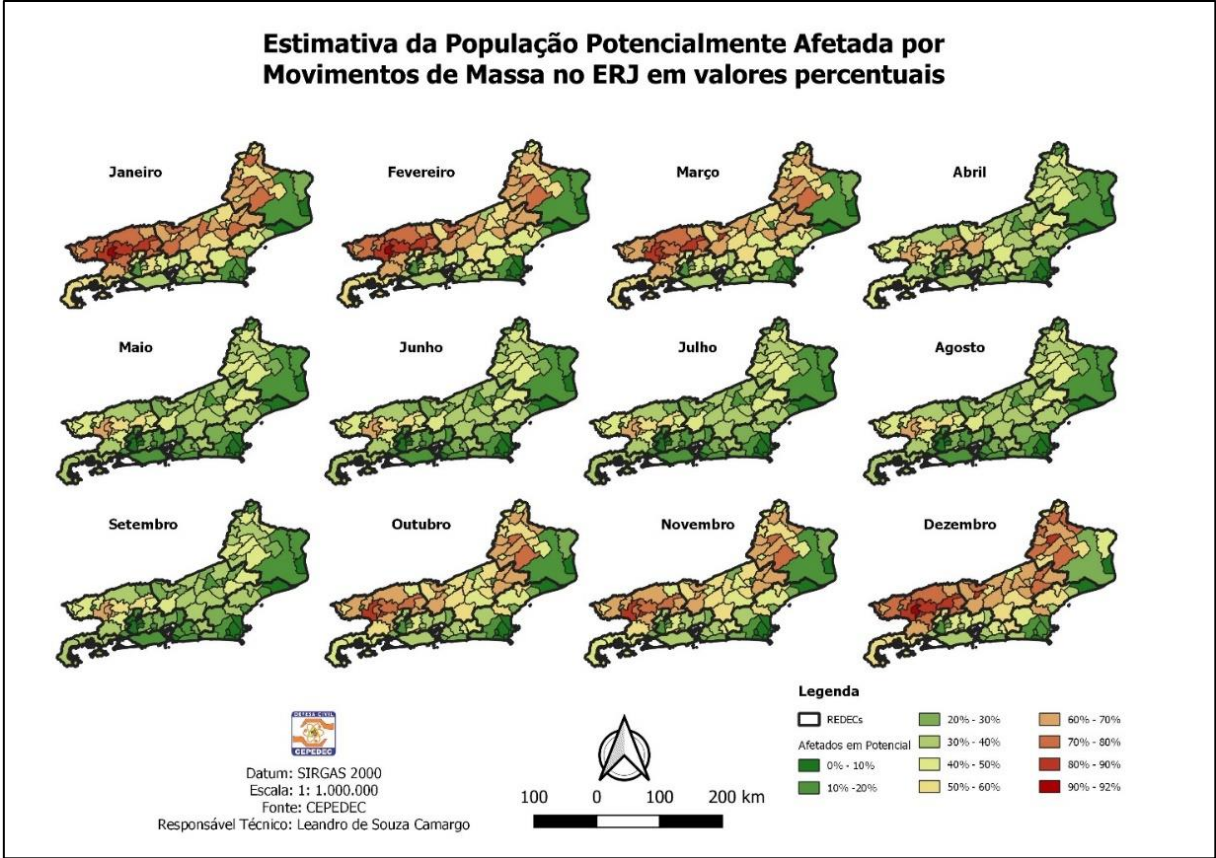
Fonte: Autores (2020)

Figura 19. Afetados em potencial por movimentos de massa no ERJ em valores percentuais no regime anual.



Fonte: Autores (2020)

Figura 20. Afetados em potencial por movimentos de massa no ERJ no regime mensal.



Fonte: Autores (2020)

Quadro 3.8. estimativa de afetados em potencial por eventos de Movimentos de Massa

IBGE (2010)	Afetados	
Municípios	Anual Absoluto	Anual Relativo
CAPITAL		
Rio de janeiro	2408784	38%
COSTA VERDE		
Angra dos Reis	111516	55%
Itaguaí	44786	34%
Mangaratiba	23263	52%
Paraty	23201	54%
SUL		
Barra do Piraí	85053	85%
Barra Mansa	163288	89%
Itatiaia	22115	70%

Mendes	12837	69%
Miguel Pereira	18946	74%
Paty do Alferes	21371	77%
Pinheiral	22646	90%
Piraí	19941	76%
Porto Real	8272	42%
Quatis	10624	74%
Resende	95026	72%
Rio Claro	12158	66%
Rio das Flores	6101	66%
Valença	57569	80%
Vassouras	30341	88%
Volta Redonda	237603	92%
BAIXADA FLUMINENSE		
Belford Roxo	206523	41%
Duque de Caxias	401675	44%
Engenheiro Paulo de Frontin	8286	59%
Guapimirim	23416	39%
Japeri	39184	37%
Magé	115353	47%
Mesquita	111182	63%
Nilópolis	15746	10%
Nova Iguaçu	418822	51%
Paracambi	23601	45%
Queimados	57899	39%
São João de Meriti	156895	34%
Seropédica	13745	18%
BAIXADA LITORÂNEA		
Araruama	26386	20%
Armação dos Búzios	5253	13%
Arraial de cabo	22	0%
Cabo Frio	38849	17%

Carapebus	3607	21%
Casimiro de Abreu	18045	41%
Iguaba Grande	4502	16%
Macaé	135082	52%
Quissamã	1668	7%
Rio das Ostras	46519	31%
São Pedro da Aldeia	13429	15%
Saquarema	24171	33%
Silva Jardim	10183	48%
METROPOLITANA		
Itaboraí	104397	43%
Maricá	43802	27%
Niterói	153427	29%
Rio Bonito	32232	54%
São Gonçalo	429618	40%
Tanguá	14037	46%
SERRANA		
Areal	11072	88%
Bom Jardim	17946	65%
Cachoeiras de Macacu	33092	56%
Cantagalo	12862	64%
Carmo	11156	59%
Comendador Levy Gasparian	5671	66%
Cordeiro	14157	65%
Duas Barras	7148	62%
Macuco	3157	56%
Nova Friburgo	109481	57%
Paraíba do Sul	28985	65%
Petrópolis	219461	72%
Santa Maria Madalena	7245	70%
São José do Vale do Rio Preto	12463	62%
São Sebastião do Alto	6393	72%

Sapucaia	11942	68%
Sumidouro	10692	72%
Teresópolis	103440	63%
Trajano Moraes	7652	74%
Três Rios	58185	75%
NORTE		
Aperibé	6670	57%
Bom Jesus do Itabapoana	26324	71%
Cambucí	10690	69%
Campos dos Goytacazes	175254	35%
Cardos Moreira	8031	63%
Italva	10677	70%
Itaocara	14878	64%
Itaperuna	70753	69%
Laje do Muriaé	5284	72%
Miracema	18722	69%
Natividade	11702	76%
Porciúncula	10615	56%
Santo Antônio de Pádua	31859	78%
São Fidélis	29363	78%
São Francisco de Itabapoana	17644	43%
São João da Barra	422	1%
São José de Ubá	5658	81%
Varre Sai	5814	58%

Fonte: Autores (2020)

Os resultados demonstram que as REDECs Capital e Baixada Fluminense apresentam o maior número absoluto de afetados em potencial do ERJ sujeitos aos efeitos adversos dos movimentos de massa, seja de origem natural ou antrópica. Contudo, no tocante ao número percentual de afetados em potencial as REDECs Sul e Serrana são preponderantes na estimativa do modelo proposto.

A partir do mês de outubro intensifica-se o percentual de afetados, com destaque para as REDECs Sul e Serrana, com ápice em janeiro. Destaca-se o município de Volta

Redonda com 92% de sua população, ou 237603 munícipes, com potencial de serem afetadas, de forma direta ou indireta, por eventos de movimentos de massa.

4. DISCUSSÃO

Segundo Guerra et al., (2019) os eventos de movimentos de massa são potencializados pela ausência de cobertura vegetal e pelo elevado nível de antropismo local, com destaque para os solos urbanos que apresentam o maior grau de potencialidade a deslizamentos uma vez que condições edáficas e bióticas são modificadas segundo a expansão territorial, convergente com a indicação das áreas consideradas com alta susceptibilidade a movimento de massas no ERJ no período anual e mensal.

Arelado a ocupação antrópica, regiões detentoras de colinas e serras escarpadas, em junção com elevadas declividades e solos de baixa espessura elevam a potencialidade a deslizamentos (VANACÔR, 2006; LOPES, 2006; DALMAS, 2013; BRITO, 2014; SCHRAMM, 2019), e estas são ocupadas pelas populações de maior vulnerabilidade social no Brasil e ERJ (ROSA FILHO, 2010; DE OLIVEIRA FILHO, 2012; GARCIA et al., 2016). A combinação destes fatores eleva a possibilidade de movimentos de massa, contudo, as chuvas costumam ser a principal variável deflagradora de deslizamentos em ambientes tropicais (DE PLOEY & CRUZ, 1979; SELUCHI et al., 2011; VIEIRA & GRAMANI, 2015; RANGEL et al., 2019), uma vez que quanto mais intenso o episódio de precipitação, maior a probabilidade de ocorrerem eventos de deslizamentos em áreas predispostas, nas quais os meios físico, biótico e artificial favoreçam a ocorrência de movimentos de massa (PARIZZI et al., 2010; DOURADO et al., 2012; DO AMARAL et al., 2020) fato este verificado pelo aumento das áreas classificadas com nível de susceptibilidade alta e muito alta nos períodos de maior precipitação mensal (Figura 18) e nas regiões de maior precipitação no período anual (Figura 7).

No período anual as áreas classificadas com susceptibilidade muito baixa e baixa a ocorrência de escorregamentos distribui-se ao longo de todo estado, principalmente nas REDECS Litorânea e Baixada Fluminense. Essas áreas correspondem, em alguns locais, às planícies de inundação e reúnem condicionantes naturais pouco propícios à ocorrência de escorregamentos como declividades compreendidas entre 0% - 5% (Relevo plano), impossibilitando o fluxo rápido de massas de solo ou rocha pelo efeito da gravidade (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; DOMINGUEZ-CUESTA, 2012; WILDE et al., 2018, GUERRA et al., 2019), geomorfologia composta predominantemente por planícies fluviais, flúvio-marinhas, cordões arenosos, dunas e restingas, e solos de alta espessura e capacidade de infiltração, percolação e condutividade hidráulica (MENDONÇA et al., 2009;

HO et al., 2012), sendo estas classes responsáveis por ocupar aproximadamente 35% do ERJ. Destaca-se que essas áreas não apresentam condições características que sugiram movimentos de massa, contudo, devido a uma escala cartográfica de pequeno detalhe e outros condicionantes que não foram elencados nesta pesquisa, a ocorrência desses processos não podem ser desconsideradas, pois mesmo em locais onde os fatores de ordem natural não são favoráveis aos escorregamentos, a intervenção do homem pode desencadear tais processos, como demonstra a Figura 15.

As regiões com suscetibilidade média assemelham-se a classificação baixa ocupando aproximadamente 24% do ERJ ou 18083 Km², distribuindo-se por todo o estado. Correspondem a terrenos com relevo predominantemente ondulado, com declividades variando entre 8% a 20%. No que se refere à geomorfologia Serras Isoladas e Locais constituem essa classe, com aumento da concentração de eventos, principalmente nos processos induzidos (Figura 14).

Em áreas de suscetibilidade média sugere-se distinguir os locais aptos à ocupação sem nenhum tipo de restrição, daquelas que requerem a adoção de medidas de estruturais e não estruturais. As classes de suscetibilidade alta e muito alta concentram-se principalmente nas REDECs Sul e Costa Verde, correspondentes as regiões com declividade acima de 20% e elevados acumulados pluviométricos. As declividades mais expressivas, em termos de área, concentram-se nos Relevos Fortemente Ondulados (20% a 45%), compostos majoritariamente por Colinas e Serras Escarpadas e altos perfis pluviométricos, principalmente nas REDECs Serrana e Costa Verde.

A partir do mês de outubro, estendendo-se a março, com o crescimento dos acumulados pluviométricos, as áreas classificadas com suscetibilidade alta e muito alta aumentam em extensão ocupando no mês de janeiro 32% ou 13362 Km² do ERJ. De acordo com Dereczynski et al., (2017) o verão e outono concentram 40% dos eventos que provocaram grandes danos à população, incluindo mortos, feridos, danos materiais, desabamentos, inundações, alagamentos, deslizamentos entre outros, uma vez que o principal agente deflagrador de movimentos de massa são os eventos extremos de precipitação, principalmente na região sudeste do Brasil (BARCELLOS & DE QUADRO, 2019; COELHO & NUNES, 2020), associados a presença de ZCAS (COELHO & NUNES, 2020), Sistemas Frontais (SELUCHI & CHOU, 2009; DERECZYNSKI et al., 2009; SELUCHI et al., 2016), Sistemas Convectivos Isolados (SILVA et al., 2019), ou mesmo a associação destes (MOURA et al., 2013).

A combinação das variáveis topográficas, geológicas, meteorológicas e antrópicas justificam a estimativa da intensidade dos afetados em potencial por eventos de movimentos de massa no ERJ em valores absolutos (Figura 18) e percentuais (Figura 20), uma vez que os centros urbanos do ERJ carecem de infraestrutura adequada para uma resposta eficiente e eficaz aos eventos extremos (SILVA et al., 2012).

O mapa de susceptibilidade a movimentos de massa no ERJ, construído a partir da reclassificação dos condicionantes proposta por Guerra et al., (2019), do uso do método AHP para o estabelecimento dos pesos estatísticos em junção com o método da Combinação Linear Ponderada obteve altos valores de AUC, na ordem de 0,907, aderentes as ocorrências no estado e semelhante aos resultados obtidos por Gemitzi et al. (2011), Akgün (2012), Poudyal (2012), Brito (2014), implicando que o modelo preditivo obteve sucesso no cenário proposto, sugerindo que as áreas classificadas com susceptibilidade alta e muito alta podem ser utilizadas para a determinação da população potencialmente afetada no ERJ. Contudo, neste estudo, optou-se pela inclusão das classes de susceptibilidade média a fim de conter eventos extremos, como os ocorridos na região Serrana do ERJ com uma estimativa superior a 300.000 afetados de forma direta (FREITAS et al., 2012).

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram:

- A viabilidade do mapeamento da susceptibilidade a movimentos de massa com o emprego de ferramentas de geoprocessamento, utilizando recursos gratuitos e de diversas fontes, os quais apresentam facilidade de armazenamento de dados, de atualização periódica e de reprodução dos resultados.
- O método da combinação linear ponderada, com os pesos obtidos a partir da aplicação da estatística AHP foi apropriado para a elaboração de mapas de suscetibilidade a escorregamentos no ERJ, permitindo avaliar a suscetibilidade de maneira contínua, o que favorece a priorização de medidas preventivas. Salienta-se que outras variáveis podem ser acrescentadas e os pesos e notas podem ser ajustados a fim de permitir a criação de modelos previsores alternativos;
- A frequência de ocorrências nas classes altas e muito altas evidenciou que o conjunto de variáveis e pesos utilizados para o cenário anual foi compatível com os escorregamentos inseridos no modelo predictor, posto que as taxas de sucesso obtidas, as quais são representadas pela área abaixo da curva ROC, são equivalentes ou superiores às encontradas por autores de âmbito nacional e internacional;
- Os escorregamentos no ERJ apresentam maior frequência em encostas com declividades superiores a 20%, associados a chuvas intensas e ações antrópicas principalmente em encostas;
- Os meses mais favoráveis ao surgimento de eventos movimentos de massa concentram-se entre outubro e março, sendo o mês de janeiro o de maior criticidade;
- A REDEC Capital possui a maior estimativa de afetados em potencial por movimentos de massa no ERJ, em valores absolutos, seguido pela REDEC Baixada Fluminense;
- A REDEC Sul possui a maior estimativa de afetados em potencial por movimentos de massa no ERJ, em valores percentuais, seguido pela REDEC Serrana.

6. RECOMENDAÇÕES

A fim de dinamizar os processos de respostas ao desastre abordado nesta pesquisa, recomendamos:

- A divulgação do presente relatório elaborado por meio do Centro de Estudos e Pesquisas em Defesa Civil junto com o Instituto tecnológico em Defesa Civil e apoiado pela Defesa Estadual do Rio de Janeiro com o propósito de contribuir na elaboração de estratégias junto ao governo do estado para adoção de medidas de redução de desastres, assim como o encaminhamento deste documento aos órgãos ambientais, de obras, de planejamento urbano e de governança para adoção de medidas que estes julguem necessárias;
- A distribuição deste relatório aos órgãos operacionais do Estado e dos diversos entes federativos do Rio de Janeiro, a fim de tomarem ciência das ameaças presentes em seu território da mesma maneira que a variação sazonal das ameaças, contribuindo para uma gestão integral de riscos desastres e promoção da resiliência;
- A reavaliação do efetivo nas unidades respondedoras do CBMERJ com objetivo de proporcionar uma melhor resposta aos desastres com base nas informações apresentadas, disponibilizando programas de complementação de recursos humanos como: contratações temporárias, Regimes Adicionais de Serviços (RAS), Programa Estadual de Implantação de Serviços de Bombeiro Militar (PROEISBOM) e o levantamento do material disponível em cada unidade militar, a fim de adequar-se a possibilidade de desastres locais;
- A reiteração da solicitação de adoção de plataforma digital de gestão de ocorrências em defesa civil. A defesa civil estadual disponibiliza o PRODEC e para retroalimentar o ciclo de gestão integral de redução de riscos de desastres se faz necessário o inventariamento, em especial, das ocorrências relacionadas a movimentos de massa por parte dos municípios;
- O conhecimento deste documento por parte das prefeituras, a fim de serem implantadas junto as secretarias ambientais, de planejamento urbano, de obras e correlatas, medidas estruturais e não estruturais, visando a promoção da gestão dos riscos de desastres decorrente dos movimentos de massa e para desenvolver e organizar a ocupação territorial, principalmente nas áreas consideradas críticas;

- A utilização deste documento nos planos de contingência municipais, a fim de estabelecer procedimentos a serem adotados pelos órgãos envolvidos direta ou indiretamente na resposta a emergências e desastres relacionados a eventos de movimentos de massa, assim como a aquisição dos recursos necessários para uma resposta mais eficiente e eficaz, frente a estimativa de uma população afetada;
- O aperfeiçoamento deste trabalho por intermédio dos gestores municipais a partir da adoção de escalas de maior detalhamento, adequadas às tomadas de decisão municipais para redução dos riscos. Aliado a uma cartografia de maior acurácia, destacando-se a importância do cadastro das ocorrências pretéritas e a posterior disponibilidade dos resultados em plataformas digitais a fim dinamizar as ações de preparação e resposta por parte das autoridades municipais;
- O georreferenciamento anual de abrigos temporários, assim como o estabelecimento de postos de coleta e distribuição de materiais de pronta resposta aos diferentes níveis de desastres locais;

Por fim, deseja-se que o presente estudo possa subsidiar demais pesquisas e projetos no Estado do Rio de Janeiro, voltados para os desastres com origem nos movimentos de massa, tendo em vista a sua frequência, danos e prejuízos à população.

BIBLIOGRAFIA

- Alatorre, L. C., Sánchez-Andrés, R., Cirujano, S., Beguería, S., & Sánchez-Carrillo, S. (2011). Identification of mangrove areas by remote sensing: The ROC curve technique applied to the northwestern Mexico coastal zone using Landsat imagery. *Remote Sensing*, 3(8), 1568-1583.
- Azevedo, G. F., Carvajal, H. E. M., & SOUZA, N. (2015). Avaliação determinística e probabilística da susceptibilidade a ocorrência de deslizamentos pela aplicação do modelo SHALSTAB. *XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 17.
- Baeninger, R. (2011). Migrações internas no Brasil século 21: evidências empíricas e desafios conceituais. *Mobilidade espacial da população: desafios teóricos e metodológicos para o seu estudo. Campinas: Núcleo de Estudos de População–Nepo/Unicamp.*
- Bahrami, Y., Hassani, H., & Maghsoudi, A. (2020). Landslide susceptibility mapping using AHP and fuzzy methods in the Gilan province, Iran. *GeoJournal*, 1-20.
- Barcellos, D. R., & de Quadro, M. F. L. (2019). Classificação de eventos extremos de precipitação quanto sua intensidade, persistência e abrangência na região das ZCAS. *Metodologias e Aprendizado*, 2, 76-81.
- Basu, T., & Pal, S. (2019). A GIS-based factor clustering and landslide susceptibility analysis using AHP for Gish River Basin, India. *Environment, Development and Sustainability*, 1-33.
- Brito, M. (2014). *Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS. 168 f* (Doctoral dissertation, Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre).
- Camargo, L. S. & Silva, S. M. L. (2017). Integração de técnicas de Sensoriamento Remoto e AHP no mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no município de Angra dos Reis - RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18, Santos/SP. Anais, São José dos Campos, INPE, p. 8014-8021.

CAMARGO, L. D. S., da Silva, R. W., do Amaral, S. S., da Silva, A. P., Ferreli, T., & da Silva, M. P. D. (2019). Mapeamento de Áreas Susceptíveis a Incêndios Florestais do Município de Petrópolis-RJ. *Anuário do Instituto de Geociências*, 42(1), 630-641.

Canavesi, V., Camarinha, P. I. M., Algarve, V. R., Carneiro, R. L. C., & Alvala, R. C. S. (2013). Análise da susceptibilidade a deslizamentos de terra: estudo de caso de Paraibuna, SP. *XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 5251-5258.

Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., & Vescovi, P. (2002). A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology*, 48(4), 349-364.

Coelho, L. A. F., & Nunes, A. B. (2020). Eventos Recentes de Chuva Intensa na Cidade do Rio de Janeiro: Análise Sinótica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(03), 994-1012.

Da Silva, F. P., Rotunno Filho, O. C., Sampaio, R. J., Dragaud, I. C. D. A. V., de Araújo, A. A. M., da Silva, M. G. A. J., & Pires, G. D. (2019). Evaluation of atmospheric thermodynamics and dynamics during heavy-rainfall and no-rainfall events in the metropolitan area of Rio de Janeiro, Brazil. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 131(3), 299-311.

Dalmas, F. B. (2013). *Análise da evolução do uso e ocupação do solo na UGRHI-11 e avaliação de cenários futuros em função de processos erosivos e de movimentos de massa utilizando técnicas de geoprocessamento* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

De Carvalho, R. C. (2019). As migrações e a urbanização no Brasil a partir da década de 1950: um breve histórico e uma reflexão à luz das teorias de migração. *Revista Espinhaço/UFVJM*, 24-33.

De Oliveira Bispo, C., Listo, F. D. L. R., da Silva Listo, D. G., & de Melo Falcão, N. A. (2020). Suscetibilidade induzida a escorregamentos, via aplicação do método AHP. *Diversitas Journal*, 5(1), 298-314.

De Oliveira Filho, G. R. (2012). Os Movimentos de Massa na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro em 2011: diagnóstico e proposição de medidas para enfrentamento de desastres ambientais. *CES Revista*, 26(1), 149-164.

De Oliveira, M. T., & Saraiva, S. L. C. (2015). *Fundamentos de Geodésia e Cartografia: Série Tekne*. Bookman Editora.

De Oliveira, N. S., Rotunno Filho, O. C., Marton, E., & Silva, C. (2016). Correlation between rainfall and landslides in Nova Friburgo, Rio de Janeiro—Brazil: a case study. *Environmental Earth Sciences*, 75(20), 1358.

De Ploey, J., & Cruz, O. (1979). Landslides in the serra do mar, Brazil. *Catena*, 6(2), 111-122.

Dereczynski, C. P., Oliveira, J. S. D., & Machado, C. O. (2009). Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24(1), 24-38.

Dereczynski, C. P.; Calado, R. N.; Barros, A. B. (2017). Extreme Rainfall in The City of Rio de Janeiro: History from the 19th Century. *Anuário do Instituto de Geociências*, 40(2), 17-30.

Do Amaral, A. M. C., Reis, F. A. G. V., Chaves, C. J., & DE Freitas, M. I. C. (2020). Uso da Geotecnologia para a análise da precipitação em Cubatão (SP): Correlação com a ocorrência de movimentos de massa. *Geociências (São Paulo)*, 39(1), 91-100.

Dourado, F., Arraes, T. C., & Fernandes, M. (2012). O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro: as causas do evento, os mecanismos dos movimentos de massa e a distribuição espacial dos investimentos de reconstrução no pós-desastre. *Anuário do Instituto de Geociências*, 35(2), 43-54.

El Jazouli, A., Barakat, A., & Khellouk, R. (2019). GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco). *Geoenvironmental Disasters*, 6(1), 3.

Fernandes, N. F., Guimarães, R. F., Gomes, R. A. T., Vieira, B. C., Montgomery, D. R., & Greenberg, H. (2001). Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2(1).

Ferreira, A. (2009). Favelas no Rio de Janeiro: nascimento, expansão, remoção e, agora, exclusão através de muros. *Revista Bibliográfica de Geografia y Ciencias Sociales*, 14(828).

Ferreira, M. C. (2016). *Iniciação à análise geoespacial*. SciELO-Editora UNESP.

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 37(12), 4302-4315.

Freitas, C. M. D., Carvalho, M. L. D., Ximenes, E. F., Arraes, E. F., & Gomes, J. O. (2012). Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência: lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17, 1577-1586.

Froude, M. J., & Petley, D. N. (2018). Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(8), 2161-2181.

Garcia, M. I. M., Jara, S. D. M., Schlee, M. B., da Silva Júnior, O. P., & Netto, A. L. C. (2016). Uso do Solo e Vulnerabilidade Socioambiental na Sub-Bacia do Alto Rio das Pedras (Rio de Janeiro/RJ): Subsídios para Regeneração de Rios Neotropicais. *Revista do Departamento de Geografia*, 32, 29-38.

Gomes, R. A. T., Guimarães, R. F., Carvalho Júnior, O. A., & Fernandes, N. F. (2004). Análise da influência da escala cartográfica no resultado de um modelo de previsão de áreas críticas a deslizamentos. *Ciência e Natura*, 1, 269-286.

Guerra, A. J. T., Gonçalves, L. F. H., & Lopes, P. B. M. (2007). Evolução histórico-geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no município de Petrópolis, nas últimas décadas. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 8(1).

Guerra, S. C., de Araújo Abrantes, F. J., Neto, E. L. G. R., de Azevedo, J. B., Tai, D. W., Ferreira, M. M., & de Magalhães, M. S. Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística-IBGE.

Haque, U., Blum, P., Da Silva, P. F., Andersen, P., Pilz, J., Chalov, S. R., ... & Lamas, P. C. (2016). Fatal landslides in Europe. *Landslides*, 13(6), 1545-1554.

Highland, L., & Bobrowsky, P. T. (2008). *The landslide handbook: a guide to understanding landslides* (p. 129). Reston: US Geological Survey.

Ho, J. Y., Lee, K. T., Chang, T. C., Wang, Z. Y., & Liao, Y. H. (2012). Influences of spatial distribution of soil thickness on shallow landslide prediction. *Engineering Geology*, 124, 38-46.

Hong, H., Pradhan, B., Jebur, M. N., Bui, D. T., Xu, C., & Akgun, A. (2016). Spatial prediction of landslide hazard at the Luxi area (China) using support vector machines. *Environmental Earth Sciences*, 75(1), 40.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Mortes por deslizamentos no Brasil. Banco de Acidentes. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2014.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Ocupação de Encostas. São Paulo: IPT, 1991. 216 p.

Jordão, B. M., & Pereira, S. R. (2006). A análise multicritério na tomada de decisão-O método analítico hierárquico de TL Saaty (Desenvolvimento do método com recurso à análise de um caso prático explicado ponto a ponto). *INSTITUTO POLITÉCNICO DE COIMBRA*.

Júnior, F. A. C., & Dorigon, L. P. (2015). Análise dos deslizamentos de massa no “Morro do Bumba” através de imagens satélite. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, 11(5).

LEÓN, Natalia Otero. Landslide risk assessment for the state of Rio de Janeiro, Brasil. 2020. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Science, Institute For Technology And Resources Management In The Tropics And Subtropics Leaders, Deutz, 2020.

Lopes, E. S. S. (2006). Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista, na escala de 1: 10.000.

Lorentz, H., Shi, Y., Hilmola, O. P., Srari, J. S., Punniyamoorthy, M., Mathiyalagan, P., & Lakshmi, G. (2012). A combined application of structural equation modeling (SEM) and analytic hierarchy process (AHP) in supplier selection. *Benchmarking: An International Journal*.

Medeiros, V. S., & Barros, M. (2011). Análise de eventos críticos de precipitação ocorridos na região serrana do estado do Rio de Janeiro nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011. *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*.

Meirelles, E. D. O., Dourado, F., & Da Costa, V. C. (2018). Análise multicritério para mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa na Bacia do Rio Paquequer-RJ. *Geo UERJ*, (33), 26037.

Mendonça, L. A. R., Vásquez, M. A. N., Feitosa, J. V., Oliveira, J. F. D., Franca, R. M. D., Vásquez, E. M. F., & Frischkorn, H. (2009). Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 14(1), 89-98.

Mokhtari, M., & Abedian, S. (2019). Spatial prediction of landslide susceptibility in Taleghan basin, Iran. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 33(7), 1297-1325.

Moura, C. R. W., Escobar, G. C. J., & Andrade, K. M. (2013). Padrões de circulação em superfície e altitude associados a eventos de chuva intensa na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28(3), 267-280.

Parizzi, M. G., Sebastião, C. S., Viana, C. D. S., Pflueger, M. D. C., Campos, L. D. C., Cajazeiro, J. M. D., ... & Reis, R. D. (2010). Correlações entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte, MG.

Peres, R. B., & Silva, R. S. D. (2013). Interfaces da gestão ambiental urbana e gestão regional: análise da relação entre Planos Diretores Municipais e Planos de Bacia Hidrográfica. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 5(2), 13-25.

Pinto, R. C., Caneparo, S. C., & Passos, E. (2015). Avaliação Multicritério integrada aos Sistemas de Informações Geográficas para geração de cenário de suscetibilidade a deslizamentos rápidos em vertentes. *Jornadas Lusófonas de Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica*, 1, 81-108.

Pozzobon, M., da SILVEIRA, C. T., & CURCIO, G. R. (2019). Landslides Susceptibility Analysis in Blumenau, Southern Brazil: a Probabilistic Approach. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 11(3), 63-72.

Rangel, L., Jorge, M. D. C., Guerra, A., & Fullen, M. (2019). Soil erosion and land degradation on trail systems in mountainous areas: Two case studies from South-East Brazil. *Soil Systems*, 3(3), 56.

Rocha, M. (1981). Propriedades índice e classificação das rochas. *Mecânica das rochas*.

Rosa Filho, A. (2010). A problemática sócioambiental da ocupação urbana em áreas de risco de deslizamento da "Suíça Brasileira". *Revista Brasileira de Geografia Física*, 3(1), 33-40.

Schramm, L. F. P. (2019). Análise de suscetibilidade a movimentos de massa da microbacia do Córrego Gebien, bairro Valparaíso, Blumenau (SC).

Seluchi, M. E., & Chou, S. C. (2009). Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 98(1-2), 67-77.

Seluchi, M. E., Beu, C. M., & Andrade, K. M. (2016). Características das Frentes Frias com potencial para provocar chuvas intensas na região serrana de Rio de Janeiro (Characteristics of Cold Fronts with potential to cause heavy rainfall over the mountainous region of Rio de Janeiro). *Revista Brasileira de Climatologia*, 18.

Seluchi, M. E., Chan Chou, S., & Gramani, M. (2011). A case study of a winter heavy rainfall event over the Serra do Mar in Brazil. *Geofísica internacional*, 50(1), 41-56.

Sestini, M. F. (1999). Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamentos em Caraguatatuba-SP utilizando imagens TM-LANDSAT e SIG. *São José dos Campos*.

Silva, E. A. B., Suassuna, C. C. A., Furtado, M. F. R. G., & Bezerra, O. G. (2012). Resiliência e vulnerabilidade de cidades brasileiras: lições aprendidas com os desastres da região serrana do Rio de Janeiro e da Zona da Mata de Pernambuco. *Anais do Encontro Nacional da ANPPAS*, 18.

Silva, F. F., Loureiro, H. A. S., & Silveira, T. S. (2011). Diagnóstico dos deslizamentos na cidade do Rio de Janeiro a partir das chuvas de abril de 2010: estudo de caso do Morro dos Prazeres. *Revista de Geografia (Recife)*, 27(3. Esp), 180-192.

Stabile, R. A., Ferreira, A. L., de Carvalho, A. M., Siqueira, A. G., & Bitar, O. Y. (2013). Análise de fatores condicionantes de instabilizações em encostas como subsídio para a modelagem estatística da suscetibilidade a deslizamentos. In *14^o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental-CBGE*.

Tominaga, L. K. (2007). *Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Tominaga, L. K., Santoro, J., & do Amaral, R. (2009). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. Instituto geológico.

Vanacôr, R. N. (2006). Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul.

Vanacôr, R. N., & Rolim, S. B. A. (2012). Mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos usando técnicas de estatística bivariada e sistema de informações geográficas na região nordeste do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 13(1).

Vieira, B. C., & Gramani, M. F. (2015). Serra do Mar: the most “tormented” relief in Brazil. In *Landscapes and landforms of Brazil* (pp. 285-297). Springer, Dordrecht.

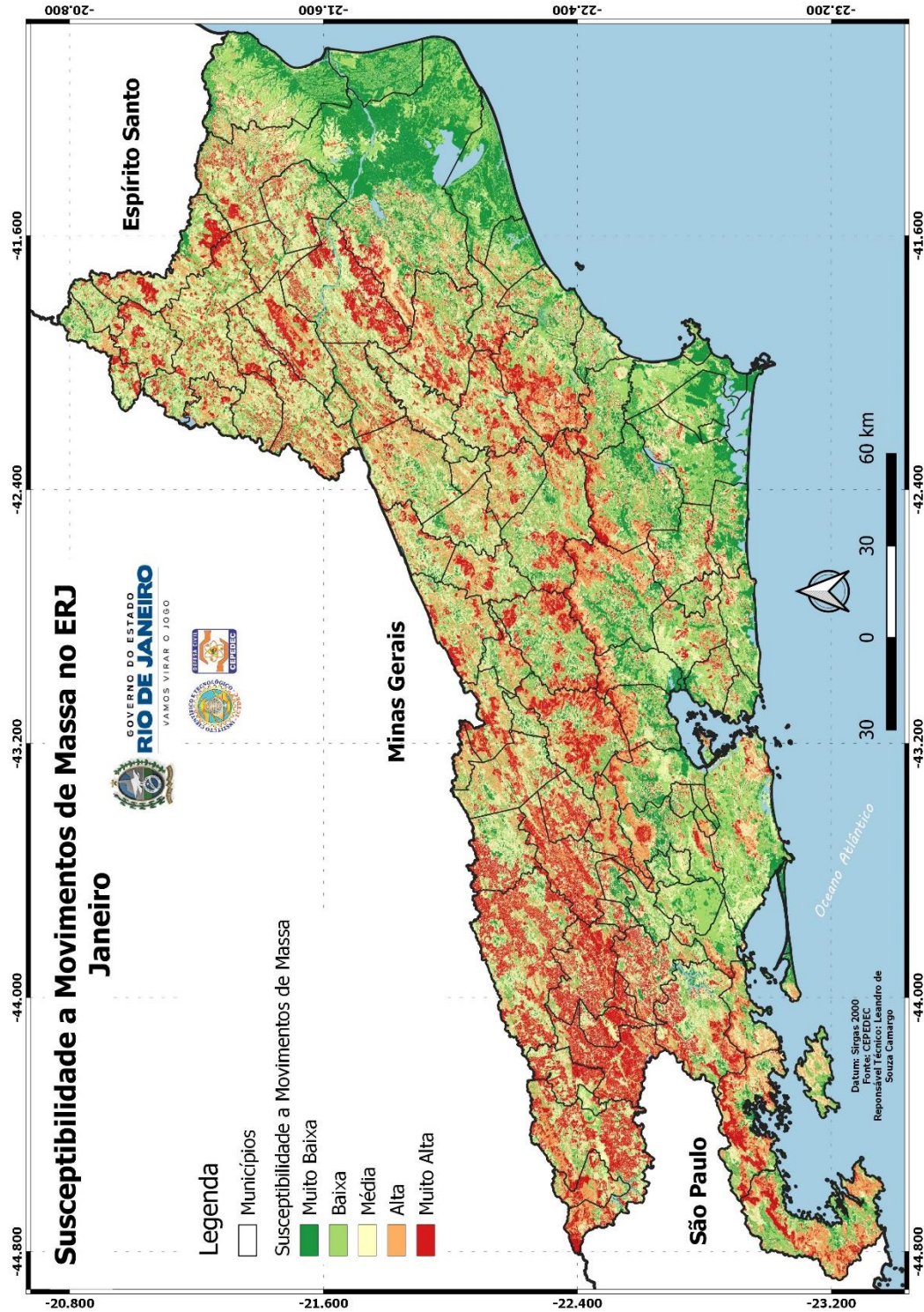
7. APÊNDICES

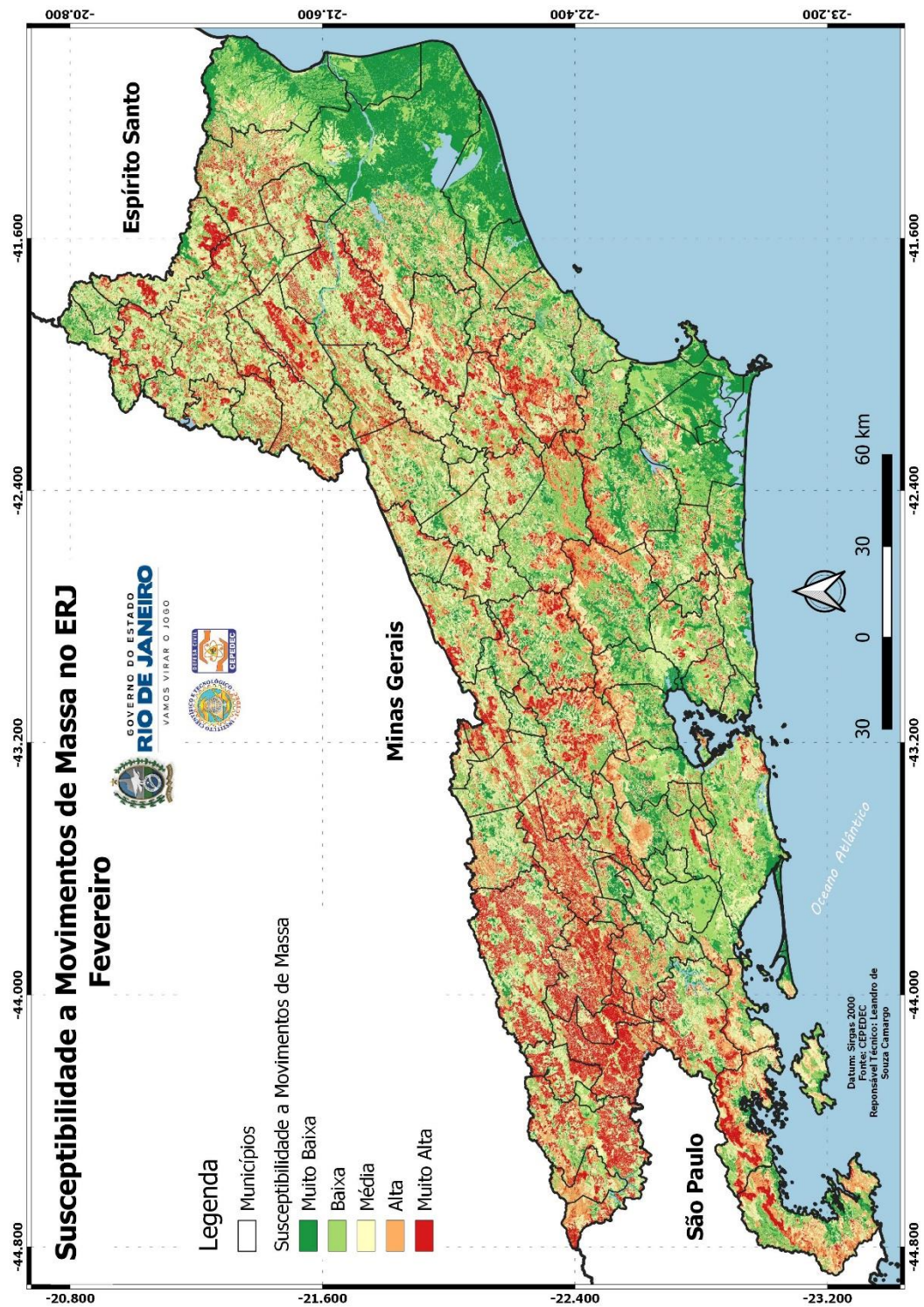
Os apêndices estão organizados em seis resultados:

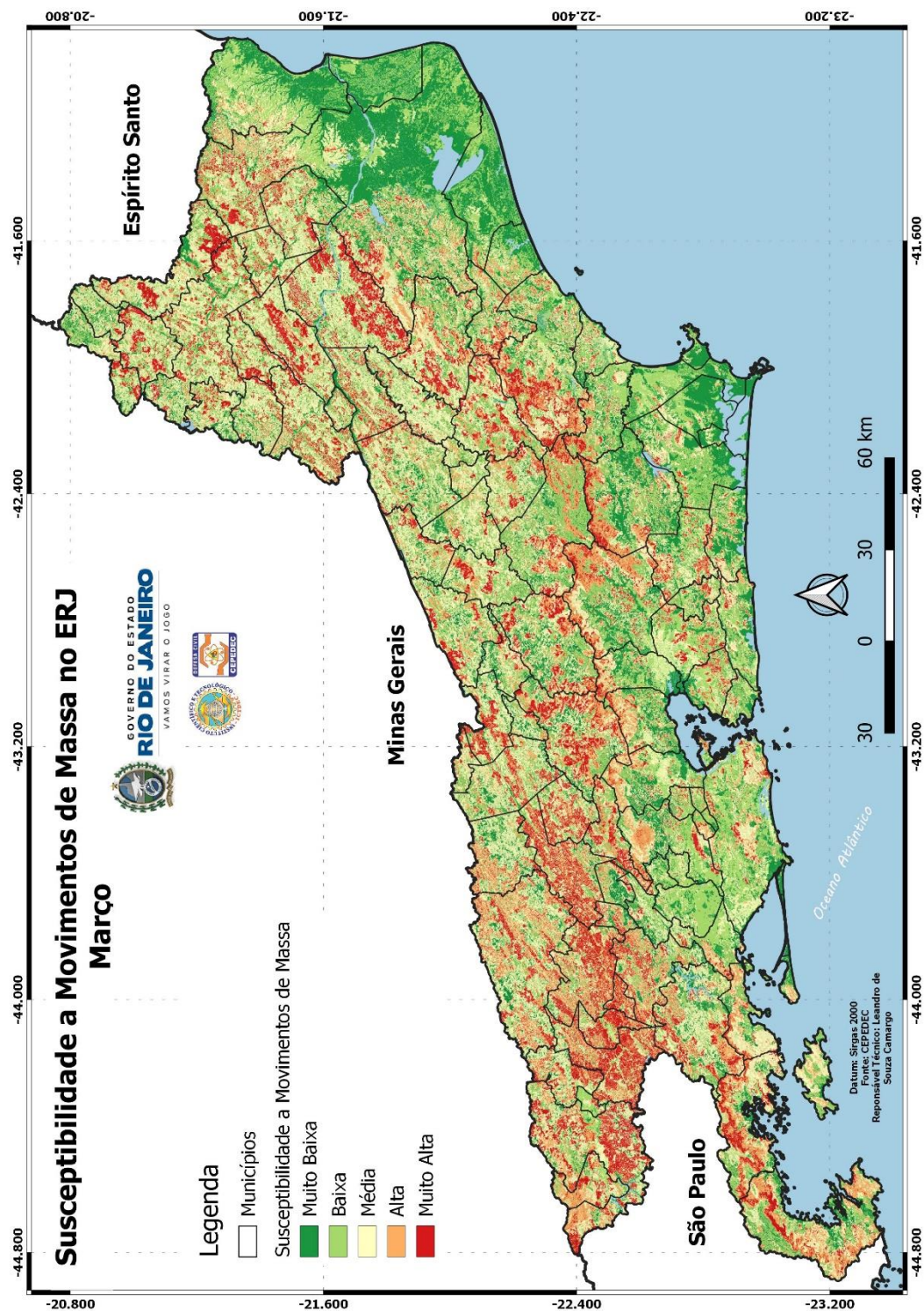
- Resultado dos mapas de susceptibilidade a movimentos de massa entre os meses de janeiro a dezembro;
- Resultado dos mapas de estimativa anual, em valores absolutos e percentuais, da população potencialmente afetada por movimentos de massa no ERJ
- Resultado dos mapas de estimativa mensal, em valores absolutos, da população potencialmente afetada por movimentos de massa no ERJ;
- Resultado dos mapas de estimativa mensal, em valores percentuais, da população potencialmente afetada por movimentos de massa no ERJ;

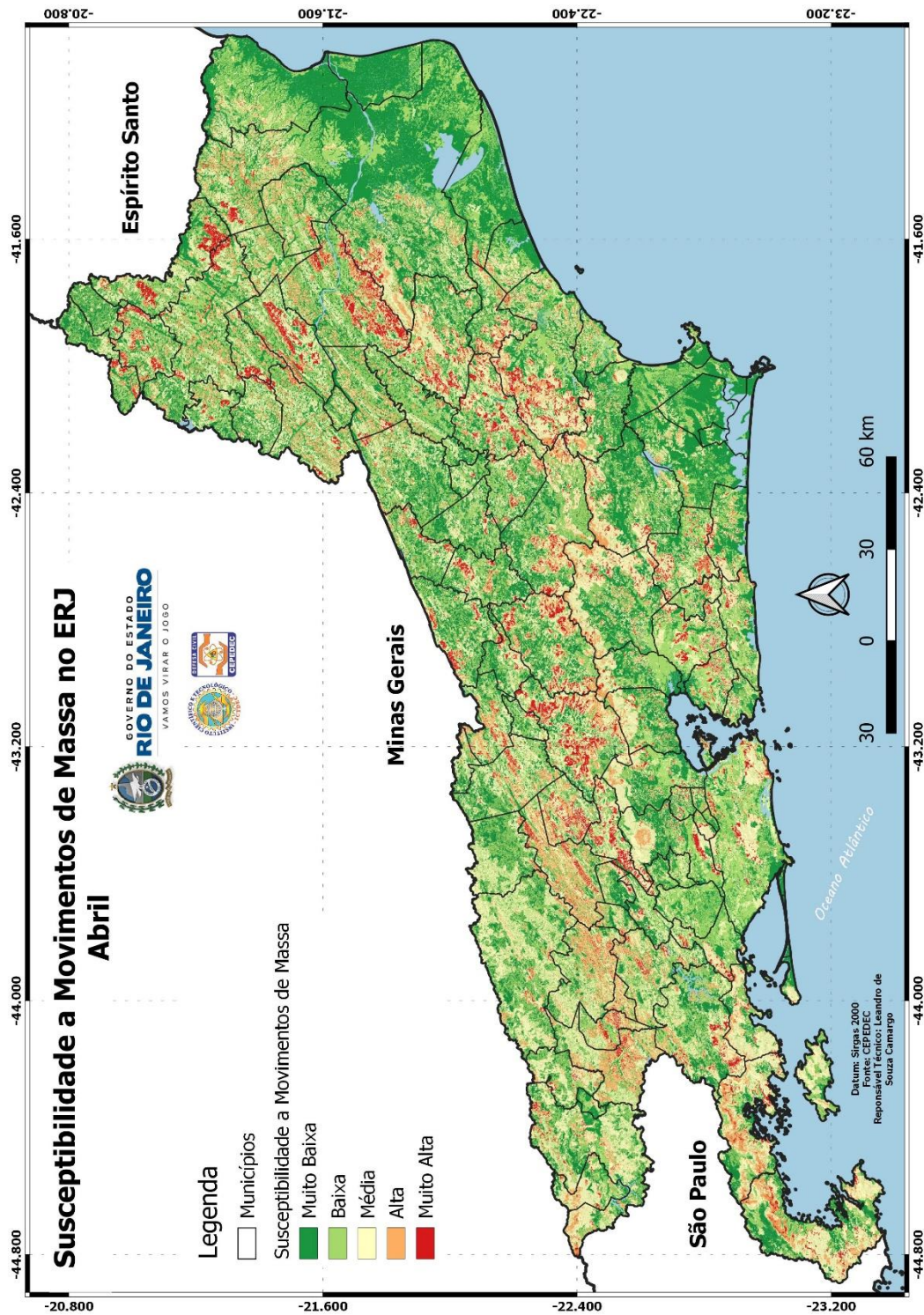
Mapas de susceptibilidade a movimentos de massa entre os meses de Janeiro a Dezembro

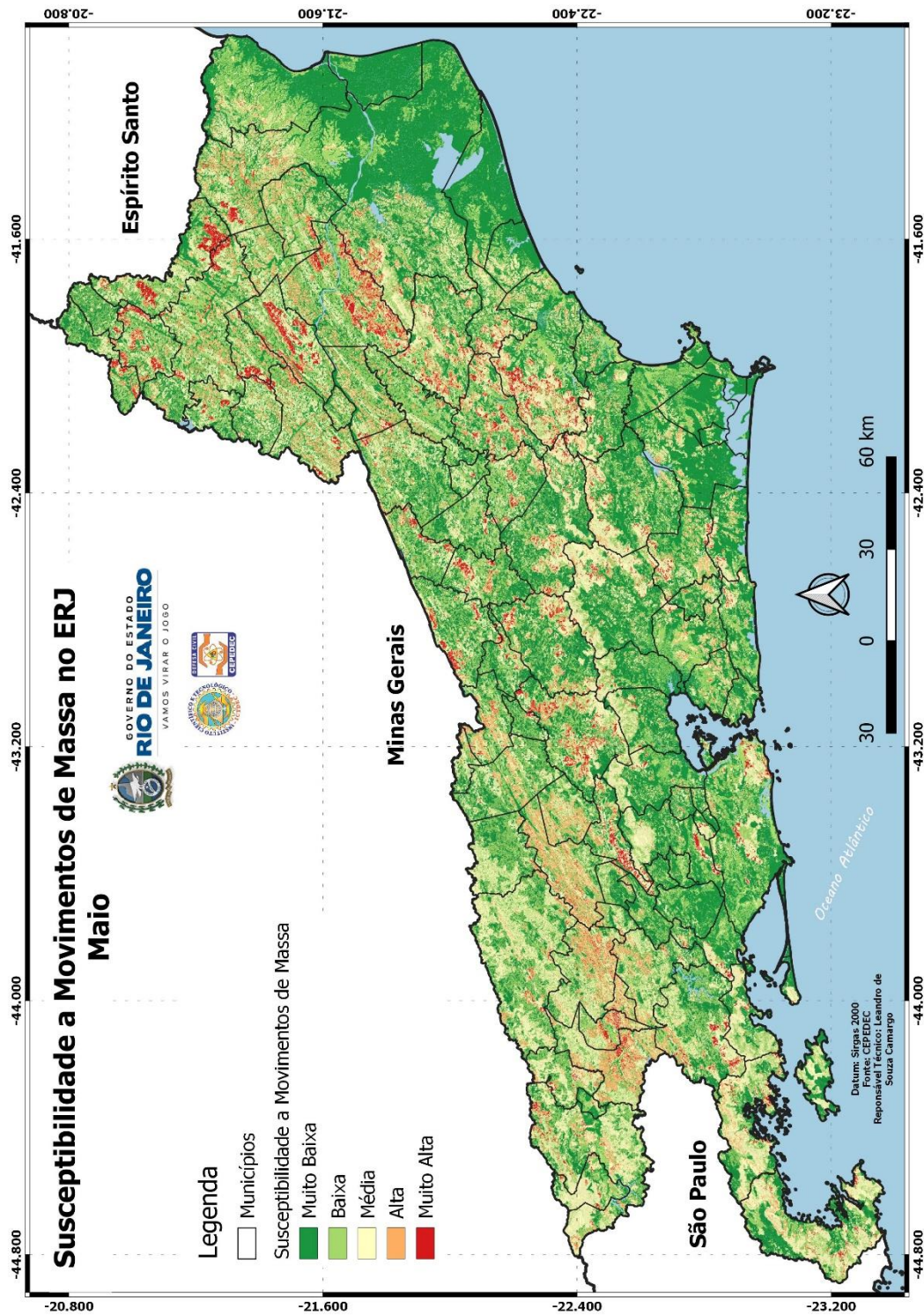


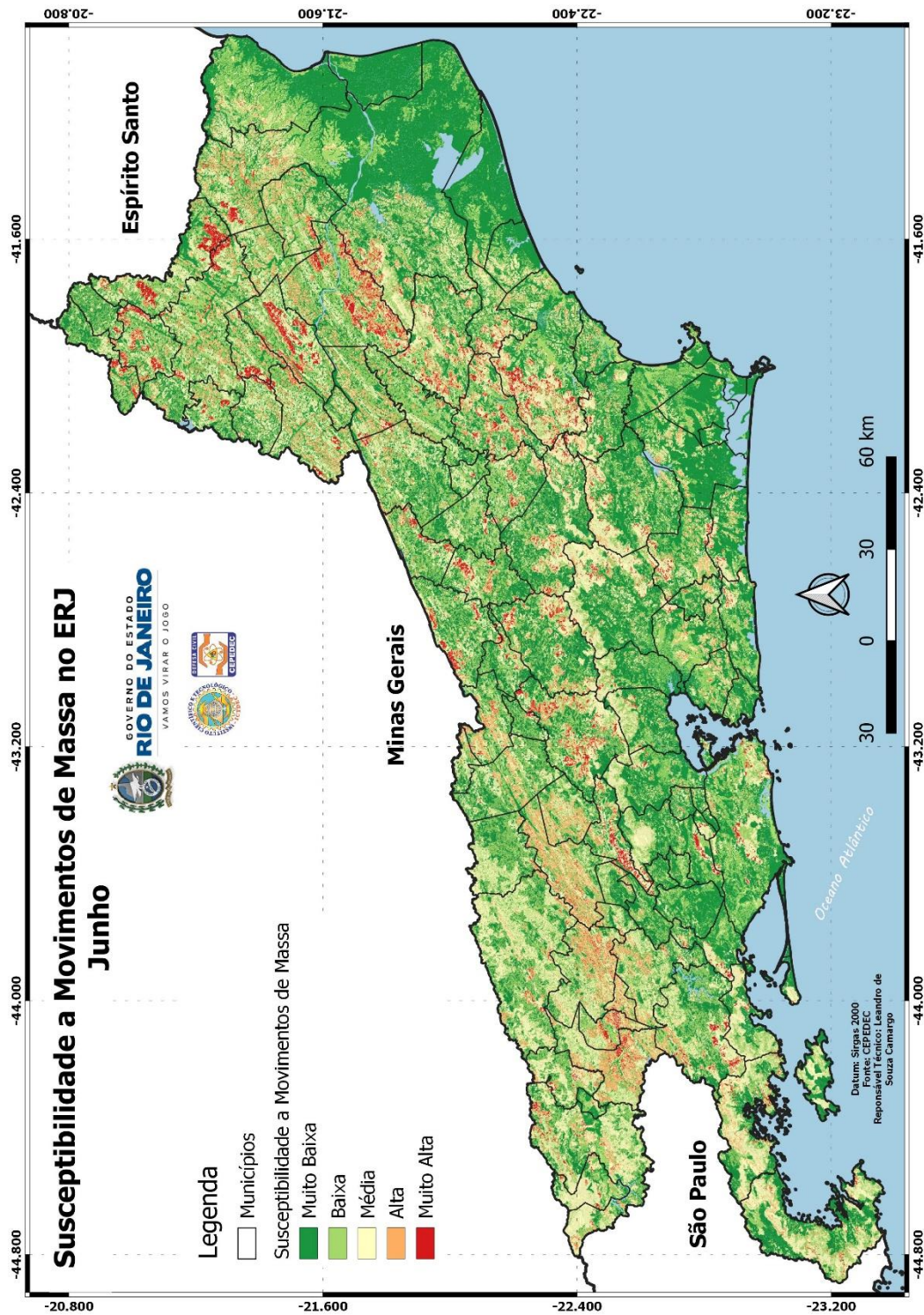


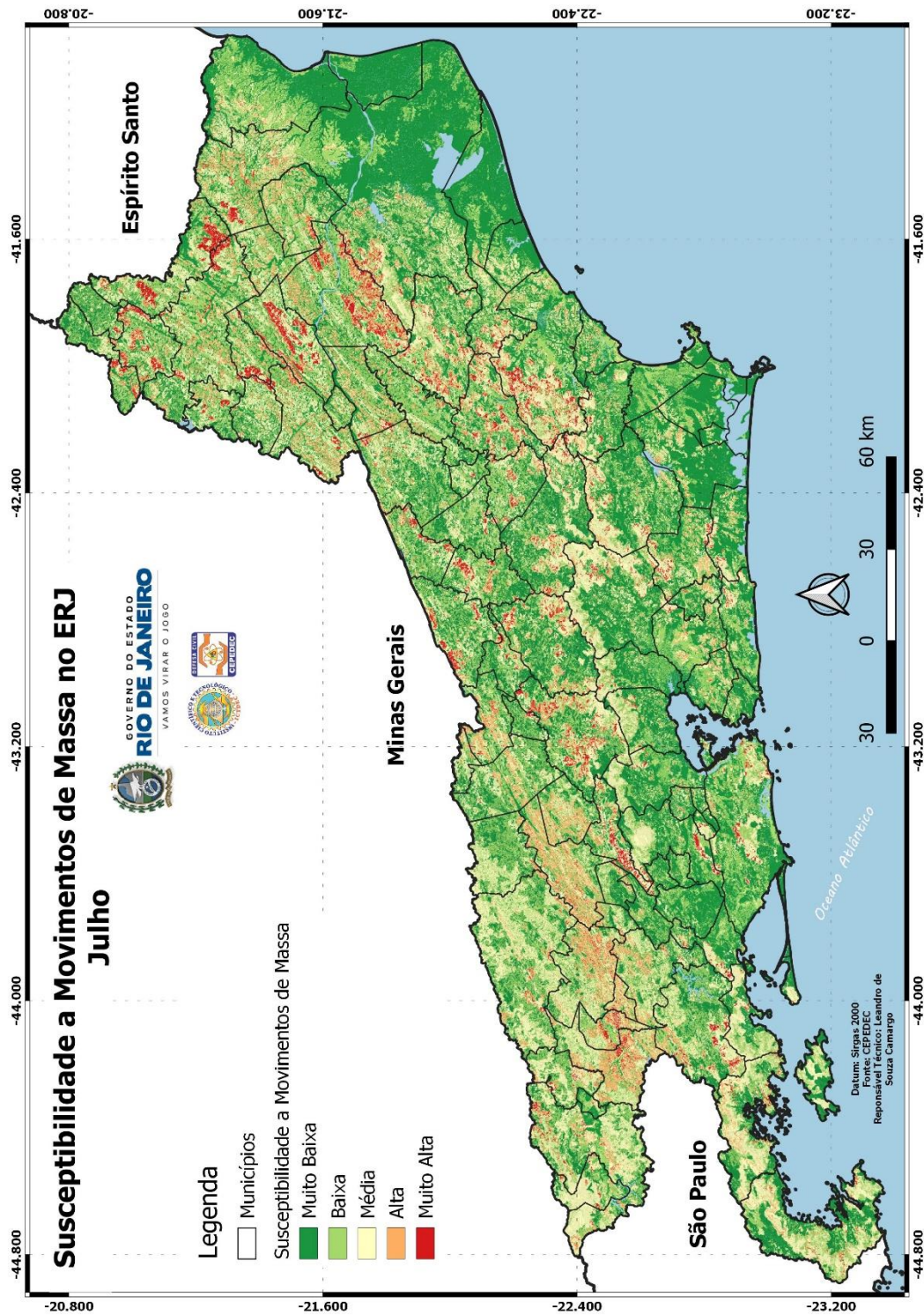


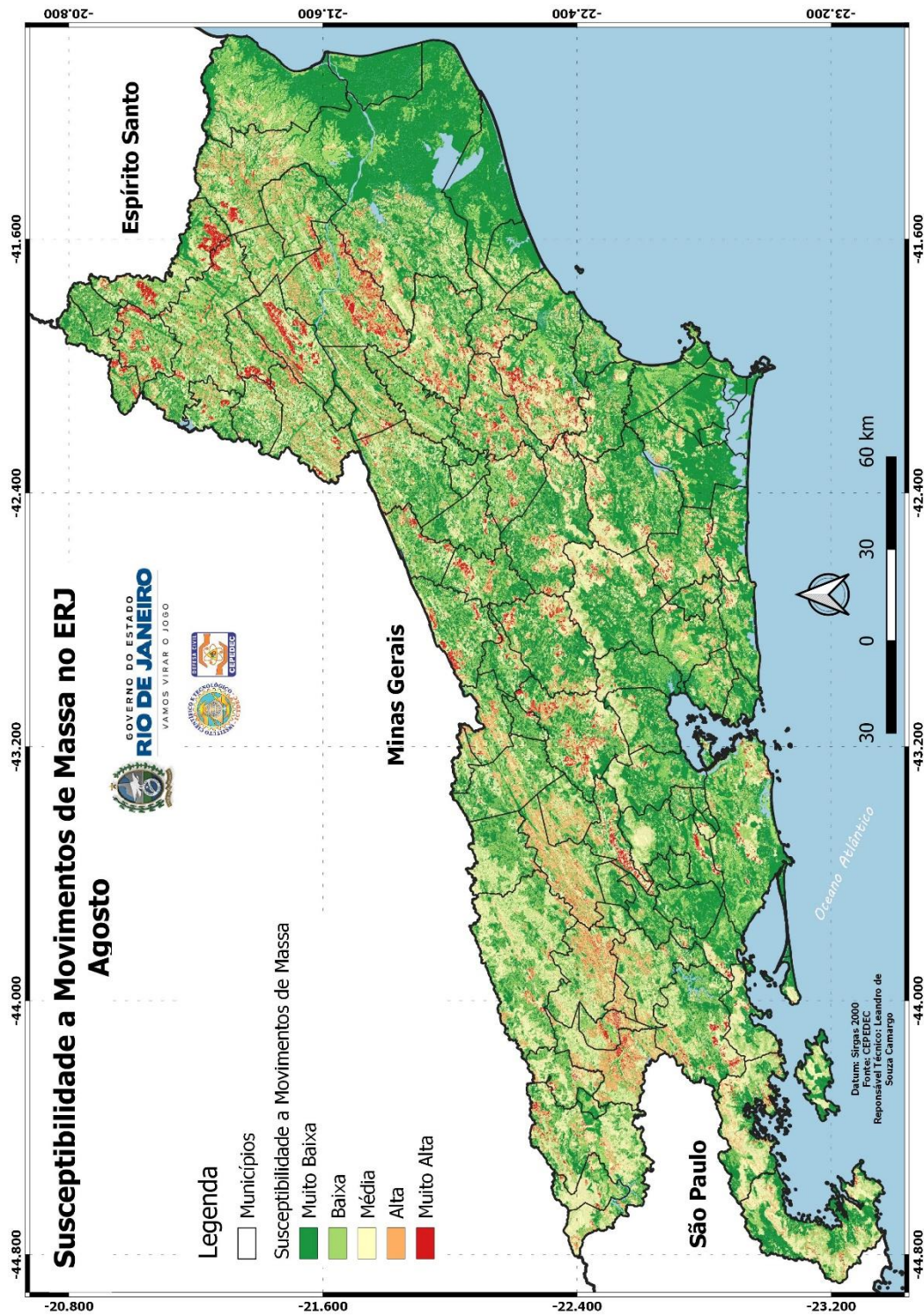


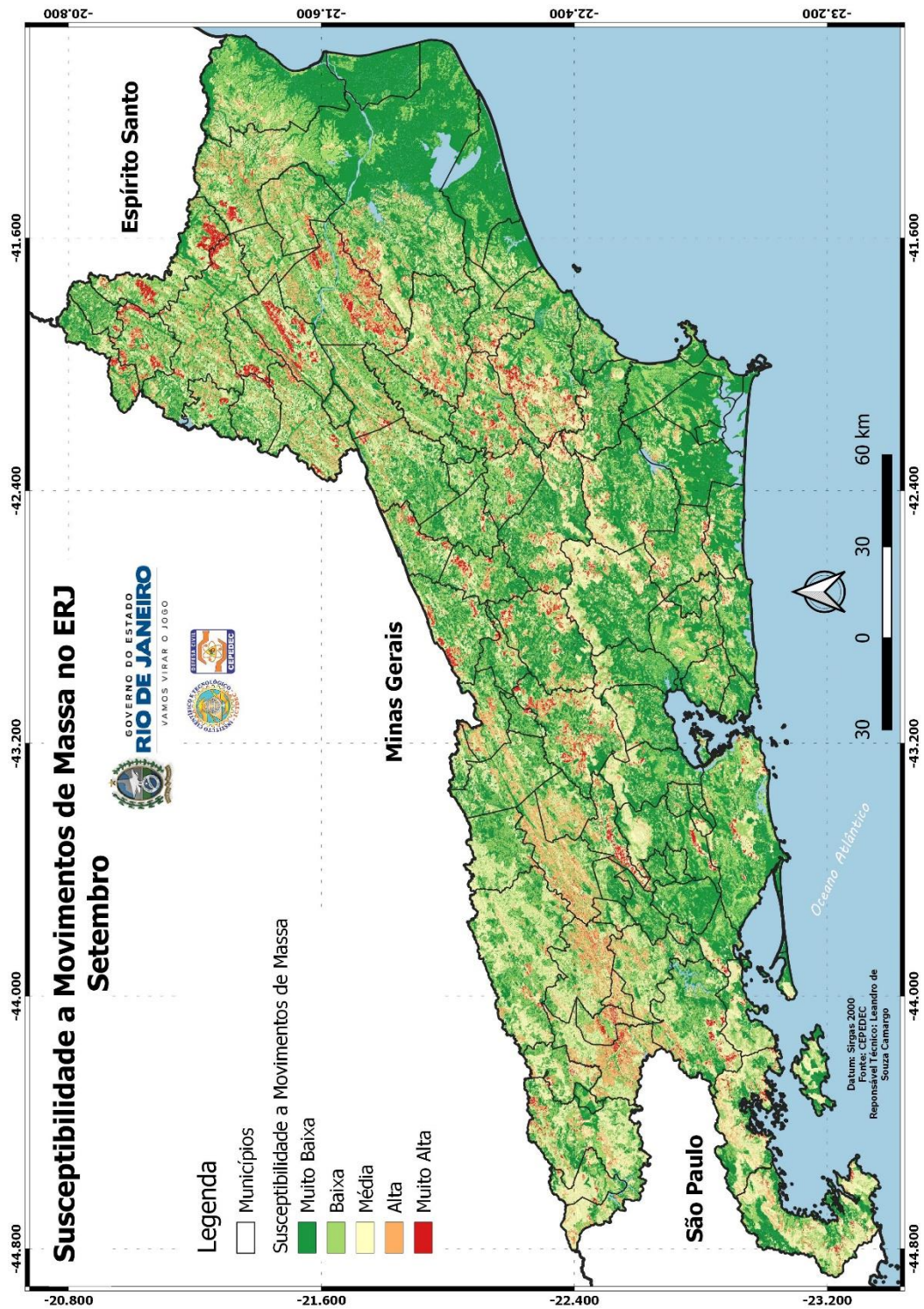


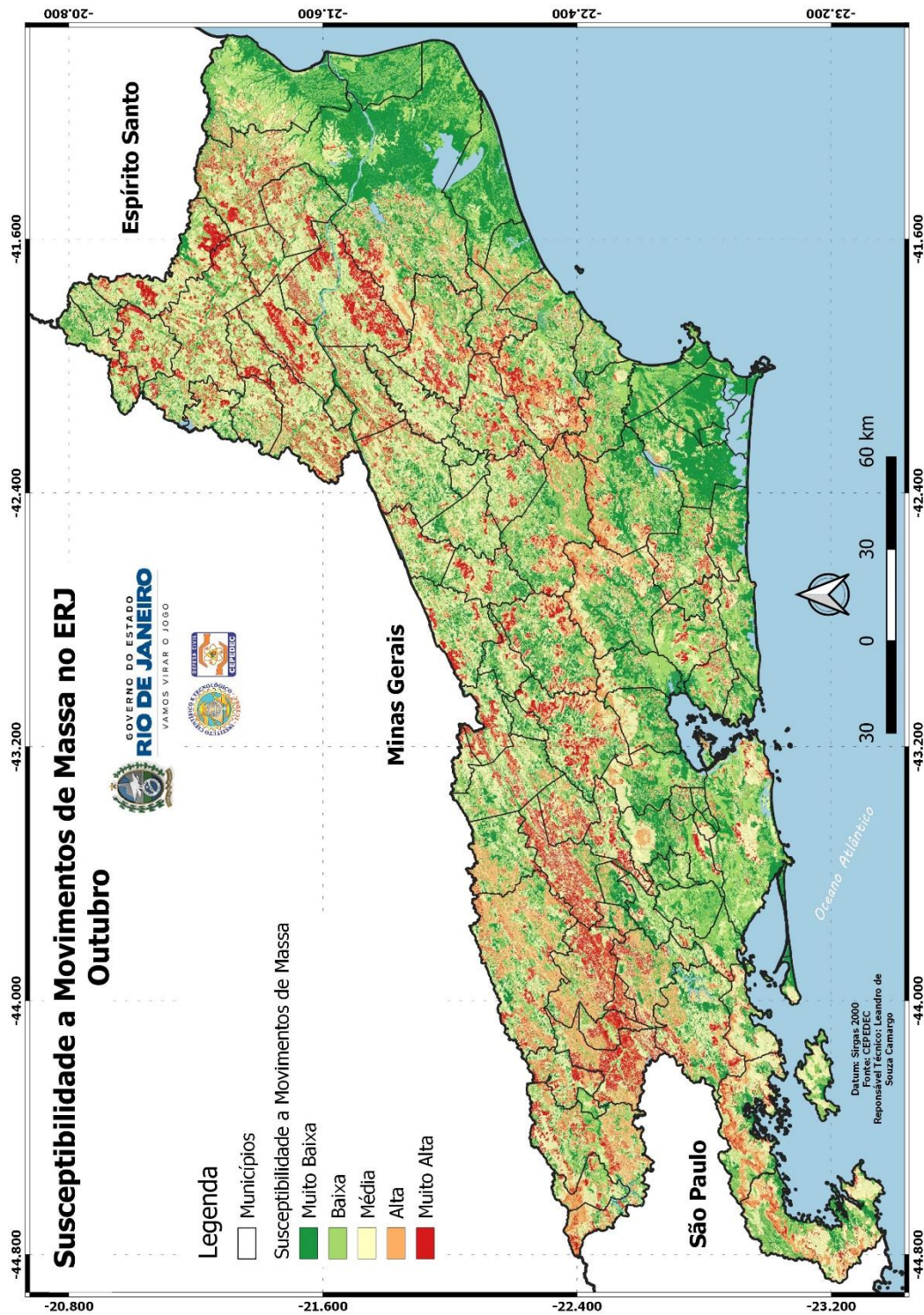


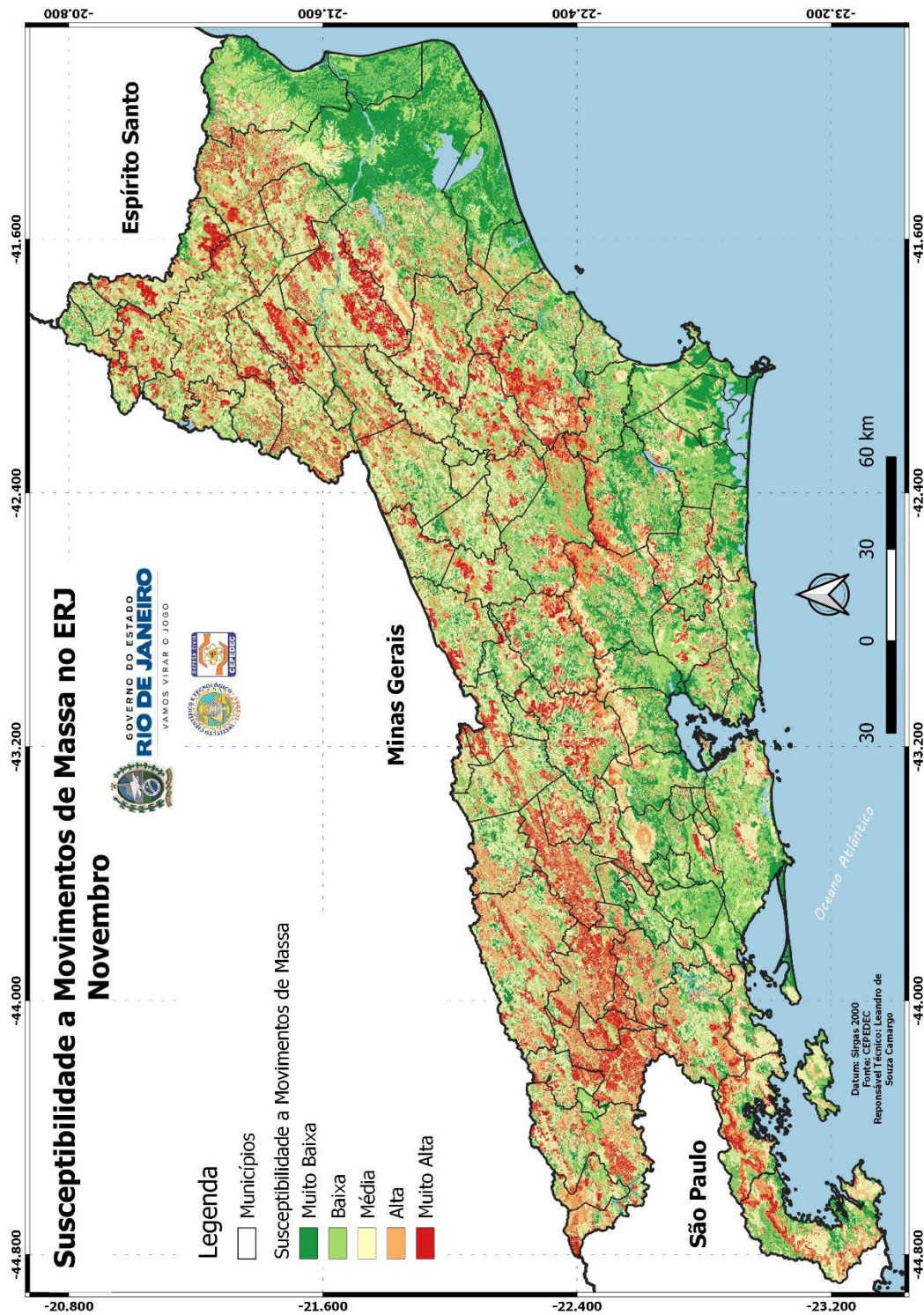


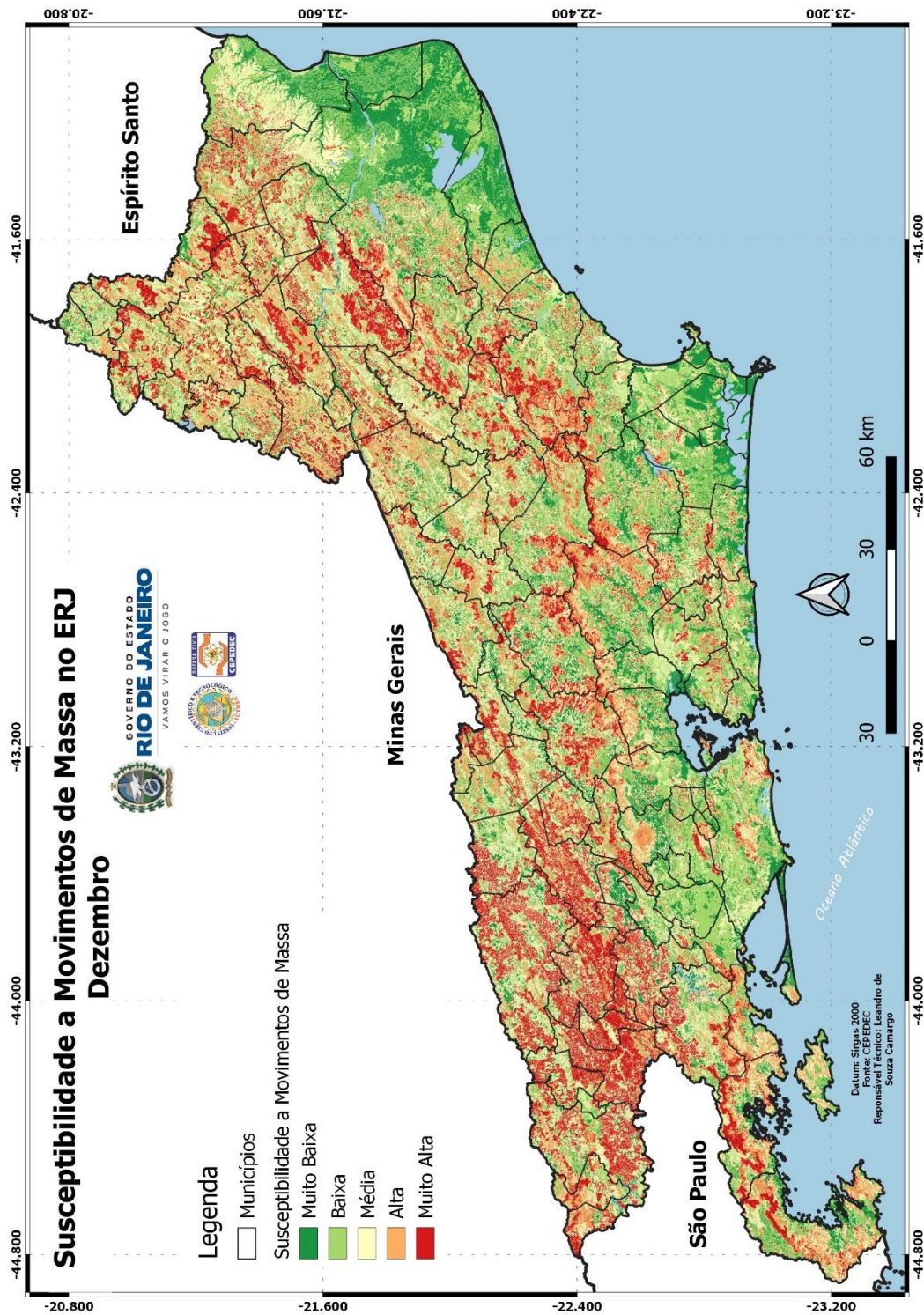






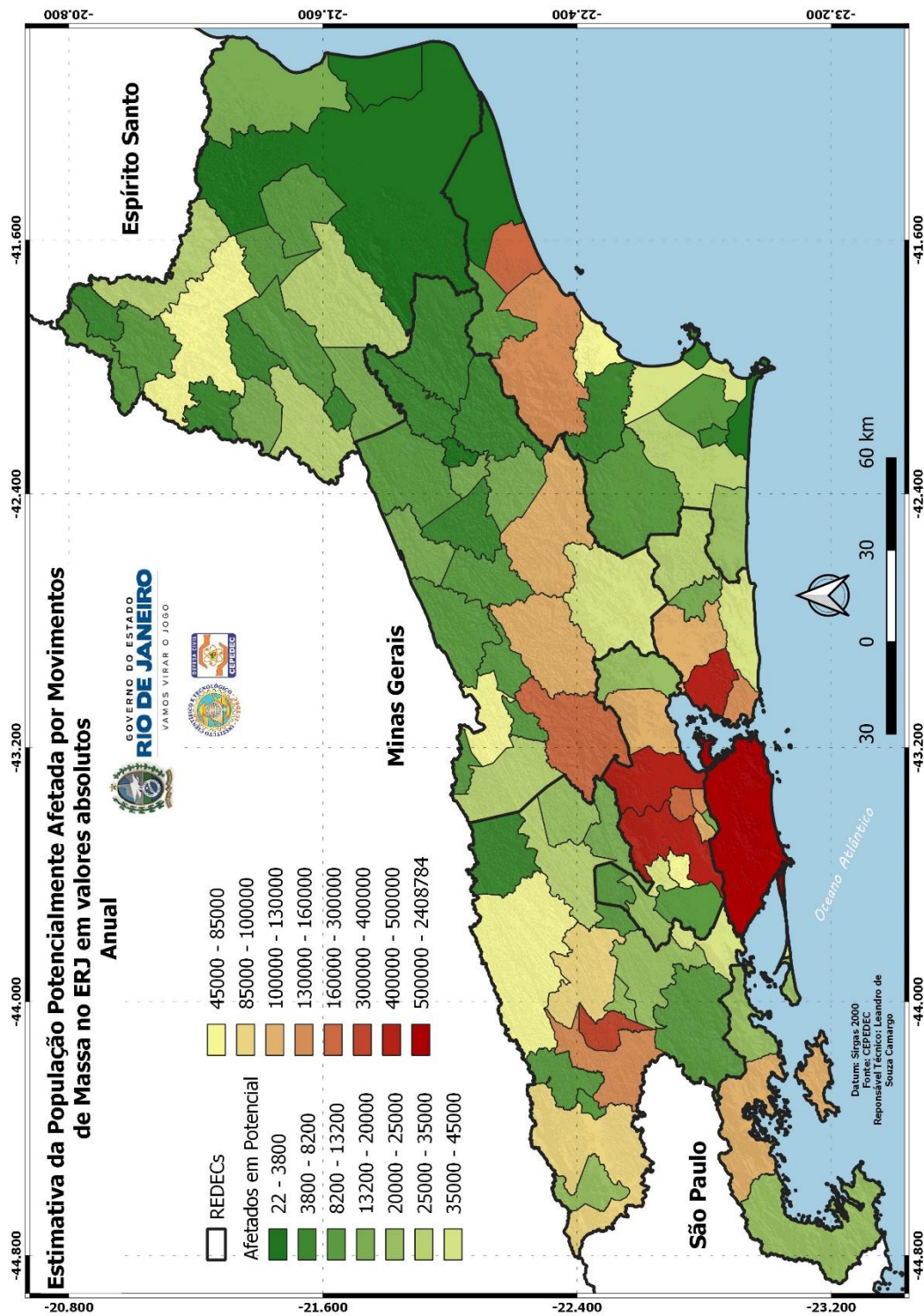


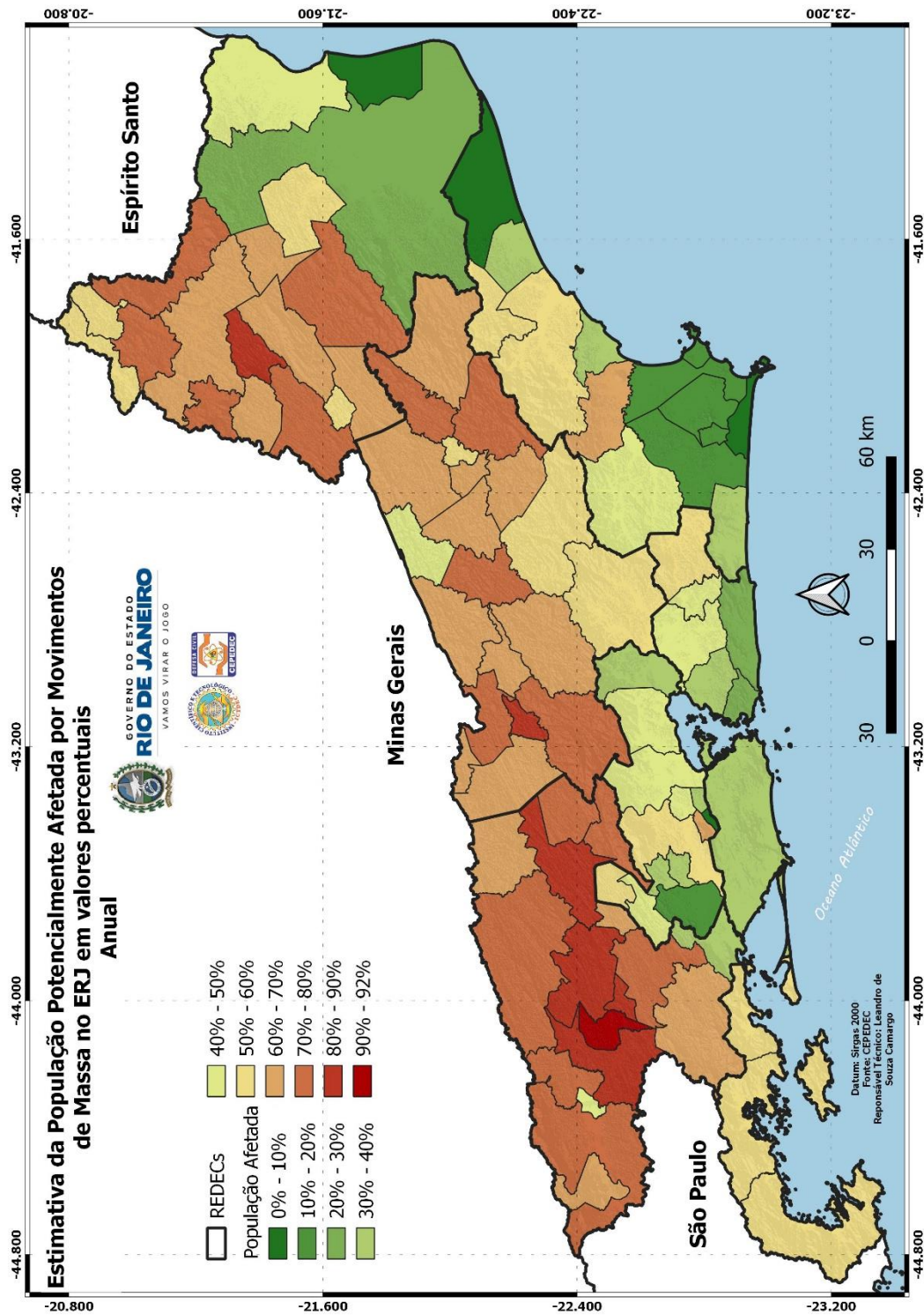




**Mapas de estimativa anual, em valores absolutos
e percentuais, da população potencialmente
afetada por movimentos de massa no ERJ**

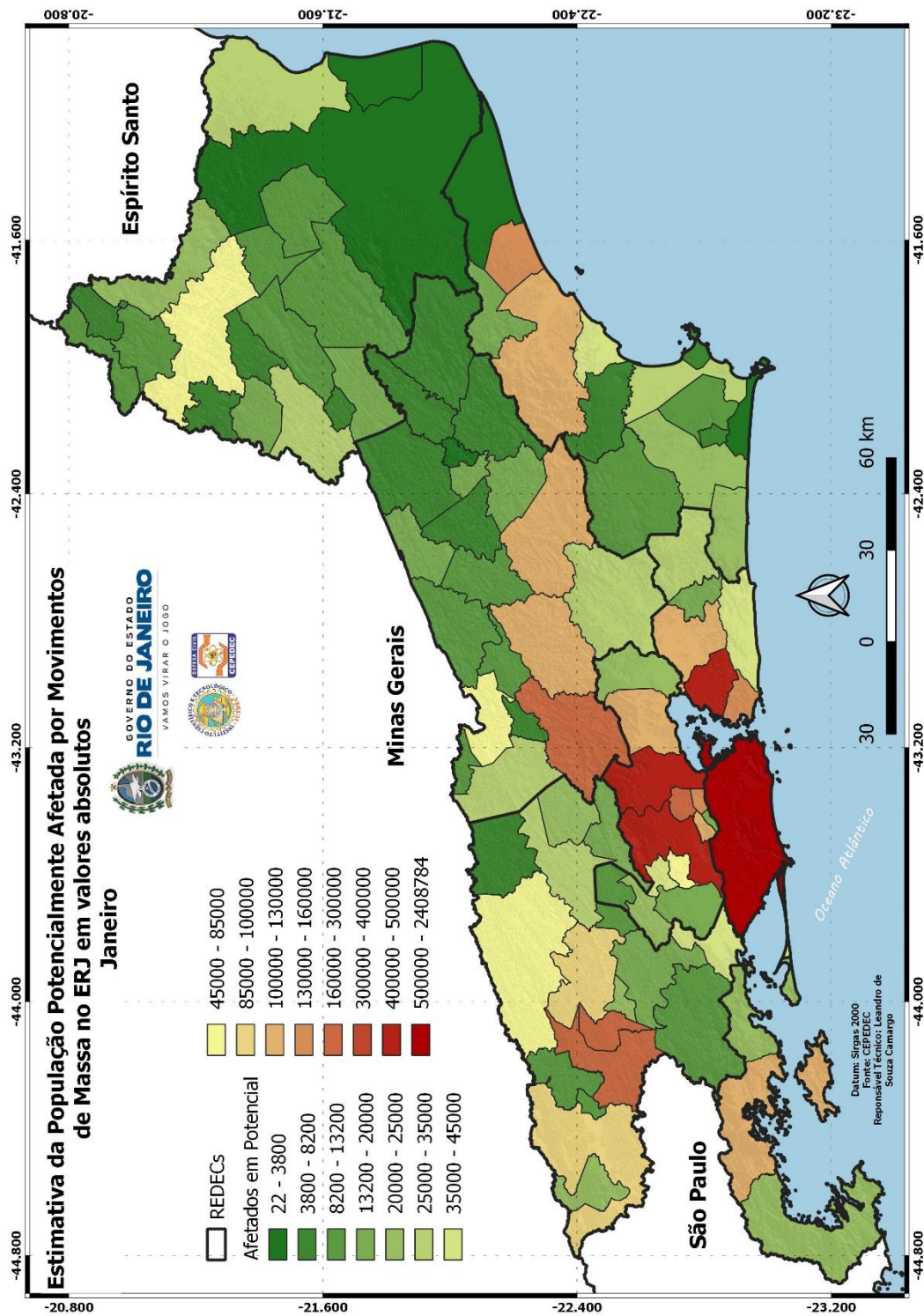




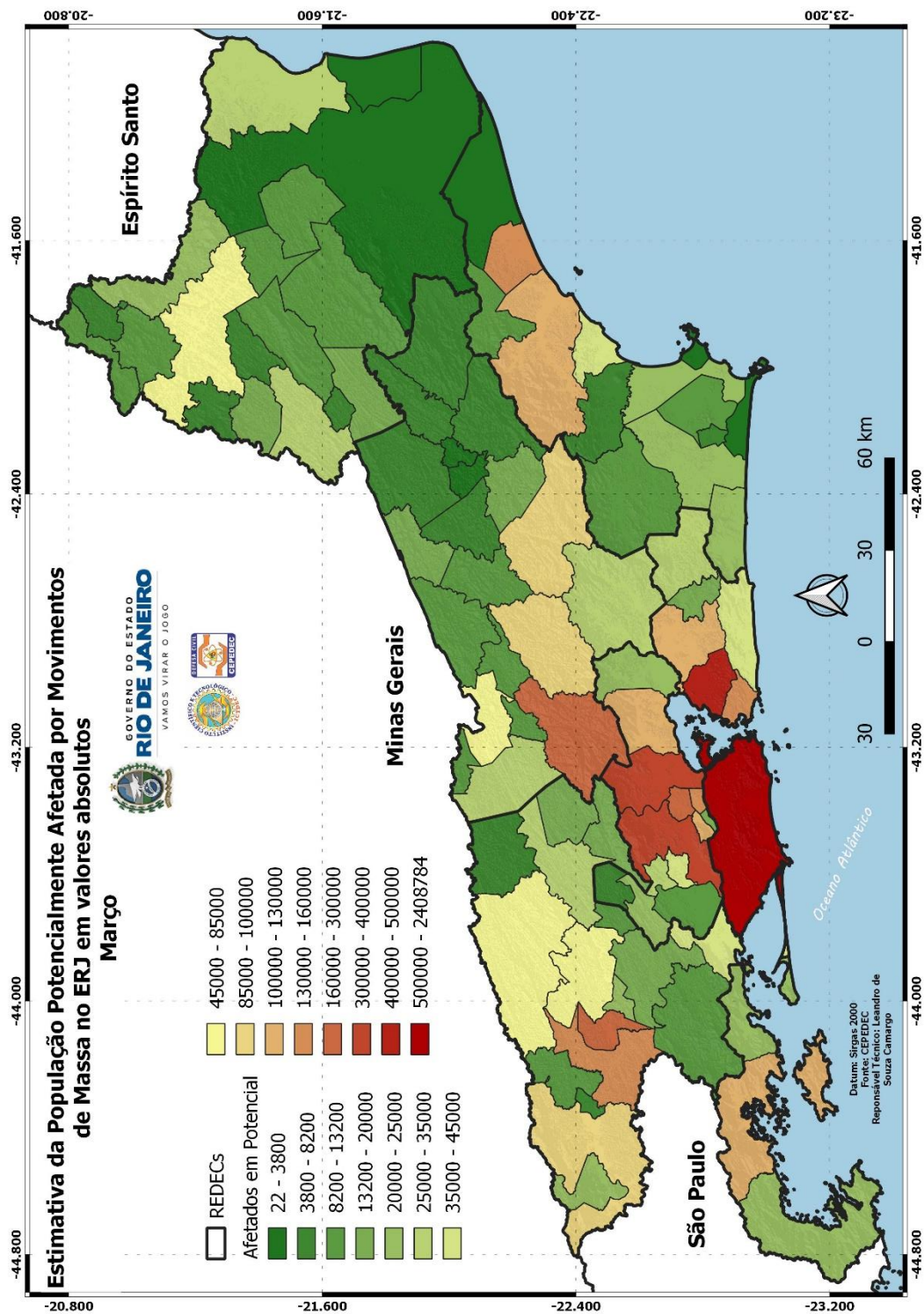


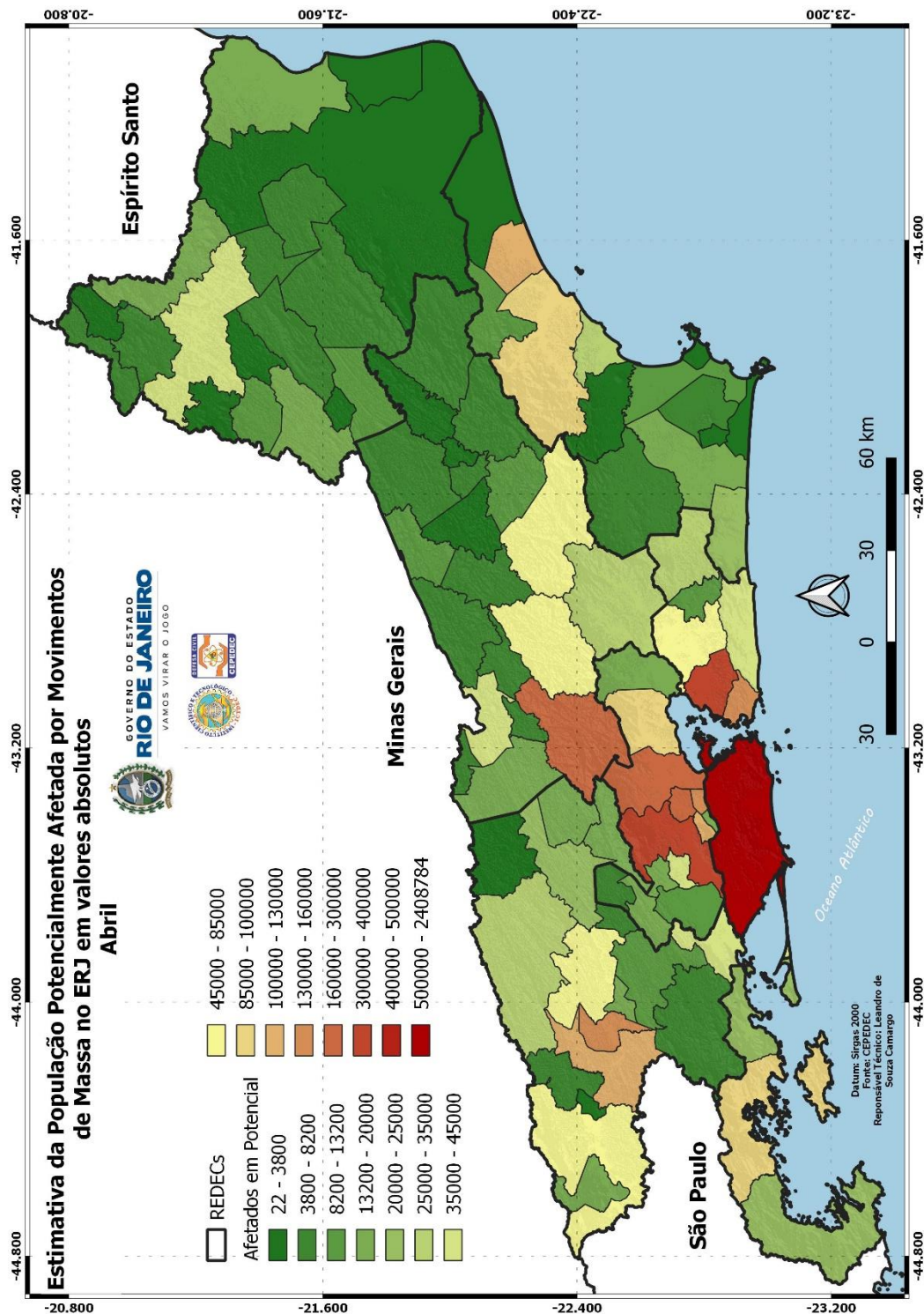
*Mapas de estimativa mensal, em valores
absolutos, da população potencialmente afetada
por movimentos de massa no ERJ*

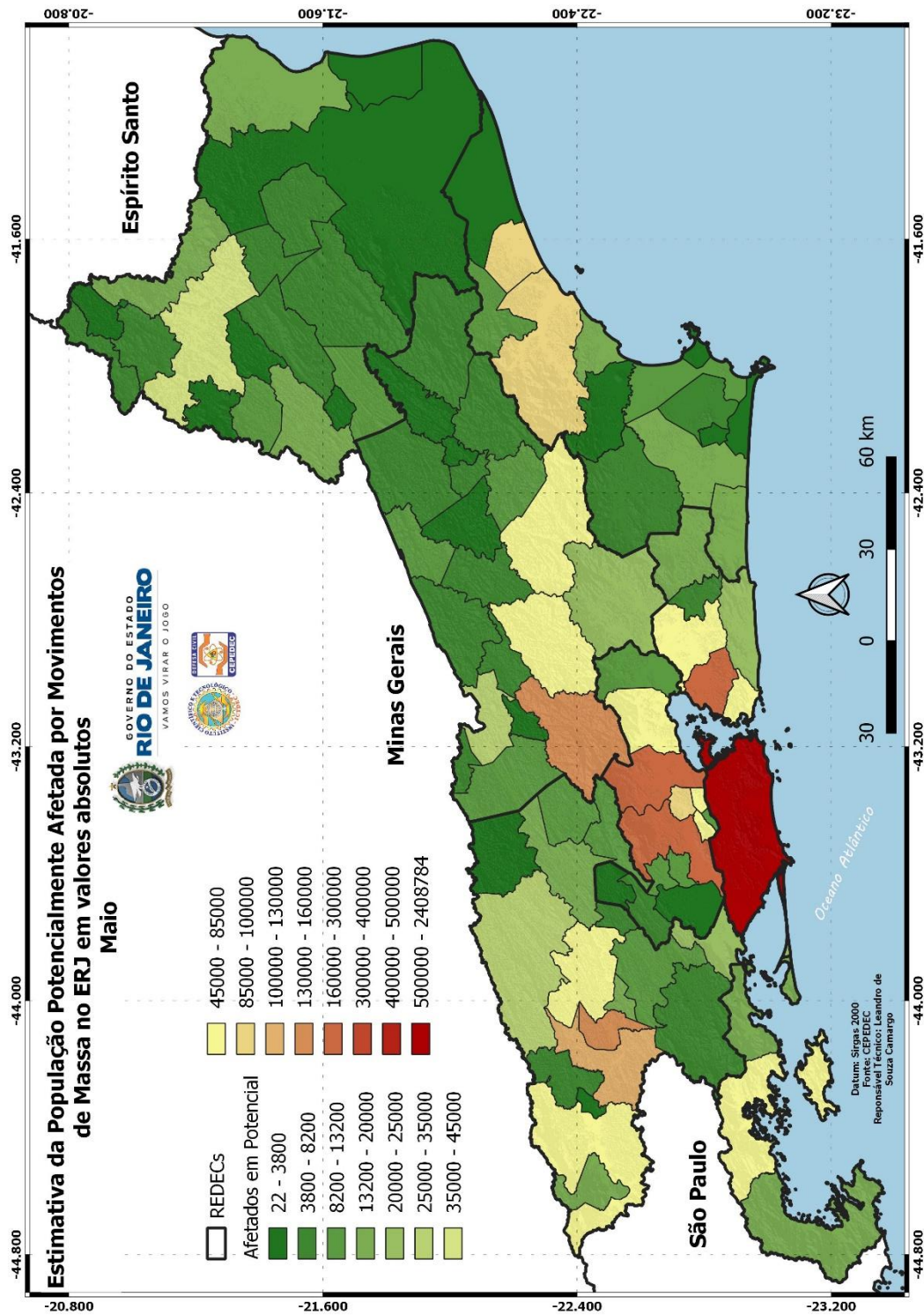


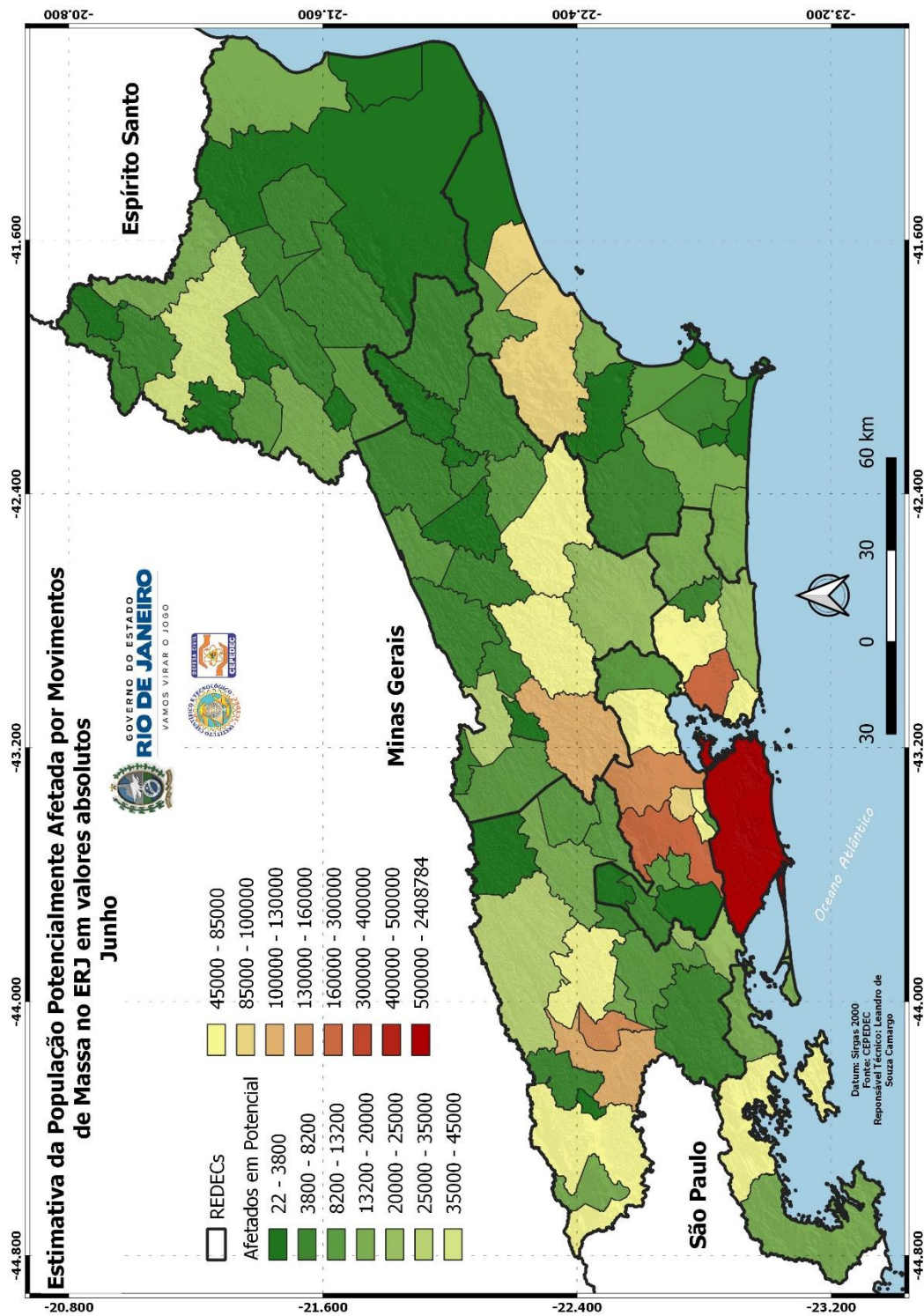


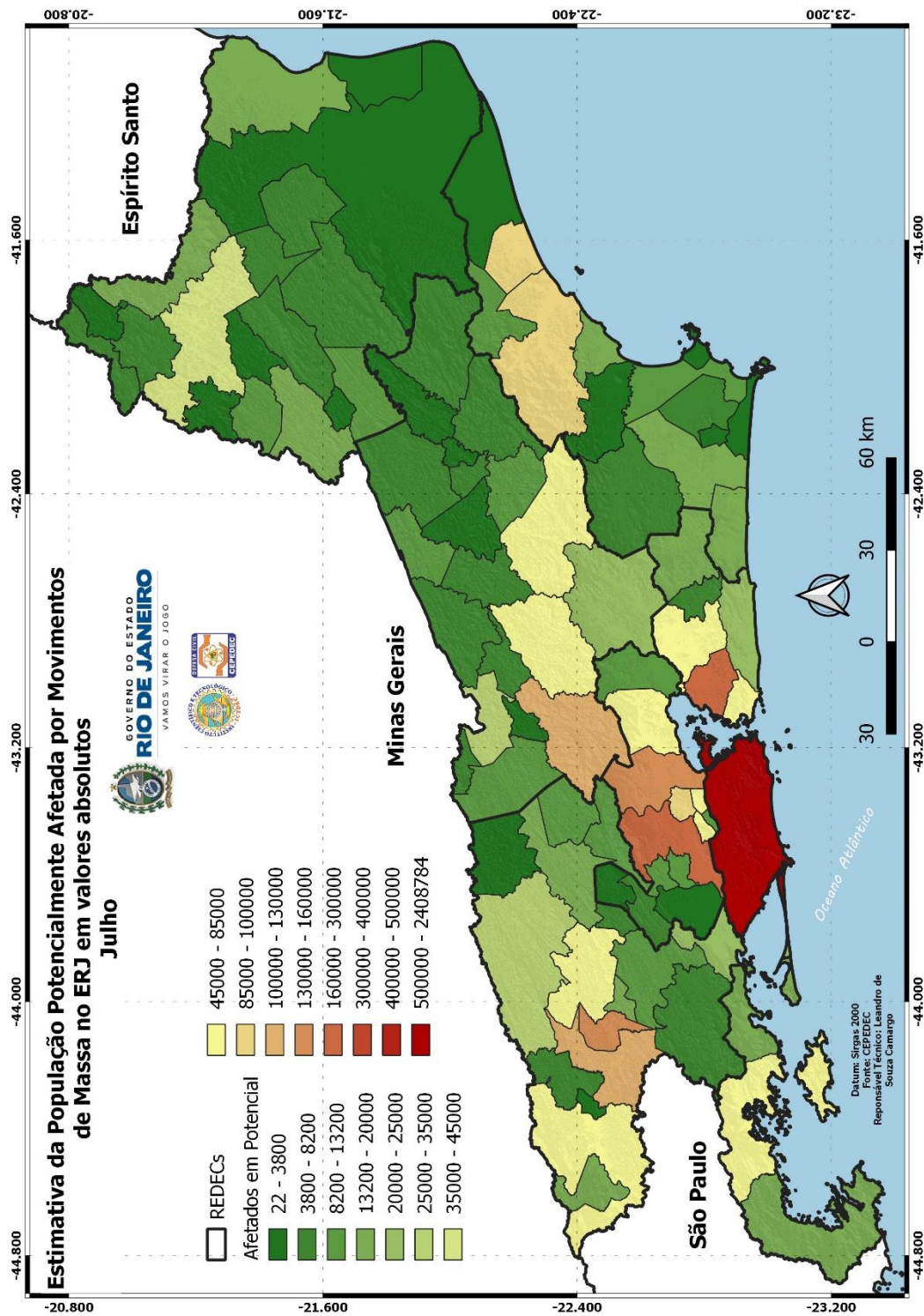


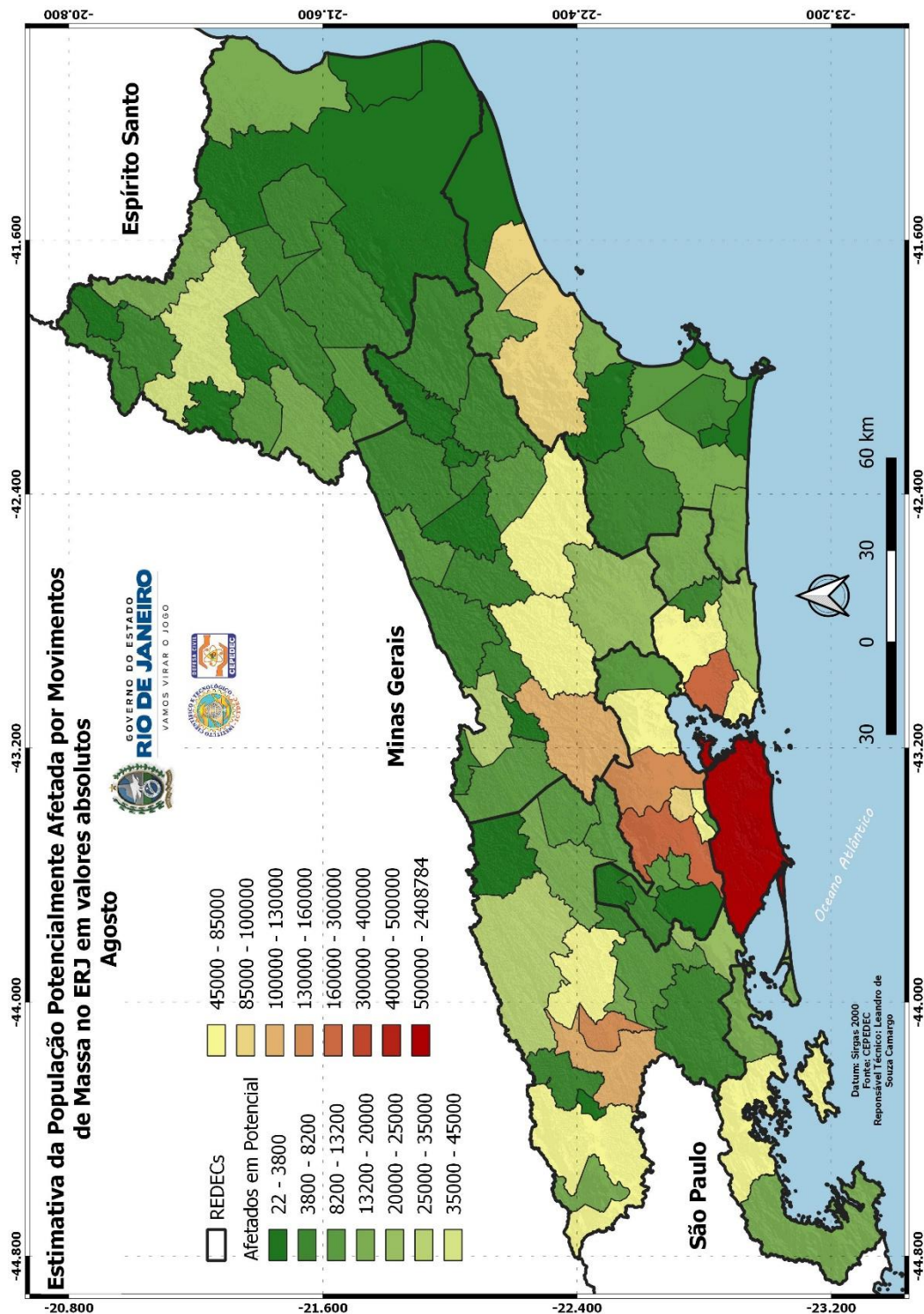


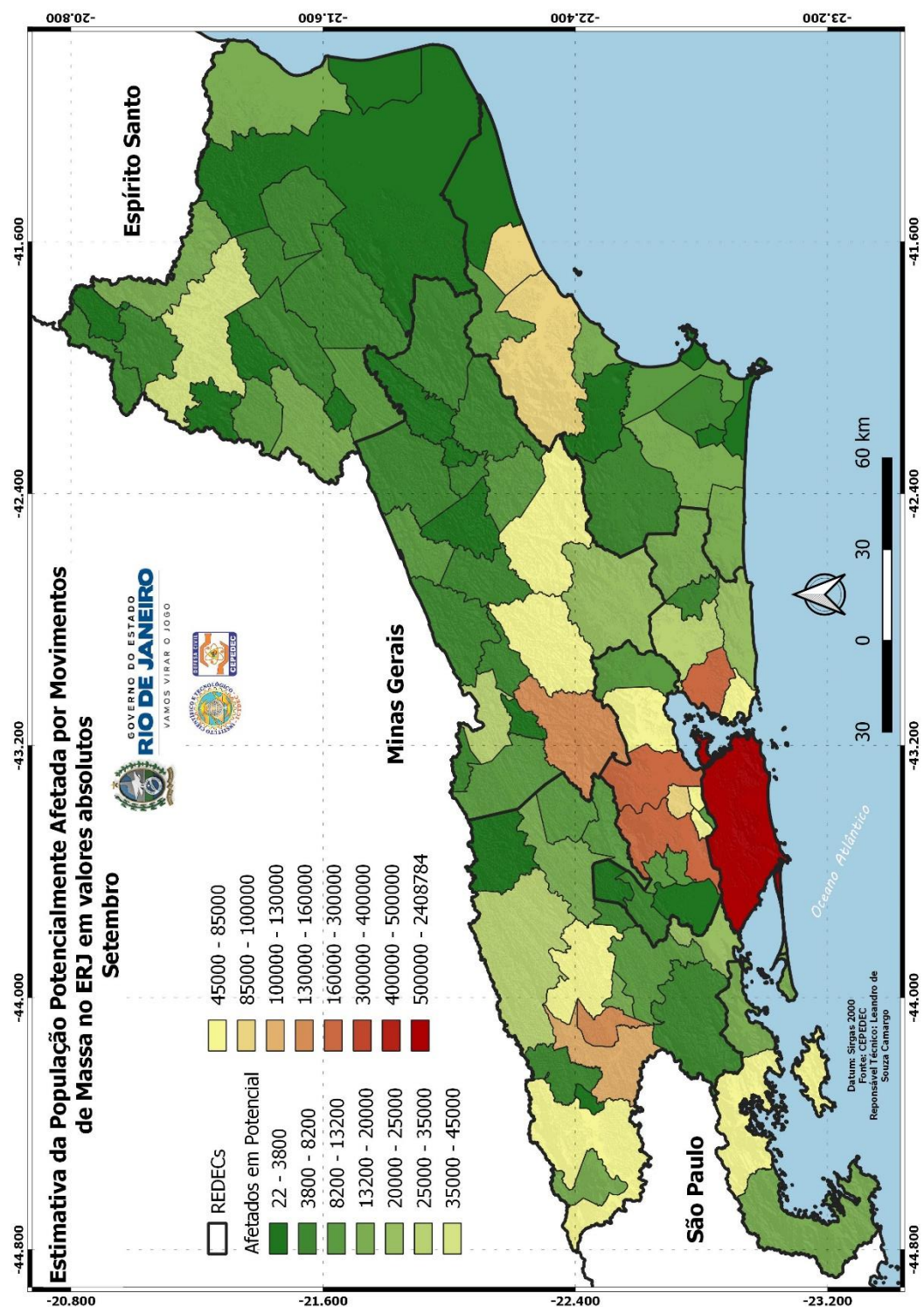


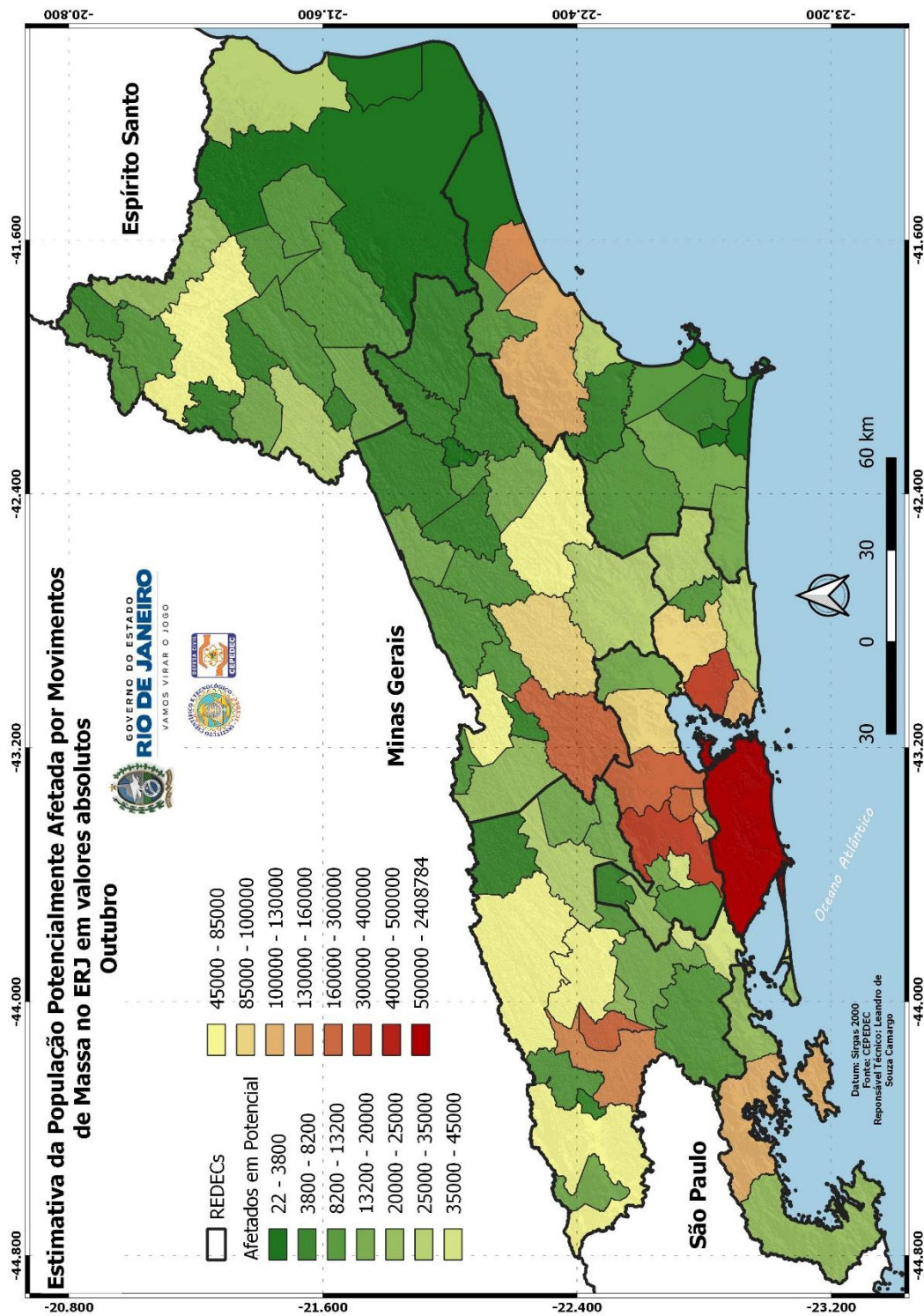


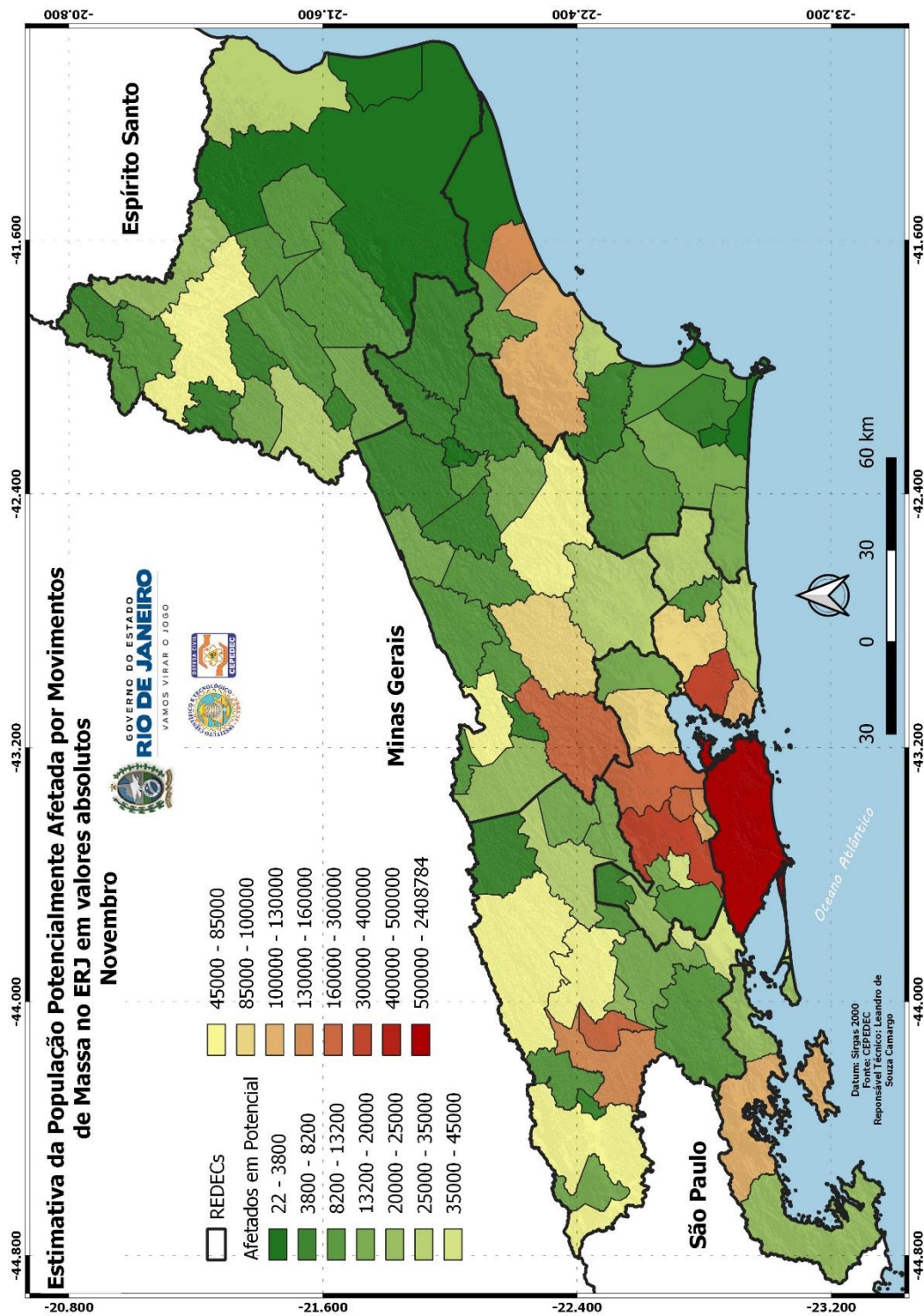


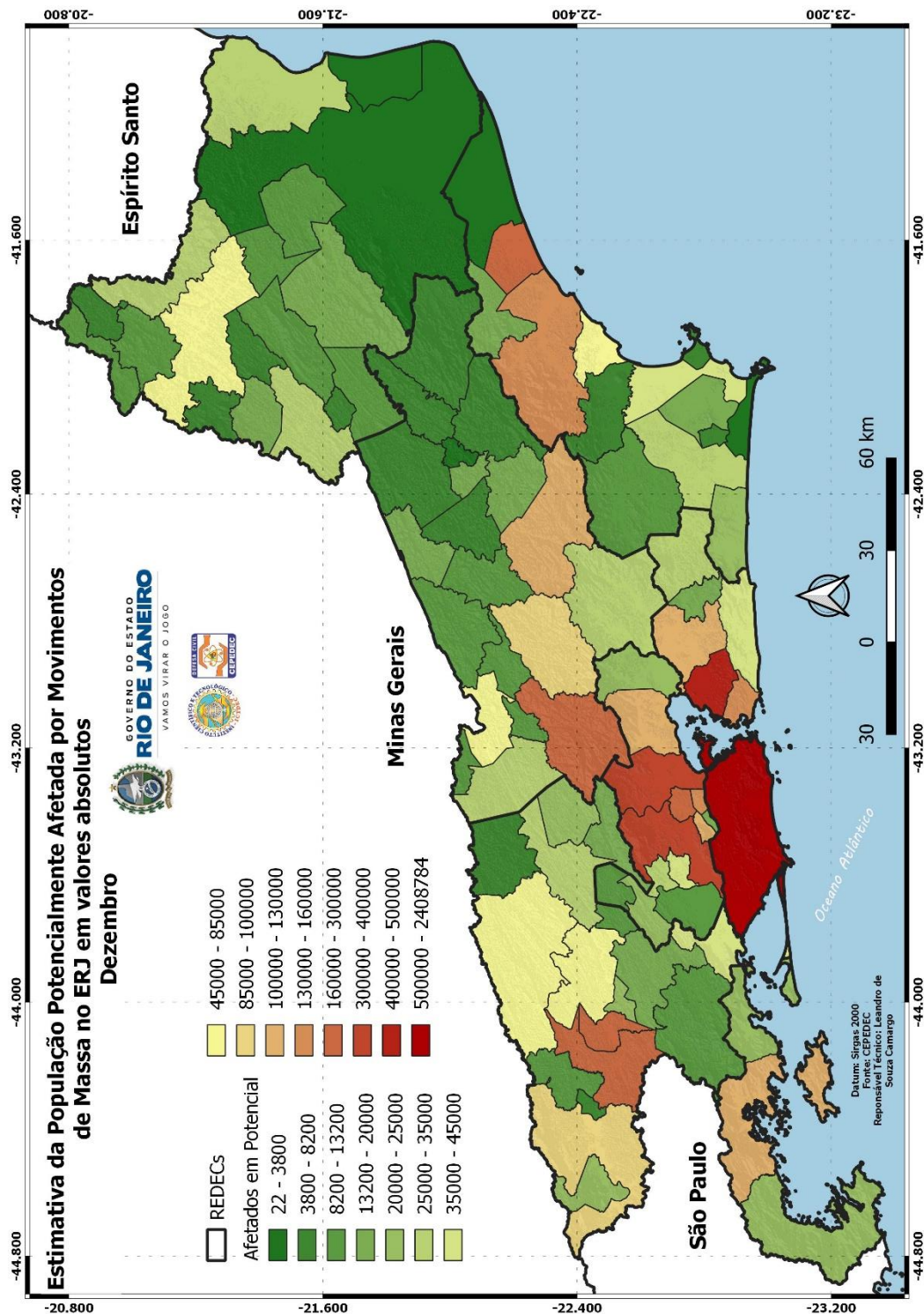












Mapas de estimativa mensal, em valores percentuais, da população potencialmente afetada por movimentos de massa no ERJ



