

Figura 32 – Classificação das unidades hidrográficas e códigos de sensibilidade da Bacia Lagos São João.

(Fonte: CILSJ, 2011)

A etapa seguinte dedicou-se a gerar as classes de frequências, a partir das medidas determinadas pelos especialistas, para as quais foram levantadas bibliografias sobre o tema. O artigo de Mattson & Argermeier (2007) apresenta uma tabela com propostas de classes de frequência, onde os autores optaram pelo uso de intervalos de igual ocorrência, na ausência de dados representativos, e usando como referência a literatura para os estressores mais estudados (áreas urbanas, agricultura).

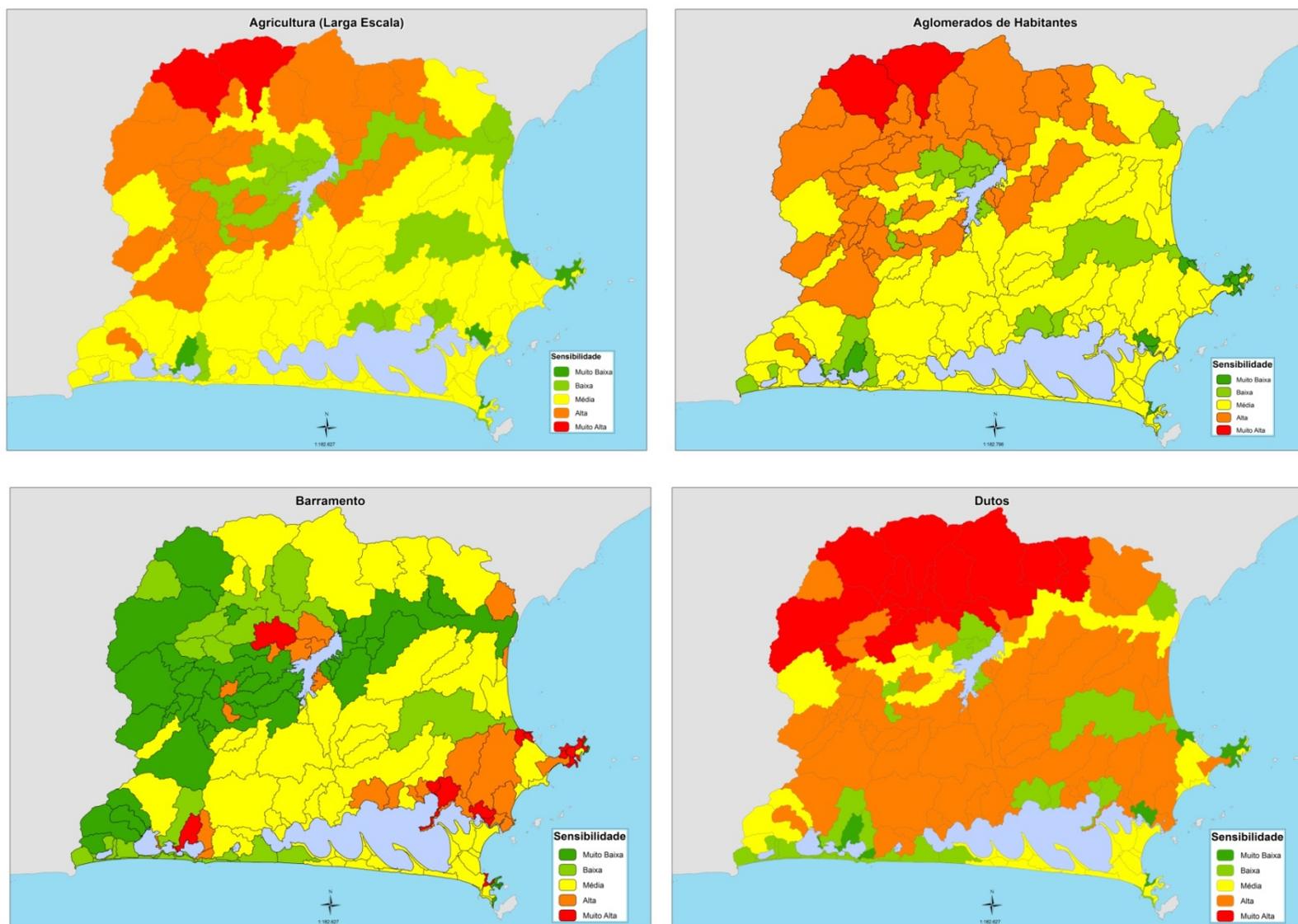


Figura 33 – Mapas de sensibilidade da Bacia Lagos São João para cada estressor. (Fonte: CILSJ, 2011)

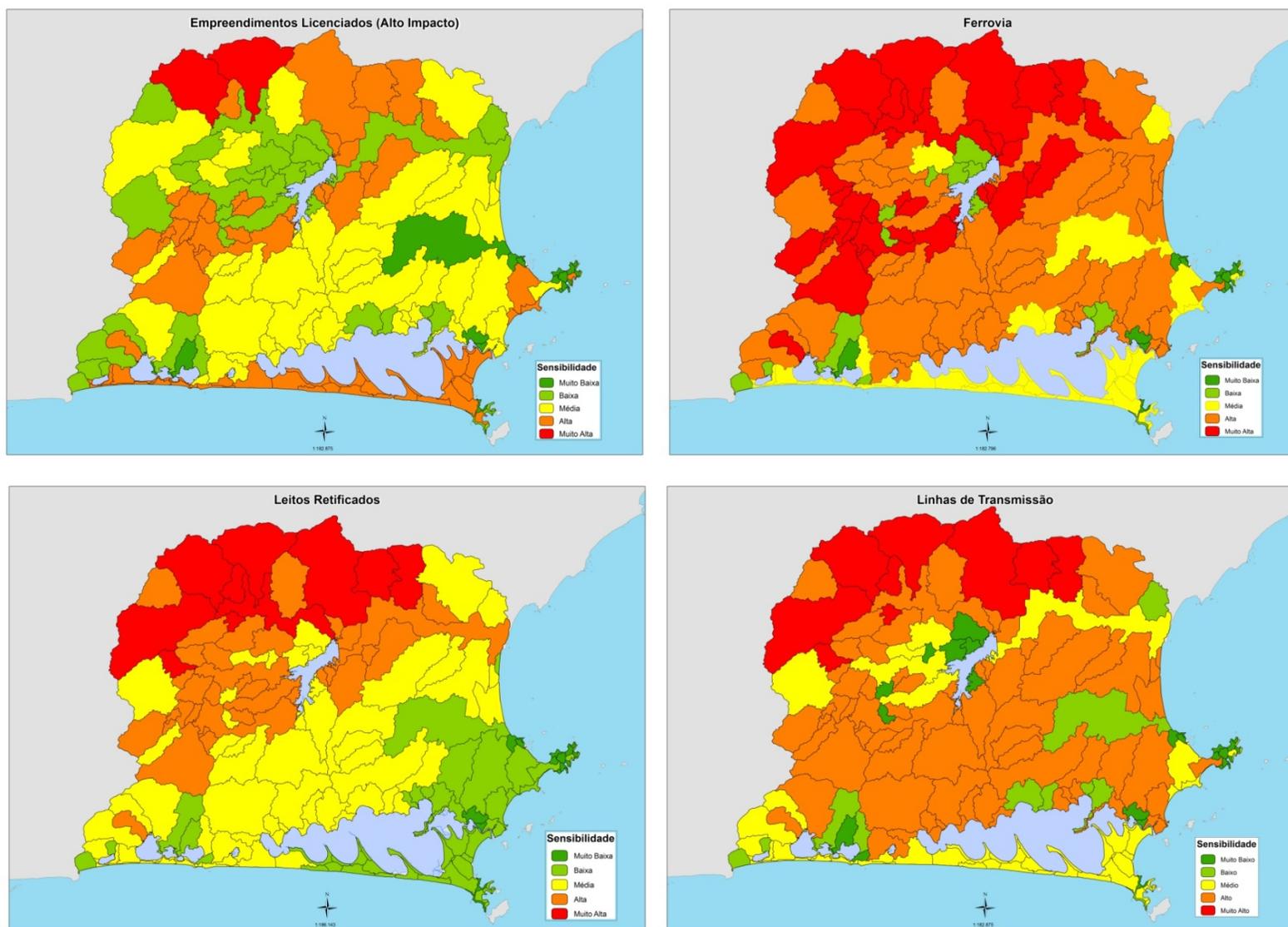


Figura 33 – Mapas de sensibilidade da Bacia Lagos São João para cada estressor. (Fonte: CILSJ, 2011) (Continuação)

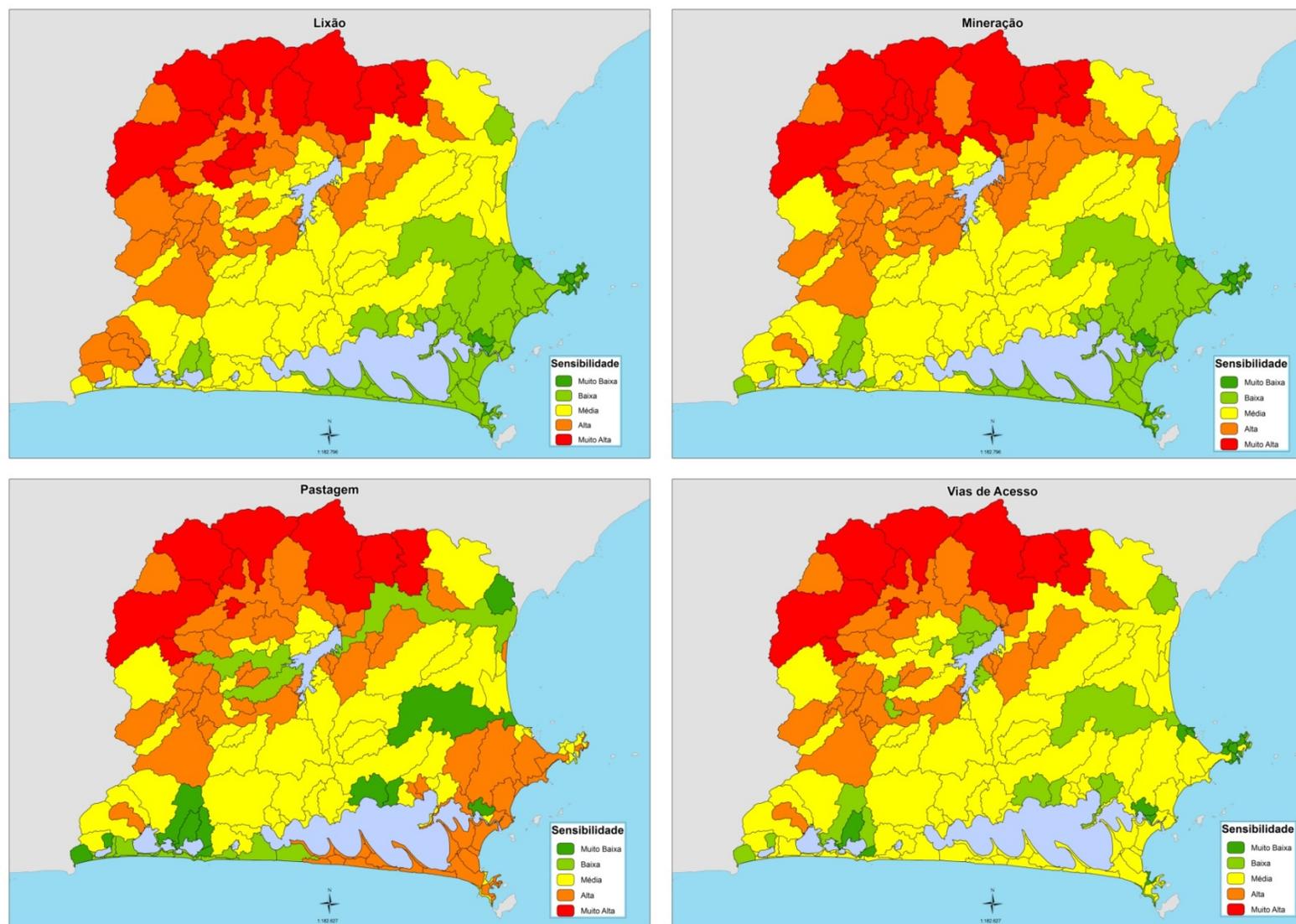


Figura 33 – Mapas de sensibilidade da Bacia Lagos São João para cada estressor. (Fonte: CILSJ, 2011) (Continuação)

Para fins de comparação, e decisão pelo melhor método, foram geradas também classes de frequência através de ferramentas do geoprocessamento. Para tal, foi feito o cruzamento do shapefile de cada estressor com o arquivo das unidades hidrológicas, e calculou-se a frequência de cada estressor nas unidades, de acordo com as medidas de frequência determinadas junto aos especialistas (Quadro 10). Desta forma, os valores de frequência foram divididos em classes, pelo método Natural Breaks (Jenk's), sendo estes agrupados em cinco classes (Tabela 4).

Tabela 4 – Classes de frequência para cada estressor da Bacia Lagos São João, segundo o método Natural Breaks (Jenk's).

Estressor	Classes de frequência				
	1	2	3	4	5
Pastagem	0,0067 - 19,94%	19,95 - 41,33%	41,34 - 61,92%	61,93 - 79,13%	79,14 - 99,84%
Agricultura	0,07 - 0,72%	0,73 - 3,17%	3,18 - 10,5%	10,6 - 16,05%	16,06 - 25,12%
Barramentos	0,000022 - 0,062812	0,062813 - 0,295906	0,295907 - 0,472794	0,472795 - 0,691770	0,691771 - 1
Dutovias	0,000028 - 0,000051	0,000052 - 0,000125	0,000126 - 0,000151	0,000152 - 0,000238	0,000239 - 0,000392
Linhas de transmissão	0,000012 - 0,000085	0,000086 - 0,000213	0,000214 - 0,000357	0,000358 - 0,000537	0,000538 - 0,001187
Vias de acesso	0,000004 - 0,000715	0,000716 - 0,001271	0,001272 - 0,001764	0,001765 - 0,002621	0,002622 - 0,004126
Ferrovias	0,000022 - 0,000055	0,000056 - 0,000147	0,000148 - 0,000225	0,000226 - 0,000426	0,000427 - 0,000529
Áreas Urbanas	0,001 - 6,2%	6,3 - 19,84%	19,84 - 33,83%	33,84 - 58,6%	58,7 - 99,3%
Mineração	0,002 - 1,49%	1,5 - 5,27%	5,28 - 10,93%	10,94 - 25,4%	25,5 - 46,96%
Leitos Retificados	0,007377 - 0,096018	0,096019 - 0,317768	0,317769 - 0,566818	0,566819 - 0,782557	0,782558 - 1
Empreendimentos licenciados	1 - 2	3 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 22
Lixões	1	2	-	-	-

Ao final, optou-se por utilizar as faixas geradas no processamento, pois estas refletiram melhor a espacialização e distribuição das ameaças da bacia nas unidades hidrológicas. Desta forma, foram gerados os mapas de frequência para cada estressor (Figura 34).

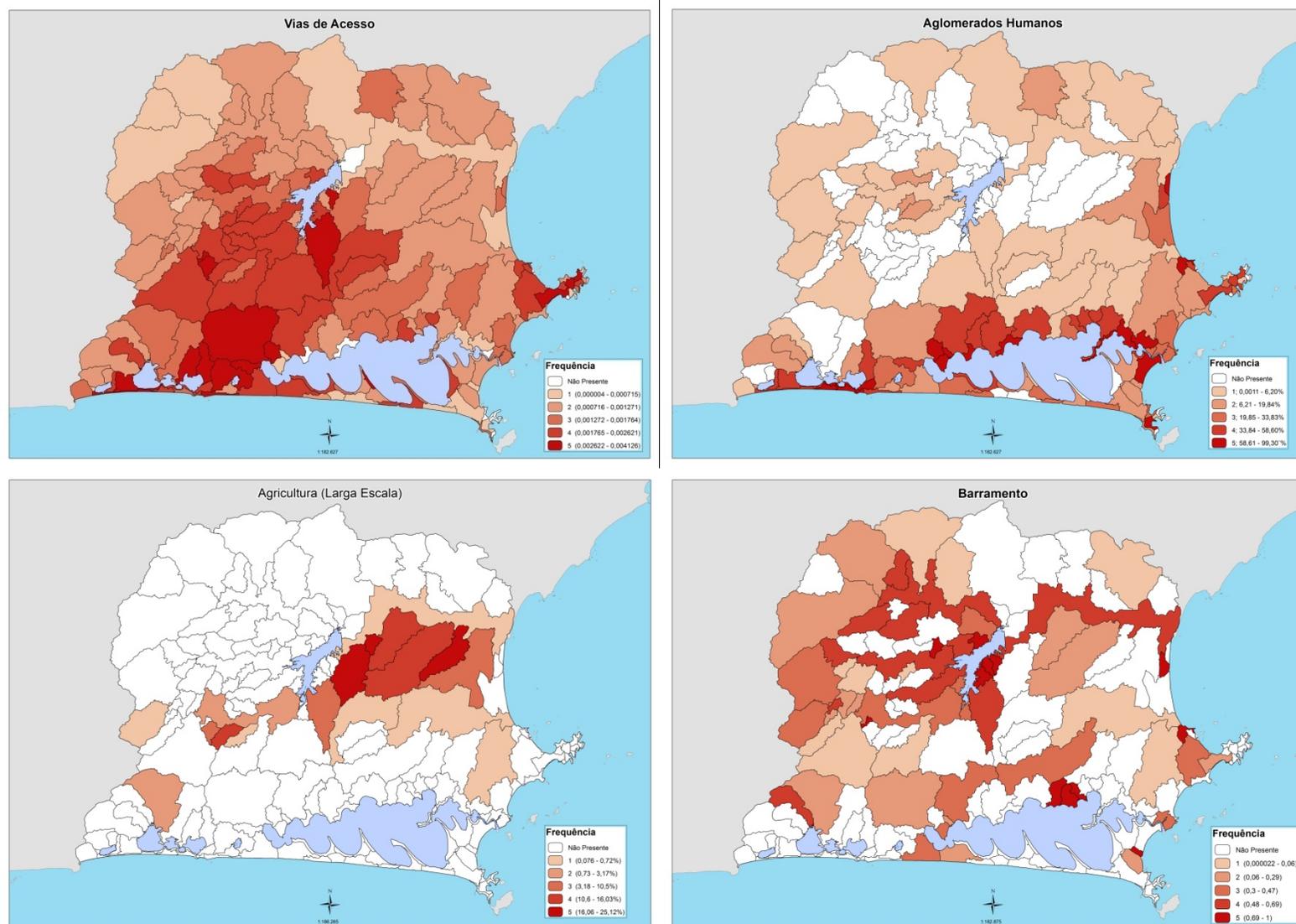


Figura 34 – Mapas de frequência de cada estressor da Bacia Lagos São João. (Fonte: CILSJ, 2011)

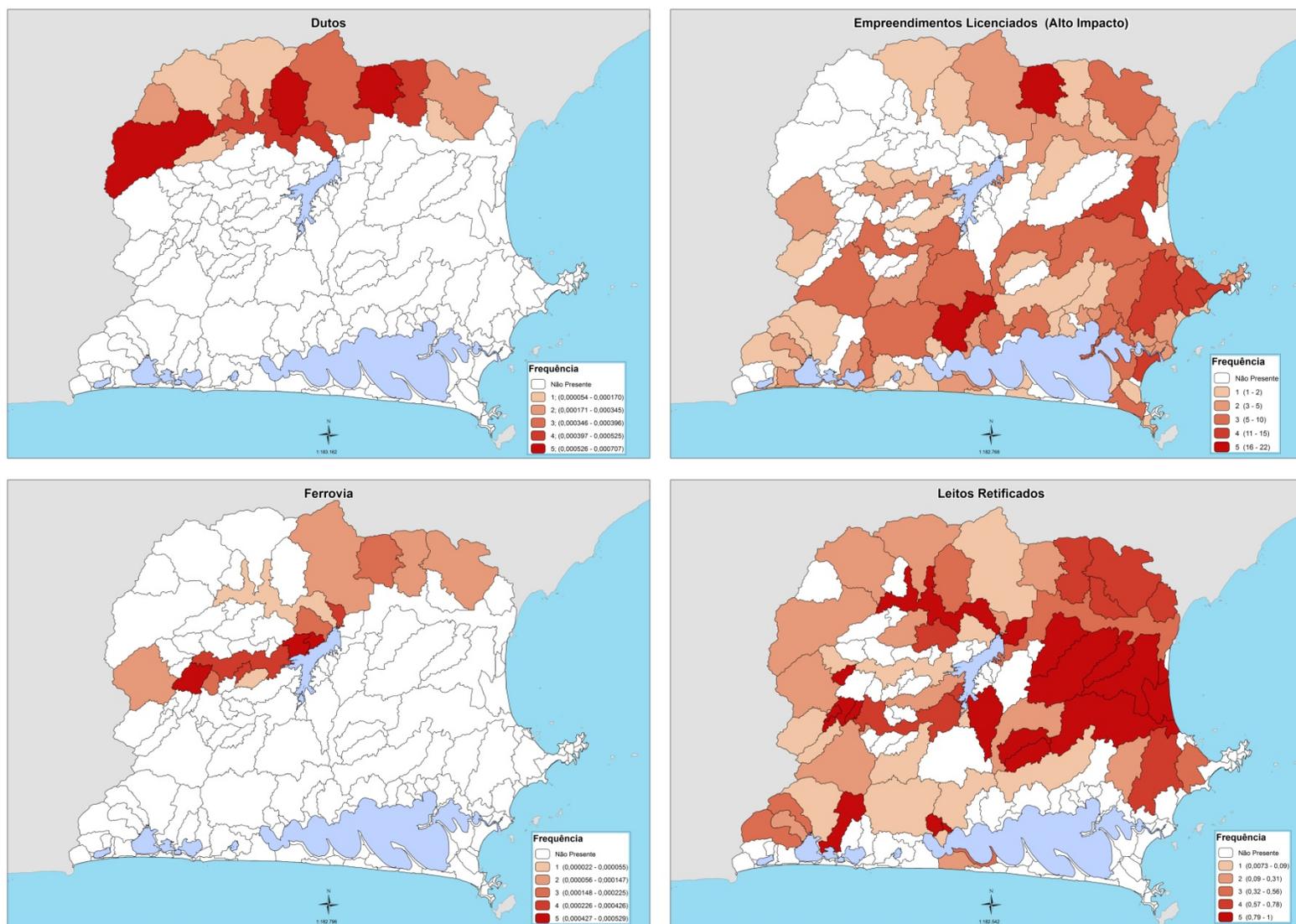


Figura 34 – Mapas de frequência de cada estressor da Bacia Lagoa São João. (Fonte: CILSJ, 2011) (Continuação)

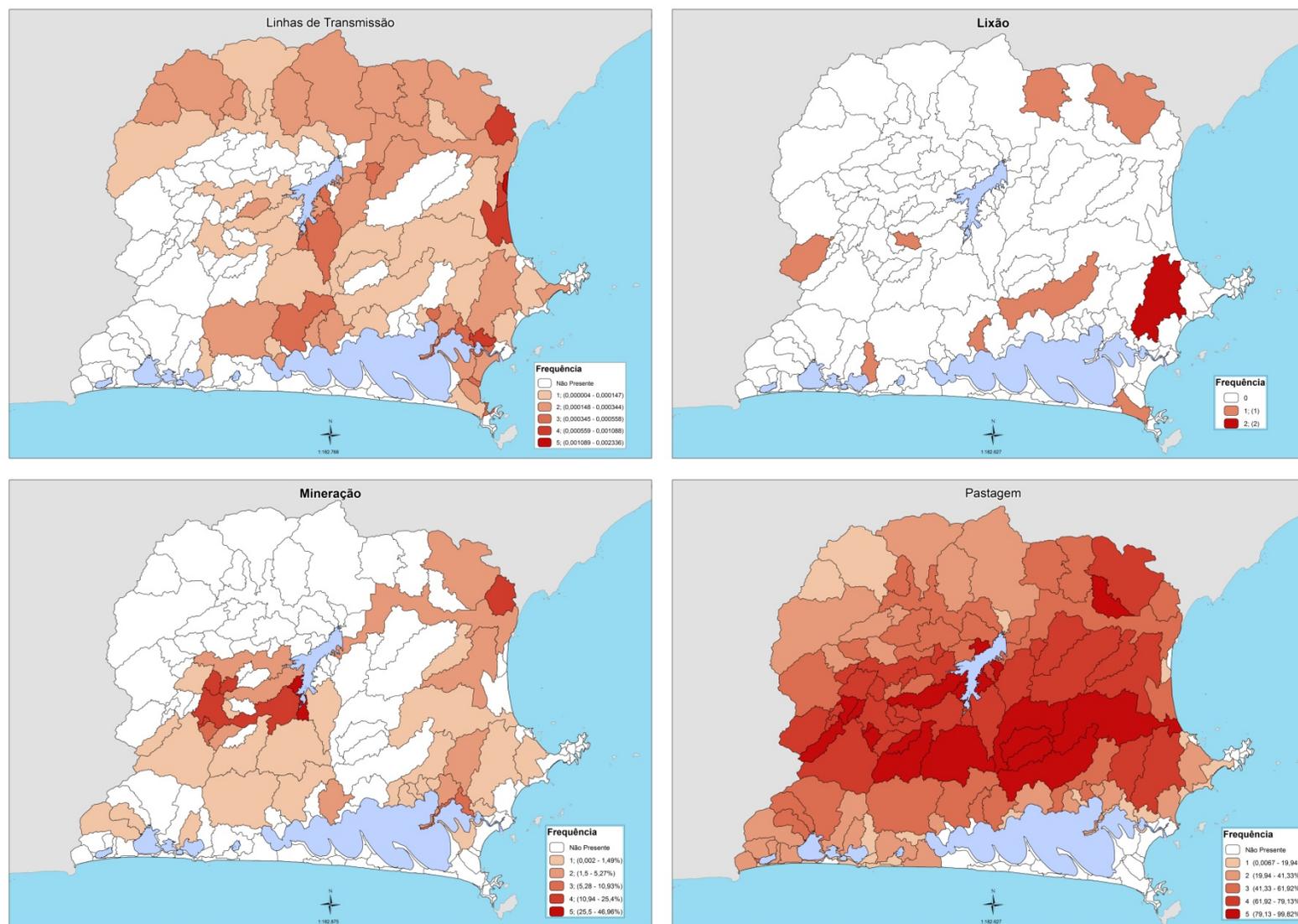


Figura 34 – Mapas de frequência de cada estressor da Bacia Lagoa São João. (Fonte: CILSJ, 2011) (Continuação)

Após a etapa de cálculo de cada componente da equação do IRE, foram gerados os índices por estressor (IRE – E), totalizando 12 mapas (Figura 35). Os valores de IRE obtidos foram classificados também pelo método Natural Breaks (Jenks) gerando quatro classes de valores – baixo, médio, moderado e alto, além da não presença na unidade.

Ao analisar os mapas do IRE – E foi possível observar que os estressores pastagem, leitos retificados e barramentos, foram os que apresentaram um maior número de unidades hidrológicas classificadas de moderado a alto, com destaque para o estressor ‘pastagem’. A combinação da severidade, sensibilidade e frequência, na avaliação deste estressor, apresentou um mapa com o maior número de unidades hidrológicas com alto índice de risco ecológico.

Ao final, a partir do somatório das ameaças individuais foi gerado o mapa (Figura 36) com o índice composto (IRE – C). As unidades com maiores valores de IRE-C se concentram na Bacia do Rio São João. Esses estressores além de impactar severamente os processos hidrológicos da bacia, expõe esse território, seus ecossistemas e populações aos efeitos potenciais das mudanças e variabilidades do clima. Os ecossistemas de água doce estão localizados em sua grande maioria na Bacia do Rio São João, destacando a sua importância na conservação dos serviços ambientais prestados por esses ambientes. Cabe destacar que esta Bacia abriga ainda o reservatório de Juturnaíba, manancial estratégico da região e do Estado do Rio de Janeiro, sendo desta forma estratégica e prioritária para garantir a integridade ecológica da bacia.

Ao contrário da hipótese inicial discutida junto aos especialistas, a zona costeira não apresentou unidades com valores altos de IRE-C. Devido ao fato de o IRE-C ser um somatório dos estressores (IRE-E) que ocorrem nas unidades hidrológicas, os usos do solo que são excludentes acabam subestimando o real impacto do estressor avaliado. Uma unidade hidrológica com 90% de área urbana, por exemplo, terá um valor inferior de IRE-C, se comparado a uma unidade com ocorrência de três estressores.

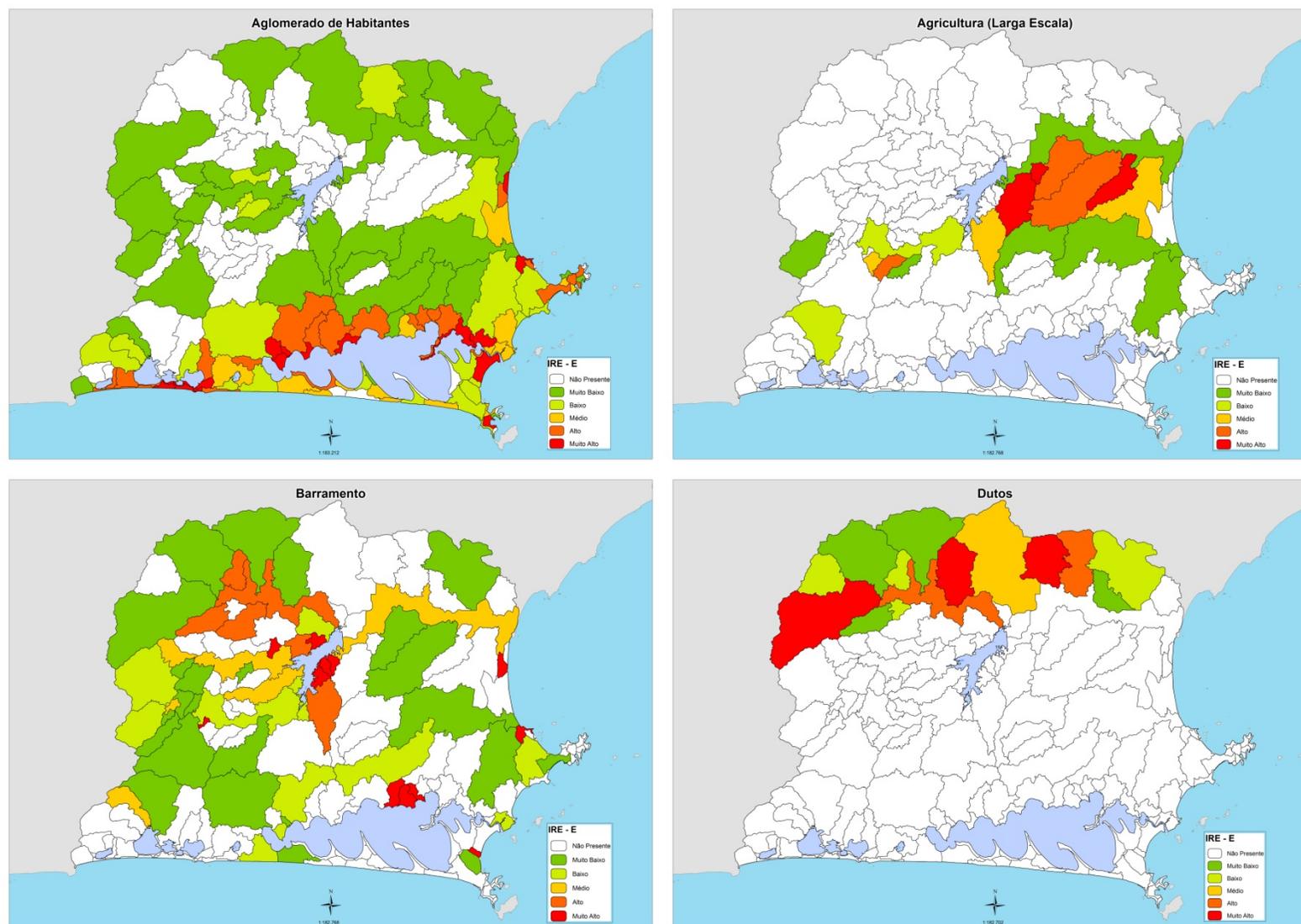


Figura 35 – Mapas de risco ecológico (IRE) da Bacia Lagos São João por estressor. (Fonte: CILSJ, 2011)

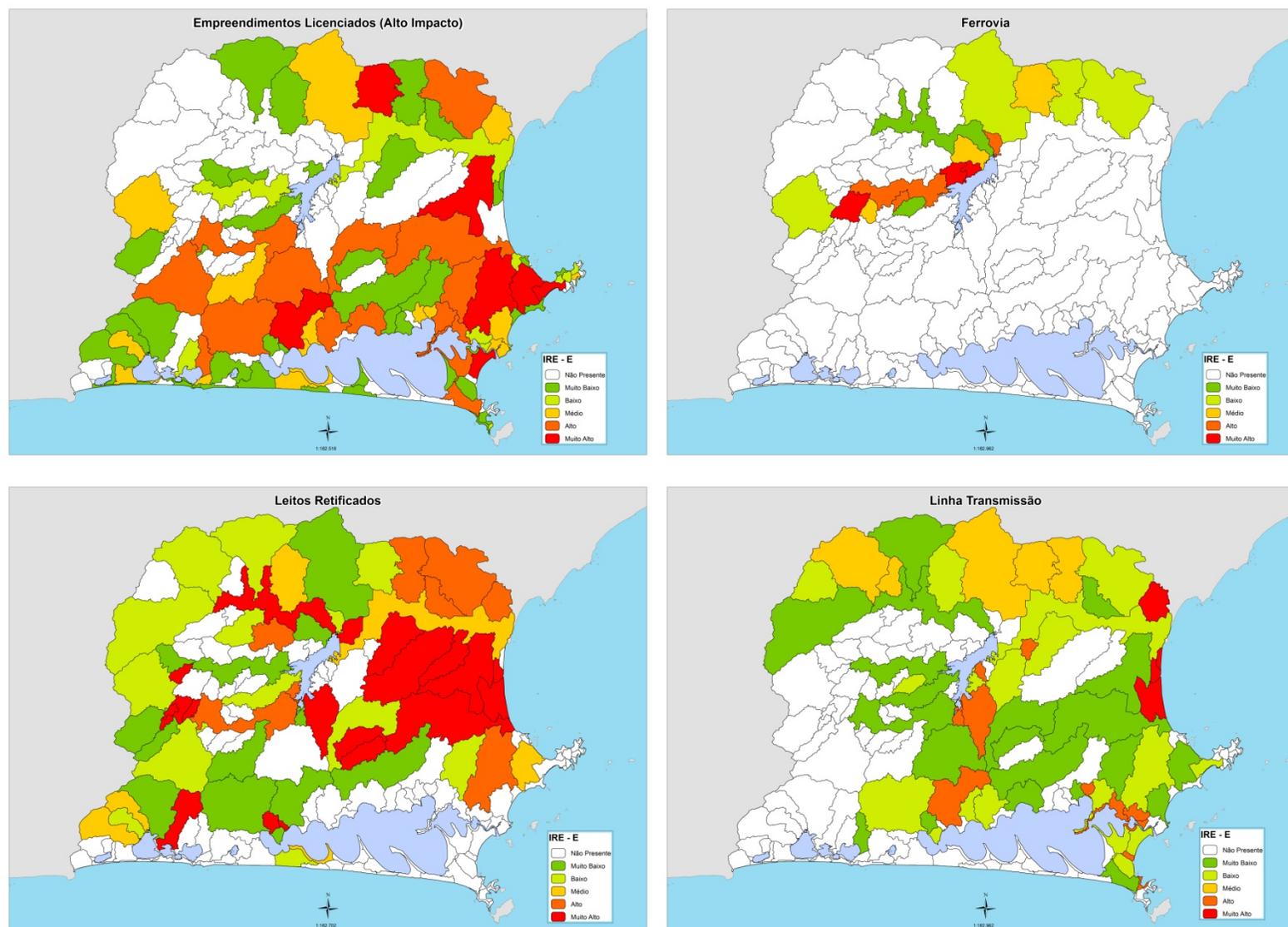


Figura 35 – Mapas de risco ecológico (IRE) da Baía Lagos São João por estressor. (Fonte: CILSJ, 2011) (Continuação)

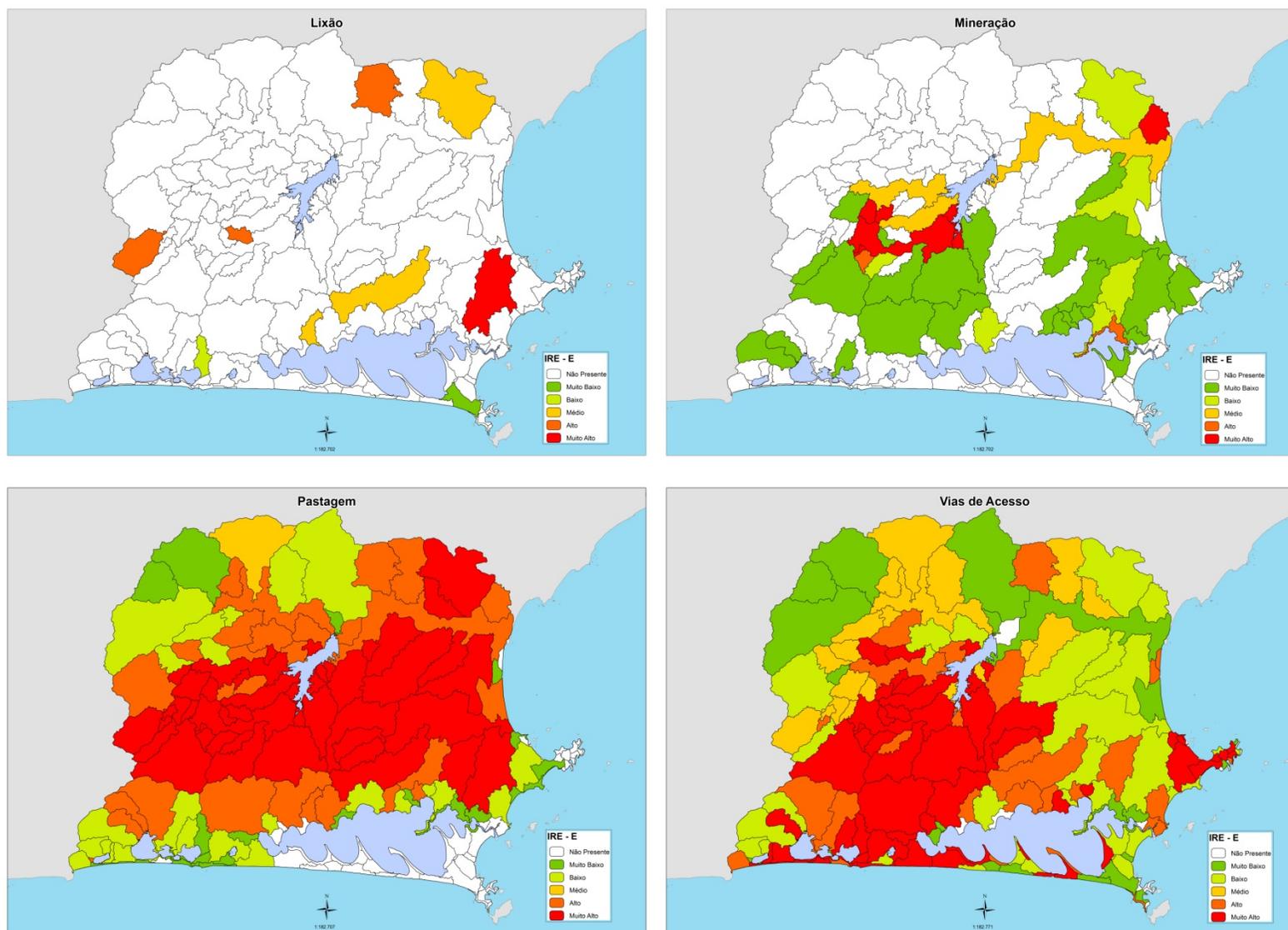


Figura 35 – Mapas de risco ecológico (IRE) da Bacia Lagos São João por estressor. (Fonte: CILSJ, 2011) (Continuação)

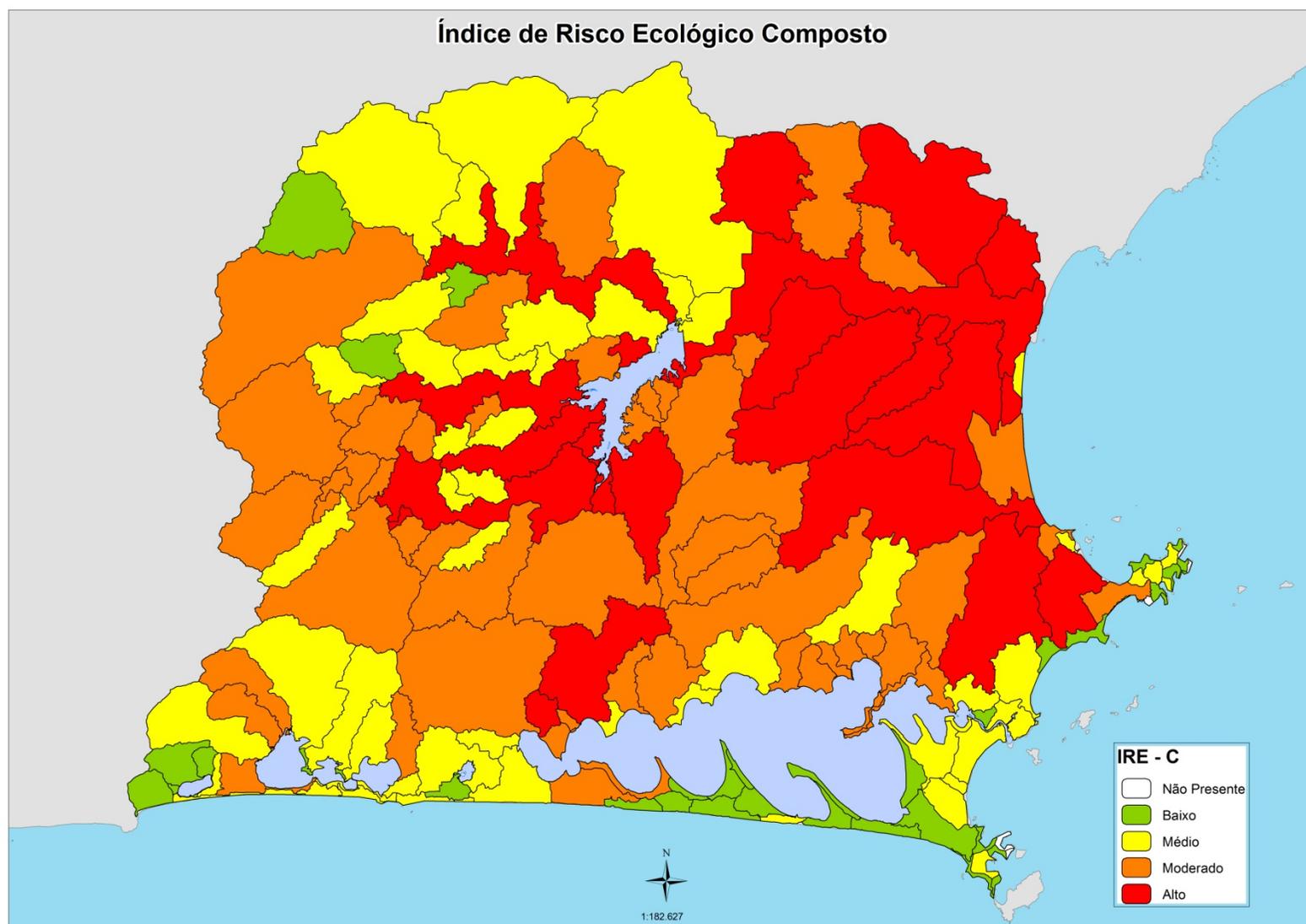


Figura 36 – Mapa de Risco Ecológico Composto (IRE-C) para a bacia Lagos São João. (Fonte: CILSJ, 2011)

4.7 Inserção da variável climática

Conforme apresentado no **Capítulo 3**, as variabilidades e mudanças do clima se apresentam como uma nova camada a ser considerada nos estudos de vulnerabilidade. De acordo com a metodologia adotada neste trabalho (Figura 14, item 3.2.1), a combinação dos estresses climáticos, que representam sobretudo ameaças futuras, com os estresses não climáticos atuais, ou risco ecológico, compõe a aqui denominada ‘análise de vulnerabilidade ecológica’.

No entanto, a precariedade dos dados hidrológicos e climáticos para a bacia Lagos São João e da região como um todo, não permite neste momento uma análise temporal dos dados, e a constatação de variabilidades e mudanças climáticas, incluindo os registros de extremos de clima. Na caracterização da bacia foi possível observar que apesar da escala da bacia, há uma estratificação do clima, demarcada principalmente pelo relevo e precipitação, que em análises globais não são consideradas. Como apresentado no **item 4.4** deste Capítulo, a precipitação anual para a Bacia Lagos São João pode variar de valores inferiores a 800 mm, na zona costeira, a 2500 mm na porção serrana da bacia. Esta característica indica uma possível diferença na resposta às alterações climáticas, sendo ainda influenciada pelo uso e ocupação do território.

Quanto aos estudos de projeções regionais de mudança do clima, a revisão bibliográfica efetuada apontou uma grande carência ou inexistência de informações e dados que sejam compatíveis com a escala da bacia hidrográfica, em análise nesta dissertação.

Os cenários ainda estão longe de refletir de forma mais precisa as alterações climáticas, em nível regional/local, desta forma é necessário se basear em estudos do clima da região a ser estudada. De fato, para incorporar essas previsões em estudos, são necessários esforços de regionalização de projeções e modelos de mudanças climáticas, visando se aproximar da escala de planejamento e resposta. Para tal, é necessário obter séries históricas e registros das variáveis climáticas, e definir o *baseline*, ou seja, o cenário de referência para proceder às comparações e identificar as anomalias climáticas.

Os estudos identificados para a Bacia Lagos São João foram elaborados no âmbito federal, estadual e municipal, não considerando como área de estudo a bacia hidrográfica, e, portanto, não permitindo sua sobreposição de forma que os índices

de risco ecológico possam ser recalculados. A inacessibilidade a esses dados em formato shapefile é outro fator complicador da sua utilização, pois não é possível a sobreposição das camadas de vulnerabilidade.

Considerou-se, no entanto, que essas informações disponíveis poderiam ser utilizadas de forma qualitativa, apontando os possíveis impactos das mudanças do clima e sinergias com os riscos ecológicos atuais. Pois tais informações permitem construir ou identificar medidas e estratégias de adaptação, de curto e médio prazo, em antecipação aos efeitos negativos potenciais da “camada climática”.

Marengo (2008), em seu estudo apresenta as projeções regionais de mudança do clima para o Brasil, a partir da regionalização de projeções globais (Figura 37). As projeções de temperatura e precipitação utilizadas neste estudo foram obtidas para cada modelo analisado, a partir de cenários de possíveis emissões futuras de gases de efeito estufa. Estes cenários são denominados SRES (Special Report on Emissions Scenarios) A2 (alta emissão) e B2 (baixa emissão) os quais foram implementados pelo IPCC (Soares e Marengo, 2007). Desta forma, sumariza os possíveis impactos dessas alterações para a região as regiões do país.

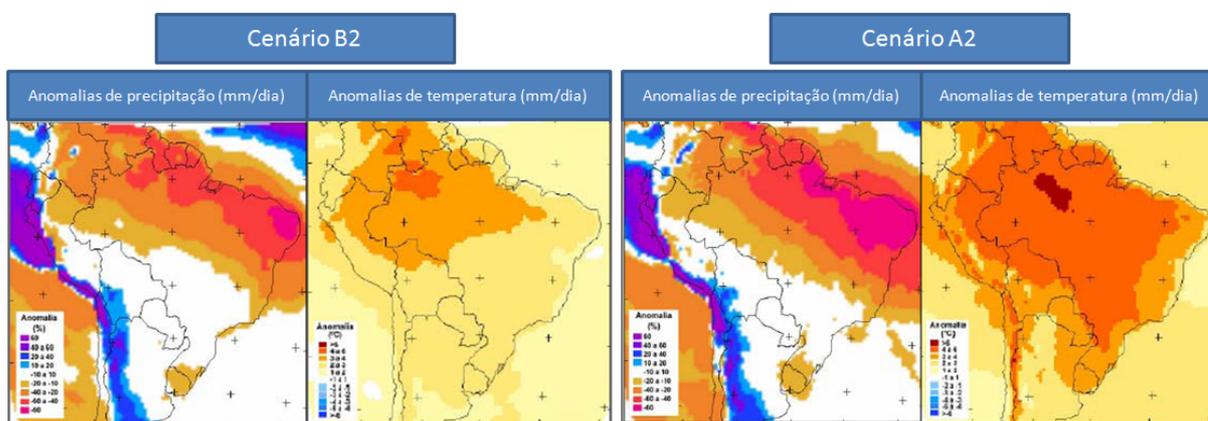


Figura 37 – Projeções de anomalias de precipitação anual (mm/dia) e temperatura do ar (°C) para os cenários A2 e B2 para 2071-2100 em relação a 1961-1990. (Fonte: Marengo, 2008)

Como resultado deste estudo para a região Sudeste, o cenário pessimista (A2) aponta uma temperatura de 3 a 4°C mais quente, e o cenário otimista (B2), de 2 a 3°C. O autor ao analisar os resultados aponta os possíveis impactos e mudanças

projetadas para esta região (Figura 38). No entanto, nesta escala não é possível identificar onde os impactos previstos irão de fato ocorrer na bacia em estudo.

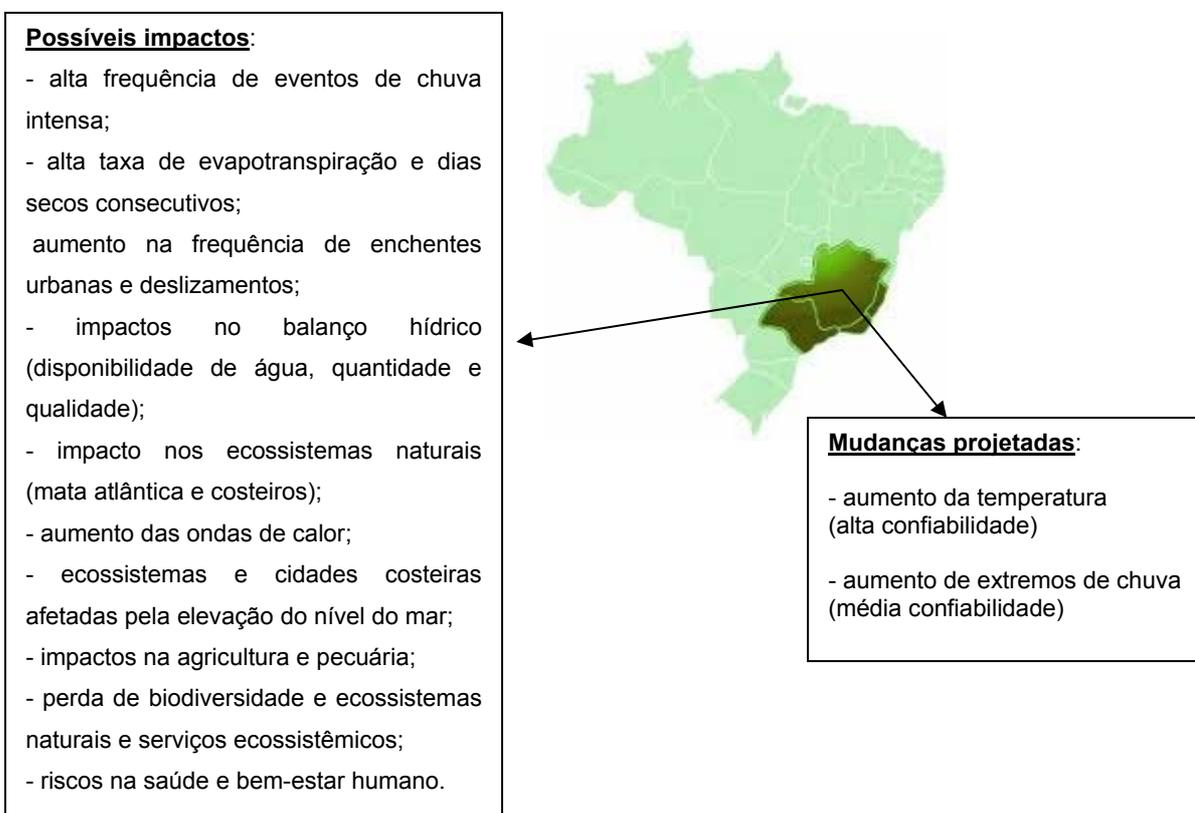


Figura 38 – Síntese dos impactos esperados para a região Sudeste (Fonte: Marengo, 2008).

Nobre (2008), em seu estudo utilizou modelos de vegetação potencial, tendo como objetivo primário determinar as possíveis alterações na distribuição das diferentes fitofisionomias presentes no estado do Rio de Janeiro, utilizando como base também os cenários A2 e B2. Segundo este estudo, o clima da região dos lagos pode se alterar para um clima que estaria em equilíbrio com a vegetação de savana. Portanto, a vegetação da floresta estacional pode ser substituída por vegetação de savana em ambos os cenários analisados.

Neste caso, as matas semidecíduais cederiam espaço para uma vegetação do tipo savânica, mais “aberta” (formação campestre) e menos rica em espécies de plantas. De fato, trata-se de uma região já naturalmente sujeita a déficits hídricos e na qual a redução e fragmentação da cobertura vegetal nativa são, mesmo nos dias atuais, ao extremo significativas.

No caso da porção serrana da bacia, este mesmo estudo não aponta mudanças na fitofisionomia, permanecendo, portanto a floresta ombrófila. Nobre (2008) ressalta que nesta análise sobre os efeitos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade, existem muitas limitações relacionadas com as incertezas dos cenários e a resolução dos modelos.

Outro fator a ser considerado no estudo da bacia, são os impactos dos processos costeiros, intensificados pelas alterações climáticas. Em estudo realizado por Lins-de-Barros (2011), para os municípios costeiros da bacia, foram identificados os setores localizados em áreas sujeitas à inundação e erosão costeira, com auxílio de técnicas de geoprocessamento, caracterizando a vulnerabilidade costeira. O mapeamento destes registros e das áreas consideradas sujeitas a tais desastres, associado ao relevo, revelou a concentração destes eventos em áreas de baixa altitude (até 10m), principalmente na margem norte das lagoas de Araruama e Saquarema. Em relação às inundações, 13 localidades foram classificadas pela Defesa Civil como áreas sujeitas a este desastre. As áreas sujeitas a alagamentos são ainda mais numerosas, chegando a 33 localidades (Lins-de-Barros, 2011).

No quarto relatório técnico referente ao Projeto “Vulnerabilidade Da População do Estado do Rio de Janeiro aos Impactos das Mudanças Climáticas nas Áreas Social, Saúde e Ambiente”, realizado pela Secretaria do Estado do Ambiente (SEA) em parceria com a Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ, 2011), é apresentada a construção e aplicação de uma metodologia para a identificação da vulnerabilidade dos municípios do Estado do Rio de Janeiro, através de índices individuais e um índice composto, que contemplam fatores climáticos e não climáticos.

O Índice de Cenários Climáticos (ICC), proposto neste estudo sintetiza, para cada município, a diferença esperada (anomalias) de temperatura e precipitação, considerando o “clima atual” e projeções climáticas, baseadas no modelo climático regionalizado Eta-HadCM3, e nos cenários A1FI (uso intenso de combustíveis fósseis) e A1T (fontes energéticas não fósseis), com resolução horizontal de 40 km (Figura 39).

A partir da diferença das médias anuais das variáveis temperatura e precipitação, entre ambos os períodos, atual e futuro, foram calculadas as anomalias climáticas. Como resultado, tem-se um índice com escala variando de 0 a 1, em que 0 é o valor atribuído ao município com menor vulnerabilidade e 1 ao município com

maior vulnerabilidade. Os demais valores indicam a distância relativa entre o menos vulnerável (índice = 0) e o mais vulnerável (índice = 1).

Analisando os resultados para a área de abrangência da bacia, foi possível observar que os municípios de Cachoeira de Macacu (1,00), Rio Bonito (0,83) e Saquarema (0,83), apresentaram os maiores valores. Silva Jardim (0,59), Maricá (0,5), Araruama (0,33) e Iguaba Grande (0,33) apresentaram valores intermediários, e os municípios de Casimiro de Abreu (0,17), Cabo Frio (0,17), São Pedro da Aldeia (0,17), Arraial do Cabo (0,17) e Búzios (0,00), os menores valores. Cabe lembrar que os municípios de Casimiro de Abreu, Rio Bonito, Maricá e Cachoeira de Macacu, estão parcialmente inseridos na área de abrangência da bacia.

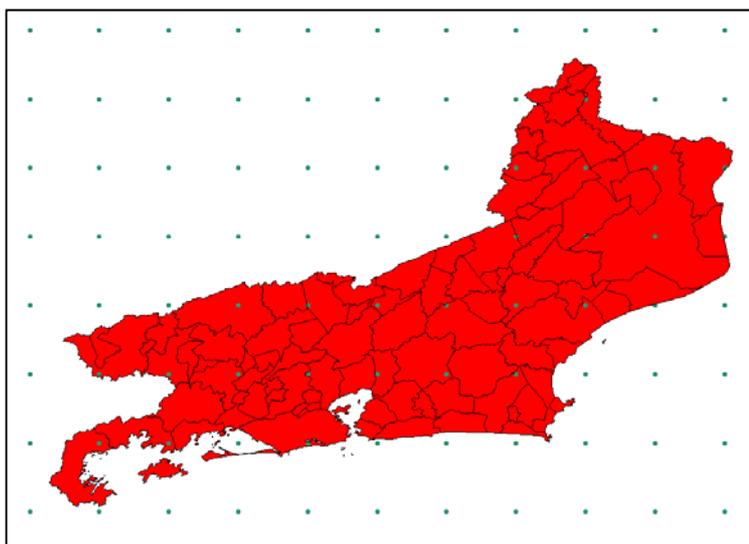


Figura 40 – Malha de pontos (*grid*) de dados climáticos do Modelo Regionalizado ETA-HadCM3, sobre o Estado do Rio de Janeiro. (Fonte: IBGE, ETA-CCST/INPE *apud* FIOCRUZ, 2011)

Ao analisar o mapa de risco ecológico gerado para a bacia, grande parte dos ecossistemas aquáticos que integram as unidades hidrológicas avaliadas, já se encontram atualmente muito desequilibrados, ou seja, com um alto índice de risco ecológico (Figura 36). E no caso da concretização dessas previsões, é possível que os efeitos adversos das alterações climáticas ocasionem danos de difícil reparação aos ecossistemas aquáticos da bacia ou irreversíveis.

Visando avaliar qualitativamente os efeitos sinérgicos dos estresses climáticos e não climáticos para a Bacia Lagos São João, foi elaborado o Quadro 13.

Quadro 13 – Avaliação qualitativa dos possíveis efeitos sinérgico dos estresses climáticos e não climáticos.

Estresses climáticos (IPCC, 2007; Marengo, 2008)	Estresses não climáticos (risco ecológico)	Possíveis impactos previstos (efeito sinérgico)
Aumento na temperatura atmosférica	Retificação de rios, barramentos, agricultura (larga escala), pastagem, empreendimentos, aglomerados de habitantes, dutovias, ferrovias, linhas de transmissão	Redução da disponibilidade de água em bacias devido à alta taxa de evapotranspiração, decorrente do aumento da temperatura somada à alta demanda e consumo de água; perda de biodiversidade, ecossistemas naturais e serviços ecossistêmicos; aumento de ondas de calor; impactos na saúde e bem estar.
Aumento na temperatura da água superficial	Retificação de rios, barramentos	Reduções do teor de oxigênio dissolvido, padrões de mistura e capacidade de depuração, devido ao aumento da temperatura superficial da água e da diminuição da profundidade dos rios ocasionada pela retificação; aumento no biom de algas nos ecossistemas aquáticos; perda de biodiversidade, ecossistemas naturais e serviços ecossistêmicos.
Aumento do nível do mar	Retificação de rios, mineração, aglomerados de habitantes	Salinização de aquíferos costeiros, aumento da cunha salina devido a retificação, principalmente das planícies fluvio-marinhas; ecossistemas e cidades costeiras afetadas pela elevação (vulnerabilidade costeira).
Mudanças nos padrões de precipitação	Retificação de rios, barramentos, agricultura (larga escala), pastagem, empreendimentos, aglomerados de habitantes, dutovias, ferrovias, linhas de transmissão	Mudanças na disponibilidade de água devido às mudanças na precipitação e outros fenômenos relacionados (ex: águas subterrâneas de recarga, evapotranspiração); intensificação dos processos erosivos.
Aumento na variabilidade inter-anual da precipitação	Retificação de rios, aglomerados de habitantes, agricultura (larga escala), pastagem	Aumenta a dificuldade de controle de enchentes, devido a retificação e supressão da mata ciliar, e a ocupação das margens dos corpos hídricos, e utilização de reservatórios durante a estação chuvosa; impactos na produção de alimentos.
Aumento da evapotranspiração	Retificação de rios, barramentos, mineração	Redução de disponibilidade de água; salinização dos recursos hídricos; menores níveis das águas subterrâneas.
Eventos extremos mais frequentes e intensos	Retificação de rios, barramentos, agricultura (larga escala), pastagem, empreendimentos, aglomerados de habitantes, dutovias, ferrovias, linhas de transmissão, lixões	Enchentes afetam a qualidade da água e integridade da infra-estrutura de água, e aumentar a erosão fluvial, que introduz diferentes tipos de poluentes para a recursos de água; secas afetando a disponibilidade e qualidade da água.

Esta tabela foi construída a partir dos estudos citados neste item, utilizando as mudanças e impactos potenciais previstos pelos autores, e as características de cada estressor utilizado na análise de risco ecológico, quanto ao seu efeito sobre os ecossistemas aquáticos (Quadro 10).

Este exercício de compatibilização dos estudos com os estressores não climáticos para a bacia pode ser utilizado para orientar a construção e ou identificação das medidas de adaptação, visto que a identificação das unidades atualmente mais desequilibradas foi gerada na análise de risco ecológico. Desta forma, é possível ranquear as unidades hidrológicas, priorizá-las e definir o foco de atuação.

Outro fator que pode ser integrado nesta matriz de avaliação são as características de sensibilidade da bacia, utilizadas na análise de risco ecológico (**Item**). Estresses climáticos que ocasionem mudanças nos padrões de precipitação e eventos extremos mais frequentes e intensos podem afetar seriamente as áreas na zona costeira da bacia, onde a precipitação média anual não ultrapassa 800 mm. Esses ecossistemas podem ser seriamente afetados, pois muitos deles, como a Lagoa de Araruama, por exemplo, dependem das altas taxas de evapotranspiração para a manutenção das suas funções ecológicas. O aumento na temperatura da água superficial pode ocasionar um aumento no bloom de algas, e a consequente perda da biodiversidade desses sistemas, e dos serviços ambientais prestados.

As mudanças nos padrões de precipitação e a ocorrência de extremos de chuva podem afetar também as áreas mais declivosas da bacia, favorecendo os movimentos de massa e os processos erosivos, assoreando rios e lagoas.

Extremos de seca somados ao aumento na temperatura atmosférica e da água superficial podem afetar seriamente a disponibilidade da água pelo aumento da evapotranspiração, com consequências principalmente para o Reservatório de Juturnaíba, principal manancial de abastecimento de água da região. A indisponibilidade para as áreas a jusante do barramento, com predominância de planícies fluvio-marinhas, pode causar o avanço da cunha salina no rio São João e seus afluentes, e a salinização dos recursos hídricos.

Esta avaliação qualitativa poderia ser conduzida na etapa participativa da análise de risco ecológico, no Painel de Especialistas. Para tal, pode ser elaborada uma matriz de avaliação dos possíveis impactos (severidade) dos estresses climáticos sobre os atributos da integridade ecológica, e sobre as características de

sensibilidade da bacia, gerando valores que representam qualitativamente as áreas com maior risco ecológico. No entanto, não é possível quantificar a frequência visto as incertezas associadas aos estressores climáticos.

Apesar das incertezas quanto às mudanças climáticas, e a ausência de dados que permitam uma análise mais criteriosa e precisa sobre esse cenário, alguns eventos extremos já podem ser observados na bacia. Como exemplo deste fato, em abril de 2010, um evento de chuva intensa, somado a elevação do nível do mar, ocasionou alagamentos em diversos municípios da bacia com graves consequências a população da zona costeira, além de comprometer o abastecimento de água da em alguns locais (Figura 39). Além disso, o aporte de água doce nas lagoas costeiras gerou impactos sobre esses ecossistemas, sendo observado através da mortandade de peixes. Segundo a Defesa Civil, em 24 horas, choveu mais que o dobro da média prevista para todo o mês (CILSJ, 2010).



Figura 39 - Registro fotográfico das chuvas intensas do mês de abril de 2010 na Região dos Lagos: a) alagamento no centro do município de Araruama; b) e c) avanço do mar sobre a orla da Praia do Forte no município de Cabo Frio (Fonte: própria).

Cabe ressaltar que este fato visto de forma isolada do contexto climático da bacia, não indica necessariamente mudanças ou variabilidades do clima. No entanto, a ocorrência deste evento extremo foi suficiente para demonstrar o quanto a bacia já se encontra atualmente vulnerável, e que alterações deste tipo podem ocasionar impactos negativos não apenas para os ecossistemas aquáticos, mas para populações, colocando em risco a sua saúde e bem estar, e a economia da região.

5 CONCLUSÕES

A análise de vulnerabilidade ecológica, desenvolvida nesta dissertação, tem duas principais contribuições: um estudo global e preliminar da integridade ecológica das bacia Lagos São João e, sobretudo, as adaptações e detalhamentos da base metodológica desenvolvida pela Rede WWF, replicáveis em outras bacias hidrográficas. Ressalte-se que esta análise constitui etapa preliminar para a definição de estratégias de adaptação e resiliência de bacias hidrográficas às mudanças ambientais globais associadas às variabilidades e mudanças climáticas.

A metodologia adaptada e desenvolvida apresenta de forma conceitual e detalhada os passos de um protocolo de análise de vulnerabilidade ecológica, com foco nos ecossistemas de água doce. Através do aprofundamento do conhecimento sobre os múltiplos estressores afetando a integridade ecológica da bacia, a avaliação participativa e colaborativa de sua severidade e frequência, e dos aspectos de sensibilidade do território, foi possível realizar uma análise multicriterial. O uso de ferramentas de sistemas de informação geográfica (SIG) permitiu espacializar, localizar e quantificar estas ameaças, gerando mapas de risco ecológico, identificando em especial, as unidades mais desequilibradas do território em análise. Estas são apontadas como prioritárias para as ações de conservação dos ecossistemas aquáticos, e dos serviços ecossistêmicos providos, dos quais depende grande parte da população da bacia.

Dos estressores considerados na análise de risco ecológico da Bacia Lagos São João, a pastagem e a retificação dos rios foram os estressores com valores de IRE mais expressivos quando avaliados individualmente, tanto por sua severidade, combinada com a sensibilidade das unidades, quanto pela sua magnitude (frequência).

A localização espacial das unidades mais desequilibradas, ou seja, com maior IRE, concentra-se na Bacia do Rio São João. Como apresentado no **Capítulo 2**, esta bacia é de extrema significância para a conservação dos ecossistemas de água doce, abrigando ainda a represa de Juturnaíba, manancial estratégico da região, do qual depende a maior parte da população da zona costeira. Ao analisar o mapa do IRE-C é possível observar que as unidades hidrológicas que contribuem para este

manancial, estão bastante comprometidas, colocando em risco a disponibilidade de água em quantidade e qualidade para atender a demanda das populações, comunidades e ecossistemas que dele dependem. Esses estressores afetam de forma significativa os processos hidrológicos da bacia, expondo essas áreas aos efeitos adversos dos eventos climáticos.

Quanto às contribuições metodológicas, note-se a criação de um protocolo de condução das etapas de trabalho, de simples aplicação, sem perder, contudo, o rigor científico. É possível afirmar que este protocolo pode ser adaptado às mais diversas situações e escalas de avaliação, podendo tornar-se importante ferramenta para o estudo de outras bacias hidrográficas.

Todas as etapas metodológicas assim detalhadas contribuem tanto para uma ampla caracterização da bacia quanto para a espacialização dos estressores (ameaças) para finalmente identificar áreas de maior risco ecológico. Ressalte-se, ainda, que a análise de vulnerabilidade ecológica, da forma como foi construída, permite trabalhar de uma só vez um grande número de estressores, em múltiplas escalas (bacia, mesobacia, microbacia). O resultado final, de fácil visualização e entendimento, permite mostrar com detalhes as unidades de planejamento delineadas, identificar aquelas prioritárias para a conservação dos ecossistemas aquáticos, e entender melhor suas características e a magnitude dos estresses sofridos. Demonstra-se assim a possibilidade de utilização desta metodologia para fins acadêmicos e também pelos tomadores de decisão, quando da definição de estratégias de intervenção para recuperação da integridade ecológica da bacia.

Outra facilidade da metodologia concerne às informações utilizadas, que podem ser facilmente adquiridas ou construídas para a bacia em estudo, reforçando seu potencial de replicabilidade. Pois uma vez reunidos os dados, o uso do geoprocessamento permite diminuir substancialmente os custos de análise, com ganho em tempo e escala. Mesmo que as informações disponíveis estejam defasadas em tempo e com baixa resolução (escala), reduz-se a qualidade do resultado final, mas sua utilização não chega a ser comprometida. À medida que as informações forem sendo construídas e disponibilizadas, é possível então refinar as informações e interagir com a escala local.

A metodologia proposta possibilita ainda a organização e consolidação de um banco de dados geográficos, bem como o levantamento das suas falhas e lacunas, além de apontar para necessidade de realizar novos estudos, em escala adequada à

gestão da bacia. Este banco de dados, no caso da Bacia Lagos São João, despertou interesse dos gestores em criar um Sistema Gerenciador de Informações Ambientais e dos Recursos Hídricos, para apoiar a tomada de decisão tanto no âmbito do Comitê, quanto do CILSJ. Desta forma, expande-se o horizonte de utilização das informações pelos gestores e demais atores envolvidos nos esforços de recuperação da bacia, inclusive a sociedade, pela simplicidade da linguagem.

Por fim, é preciso complementar a metodologia, sobretudo no tocante à inserção da variável climática na análise de vulnerabilidade ecológica através da avaliação sinérgica com os estressores atuais da bacia. Nesse sentido, visto a dimensão territorial e a escala ideal para a gestão da bacia Lagos São, o uso das projeções e modelos de mudanças climáticas globais torna os resultados imprecisos, inviabilizando inicialmente o seu uso. Portanto, devem ser pensadas e estudadas outras formas de inserir a variável climática na análise, como a utilização de cenários regionais / locais de mudanças do clima e alterações dos processos naturais, baseado nos dados climáticos disponíveis para a bacia.

Finalmente, para que a análise de vulnerabilidade das águas da Bacia Lagos São João seja completa, é preciso ainda construir as análises de vulnerabilidade socio-econômica e político-institucionais, que permitirão uma visão mais holística sobre os processos da bacia e a construção de estratégias robustas de adaptação aos estresses adicionais oriundos das variabilidades e mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- ADGER, W.N.; BROOKS, N.; BENTHAM, G.; AGNEW, M.; ERIKSEN, S. New indicators of vulnerability and adaptive capacity (Technical Report 7: Final Project Report). *Tyndall Centre for Climate Change Research*, 122p., 2004.
- ADGER, W.N. Vulnerability. *Global Environmental Change*, v. 16, p. 268-281, 2006.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil. *Cadernos de Recursos Hídricos*, Brasília, n. 2, 123 p., 2007.
- ALVES, H. P. F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. *Revista Brasileira de Estudos de População*, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 43-59, 2006.
- ANDREASEN, James K. *et al.* Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity. *Ecological Indicators*, v. 1, p. 21-35, 2001.
- ANGERMEIER, Paul L. KARR, James R. Biological Integrity versus Biological Diversity as Policy Directives. *BioScience*, n. 44, 1994.
- ARTHINGTON, A.H; WELCOMME, R.L. The condition of large river systems of the World. In: Condition of the World's Aquatic Habitats (Eds ARMANTROUT, N.B. e WOLOTIRA JR, R.J.). *World Fisheries Congress*, Science Publishers, Lebanon, NH, USA, p. 44-75, 1995.
- BARON, Jill. S. *et al.* Meeting Ecological and Societal Needs For Freshwater. *Ecological Applications*, v.12, n. 5, p. 1247-1260, 2002.
- BIDEGAIN, P.; BIZERRIL, C. R. S. F. Lagoa de Araruama. Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ. *Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável*, Rio de Janeiro, 2002.
- _____; PEREIRA, L.F.M. Plano das Bacias Hidrográficas da Região dos Lagos e do Rio São João. *CILSJ*, Araruama, 2005.
- _____; VÖLCKER, C. M. Bacia Hidrográfica dos Rios São João e das Ostras: Águas, terras e conservação ambiental. *CILSJ*, 2004.
- BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 de set. 1965.
- BROOKS, N. *et al.* The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, v. 15, p. 151-163, 2005.

- BUNN, S. E.; DAVIES, P. M. Biological processes in running waters and their implications for the assessment of ecological integrity. *Hydrobiologia*, v. 422/423, p. 61-70, 2000.
- BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L. Bases conceituais para aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, p. 465-473, mar-abr, 2003.
- CAIRNS, J. Quantification of biological integrity. p. 171–187, Washington, DC, 1977 *apud* VILLA, F.; MCLEOD, H. Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision-Making: Guidelines and Applications. *Environmental Management*, v.29, n. 3, p. 335-348, 2002.
- CAMPOS, J. N. B. Vulnerabilidades hidrológicas do semi-árido às secas. Planejamento e Políticas Públicas. Brasília, 1997, p. 261-294.
- CARIGNAN, Vincent; VILLARD, Marc-André. Selecting indicator species to monitor ecological integrity: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 78, p. 45-61, 2002.
- CARTER, T. R.; JONES, R. N.; Lu, X.; BHADWAL, S.; CONDE, C.; MEARNS; L.O.; O'NEILL, B. C.; ROUNSEVELL, M. D. A.; ZUREK, M. B. New Assessment Methods and the Characterization of Future Conditions. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, PARRY, M. L.; CANZIANI, O. F.; PALUTIKOF, J. P.; VAN DER LINDEN; P.J.; Hanson, C.E. (Eds.). *Cambridge University Press*, Cambridge, UK, p. 133-171, 2007.
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). Sociodemographic vulnerability: old and new risks for communities, households and individuals. Summary and conclusions. *UNA*, Brasília, 2002.
- COELHO, A. L. N. Geomorfologia fluvial de rios impactados por barragens. *Caminhos da Geografia*, Uberlândia, p.16-32, 2008.
- CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL LAGOS SÃO JOÃO (CILSJ). Relatório final da Oficina “A Bacia Hidrográfica da Região dos Lagos e do Rio São João frente aos desafios da mudança climática, e os impactos sobre os recursos naturais, especialmente os recursos hídricos”. Araruama, 2009.
- _____. Delimitação da Bacia Hidrográfica Lagos São João, municípios e bacias hidrográficas da área de abrangência. Araruama, 2011. 1 mapa, color. Escala 1:25.000.
- _____. Relatório de lacunas: Análise de vulnerabilidade da Bacia Lagos São João. Araruama, 2011.

_____. Sobre a Bacia. Disponível em: <<http://www.lagossaojoao.org.br>>. Acesso em: 05 fev. 2012.

_____. Registro de eventos críticos na bacia. Disponível em: <<http://www.lagossaojoao.org.br>>. Acesso em: 18 mai. 2010.

COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. Amended proposal for Council Directive establishing a framework for Community action in the field of water policy. ENV 68, PRO-CCOP 46, Interinstitutional File No 97/0067 (SYN), draft March 2, 1999.

CUNHA, S. B. Impactos das Obras de Engenharia Sobre o Ambiente Biofísico da Bacia do Rio São João (Rio de Janeiro – Brasil). Rio de Janeiro: Ed: Instituto de Geociências, UFRJ, 1995. 378 p.

DOLAN, A. H.; WALKER, I. J. Understanding vulnerability of coastal communities to climate change related risks. *Journal of Coastal Research* (Special Issue), Brasília, v. 39, 2004.

DRUMMOND, H. R. O Comitê de Bacia Lagos São João – RJ: uma análise através da abordagem institucionalista. *IV Encontro Nacional Anppas*, Brasília, 2008.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). ArcGis Desktop 10®. *ESRI*, United States of America, 2011.

ENGLE, N. & LEMOS, M. C. Capacidade de adaptação às mudanças climáticas e gerenciamento de recursos hídricos no nordeste brasileiro: estudo preliminar. *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. São Paulo, 2007.

FINAN, T.J. et al. Processes of adaptation to climate variability: a case study from the US Southwest. *Climate Research*, v. 21, p. 299-310, 2002.

FORMIGA JOHNSON, R.M. & LOPES, P. D. (orgs.) Projeto Marca d'Água: seguindo as mudanças na gestão das bacias hidrográficas do Brasil: caderno 1: retratos 3x4 das bacias pesquisadas. *FINATEC*, Brasília, 2003.

FREITAS, G.K. et al. A análise de vulnerabilidade da Bacia transfronteiriça do Alto Paraguai às mudanças climáticas. *WWF-Brasil*, Brasília, 2010.

FÜSSEL, H.M. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, n. 17, p.155-167, 2007.

GOULART, M. D. C.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade da água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM*, Minas Gerais, ano 2, n. 1, 2003.

HOGAN, D. J. Mobilidade populacional, sustentabilidade ambiental e vulnerabilidade social. *Revista Brasileira de Estudos de Populações*, São Paulo, v.22, n.2, p. 323-338, jul-dez, 2005.

HALLEGATTE, Stéphane. Strategies to adapt to an uncertain climate change. *Global Environmental Change*, n. 19, p. 240-247, 2009.

HASENACK, Heinrich; WEBER, Eliseu; VALDAMERI, Rejane. Análise de vulnerabilidade de um parque urbano através de módulos de apoio a decisão em sistemas de informação geográfica. In: GIS Brasil, 98. Curitiba – PR. *Anais Eletrônicos*. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/ecologia/idrisi>> Acesso em: 20 mar. 2011.

HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v.4, p. 1–23, 1973 *apud* VILLA, F.; MCLEOD, H. Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision-Making: Guidelines and Applications. *Environmental Management*, v.29, n. 3, p. 335-348, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Ortofotos do Brasil. Rio de Janeiro, 2006. 1 mapa, color. Escala 1:25.000.

_____. XII Censo demográfico. Brasil, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios. IPEA, Brasília, 440 p., 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, J.J. MCCARTHY, O.F. CANZIANI, N.A. LEARY, D.J. DOKKEN and K.S. WHITE (Eds.). *Cambridge University Press*, Cambridge, 2001.

_____. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, PARRY, M. L.; CANZIANI, O. F.; PALUTIKOF, J. P.; VAN DER LINDEN; P.J.; Hanson, C.E. (Eds.). *Cambridge University Press*, Cambridge, p. 133-171, 2007.

ISO/IEC. Risk management vocabulary: guidelines for use in standards - PD ISO/IEC Guide 73. *International Organization for Standardization/ International Electrotechnical Commission*, Geneva, 16 p., 2002.

JUNGWIRTH, M.; MUHAR, S., SCHUMUTZ, S. Re-establishing and assessing ecological integrity in riverine landscapes. *Freshwater Biology*, v. 47, p. 867-887, 2002.

KARR, J. R., *et al.*. Assessing biological integrity in running waters: A method and its rationale. *Survey Special Publication*, Illinois Natural History, n. 5, 1986.

_____. Clean water is not enough. *Illahee*, v.11, p. 51-59, 1995.

- _____. Rivers as sentinels: Using the biology of rivers to guide landscape management. *River Ecology and Management: lessons from the Pacific Coastal Ecorregion* (Eds NAIMAN, R. J. e BILBY, R. E.), Springer-Verlag, New York, p. 502-528, 1998.
- _____; CHU, E. Restoring Life in Running Waters: Better Biological Monitoring. *Island Press*, Washington, DC, 1999.
- _____; DUDLEY, D.R., 1981. Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management*, v.5, n.1, p. 55-68, 1981 *apud* ANDREASEN, James K. *et al.*. Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity. *Ecological Indicators*, v. 1, p. 21-35, 2001.
- KAY, J. J. On the nature of ecological integrity: Some closing comments. In: Ecological integrity and the management of ecosystems (WOODLEY, S. KAY, J. Francis, G. Eds). *St. Lucie Press*, Delray Beach, Florida, p. 201-212, 1993.
- LEMOS, M. C. *et al.* Developing adaptation and adapting development. *Ecology and Society*, v. 12, 2007.
- LEOPOLD, A. A Sand County Almanac. *Oxford University Press*, New York, 1949 *apud* ANDREASEN, J. K. *et al.* Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity. *Ecological Indicators*, v. 1, p. 21-35, 2001.
- LIMA-GREEN, Aristides Pereira. Análise político-institucional da gestão das águas na Bacia Lagos São João. Rio de Janeiro, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2008. 133f.
- LINS-DE-BARROS, Flavia Moraes. Contribuição Metodológica para Análise Local da Vulnerabilidade Costeira e Riscos Associados: estudo de caso da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2010. 295f.
- MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. Risco e Perigos: o estudo geográfico dos natural hazards. *Unicamp*, Campinas, 2003.
- _____. Vulnerabilidades e riscos: entre a geografia e a demografia. *Revista Brasileira de Estudos de População*, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 29-53, 2005.
- MARENGO, J. A. *et al.*. Riscos das mudanças climáticas no Brasil: Análise conjunta Brasil – Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na amazônia. *INPE*, 2011.
- MATTSON, K. M. Applying the Ecological Risk Index to watersheds across South America. *The Nature Conservancy*, Boston, 2008.
- MATTSON, K. M.; ANGERMEIER, P. L. Integrating Human Impacts and Ecological Integrity into a Risk-Based Protocol for Conservation Planning. *Environmental Management*, v. 39, p. 125-138, 2007.

- MELLO, E. L. *et al.*. Efeito das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio Paracatu. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.28, n.4, p.635-644, 2008.
- MENDONÇA, F. A.; LEITÃO, S. A. M. Riscos e vulnerabilidade socioambiental urbana: uma perspectiva a partir dos recursos hídricos. *GeoTextos*, v. 4, n. 1 e 2, p. 145-163, 2008.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Declaração do Rio sobre Ambiente e Desenvolvimento de 1992. Brasília, 1992. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=18&idConteudo=576>>. Acessado em 03 de março de 2011.
- _____. Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio São João/Mico-Leão-Dourado. Brasília, 2008.
- MOYLE, P. B. and RANDALL, P. J. Evaluating the biotic integrity of watersheds in the Sierra Nevada, California. *Conservation Biology*, v. 12, p. 1318–1326, 1998 *apud* CARIGNAN, Vincent; VILLARD, Marc-André. Selecting indicator species to monitor ecological integrity: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 78, p. 45-61, 2002.
- PEREIRA, L. F. M. Licenciamento ambiental, repensando a ferramenta: estudo de caso em tipologias não industriais nos ecossistemas costeiros na Região dos Lagos no Rio de Janeiro. 202f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.
- QUESNE, T. L. *et al.*. Flowing Forward: Freshwater ecosystems adaptation to climate change in water resources management and biodiversity conservation - Final Report. *WWF*, 2010.
- RIBEIRO, N. B. *et al.*. Vulnerabilidade e adaptação às variabilidades do clima na bacia Lagos São João: uma análise preliminar. *XIV Congresso Mundial da Água*, Porto de Galinhas, setembro de 2011.
- RIO DE JANEIRO (Estado). Lei nº 5.690, de 14 de abril de 2010. Institui a Política Estadual sobre Mudança Global do Clima e Desenvolvimento Sustentável e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Poder Executivo, Rio de Janeiro, RJ, 15 de abr. 2010.
- _____. Análise e qualificação sócio-ambiental do estado do Rio de Janeiro: subsídios ao zoneamento ecológico econômico. Cobertura vegetal e uso do solo. *Secretaria do Estado do Ambiente*, Rio de Janeiro, 2008. 1 shape. Escala 1:100.000.
- SACRAMENTO, M. F.; REGO, M. J. M. A bacia de drenagem enquanto unidade integradora nos estudos geoambientais. *VI Simpósio Nacional de Geomorfologia – Geomorfologia Tropical: processos, métodos e técnicas*. Goiânia, setembro, 2006.

- SCOTT, L. Climate variability and climate change: implications for chronic poverty – Working Paper. *Chronic Poverty Research Centre*, n. 108, 2008.
- SILVEIRA, P. G. et al. Análise espacial de áreas afetadas por eventos hidrológicos extremos na cidade do Rio de Janeiro. XII Encuentro de Geógrafos da América Latina. Montevideo, Uruguay, 2009.
- SOARES, W. R.; MARENGO, J. A. Utilização de projeções de cenários do IPCC na caracterização de uma possível mudança climática no Brasil: Aspectos de clima e regime hídrico. *VI Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água da Chuva – Água da Chuva: pesquisa, políticas, e desenvolvimento sustentável*. Belo Horizonte, julho, 2007.
- SPÖRL, C. Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do rio Jaguari-mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata. São Paulo, 159 p. 2001. Tese (Doutorado). Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-10102007-145640//disponiveis/8/8135/tde-18012002-225147/>> Acesso em: 26 jun. 2010.
- STRAHLER, A.N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: Chow, V.T. (Ed.). *Handbook of applied Hydrology*. New York, McGraw-Hill, p. 439-476, 1964.
- TUCCI, C. E. M. Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. Câmara Técnica sobre Recursos Hídricos. *Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas*. Brasília, maio, 2002.
- TULER, S. Assessing vulnerabilities: integrating information about driving forces that affect risks and resilience in fishing communities. *Human Ecology Review*, v. 15, n. 2, 2008.
- TUNDISI, J. G. Recursos Hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, 2008.
- TURNER, B. L. et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS*, v. 100, n. 14, p. 8074-8079, 2003.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). Impacts, vulnerabilities, and adaptation in development countries. *UNFCCC*, 2007.
- VILLA, F.; MCLEOD, H. Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision-Making: Guidelines and Applications. *Environmental Management*, v.29, n. 3, p. 335-348, 2002.
- VIVIROLI, D.; WEINGARTNER, R. Mountains: essential water towers for a thirsty world. *Hydrology: Science and Practice for 21st Century*, v. 1, 2004.

WILLIAMS, L. R. R.; L. A. KAPUTSKA. Ecosystem vulnerability: a complex interface with technical components. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 19, p. 1055–1058, 2000.

WORLD WILDLIFE FUND (WWF). HydroSHEDS: Hydrological data and maps on shuttle elevation derivatives at multiple scales. Conservation Science Program, 2007.

_____. Iniciativa Água e Clima: novos desafios, novas propostas. Programa Água para Vida. Disponível em: <http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/agua/>. Acessado em 23 de maio de 2011.