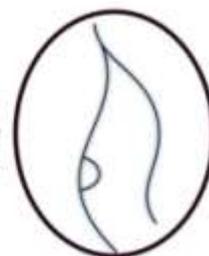




INTERFACE
ISSN 2448-2064



18

Construção de banco de dados geográficos para avaliação da vulnerabilidade ecológica em bacias hidrográficas: a experiência da Bacia Lagos São João, RJ

Geographical database construction for assessment of ecological vulnerability in river basins: the experience of Lagos São João Basin, RJ

Natalia Barbosa Ribeiro¹

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

nataliabribeiro84@gmail.com

Marília Salgado Martins²

Consórcio Intermunicipal Lagos São João, RJ (CILSJ)

mariliasmartins@gmail.com

Rosa Maria Formiga Johnson³

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

formiga.uerj@gmail.com

Viviane Japiassú Viana⁴

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

formiga.uerj@gmail.com

Resumo: A Bacia Lagos São João, no Estado do Rio de Janeiro, é reconhecida de grande importância por seus recursos naturais e, particularmente, os recursos hídricos, representados por diversos ecossistemas aquáticos únicos. As constantes ameaças, sobretudo decorrente das alterações de uso e ocupação do solo, colocam em risco a integridade ecológica da bacia, e por sua vez, sua capacidade de resiliência. Entender essas fragilidades é fundamental para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, sobretudo em um cenário de constantes mudanças, incluindo as mudanças climáticas, e incertezas. Neste contexto, propôs-se um método que avalia o risco ecológico da bacia, isto é, a medida de ameaça à sua integridade ecológica. Um dos passos metodológicos consistiu no desenvolvimento de uma base de dados em SIG, etapa de extrema importância para análises de vulnerabilidade. Este artigo tem por objetivo apresentar o processo de desenvolvimento do banco de dados geográficos da Bacia Lagos São João, buscando discutir todas as etapas, os desafios e potencialidades.

¹ Doutoranda em Meio Ambiente pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

² Técnica em geoprocessamento, Consórcio Intermunicipal Lagos São João, RJ (CILSJ)

³ Professora adjunta da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente.

⁴ Doutoranda em Meio Ambiente pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Pode-se concluir que a consolidação de um banco de dados geográficos traz a oportunidade de qualificar os processos de planejamento e gestão, por sua possibilidade de utilização para fins diversos, que não apenas em análises de vulnerabilidade.

Palavras-chave: banco de dados, Sistemas de Informação Geográfica, bacias hidrográficas, vulnerabilidade ecológica.

Abstract: The Lagos São João Basin, in Rio de Janeiro State, is admittedly of great importance due to its natural resources, particularly water resources, represented by several unique aquatic ecosystems. The constant threats, mainly resulting from changes in land use, endanger the ecological integrity of the basin, and in turn, its resilience. Understanding these weaknesses is critical for the planning and management of water resources, especially in a scenario of constant changes, including climate change, and uncertainties. In this context, it was proposed a method that assesses the ecological risk of the basin, that is, the threat measure of its ecological integrity. One of the methodological steps was the development of a database in GIS, stage of extreme importance for the vulnerability analysis. This article aimed to present the process of development of the database of Lagos São João Basin, seeking to discuss all stages, challenges and potentials. It can be concluded that the consolidation of a database brings the opportunity to qualify the processes of planning and management, mainly because of its possible uses for different purposes, not only in vulnerability analysis.

Keywords: database, Geographic Information System, river basin, ecological vulnerability.

INTRODUÇÃO

Localizada no Estado do Rio de Janeiro, a Bacia Lagos São João é reconhecida como um *hotspot* de biodiversidade do bioma Mata Atlântica, apesar das constantes ameaças aos seus ecossistemas, seja pelo desmatamento, pela ocupação de encostas e impermeabilização dos solos ou, ainda, pela contaminação de mananciais (BIDEGAIN e PEREIRA, 2005). As alterações do uso e ocupação do solo da região ocasionaram um cenário de degradação ambiental intensa dos recursos naturais, em especial dos recursos hídricos (RIBEIRO et al., 2011). Apesar dos impactos crescentes, a região ainda apresenta extensas áreas onde os processos hidrológicos foram preservados ou pouco alterados, além de um potencial para recuperação das áreas consolidadas, o que possibilita compatibilizar os diversos usos dos recursos hídricos de forma sustentável.

O adequado uso do solo da bacia é determinante para a manutenção dos processos hidrológicos e de sua integridade ecológica, garantindo assim alta capacidade de resiliência frente a perturbações (RIBEIRO et al., 2011). A integridade ecológica da bacia e, especificamente, de seus ecossistemas aquáticos, é considerada garantida quando todas as espécies nativas estão representadas por populações acima dos limiares de extinção; seus componentes físicos e estrutura apresentam-se conservadas e quando todos os ciclos, processos, fluxos e interações ecológicas que o mantém produtivo e dinamicamente estável, encontram-se em pleno funcionamento, ofertando permanentemente serviços e recursos

ambientais e possibilitando usos múltiplos e benefícios sustentáveis para a sociedade (BIDEGAIN e PEREIRA, 2005).

Nesse sentido, o conhecimento dos níveis de fragilidade presentes em uma bacia hidrográfica, por meio da integração de diversas variáveis que interferem nas potencialidades dos recursos naturais, possibilita compreender a realidade e obter uma visão mais evidente sobre quais são as opções mais adequadas para o uso e ocupação do solo (SPÖRL, 2001). Nos últimos dez anos, os eventos associados a alterações climáticas em nível global e seus impactos potenciais sobre os recursos naturais, de modo geral, e sobre os recursos hídricos, em particular, tem despertado interesse cada vez maior não só dos pesquisadores e cientistas, mas também de tomadores de decisão, organizações não governamentais e o setor privado (ENGLE e LEMOS, 2007). Assim, o efeito sinérgico dos estresses climáticos e não climáticos deve ser também considerado nas análises de vulnerabilidade, visto a necessidade de manter ou ampliar a resiliência da Bacia (CILSJ, 2009).

Ao adotar a bacia hidrográfica como unidade de gestão, a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal Nº 9.433/97) descentralizou o processo decisório e a gestão das águas através dos Comitês de Bacia que, entre outras atribuições, assumem responsabilidade central no planejamento. Isso demanda conhecer e entender os processos que ocorrem nesses territórios, e uma atuação dinâmica frente a um cenário de constantes mudanças e incertezas. As novas tendências mundiais apontam para a gestão adaptativa das águas ou governança adaptativa das águas, onde variáveis ambientais e climáticas, e o fator incertezas passam a ser considerados nos processos de planejamento e gestão, objetivando assim a gestão integrada dos recursos hídricos. Assim, para enfrentar os impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos faz-se necessário a implementação de medidas de adaptação para reduzir a vulnerabilidade dos recursos hídricos, promovendo uma melhor governança em nível de bacias hidrográficas (TUNDISI, 2008).

A Bacia Lagos São João é conhecida pela dinâmica de seus organismos de bacia – Comitê e Consórcio Lagos São João – que constituem atores-chave para a gestão integrada das águas. Estes organismos têm papel fundamental na identificação e quantificação das vulnerabilidades, bem como na proposição de medidas de adaptação, com o objetivo de propor um melhor uso e conservação do território da bacia. Visando subsidiar o processo de planejamento e gestão adaptativa da Bacia, o Consórcio Intermunicipal Lagos São João (CILSJ), Entidade Delegatária do Comitê Lagos São João, em parceria com a WWF-Brasil e

outras instituições, desenvolveram uma metodologia de análise de vulnerabilidade, que tem como objetivo identificar e caracterizar as vulnerabilidades atuais e potenciais da Bacia Lagos São João às ameaças que se apresentam.

A metodologia proposta baseou-se em um método que avalia o risco ecológico ecológica da bacia, isto é, a medida de ameaça à sua integridade ecológica. O diferencial dessa metodologia encontra-se na integração de dados e informações qualitativas e quantitativas, e no uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para espacialização dos resultados, e assim localização geográfica das ameaças. Detalhes sobre a metodologia de análise de vulnerabilidade ecológica da Bacia Lagos São João podem ser encontrados no trabalho desenvolvido por Ribeiro (2012). O primeiro passo da aplicação dessa metodologia consistiu no desenvolvimento de uma base de dados em SIG, que tinha como proposta inicial reuniros dados e informações em escala compatível ao gerenciamento da bacia, visando à caracterização da bacia e dos seus estressores, além da organização dos dados e informações em uma base única.

O desenvolvimento e a consolidação de uma base de dados, em SIG, são etapa estruturante de qualquer planejamento e gestão de bacias hidrográficas (Ribeiro, 2012). As infinitas possibilidades de integração dos dados, oportunizadas pelas ferramentas do SIG, e a possibilidade de atualização constante ao passo que novos dados estejam disponíveis, aliado a uma boa relação custo-benefício, fazem o investimento na construção do banco de dados uma excelente opção. A consolidação de um banco de dados geográficos é de extrema relevância para as avaliações de vulnerabilidade, sendo também um instrumento estratégico em processos de tomada de decisão, no âmbito da gestão dos recursos hídricos, em apoio aos gestores públicos, privados e a sociedade civil. Este artigo tem por objetivo apresentar o processo de desenvolvimento do banco de dados geográficos da Bacia Lagos São João, buscando discutir todas as etapas, os desafios e potencialidades.

BASES CONCEITUAIS

A análise de vulnerabilidade ecológica desenvolvida para a Bacia Lagos São João baseou-se na metodologia utilizada pela Rede WWF para a Bacia Amazônica, e para a Bacia Transfronteiriça do Alto Paraguai, e consiste em um estudo a ser realizado em etapas (Figura

1).O método de avaliação baseia-se no método científico proposto e desenvolvido por Mattson e Argermeier (2007) que busca integrar os impactos das ações antrópicas e a integridade ecológica, através de protocolo baseado nos riscos, o Índice de Risco Ecológico (IRE) (Ribeiro, 2012). Trata-se de um processo de identificação e ranqueamento de áreas de baixo, moderado e alto risco aos ecossistemas aquáticos, baseado no dano potencial dos estressores identificados/selecionados sobre os atributos da integridade ecológica.

Segundo Karr (1986), a integridade ecológica pode ser avaliada por cinco atributos chave, sendo estes: i) a qualidade da água, ii) a estrutura física dos habitat, iii) o regime hidrológico, iv) as interações bióticas, e iv) as fontes de energia. A alteração dos processos físicos e biológicos associado a qualquer um destes atributos tem um grande impacto sobre os ecossistemas aquáticos, e conseqüentemente sobre a integridade ecológica da bacia. Para o cálculo dos índices de risco ecológico (IRE) é necessário quantificar: i) o grau de severidade dos estressores à integridade ecológica da bacia, e por sua vez aos seus atributos-chave, ii) a sensibilidade das unidades hidrológicas (escala de planejamento e intervenção) aos estressores/ameaças, e por fim, iii) a frequência com que esses estressores ocorrem dentro da unidade hidrológica.

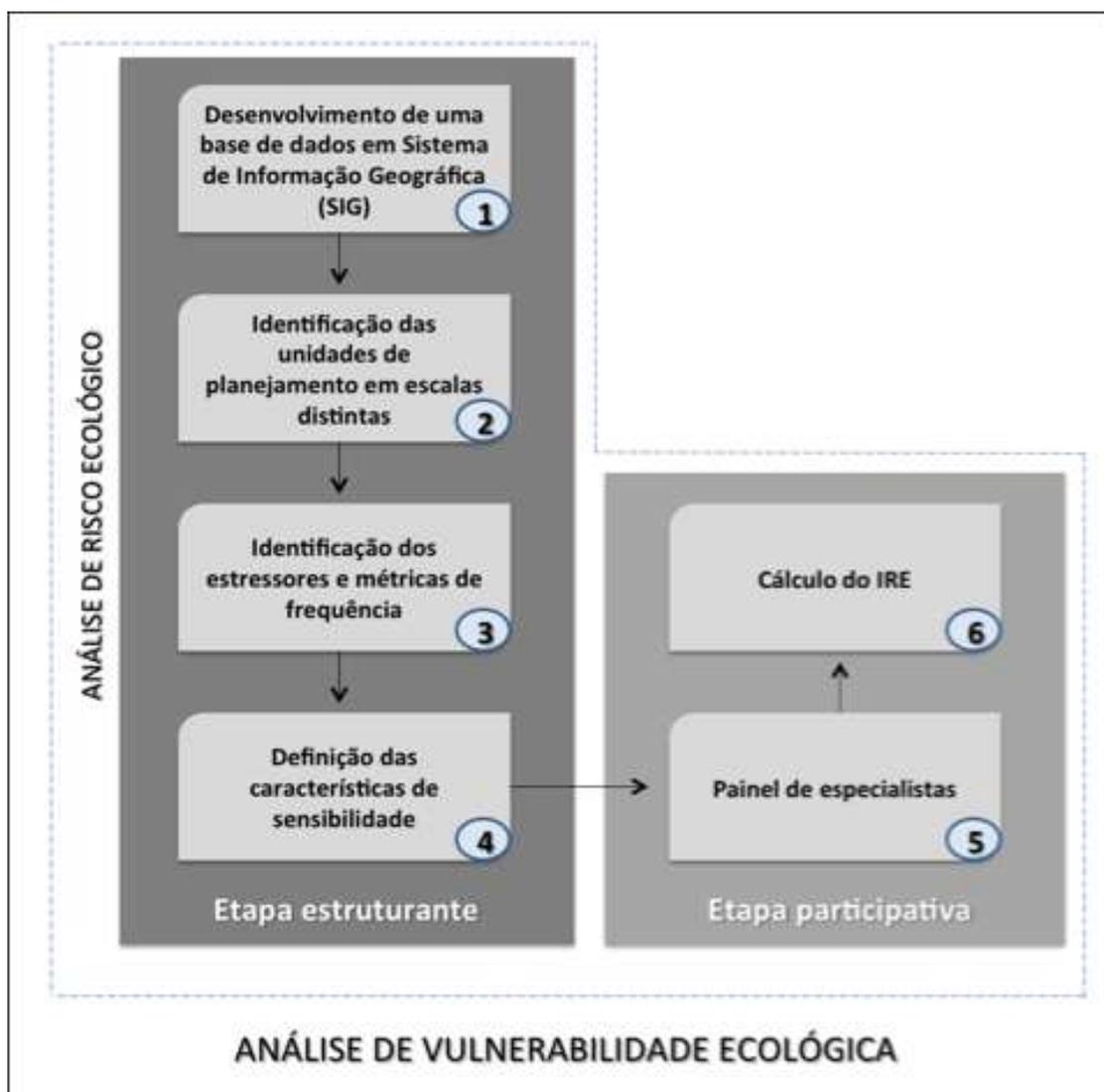


Figura 1 - Etapas de análise de vulnerabilidade ecológica para a Bacia Lagos São João (Fonte: Ribeiro, 2012).

O desenvolvimento da análise de risco proposta requer o levantamento de uma série de dados e informações sobre a bacia, que são cruzadas por meio de ferramentas de geoprocessamento, e avaliadas de forma participativa, gerando ao final, mapas que apresentam as diferentes escalas de impacto dos estressores à integridade ecológica, permitindo comparações visuais (Ribeiro, 2012). Para atender a etapa de consolidação do banco de dados, o primeiro passo foi definir os dados e informações necessários para a análise. Essa definição depende necessariamente da escala de abordagem e da metodologia adotada para o estudo. Abordagens mais quantitativas se aplicam a estudos mais específicos, em sua maioria, aplicados a escalas mais locais (Ribeiro et al., 2011). No caso da metodologia

de avaliação de risco ecológico adotada para o estudo de caso, a integridade ecológica é o ponto focal, e a abordagem mais qualitativa e em escala regional, incluindo a análise de múltiplos estressores.

MATERIAIS E MÉTODOS

Procedeu-se ampla revisão bibliográfica sobre a bacia, buscando compreender os processos e dinâmica do território, e identificar as principais ameaças relevantes no contexto da bacia. Para a avaliação da sensibilidade dos ecossistemas aos estressores, foi importante identificar ainda as características que diferenciam os diferentes ambientes dentro do território da bacia. Ao final desta etapa, uma lista inicial de estressores e características do ambiente foi definida. A decisão de considerar ou não um determinado estressor ou característica do ambiente dependerá da disponibilidade de informações no banco de dados.

O passo seguinte foi definir a metodologia de levantamento e escolha dos dados e informações, que irão compor o banco de dados da análise de vulnerabilidade. Para tal, foram discutidos e propostos, inicialmente, alguns critérios quanto à escala e abrangência dos dados. Visto as dimensões da Bacia Lagos São João, considerou-se a escala dos dados de 1:25.000 como escala ideal para apoiar o planejamento e gestão da Bacia Lagos São João. Ainda, a utilização do dado na análise foi condicionada ao seu levantamento para toda a área da bacia, logo aqueles dados obtidos de levantamentos de áreas específicas não foram considerados para fins desta análise.

Quanto ao levantamento dos dados propôs-se seguir duas etapas. Primeiro, todas as informações disponíveis no CILSJ, foram reunidas e qualificadas. Efetuou-se assim uma triagem dos dados que estavam disponíveis na instituição, separando os arquivos de acordo com seu formato, e procedendo a agregação destes por tema. Posteriormente, os dados foram classificados pela forma de representação do dado (raster ou vetor), e, por fim, foi realizada a padronização da nomenclatura e o preenchimento dos metadados.

O banco de dados foi organizado através de duas entradas de dados: os dados básicos e os dados dos estressores da bacia. O banco de dados básicos cumpre o papel de caracterizar a bacia, e contribuir para a análise de sensibilidade do território às ameaças que se apresentam. Os estressores que compõe a análise devem ser facilmente identificados, e seus impactos

facilmente quantificáveis. Após a organização dos dados disponíveis, o passo seguinte foi a identificação dos dados que se adequassem ao conjunto de informações básicas necessárias a análise de vulnerabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Visando avaliar o quanto os dados disponíveis eram adequados as necessidades de dados, para a análise de vulnerabilidade, todos os *shapefiles* foram analisados e um quadro foi produzido (Quadro 1). Nela são apresentados os dados disponíveis para diferentes temas, sua escala, e fonte.

Quadro 1 - Caracterização das informações disponíveis no banco de dados (Fonte: Ribeiro, 2012).

Tema		Dado disponível	Escala	Fonte
Solos	Classificação do solo	<i>Shapefile</i> que abrange toda a bacia	----	DRM
	Uso e ocupação do solo	<i>Shapefile</i> que abrange somente a bacia do rio São João	1:50.000	ICMBio
		<i>Shapefile</i> que abrange toda a bacia	1:100.000	ZEE – RJ
Relevo	Declividade Curvas de nível	<i>Shapefile</i> para toda a bacia	1:25.000	DRM
	Domínios geomorfológicos	<i>Shapefile</i> para toda a bacia	1:100.000	ZEE – RJ
Clima	Isoietas	<i>Shapefile</i> para toda a bacia	1:250.000	CPRM
Geologia	Fraturnas	<i>Shapefile</i> para toda a bacia	1:250.000	CPRM
Infraestrutura	Rodovias Ferrovias Dutovias Linhas de transmissão	<i>Shapefile</i> para toda a bacia	----	IBGE INEA ICMBio
Hidrografia	Rios principais e drenagem	<i>Shapefile</i> para toda a BACIA	1:50.000	IBGE INEA
Outros	Áreas protegidas	<i>Shapefile</i> de todas as Unidades de Conservação	----	INEA
	Áreas de Preservação Permanente	<i>Shapefile</i> para toda a BACIA	1:25.000	DRM
	Cobertura Florestal	<i>Shapefile</i> para toda a BACIA	1:25.000	SOS Mata Atlântica

Ao avaliar qualitativamente os temas, foi possível identificar os dados correspondentes, a escala disponível e principalmente sua abrangência. O tema “solos”, por exemplo, apresenta três arquivos, que variam em escala e abrangência: o *shapefile* com escala mais próxima à escala ideal (1:25.000), foi obtido de um estudo do CILJS, em escala 1:50.000, que abrange somente o entorno do Reservatório de Juturnaíba -manancial de abastecimento de água da Bacia -, o que, a princípio, inviabilizaria sua utilização. Já o arquivo

cedido pela EMBRAPA, em escala 1:100.000, abrange parte da bacia, faltando somente uma faixa que corresponde a porções dos municípios de Saquarema, Rio Bonito, Silva Jardim e Casimiro de Abreu. Por fim, o único arquivo que abrange toda a bacia foi cedido pelo Departamento de Recursos Minerais – DRM/RJ, em escala desconhecida.

Os dados de uso e ocupação do solo foram obtidos de dois arquivos, um com abrangência apenas da região da Área de Proteção Ambiental da Bacia do rio São João/Mico-leão-dourado - ICMBio, e outro gerado pelo Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Rio de Janeiro – ZEE/RJ, com dados de toda a área da bacia. A classificação disponibilizada pelo ZEE/RJ é mais atualizada que a da APA/ICMBio, além de abranger toda a área da bacia.

No tema “relevo”, as curvas de nível apresentam excelente precisão, além de estar em escala adequada de 1:25.000. Com elas, foi possível gerar o modelo digital de elevação do terreno – MDT e o *hillshade*- superfície hipotética criada através da determinação de valores de iluminação para cada célula (pixel) da superfície. Pela observação da superfície de relevo e das curvas de nível, é possível visualizar três regiões distintas, a porção serrana, morrotes, na forma de meia laranja, e a baixada. Os domínios geomorfológicos são uma boa forma de representação da bacia. Na caracterização geológica, estão disponíveis os dados relativos às fraturas geológicas, disponibilizada pelo Serviço geológico do Brasil – CPRM, abrangendo toda a bacia. O CPRM disponibilizou ainda as isoietas de precipitação, em escala 1:250.000. Esses dados poderão ser utilizados na análise de sensibilidade, por caracterizar as diferentes superfícies do território.

Quanto à hidrografia e drenagem, existem três arquivos principais que abrangem a bacia em sua totalidade e *shapfiles* que caracterizam somente porções da bacia, originados de levantamentos locais em outros formatos. O principal conflito entre estes arquivos é devido ao processo de retificação, drenagem e aterramento que os cursos d’água da bacia vêm sofrendo desde a década de 70. Neste período, o Departamento Nacional de Obras e Saneamento iniciou o processo de retificação de grande parte dos cursos d’água da bacia. Outro fator são as aberturas de valas e canais, principalmente na área rural. Alguns destes são tão antigos, que em alguns casos são considerados cursos d’água. É relevante citar ainda que, o crescimento urbano também contribuiu para o aterramento de diversos corpos d’água. Devido a estas alterações, é difícil determinar quais rios permanecem e por onde corre o seu leito, e ainda se as diferenças encontradas entre as bases são ocasionadas pela escala de análise adotada ou por modificações físicas do território.

Ainda, estão contempladas no banco de dados as delimitações das unidades de conservação, das áreas de preservação permanente (APP), representadas em onze categorias, e o dado de cobertura florestal, resultado do mapeamento realizado pela Fundação SOS Mata Atlântica, em escala 1:25.000. De toda a base levantada na instituição, os dados ligados ao tema infra-estrutura – rodovias, linhas de transmissão, ferrovias e dutovias – encontram-se incompletos. Essas melhorias não se referem à precisão dos dados e sim a obter a totalidade dos dados de infra-estrutura da bacia.

Outros dados necessários a análise foram levantados para complementar o banco de dados, tais como, pontos de lançamento de efluentes tratados, rede de coleta de esgoto, rede de abastecimento público de água, reservatórios e pontos de captação, a rede coletora de águas pluviais, os aterros sanitários e lixões, empreendimentos licenciados, polígonos de mineração, e os dados referentes às infrações ambientais (desmatamento, pesca predatória, extração de areia, etc.). Esses dados são fundamentais para a caracterização dos impactos das atividades humanas sobre os ecossistemas da bacia, definindo assim os estressores a serem considerados na análise. Grande parte dos dados dos estressores encontrava-se disponível no banco de informações da instituição, com exceção dos dados relativos às infrações ambientais, saneamento e abastecimento de água, por exemplo, que foram levantados junto às respectivas instituições responsáveis (Quadro 2).

Quadro 2 – Dados complementares com as respectivas caracterizações e possíveis fontes (Fonte: Ribeiro, 2012).

Tema	Dado necessário	Possível fonte
Saneamento	Pontos de lançamento de efluentes tratados Rede de coleta de esgoto	Concessionárias de água e esgoto, serviços autônomos (SAAE) e Prefeituras
Abastecimento de água	Rede de abastecimento público Pontos de captação de água Reservatórios de água	Concessionárias de água e esgoto, serviços autônomos (SAAE) e Prefeituras
Coleta de águas pluviais	Rede coletora de águas pluviais	Serviços autônomos (SAAE) e Prefeituras
Lixões	Pontos de localização dos lixões	INEA
Assentamentos rurais	Limites dos assentamentos de reforma agrária e lotes	INCRA
Planos diretores municipais	Zoneamento dos municípios	Prefeituras
Empreendimentos licenciados	Pontos de localização dos empreendimentos licenciados	INEA
Mineração	Polígonos de mineração	DNPM, DRM
Infrações ambientais	Pontos de infração	INEA, ICMBio

Para a avaliação da sensibilidade das unidades hidrológicas aos impactos dos estressores, é importante identificar as características físicas destes territórios, que possam conduzir a uma diferenciação destes ambientes, e que por sua vez, possuam informações espacializadas. A partir da revisão bibliográfica, foi proposta inicialmente a diferenciação através das seguintes características do ambiente, para a bacia Lagos São João: i) precipitação, ii) domínios geomorfológicos, iii) declividade e a vi) hierarquia hidrográfica.

Os dados de precipitação foram utilizados para diferenciar os tipos de ambientes da bacia, baseado no regime predominante de chuvas. Esses dados foram obtidos do Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2006), que reuniu e analisou os dados das estações meteorológicas do estado, para o período de 1968 a 1995, gerando desta forma as isoietas (isolinhas) totais anuais. Para proceder à diferenciação do território a partir destes dados, os valores das isoietas foram agrupados e reclassificados automaticamente no ArcMap®, sendo a classificação baseada no algoritmo *Natural Breaks* (Jenks, 1977). Este método gera intervalos de valores de acordo com a tendência natural de agrupamento. A partir deste processamento e análise do resultado, optou-se por utilizar a precipitação média como valor de quebra, gerando cinco faixas de precipitação (polígonos), correspondentes aos intervalos de agrupamento: i) < 800mm; ii) 1050 mm; iii) 1550 mm; iv) 2050 mm; e v) > 2550 mm.

Os domínios geomorfológicos representam as diferentes unidades do relevo, sendo os dados disponíveis para a bacia obtidos do ZEE – RJ. Na bacia Lagos São João pode ser identificada a ocorrência de seis domínios: i) montanhoso; ii) planícies fluviais; iii) planícies costeiras flúvio-marinhas; vi) maciços costeiros; v) colinoso; vi) cordão arenoso; vii) dunas e restingas; e viii) afloramento rochoso. Para compor o fator “sensibilidade”, após análise pelo autor os domínios foram agrupados em quatro grandes grupos, sendo estes o domínio planícies, montanhoso, colinoso e cordões arenosos, dunas e restingas. O domínio planícies representa as áreas de baixada, tanto fluviais, quanto costeiras, não incluindo o cordão arenoso, as dunas e restingas, que compõe outro domínio. Para compor o domínio montanhoso, foram agrupados os maciços costeiros e os afloramentos rochosos às porções de maior altitude. O domínio colinoso, por sua vez, corresponde às áreas de transição entre os domínios anteriores, sendo caracterizados pela ocorrência de “morrotes” ou “meias-laranja”.

No mapa dos “domínios geomorfológicos” foi procedido um refinamento da informação da categoria relativa aos cordões arenosos, dunas e restingas, utilizando os dados do Projeto Rio de Janeiro, realizado pelo CPRM (escala 1:250.000). Este estudo mapeou estas

unidades baseado nos limites das suas respectivas áreas de preservação permanente, e não pelo uso e ocupação do solo, como classificado pelo ZEE-RJ. As classes de declividade foram definidas baseadas principalmente nos domínios e características territoriais da bacia e nas definições das áreas de preservação permanente. Desta forma, decidiu-se por delimitar quatro intervalos: i) < 15 ; ii) $15 - 30^\circ$; iii) $30 - 45^\circ$; e iv) $> 45^\circ$. Por fim, a hierarquia hidrográfica foi gerada a partir da classificação das unidades hidrológicas e da drenagem gerada, sendo definidas três classes de “sensibilidade”, as unidades de cabeceiras, contribuintes e calha principal.

A escolha dos estressores deve levar em conta a magnitude do seu impacto potencial sobre a integridade ecológica, bem como sua expressão na escala da bacia. Quanto aos estressores a serem considerados na análise, a revisão bibliográfica apontou 20 como sendo importantes para a avaliação da vulnerabilidade ecológica. No entanto, como ressaltado anteriormente, a inclusão desses estressores na análise depende necessariamente da sua disponibilidade no banco de dados geográficos. Dados relacionados às infrações ambientais, apesar de sua relevância, não puderam ser considerados na análise por não haver um registro digitalizado e constante desses dados. Da mesma forma, a fragmentação do habitat, gerada a partir do levantamento e caracterização dos fragmentos de vegetação nativa da bacia, não pode ser incluída na análise pela não disponibilidade de dados espacializados. Igualmente, a questão das espécies invasoras (fauna e flora) e da pesca predatória, que afetam o equilíbrio dos ecossistemas, e principalmente as interações bióticas. Assim, ao final, foram selecionados 12 estressores a serem considerados na análise.

Para a avaliação da severidade dos estressores aos atributos da integridade ecológica, é necessário que seus impactos estes estejam bem caracterizados, ou seja, que esteja claro o que será de fato analisado. Sabe-se que a agricultura, por exemplo, tem potencial de causar impactos ambientais quando não são adotadas medidas de manejo adequado. Assim, é fundamental que essa qualificação dos estressores esteja associada ao dado que compõe o banco, para não haver dúvidas quanto a que impacto está sendo avaliado. Essa caracterização dos estressores deve se basear na revisão bibliográfica e também em opiniões de especialistas, podendo ainda ser validada por meio de visitas de campo. Por fim, quanto às medidas de frequência, estas compõem a métrica quantitativa das ameaças nas unidades hidrológicas, e a definição destas deve refletir a magnitude do impacto dos estressores. Essas informações estão organizadas no Quadro 3.

Ficou evidenciado nesta etapa inicial de triagem e organização dos dados disponíveis, que a maior parte dos dados não atende aos critérios de escala e abrangência previamente definidos. Para a adequação da base disponível, que contempla dados geográficos em escalas variadas, é necessário o refinamento da maior parte das informações, o que demanda checagem de alguns dados em campo, ou mesmo o levantamento de dados primários. Essa adequação deve ser buscada em longo prazo, à medida que recursos, mão de obra e tempo estejam disponíveis. Este fato, porém, não inviabiliza o uso das informações disponíveis para a análise de vulnerabilidade, sendo adotado como critério apenas o uso de dados originários de levantamentos que contemplem toda a área da bacia hidrográfica.

Quadro 3 – Estressores e respectiva caracterização e medida de frequência para a Bacia Lagos São João (Fonte: Ribeiro, 2012).

Estressor	Caracterização	Medida de frequência (dado)
Pastagem	Atividades agrícolas em larga escala (monocultivo), com alto consumo de água, uso de insumos e sem manejo (controle dos fatores de erosão) dos sistemas.	Polígonos de pastagem
Agricultura (larga escala)	Atividade ocupando extensas áreas (inclusive as APPs), com baixa taxa de ocupação (nº de cabeças/ha) e sem manejo (controle dos fatores de erosão) dos sistemas.	Polígonos de agricultura
Barramentos	Barramentos de pequeno e médio porte, interrompendo a conectividade longitudinal e lateral, e regime de fluxo de rios, expondo o lençol freático a contaminação e a radiação solar (aumento da evapotranspiração)	Extensão de corpo barrado
Vias de acesso	Todos os tipos de vias de acesso (pavimentadas ou vicinais), caracterizando a intensificação do processo erosivo o impedimento ao fluxo dos rios e drenagens, exposição à contaminação.	Extensão da malha viária
Dutovias	Dutovias que atravessam rios e suas unidades de drenagem, com supressão de vegetação, e alteração do regime de fluxo	Extensão de dutos
Lixões	Lixões localizados em áreas próximas a rios e drenagens, ocasionando intensa contaminação por lixiviação de efluentes	Pontos de localização dos lixões
Aglomerados de habitantes	Povoamentos e aglomerações de baixa, média e alta densidade populacional, gerando resíduos sólidos (lixiviação superficial), contaminação dos rios por efluente domésticos, consumo de água e pressão sobre os ecossistemas de água doce	Área de ocupação urbana
Mineração	Todos os tipos de mineração (cava ou leito de rio), ocasionando alterações no regime de fluxo, quantidade e qualidade de água, e exposição do lençol freático a contaminação e evaporação	Polígonos do DNPM (concedidos e licenciados)
Leitos retificados	A retificação dos rios causando alterações intensas no regime de fluxo, profundidade do canal, aumentando a temperatura da água, e comprometimento da estrutura do habitat	Malha retificada
Empreendimentos licenciados	Empreendimentos licenciados de alto impacto considerando a possibilidade de contaminação do solo e da água, o alto consumo de água e a pressão sobre os ecossistemas de água doce	Pontos de localização dos empreendimentos licenciados

Linhas de transmissão	Linhas de transmissão que atravessam rios e suas unidades de drenagem, e geram a supressão (parcial ou total) de vegetação ciliar e da área de drenagem.	Extensão das linhas de transmissão
Ferrovias	Ferrovias que atravessam rios e suas unidades de drenagem, com supressão de vegetação, e alteração do regime de fluxo	Extensão da ferrovia

Cabe ressaltar, por fim, que o fato de o banco de dados ter sido construído na lógica de uma análise de vulnerabilidade, oportunizou que os demais dados não utilizados a princípios, fossem igualmente organizados, o que permitirá sua utilização para outros fins, ou o seu refinamento para inclusão na análise no futuro. Este trabalho oportunizou ainda a elaboração de um Relatório de Lacunas (CILSJ, 2011), que além de uma análise aprofundada de todos os dados e informações disponíveis no banco de dados, apontou ainda qual o esforço necessário para alcançar o critério de escala e abrangência ideal dos dados adotado para o planejamento e gestão dos recursos hídricos da bacia.

A possibilidade de elaboração de diferentes mapas temáticos, também foi bastante interessante, visto que muitos destes foram disponibilizados no site da instituição para utilização por aqueles interessados. Visto a organização dos dados no banco, os mapas gerados apresentam padronização e qualificação, que auxiliam demais instituições e profissionais que venham a utilizá-los em suas análises.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estratégia atual para montar o banco de dados se baseou no levantamento e busca de informações pré-existentes, que na maioria das vezes foram geradas com objetivos distintos dos atuais da instituição. A consequência positiva dessa estratégia é a possibilidade de trabalhar com um grande volume de informações a baixo custo. Ao mesmo tempo, o trabalho com dados geográficos com características múltiplas, principalmente com escalas, metodologia e projeções diversas, torna-se um desafio.

A metodologia de análise de vulnerabilidade da forma como foi proposta possibilitou 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.

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 escalas mais locais.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa contou com o apoio financeiro e institucional do CNPq, CAPES, FAPERJ, WWF-Brasil, Consórcio Intermunicipal Lagos São João, e do Comitê de Bacias Lagos São João e integra o Grupo de Pesquisa 'Água doce, Segurança hídrica e Mudanças Ambientais Globais: Vulnerabilidade, Gestão e Adaptação' da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

REFERÊNCIAS

BIDEGAIN, P.; PEREIRA, L.F.M. Plano das Bacias Hidrográficas da Região dos Lagos e do Rio São João. Rio de Janeiro: CILSJ, 2005.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL LAGOS SÃO JOÃO. 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.

_____. Relatório de lacunas: Análise de vulnerabilidade da Bacia Lagos São João. Araruama, 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.

JENKS, G. F. Optimal data classification for choropleth maps: Occasional Paper. Department of Geography, University Kansas, n. 2, 24 p., 1977.

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

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.

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.

RIBEIRO, N. B. Análise de vulnerabilidade ecológica da Bacia Lagos São João, RJ: uma contribuição metodológica para estudos de adaptação às mudanças ambientais globais. Rio de Janeiro, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2012. 138f.

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).

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, 2008.

Recebido para publicação em fevereiro de 2016
Aprovado para publicação em abril de 2016