Capítulo 4

Zoneamento geohidroecológico da bacia do rio Almada: análise da capacidade de produção de água

Danusa Oliveira Campos
José Wildes Barbosa dos Santos
Edson Vicente da Silva
Neylor Alves Calasans Rego

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

CAMPOS, DO., *et al.* Zoneamento geohidroecológico da bacia do rio Almada: análise da capacidade de produção de água. In: MORAES, MEB., and LORANDI, R., orgs. *Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas* [online]. Ilhéus, BA: Editus, 2016, pp. 81-101. ISBN 978-85-7455-443-3. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.

All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença [Creative Commons Atribuição 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia [Creative Commons Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

CAPÍTULO 4

Zoneamento geohidroecológico da bacia do rio Almada: análise da capacidade de produção de água

Danusa Oliveira Campos
José Wildes Barbosa dos Santos
Edson Vicente da Silva
Neylor Alves Calasans Rego

Introdução

A água é um recurso natural vital. Tal característica lhe é conferida por proporcionar o equilíbrio dos ecossistemas através da manutenção dos ciclos biogeoquímicos, por ser estratégica ao desenvolvimento agrícola e industrial, por influenciar questões religiosas e culturais, e ainda por ser um bem social indispensável à adequada qualidade de vida (EGLER, 2012).

A importância da água não impediu a sua degradação. Apesar de ser essencial para a vida, a interferência do homem na natureza, sem conhecer nem respeitar suas limitações, resulta em graves problemas ambientais que afetam diretamente na qualidade e quantidade da água que dispomos. Para reverter ou minimizar este quadro de degradação, é fundamental compreender as relações entre a natureza e a sociedade. Nesse contexto, o planejamento ambiental assume papel primordial no reordenamento territorial fundamentado em práticas sustentáveis. Entre os diversos instrumentos de planejamento, destaca-se o zoneamento ambiental.

O zoneamento ambiental tem sido aplicado a partir de uma abordagem sistêmica, analisando a ordenação do espaço de forma abrangente e integrada e contemplando aspectos econômicos, sociais, físico-territoriais e ecológicos com o intuito de prevenir conflitos pelo uso irracional dos recursos naturais.

Existem várias metodologias de planejamento ambiental baseadas na análise geossistêmica que está fundamentada na Teoria Geral dos Sistemas, de Bertalanffy (1973). Nessa perspectiva, existem trabalhos com diferentes fundamentações teórico-metodológicas; dentre os quais, destacam-se os trabalhos desenvolvidos por Bertrand (1971), Tricart (1977), Ross (1995), Becker e Egler (1996), Sotchava (1977), e mais recentemente, Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004).

Apesar de esses zoneamentos ambientais serem relevantes para o planejamento da paisagem, os mesmos não foram desenvolvidos com foco na produção de água. Quando o objetivo é zonear com base nos recursos hídricos e seus diferentes enfoques na formação da paisagem, as metodologias citadas apresentam algumas lacunas. Uma delas está no fato dessas metodologias terem sido desenvolvidas para serem aplicadas em qualquer unidade de planejamento (como municípios, por exemplo), podendo ou não ser aplicadas em bacias hidrográficas. Contudo, estudos como a simulação hidrológica, importante para direcionar o planejamento ambiental, só podem ser realizados para bacias hidrográficas. Outro ponto a ressaltar é que, nas metodologias existentes, os recursos hídricos são inseridos como elementos formadores da paisagem, não sendo ponderados os processos físicos que regem a distribuição e o movimento da água na paisagem.

O zoneamento geohidroecológico proposto por Campos (2014) destaca-se por analisar, de forma integrada, as variáveis ambientais, sociais e econômicas, avaliando os processos físicos que regem a distribuição e o movimento da água na paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Almada (BHRA), bem como a sua capacidade de produção de água.

Métodos e Técnicas de Pesquisa

O método de pesquisa adotado está fundamentado na abordagem sistêmica, integrando análises hidrológicas e a capacidade de produção de água da BHRA.

Para o processamento dos dados da bacia e elaboração dos mapas, foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGis 9.2 e seus módulos. Os mapas foram trabalhados nas escalas 1: 150.000 e 1: 250.000, utilizando a projeção cartográfica UTM (*Universal Transversa de Mercator*) e o Datum SAD69. Ainda foram compilados mapas temáticos da área de estudo, imagens de satélite, imagens de radar, fotografias aéreas e as

cartas topográficas produzidas pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) que abrangem toda área da bacia: Ibicaraí (SD-24-Y-B-V), Itabuna (SD-24-Y-B-VI) e Ubaitaba (SD-24-Y-B-III).

A rede de drenagem foi extraída da folha 14_405_SN da imagem de radar TOPODATA, obtida do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (VALERIANO, 2008).

O contorno da BHRA utilizado neste estudo foi definido por Gomes et al. (2010). Os dados de compartimentação geomorfológica das classes de solos e do uso e ocupação da terra de 2006 foram obtidos do trabalho desenvolvido por Franco (2010).

Os dados das tipologias climáticas foram digitalizados do trabalho de Roeder (1975). Os dados pluviométricos foram extraídos do mapa de pluviosidade da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI, 2003), elaborado com normais climatológicas, do período de 1961 a 1990, do Departamento Nacional de Meteorologia (DNMET).

A evapotranspiração potencial foi obtida do *site* da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), sendo que os dados foram elaborados pelas normais climatológicas de 1961 a 1990. Foi calculada com os dados adquiridos dos postos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) situados nos municípios de Ilhéus, Canavieiras, Salvador e Vitória da Conquista; sua distribuição sazonal foi calculada pelo Método das Isoietas, por meio da interpolação de dados das estações pelo Método Ponderação do Inverso das Distâncias (*Inverse Distance Weighting* – IDW).

O mapa geológico da BHRA foi elaborado com base no Mapeamento Geológico do Quaternário Costeiro da Bahia (MARTIN et al., 1980) e no levantamento geológico elaborado pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral no ano 2000.

O mapa de cobertura vegetal nativa foi obtido de Gouvêa (1976). O mapa hipsométrico foi gerado a partir de dados derivados do Modelo Digital de Terreno, os quais foram adquiridos de imagem TOPODATA (VALERIANO, 2008). Posteriormente, foi elaborado o mapa de declividades, classificado segundo o proposto pela Embrapa (2006).

Para gerar as cartas de Capacidade Natural de Produção de Água (CNPA) e Capacidade Ambiental de Produção de Água (CAPA), procedeu-se o desenvolvimento de rotinas para a conversão de dados vetoriais em formato matricial para o desenvolvimento das operações de álgebra de mapas.

A CNPA foi obtida a partir do processamento dos dados que foram rasterizados dos seguintes atributos: pluviosidade, evapotranspiração, geologia, geomorfologia, solo, declividade e vegetação. As classes de CNPA para a BHRA foram estabelecidas conforme apresentado na Tabela 1.

TABELA 1 – Graus estabelecidos para a capacidade natural de produção de água na Bacia Hidrográfica do Rio Almada

Classes de Capacidade Natural de Produção de Água	Graus de Capacidade Natural de Produção de Água
Muito Baixa	0,0 – 1,0
Baixa	1,0 – 2,0
Média	2,0 – 3,0
Alta	3,0 – 4,0
Muito Alta	4,0 – 5,0

Fonte: Campos (2014).

A CNPA foi elaborada a partir de uma adaptação das metodologias propostas por Ross (1995), Crepani et al. (2001) e Costa et al. (2006). Para representar as peculiaridades da área de estudo, foi atribuído um peso geral, variando entre 0% e 100% (0 - 1) para cada atributo por meio do Método de Ponderação de Fatores. Isso possibilitou indicar a menor e a maior importância e correlação dos atributos com a produção de água na BHRA, conforme apresentado na Tabela 2.

TABELA 2 – Peso geral atribuído para cada atributo na análise da capacidade natural de produção de água na Bacia Hidrográfica do Rio Almada

Atributo natural	Peso geral
Pluviosidade	0,13
Evapotranspiração	0,13
Geologia	0,11
Geomorfologia	0,11
Solos	0,16
Declividade	0,16
Vegetação	0,20

Fonte: Campos (2014).

Na identificação da CNPA, os pesos gerais e específicos foram definidos com base no arcabouço teórico, trabalhos desenvolvidos na bacia e particularidades da região onde a mesma está inserida.

Os pesos específicos variaram entre 1 e 5 para cada atributo, diferenciando o grau de importância de cada um deles no que se refere à produção de água na paisagem. Ou seja, quanto maior o peso, maior a sua importância na produção de água. Com os atributos classificados, foi empregada a álgebra de mapas, implementada pela Equação 1:

$$\text{CNPA} = (\text{Pe} * \text{Pg}) + (\text{Ee} * \text{Eg}) + (\text{Ve} * \text{Vg}) + (\text{Se} * \text{Sg}) + (\text{Re} * \text{Rg}) + (\text{De} * \text{Dg}) + (\text{Gle} * \text{Glg})$$

em que: CNPA = Capacidade Natural de Produção de Água, Pe = Peso Específico da Pluviosidade, Pg = Peso Geral da Pluviosidade, Ee = Peso Específico da Evapotranspiração, Eg = Peso Geral da Evapotranspiração, Ve = Peso Específico da Vegetação, Vg = Peso Geral da Vegetação, Se = Peso Específico do Solo, Sg = Peso Geral do Solo, Re = Peso Específico da Geomorfologia, Rg = Peso Geral da Geomorfologia, De = Peso Específico da Declividade, Dg = Peso Geral da Declividade, Gle = Peso Específico da Geologia e Glg = Peso Geral da Geologia.

Para analisar a interferência antrópica na CNPA da BHRA foi elaborado o mapa da Capacidade Ambiental de Produção de Água (CAPA) das suas sub-bacias a partir do processamento dos dados de CNPA e do uso e ocupação do solo. Para tanto, foram atribuídos pesos gerais 0,70 à CNPA e 0,30 ao uso e ocupação do solo. Posteriormente, foi empregada a álgebra de mapas, implementada pela Equação 2:

$$\text{CAPA} = (\text{CNPA} * \text{Ue}) + (\text{Ue} * \text{Ug})$$

em que: CAPA = Capacidade Ambiental de Produção de Água; Ue = Peso Específico do Uso e Ocupação do Solo e Ug = Peso Geral do Uso e Ocupação do Solo.

Tal como para a CNPA, os pesos gerais e específicos da CAPA foram definidos com base no arcabouço teórico, trabalhos desenvolvidos na área em estudo e particularidades da região.

A vazão das principais sub-bacias da BHRA foi calculada a partir do modelo hidrológico *Soil Moisture Accounting Procedure* (SMAP) (LOPES; BRAGA; CONEJO, 1982) em sua versão mensal. Para este cálculo, foram utilizados como dados de entrada a precipitação mensal de seis estações

pluviométricas (localizadas próximas ou dentro dos limites da bacia), obtida no *site* da Agência Nacional de Águas (ANA). Os dados de vazão também foram obtidos no *site* da ANA, e a evapotranspiração calculada foi obtida através do Método de Thornthwaite. Os dados de temperatura utilizados foram fornecidos pela estação meteorológica do Centro de Pesquisa do Cacau (CEPEC) da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC).

O zoneamento geohidroecológico foi elaborado a partir da integração dos dados da CAPA das sub-bacias com as características das unidades geossistêmicas e os dados de vazão gerados pelo SMAP. Para chegar a este zoneamento, procede-se o mapeamento e caracterização da capacidade de produção de água das sub-bacias, ponderando-se as potencialidades e limitações das unidades geossistêmicas. As cartas de CNPA e CAPA da BHRA foram produzidas a partir da identificação, mapeamento e caracterização de cada uma das variáveis, classificadas como: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta.

As unidades geossistêmicas da BHRA foram delimitadas a partir de uma análise integrada, tendo como principal critério a geomorfologia, além de levantamentos de campo e outros atributos físico-ambientais: geologia, clima, solos e vegetação.

Identificação das unidades geossistêmicas da bacia do rio Almada

Foram identificadas cinco Unidades Geossistêmicas (UG) para a BHRA: Cadeias de Serras Altas, Cadeias de Serras Baixas, Depressão Pré-Litorânea, Tabuleiros Úmidos do Almada e Planície Litorânea. O Quadro 1 apresenta uma síntese das limitações e potencialidades de cada uma delas.

QUADRO 1 – Potencialidades, limitações e problemas ambientais das unidades geossistêmicas da Bacia Hidrográfica do Rio Almada

UG	Potencialidades	Limitações e Problemas Ambientais
Cadeias de Serras Altas	Ecoturismo, turismo ecológico, ações de educação ambiental, abastecimento de água do município de Almadina, patrimônio paisagístico e elevada biodiversidade.	Assoreamento de rios, avanço de pastagens, falta de manejo adequado, caça, desmatamento, ocupação de APP (Área de Preservação Permanente), lançamento de esgotos <i>in natura</i> , disposição de resíduos nos ambientes naturais, desmatamento, relevo acidentado com vertentes íngremes, solos rasos e alta suscetibilidade à erosão.
Cadeias de Serras Baixas	Ecoturismo, turismo ecológico, ações de educação ambiental, abastecimento de água do município de Coaraci, patrimônio paisagístico e elevada biodiversidade.	Lazer e turismo rural, ecoturismo, pesca artesanal, ações de educação ambiental, beleza cênica, expansão urbana planejada.
Depressão Pré-litorânea	Ecoturismo, turismo ecológico, ações de educação ambiental, abastecimento, pesca artesanal, patrimônio paisagístico riquíssimo e elevada biodiversidade.	Caça ilegal, desmatamento, ocupação e desmatamento de APP de rios e nascentes, queimadas, uso de agrotóxicos, lançamento de esgotos <i>in natura</i> e disposição de resíduos nos ambientes naturais.
UG	Potencialidades	Limitações e Problemas Ambientais
Tabuleiros Úmidos do Almada	Turismo planejado, potencial agrícola expressivo e relevo plano a suave ondulado.	Ocupação urbana desordenada, presença de atividades que impactam o lençol freático, presença de camadas coesas na subsuperfície dos solos, conversão de florestas de áreas legalmente protegidas em outra forma de uso, solos com baixa capacidade de retenção de água e de nutrientes, queimadas, uso de agrotóxicos, lançamento de esgotos <i>in natura</i> e disposição de resíduos nos ambientes naturais.
Planícies Litorâneas do Almada	Lazer e turismo rural, ecoturismo, pesca artesanal, ações de educação ambiental, beleza cênica, expansão urbana planejada.	Ocupação desordenada, ocupação de APP, erosão decorrente da implantação do Porto do Malhado, uso de agrotóxicos, queimadas, lançamento de esgotos <i>in natura</i> e disposição de resíduos nos ambientes naturais.

Fonte: Campos (2014).

Capacidade natural de produção de água da bacia do rio Almada

A Carta de Capacidade Natural de Produção de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Almada (Figura 1) apresenta sub-bacias com igual classe de CNPA. Cada uma das variáveis foi classificada em cinco graus diferenciados de produção de água: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta, e Muito Alta.

A ponderação de pesos para a pluviosidade considerou a intensidade de chuva e a distribuição da precipitação durante o ano. A produção de água de uma paisagem está intimamente ligada à quantidade de chuva, pluviosidade total e sua distribuição sazonal. A pluviosidade total evidencia a quantidade de água precipitada disponível. Assim, áreas com alta pluviosidade têm maior probabilidade de infiltração, resultando em alta produção de água.

Os índices pluviométricos na BHRA variam entre 900 e 2.100 mm, aumentando no sentido oeste-leste (SEI, 2003). Enquanto as áreas mais próximas do litoral apresentam chuvas constantes e regulares, as áreas a oeste caracterizam-se por períodos de invernos mais secos. Assim, as áreas que apresentaram pluviosidade acima de 2.000 mm e distribuição constante das chuvas durante todos os meses foram classificadas com CNPA Muito Alta. As paisagens com precipitações entre 1.600 e 1.999 mm, distribuídas igualmente durante o ano, foram consideradas com Alta CNPA; áreas com índices pluviométricos entre 1.000 e 1.500 mm, distribuídos de forma desigual durante o ano, foram classificadas com Média CNPA. E áreas com índices pluviométricos anuais abaixo de 1.000 mm, distribuídos de forma desigual, foram consideradas com Baixa CNPA.

O cálculo da CNPA para pluviosidade evidencia que mais de 90% da BHRA apresenta Média ou Alta CNPA; e menos de 10%, Baixa ou Muito Alta CNPA. Nenhuma área da bacia apresentou forte intensidade pluviométrica com estação seca marcante; não havendo, portanto, áreas classificadas com Muito Baixa CNPA para pluviosidade.

A análise da CNPA para evapotranspiração foi baseada na capacidade evapotranspirativa da bacia, sendo que quanto maior for o índice de evapotranspiração, menor será a quantidade de água disponível e a vazão dos rios e, conseqüentemente, menor será a produção de água na paisagem. Os índices de evapotranspiração na BHRA variam no sentido oeste-leste de 924 a 1.300 mm. Assim, as classes de CNPA para a evapotranspiração variaram de Baixa a Alta CNPA no sentido leste-oeste.

FIGURA 1 – Carta de Capacidade Natural de Produção de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Almada

Fonte: Campos (2014).

A análise da CNPA para a geologia considerou a composição mineralógica, o grau de coesão das rochas e a presença de estruturas (falhas e zonas de cisalhamento) que favorecem a produção de água. A presença de estruturas como falhas e fraturas encontradas em rochas cristalinas favorece o processo de infiltração, assim como materiais porosos e permeáveis, sedimentos arenosos, rochas sedimentares e cristalinas muito fraturadas ou porosas.

Já rochas argilosas e rochas cristalinas pouco fraturadas dificultam o referido processo.

Nesse contexto, as rochas das unidades Pré-Cambrianas do Domínio Coaraci-Itabuna possuem um forte grau de coesão com a presença de falhas e zonas de cisalhamento nas porções oeste e leste da BHRA. Como essas rochas dificultam a infiltração das águas, provocando o escoamento superficial, as áreas com tais características geológicas foram classificadas com Baixa CNPA.

As coberturas sedimentares do Grupo Barreiras apresentam situação intermediária, visto que apresentam horizontes argilosos e siltico-argilosos intercalados por horizontes arenosos e areno-conglomeráticos mais espessos. Assim sendo, suas respectivas áreas foram classificadas com Média CNPA.

Já os Terraços Marinhos Holocênicos são formados por solos arenosos, com alta porosidade e permeabilidade. Assim, às áreas dos Depósitos Sedimentares do Quaternário foi atribuída a classe Muito Alta CNPA; e aos Depósitos Flúvio-Lagunares argilosos, a classe Alta CNPA.

A porosidade do solo vai regular a quantidade de água absorvida. De tal modo que, em solos arenosos, a absorção da água é mais rápida, havendo pouca retenção por causa do predomínio dos macroporos. Já em solos argilosos, existe maior retenção de água por haver maior agregação das partículas; ou seja, devido aos microporos, a absorção da água é mais demorada (LOPES; BRAGA; CONEJO, 1982). A análise da CNPA associada aos solos mostrou que, para os mais arenosos, a classificação variou de Muito Alta a Alta CNPA. Os solos argilo-arenosos ou areno-argilosos foram classificados de Média CNPA, e aos solos argilosos foram atribuídas as classes Baixa ou Muito Baixa CNPA.

As classes de CNPA para a geomorfologia foram estabelecidas em função das formas do relevo. As Serras e Maciços Pré-Litorâneos foram classificadas com Baixa CNPA, pois, em relevo forte ondulado e montanhoso, as águas pluviais fluem mais rapidamente para os canais fluviais. A Depressão Itabuna-Itapetinga apresentou Alta CNPA, pois tal formação geológica favorece o acúmulo das águas e a deposição do material transportado pelos rios. Deste modo, há maior possibilidade de inundações.

Os Tabuleiros Pré-Litorâneos e Tabuleiros Pré-Litorâneos-Bacia são caracterizados por relevo de morros e colinas, associados às litologias sedimentares que vão do plano ao ondulado, apresentando Alta CNPA. E aos

terrenos dos Depósitos Sedimentares Quaternários, por apresentarem áreas planas, onde o escoamento superficial é lento, foi atribuída a classe Muito Alta CNPA.

A vegetação é um componente da natureza que contribui de forma ímpar para a produção de água devido à sua função reguladora dos fluxos de água. Ela controla o escoamento superficial, proporciona a recarga natural dos aquíferos (MOTA, 1995) e favorece a infiltração da água, de modo a impedir a compactação do solo. A vegetação nativa da BHRA foi classificada com Média CNPA quanto às Formações Edáficas, Muito Alta CNPA nas áreas de Mata Higrófila e Alta CNPA para a Mata Mesohigrófila.

As paisagens que compõem a BHRA obtiveram graus de CNPA que variaram entre 2,5 e 4,8 e foram divididas da seguinte forma: Média CNPA (14,04%), Alta CNPA (74,25%) e Muito Alta CNPA (11,71 %), de acordo com a Tabela 3.

Capacidade ambiental de produção de água da bacia do rio Almada

A CAPA da BHRA representa o cruzamento entre os dados da CNPA e do uso e ocupação do solo. Este cruzamento resultou na classificação da BHRA em quatro classes, apresentadas na Tabela 3 e espacializadas na Figura 2. É importante ressaltar que, apesar da forte pressão antrópica, a BHRA não apresentou nenhuma área classificada com Muito Baixa CNPA. A Tabela 3 apresenta as áreas em que a interferência antrópica alterou significativamente a CNPA das paisagens.

TABELA 3 – Classes e áreas estabelecidas para a capacidade natural e ambiental de produção de água na Bacia Hidrográfica do Rio Almada

Capacidade Natural de Produção de Água		Capacidade Ambiental de Produção de Água	
Classe	Área (%)	Classe	Área (%)
Média	14,04	Baixa	1,54
		Média	12,50
Alta	74,25	Baixa	0,06
		Média	57,37
		Alta	16,82
Muito Alta	11,71	Média	3,87
		Alta	7,38
		Muito Alta	0,46

Fonte: Campos (2014).

As áreas de Baixa CAPA encontram-se na parte oeste da BHRA e nos vales fluviais do ribeirão Papaia, próximos à Serra dos Mutuns. Ocupam 1,60% da bacia nas áreas onde predominam os relevos movimentados das Serras e Maciços Pré-Litorâneos. O uso e ocupação do solo predominante é pasto ou solo exposto em relevo movimentado. Mas há também a presença de pequenos fragmentos de cabruca. As atividades econômicas principais são a pecuária e cultivos tradicionais de subsistência, como feijão e mandioca, nos vales fluviais.

As áreas de Média CAPA ocupam 73,85% de toda a bacia nas porções onde são encontrados: solos pouco desenvolvidos do relevo movimentado das Serras e Maciços Pré-litorâneos; argissolos vermelho-amarelo e latossolos vermelho-amarelo do Domínio Depressão Itabuna-Itapetinga; os Tabuleiros Úmidos e os solos jovens dos Depósitos Sedimentares do Quaternário. Nesta área, grande parte da floresta foi convertida, principalmente, em cabruca, solo exposto, pasto para criação de gado e policulturas permanentes cultivadas quase sempre nos vales fluviais, como banana, cacau, borracha, café, coco-da-baía, dendê, laranja, mamão, maracujá, palmito, pimenta-do-reino e borracha; lavouras temporárias de abacaxi, cana-de-açúcar, feijão, mandioca e milho.

As áreas classificadas com Alta CAPA correspondem a 74,20% da BHRA, englobando as Cadeias de Serras Baixas. Distribuem-se em pequenas manchas por toda a Depressão Pé-Litorânea e nos Tabuleiros Úmidos do Almada. Nas Planícies Litorâneas, as áreas com Alta CAP correspondem a 68% dessa classe

FIGURA 2 – Carta de Capacidade Ambiental de Produção de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Almada

Fonte: Campos (2014).

As áreas de Muito Alta CAPA abrangem apenas 0,46% de toda a bacia. Esta classe aparece no baixo curso do rio Almada, nos Tabuleiros Úmidos do Almada, nas bordas da Lagoa Encantada e no extremo leste da bacia nos Depósitos Sedimentares do Quaternário. Apesar de possuir Muito Alta CAPA, tais áreas estão sob forte pressão antrópica.

Simulação hidrológica da bacia do rio Almada

A escolha do modelo hidrológico para aplicar a simulação tomou como referência a facilidade de execução do programa e os dados de entrada. O SMAP mostrou-se como um modelo simples para estimar a vazão das sub-bacias da BHRA, requerendo apenas os dados de precipitação, a vazão de um posto fluviométrico localizado dentro da bacia (vazão observada), dados de evapotranspiração e a área das sub-bacias.

Para obter a vazão das sub-bacias da BHRA, foram utilizadas séries históricas de 2000 a 2012 em todos os dados de precipitação, evapotranspiração e vazão. A determinação da série histórica deu-se em função da disponibilidade dos dados fluviométricos. Para os dados de precipitação mensal, foram utilizadas seis estações pluviométricas da ANA (Coaraci, Floresta Azul, Ibicaraí, Itajuípe-Piranji, Barro Preto e Uruçuca).

Para a homogeneização dos dados pluviométricos das estações, foram preenchidas as falhas, aplicando-se o Método da Ponderação Regional da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). Posteriormente, foi delimitada a área de influência de cada posto pluviométrico, conforme o Método de Thiessen.

Devido à inexistência de estações evaporimétricas com abrangência de toda a área de estudo, os dados de evapotranspiração potencial foram calculados utilizando os dados de temperatura da estação climatológica do CEPEC/CEPLAC, através do Método de Thornthwaite. Os dados fluviométricos foram obtidos do posto fluviométrico Provisão II, localizado próximo à foz do rio Almada.

O comportamento hidrológico médio da vazão na seção de Provisão II evidencia que o pico de vazão acontece no mês de abril. A partir de então, até o mês de setembro, há um decaimento do escoamento. E as vazões com valores mais baixos podem ser verificadas no mês de outubro. Os dados de vazão, precipitação e evapotranspiração foram integrados no SMAP, iniciando pelo ano hidrológico da BHRA, que começa em setembro e termina em agosto.

A fase da calibração visa a determinação dos valores dos parâmetros do modelo. Neste trabalho, a calibração foi realizada por tentativa-erro, portanto foram examinados distintos conjuntos de parâmetros até se alcançar um vetor de parâmetros que pudesse representar a resposta natural da bacia àquela precipitação. Esse método está condicionado à experiência do usuário. Portanto, é a correta interpretação dos parâmetros que conduz mais rapidamente a valores que correspondem à requerida precisão.

A calibração foi realizada em toda a BHRA de maneira convencional (LOPES, 1999). O período de dados usado para a calibração da BHRA compreende de setembro de 2000 a agosto de 2005, e o período dos dados para a validação foi de setembro de 2005 a agosto de 2012. Os períodos selecionados corroboram Lopes (1999) na medida em que este pesquisador indica um período para calibração mensal de 2 a 9 anos.

A qualidade do ajuste de calibração seguiu a observação da aderência da vazão calculada à vazão observada, coeficiente de correlação linear de Pearson (R^2), coeficiente de determinação (R^2) e o índice de eficiência de Nash e Sutcliffe. A validação das vazões obtidas pela calibração obteve valores altos de correlação linear de 0,90, o coeficiente de determinação 0,78 e o coeficiente de Nash 0,90, apresentando, portanto, bons resultados finais da calibração. Collischonn (2001) ressalta que a representatividade do modelo é considerada adequada para valores de Nash superiores a 0,75.

Após a validação dos parâmetros utilizados na calibração, foi realizada a simulação da vazão de cada uma das 11 sub-bacias da BHRA, usando o período de setembro de 2006 a agosto de 2012. As vazões obtidas das sub-bacias evidenciaram uma produção de água menor nas sub-bacias Alto do Almada (1,91 m³/s) e ribeirão Papaia (1,08 m³/s), localizadas no alto curso do rio Almada, e maiores vazões nas demais sub-bacias, com destaque para ribeirão do Braço Norte e rio do Braço, ambas com uma vazão de 2,95 m³/s.

Zoneamento geohidroecológico da bacia do rio Almada

A Carta de Zoneamento Geohidroecológico da Bacia Hidrográfica do Rio Almada foi elaborada com base na capacidade ambiental de produção de água das suas sub-bacias, resultando nas classes espacializadas na Figura 3. As vazões estimadas pelo SMAP das sub-bacias corroboram os resultados obtidos para a CAPA.

FIGURA 3 – Carta de Zoneamento Geohidroecológico da Bacia Hidrográfica do Rio Almada

Fonte: Campos (2014).

A sub-bacia do Alto do Almada, localizada na UG Cadeias de Serras Altas, tinha 67% de suas terras classificadas com Média CNPA; contudo, com a interferência antrópica através da conversão do uso do solo de floresta para pasto e solo exposto em uma paisagem composta por solos pouco desenvolvidos em relevo movimentado e com declividade acentuada, houve uma perda da aptidão para a produção de água das paisagens, passando para a classe Baixa CAPA mais de 90% da sua área.

A sub-bacia do ribeirão Papaia apresenta uma paisagem semelhante à sub-bacia do Alto do Almada, caracterizada pela UG Cadeias de Serras Baixas, com áreas classificadas com Média CNPA (67%) e Alta CNPA (33%). Após a conversão do uso e ocupação do solo, 78% da área passou a ser classificada com Média CAPA e 12% com Baixa CAPA.

As sub-bacias dos ribeirões Braço e Braço Norte e dos rios Tiriri e Sete Voltas apresentaram as maiores vazões por possuírem as maiores áreas dentro da bacia e por estarem cobertas por vegetação nativa e cabruca.

Apesar de apresentarem paisagens distintas com substratos rochosos e solos diversificados, os resultados evidenciam que as sub-bacias não apresentaram uma variação significativa quanto aos valores de vazão. Este fato é apoiado pelos dados qualitativos gerados pela CAPA que exibem 73% de toda a área da BHRA como Média, classificação atribuída à cobertura vegetal de mata e cabruca. A proteção exercida pelos remanescentes de mata e cabruca é evidenciada na ausência de vegetação em áreas qualificadas com CAPA Muito Baixa nesta bacia hidrográfica.

Comentários Finais

Os resultados aqui apresentados demonstram que a bacia do rio Almada apresenta, de modo geral, boa capacidade para a produção de água, o que ressalta a sua importância ecológica, econômica e social para a região onde está inserida. A capacidade natural de produção de água alcançou graus que variaram entre 2,5 a 4,8; logo, as paisagens foram classificadas com Média, Alta e Muito Alta capacidade, abrangendo, respectivamente, cerca de 14,04% 74,25% e 11,71% da área da bacia .

As vazões calculadas para as 11 sub-bacias evidenciaram uma produção de água menor nas sub-bacias do Alto do Almada (1,91 m³/s) e ribeirão Papaia (1,08 m³/s), enquanto que as maiores vazões foram observadas nas sub-bacias do ribeirão do Braço Norte, ribeirão do Braço, rio Sete Voltas e rio Tiriri.

O zoneamento geohidroecológico da bacia do rio Almada mostrou que os resultados obtidos com o emprego do SMAP corroboraram os resultados de capacidade ambiental de produção de água.

Considera-se que o método aqui apresentado representa uma importante ferramenta de análise da paisagem voltada para a gestão ambiental sustentável de bacias hidrográficas, contemplando de forma integrada os diferentes enfoques da água na paisagem. E por fim, acredita-se que este método pode e deve ser replicado em outras bacias, necessitando apenas de uma adequação dos pesos às características ambientais da bacia a ser analisada.

Referências

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. Brasília, DF: Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE)/Ministério do Meio Ambiente (MMA), 1996.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis, RJ: Vozes, 1973.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, n. 13, p. 1-17, 1971.

CAMPOS, D. O. **Zoneamento geohidroecológico: uma proposta de análise integrada da paisagem em bacias hidrográficas**. 2014. 181 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2014.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

COSTA, F. H. S. et al. Determinação da vulnerabilidade ambiental na bacia potiguar, região de Macau (RN), utilizando sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 58, n. 2, p. 119-127, 2006.

CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos, SP: INPE, 2001.

EGLER, M. **Gerenciamento integrado de recursos hídricos no Estado do Rio Janeiro: ensaio de indicador para o estabelecimento da avaliação das relações entre qualidade da água e cobertura vegetal**. 2012. 315 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, DF: Centro Nacional de Pesquisas de Solos/EMBRAPA, 2006.

FRANCO, G. B. **Fragilidade ambiental e qualidade da água na bacia do rio Almada – Bahia**. 2010. 217 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG), 2010.

GOMES, R. L. et al. **Implantação do laboratório de análise e planejamento ambiental da UESC. Projeto piloto: avaliação da qualidade ambiental da bacia do rio Almada e área costeira adjacente**. Relatório Final. Ilhéus, BA: FAPESB, 2010. 104 p.

GOUVÊA, J. B. S. **Recursos Florestais**. Rio de Janeiro: Cartográfica Cruzeiro do Sul, 1976. (Diagnóstico socio-econômico da região cacauceira).

LOPES, J. E. G.; BRAGA, B. P. F.; CONEJO, J. G. L. **SMAP - A Simplified Hydrological Model, Applied Modelling in Catchment Hydrology**. Washington: Water Resources Publications, 1982.

LOPES, J. E. G. **Manual do programa de simulação hidrológica SMAP**. 1999. 19 p. (Cedido pelo autor).

MARTIN, L. et al. **Mapa geológico do quaternário costeiro do Estado da Bahia**. Texto explicativo. Salvador: Secretária de Minas e Energia/Coordenação de Produção Mineral, 1980.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoeecologia das paisagens: visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: Editora UFC, 2004.

ROEDER, M. **Reconhecimento climatológico**. Diagnóstico sócio-econômico da região cacauceira. Rio de Janeiro: Cartografia Cruzeiro do Sul, 1975.

ROSS, J. L. S. Análise e síntese da abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 9, p. 65 - 75, 1995.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas** (Métodos em questão, 16). São Paulo: Instituto de Geografia - USP, 1977. 51 p.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS
DA BAHIA – SEI. **Base cartográfica digital**. Salvador: SEI, 2003. 10
CD-ROM. ISBN 85-240-3169-7. (obra completa).

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos, SP: INPE-15318-RPQ/818, 2008.