

SISTEMA DE INDICADORES E ÍNDICES GEOAMBIENTAIS APLICADOS À GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS:

**aplicação nos municípios que compõem
a sub-bacia do rio Banabuiú, Ceará**

LUCAS DA SILVA



INSTITUTO FEDERAL
Ceará

SISTEMA DE INDICADORES E ÍNDICES GEOAMBIENTAIS APLICADOS À GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

**aplicação nos municípios que compõem
a sub-bacia do rio Banabuiú, Ceará**



Presidente da República

Luiz Inácio Lula da Silva

Ministro da Educação

Camilo Sobreira de Santana



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ - IFCE

Reitor

José Wally Mendonça Menezes

Pró-Reitora de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação

Joélia Marques de Carvalho

Pró-Reitora de Ensino

Cristiane Borges Braga

Pró-Reitora de Extensão

Ana Cláudia Uchôa Araújo

Pró-Reitor de Administração e Planejamento

Reuber Saraiva de Santiago

Pró-Reitor de Gestão de Pessoas

Marcel Ribeiro Mendonça



EDITORA IFCE

Editor Executivo

Tiago Estevam Gonçalves

CONSELHEIROS NATOS

Ana Cláudia Uchoa Araújo

Cristiane Borges Braga

Joélia Marques de Carvalho

Sara Maria Peres de Moraes

Tiago Estevam Gonçalves (Presidente)

CONSELHEIROS TITULARES

Alisandra Cavalcante Fernandes de Almeida

Ana Cristina da Silva Moraes (in memoriam)

Anderson Ibsen Lopes de Souza

Anna Erika Ferreira Lima (in memoriam)

Antônio Cavalcante de Almeida

Antônio Wendel de Oliveira Rodrigues

Auzuir Ripardo de Alexandria

Barbara Suellen Ferreira Rodrigues

Beatriz Helena Peixoto Brandão

Cristiane Sousa da Silva

Francisco Régis Vieira Alves

Glauber Carvalho Nobre

Glendo de Freitas Guimarães

Iara Rafaela Gomes (UFC)

Igor de Moraes Paim

José Eranildo Teles do Nascimento

Keila Cristina Nicolau Mota

Leonardo Araújo da Costa (UFC)

Marcílio Costa Teixeira

Maria do Socorro de Assis Braun

Marieta Maria Martins Lauar

Marilene Barbosa Pinheiro

Nara Lidia Mendes Alencar

Rômulo Celly Lima Siqueira

Sandro César Silveira Jucá

Sarah Mesquita Lima

Wendel Alves de Medeiros

SISTEMA DE INDICADORES E ÍNDICES GEOAMBIENTAIS APLICADOS À GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

**aplicação nos municípios que compõem
a sub-bacia do rio Banabuiú, Ceará**

LUCAS DA SILVA

Fortaleza-CE
2023



SISTEMA DE INDICADORES E ÍNDICES GEOAMBIENTAIS APLICADOS À GESTÃO DE BACIAS
HIDROGRÁFICAS - aplicação nos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú, Ceará.
Lucas da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE
Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação – PRPI
Editora IFCE – EDIFCE

As informações contidas no livro são de inteira responsabilidade dos seus autores.

EDITORA IFCE

Editor Executivo

Tiago Estevam Gonçalves

Editora Adjunta e Normalização

Sara Maria Peres de Moraes

Revisão

Marilene Barbosa Pinheiro

Supervisão de Design e Capa

Julio Pio

Lidia Farias

Diagramação

Editora SertãoCult



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Editora IFCE - EDIFCE

S586 Silva, Lucas da.
Sistema de indicadores e índices geoambientais aplicados à gestão de bacias
hidrográficas: aplicação nos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú, Ceará.
/ Lucas da Silva. --. Fortaleza: EDIFCE, 2023.

142 p. il.

E-book no formato PDF 23.575 KB
ISBN: 978-65-84792-22-7 (*e-book*)
ISBN: 978-65-84792-20-3 (impresso)
DOI: 10.21439/EDIFCE.24


1. Sustentabilidade. 2. Gestão ambiental. 3. Bacia hidrográfica. I. Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. II. Título.

CDD 363.7

Bibliotecária responsável: Sara Maria Peres de Moraes CRB N° 3/901



Contato
Rua Jorge Dumar, 1703 - Jardim América, Fortaleza - CE, 60410-426.
Fone: (85)34012263 / E-mail: edifce@ifce.edu.br / Site: editora.ifce.edu.br.



“A base de toda a sustentabilidade é o desenvolvimento humano que deve contemplar um melhor relacionamento do homem com os semelhantes e a Natureza”.

Nagib Anderáos Neto

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO | 9 |
| INDICADORES E ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE: UM ENSAIO TEÓRICO | 13 |
| <i>Estrutura conceitual e características dos Indicadores e Índices de Sustentabilidade Ambiental.....</i> | <i>14</i> |
| <i>Construção de sistemas de Indicadores e Índices Ambientais integrados</i> | <i>17</i> |
| <i>Vantagens e limitações dos Indicadores e Índices de Sustentabilidade Ambiental</i> | <i>22</i> |
| <i>Bacias hidrográficas como unidade de planejamento para a Sustentabilidade Ambiental.....</i> | <i>26</i> |
| <i>Os Índices de Sustentabilidade Ambientais como instrumentos de gestão de bacias hidrográficas.....</i> | <i>29</i> |
| SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BANABUIÚ | 33 |
| <i>Localização e caracterização geográfica</i> | <i>34</i> |
| OS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE GEOAMBIENTAL | 39 |
| <i>Caracterização e sistematização dos Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental</i> | <i>40</i> |
| <i>Análise dos Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão solos dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú</i> | <i>48</i> |
| <i>Análise dos Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão vegetação dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....</i> | <i>57</i> |
| <i>Análise dos Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão clima dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú</i> | <i>66</i> |
| <i>Análise dos Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão geomorfologia dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....</i> | <i>73</i> |
| <i>Análise dos Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão geologia dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú</i> | <i>79</i> |
| <i>Análise dos Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão drenagem dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....</i> | <i>84</i> |
| <i>Análise dos Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão uso da terra dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....</i> | <i>90</i> |

| | |
|---|------------|
| OS ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE GEOAMBIENTAL | 97 |
| <i>Cálculo dos Índices de Sustentabilidade Geoambiental</i> | <i>98</i> |
| <i>Índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão solos dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....</i> | <i>101</i> |
| <i>Índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão vegetação dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú</i> | <i>104</i> |
| <i>Índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão clima dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....</i> | <i>108</i> |
| <i>Índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão geomorfologia dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú</i> | <i>111</i> |
| <i>Índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão geologia dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú</i> | <i>116</i> |
| <i>Índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão drenagem dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú</i> | <i>119</i> |
| <i>Índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão uso da terra dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....</i> | <i>122</i> |
| <i>Índices de Sustentabilidade Geoambiental médio dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.....</i> | <i>125</i> |
| | |
| CONCLUSÃO | 129 |
| | |
| REFERÊNCIAS..... | 131 |
| | |
| SOBRE O AUTOR..... | 141 |

1

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, houve um aumento significativo nos debates e estudos sobre o meio ambiente devido à maneira insustentável como as sociedades interagem com o ambiente. Isso resultou em desequilíbrio entre a disponibilidade e a demanda dos recursos naturais, assim como na perda de serviços ecossistêmicos. Além disso, a influência humana tem agravado os eventos climáticos extremos e levado à perda da biodiversidade.

Além disso, visando o desenvolvimento e a garantia da sobrevivência das diversas espécies, incluindo a humana, ao longo dos séculos, a sociedade tem explorado os recursos naturais de forma inadequada e predatória, acelerando a degradação ambiental e esgotando os recursos do planeta. Isso ocorre devido à dificuldade em compreender os limites estabelecidos pela natureza.

Um exemplo nacional é a situação no semiárido, onde há uma distribuição irregular das chuvas ao longo do tempo e do espaço, baixos níveis de precipitação anual e um relevo que dificulta a circulação de massas de ar úmidas. Isso resulta em alta evapotranspiração e poucas ocorrências de chuva. Além disso, essa condição favorece as secas sistêmicas e, combinada com práticas inadequadas de manejo e ocupação do solo, leva à desertificação.

A sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú, a mérito de exemplo, encontra-se inserida totalmente no semiárido, sob superfície de aplainamento conservada ou moderadamente dissecada, com terrenos recobertos por solos rasos e caatinga degradada, assim como padrão geológico com predominância de rochas do embasamento cristalino. Essas características, associadas ao uso inadequado do solo, têm acelerado seu processo de degradação ambiental, agravado pela presença de despejo de redes de esgotos domésticos e efluentes industriais nos mananciais oriundos dos municípios que compõem a sub-bacia.

A falta de planejamento e gestão ambiental em áreas de bacias hidrográficas tem agravado a desigualdade social e a degradação dos

recursos ambientais, principalmente os recursos hídricos. Por isso, fez-se necessária a criação de métodos de gerenciamento voltados para o manejo da água, fazendo crescer “o valor da bacia hidrográfica como unidade de análise e planejamento ambiental” (NASCIMENTO; VILLAÇA, 2008, p. 103).

Com isso, torna-se de fundamental importância a realização de estudos e definições de parâmetros que sejam capazes de retratar a realidade das condições ambientais locais e, com isso, propor indicadores ambientais para as instituições, como prefeituras, comitês de bacias, órgãos estaduais, entre outras, que possibilitem alternativas de mudança à atual situação de degradação em que essa região se encontra.

Para Nascimento e Villaça (2008, p. 108) as bacias possibilitam a integração multidisciplinar entre os distintos métodos de planejamento/gestão, estudo e atividade ambiental. Os autores afirmam, ainda, que “a abordagem por bacia hidrográfica tem várias vantagens”. Baseiam-se, tais vantagens, na riqueza de componentes que envolvem essas estruturas. Não existe mais a ideia de compartimentar e privatizar os processos de recuperação das águas poluídas através de métodos tecnológicos.

Nesse sentido, estabelecer um sistema de indicadores e índices geoambientais, apresenta-se como instrumento de medição, gerando valores que buscam enquadrar-se na realidade ambiental da área. As aplicações de indicadores e índices geoambientais têm por objetivo elaborar métodos que avaliem a execução de ações para a melhoria do ambiente e das condições hídricas da sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú, contribuindo para que os municípios da sub-bacia alcancem um estado sustentável.

Para Costa (2013, p. 104) é imprescindível ter conhecimento sobre a construção de índices e indicadores. Isso deve ser baseado na realidade estudada e na compreensão da sustentabilidade. Isso fortalece o uso dos índices como um instrumento para orientar o planejamento e gerenciamento do uso racional dos recursos naturais. Portanto, quan-

do analisados de forma integrada, levando em consideração áreas de observações e estudos locais e pontuais, os índices podem ser mais bem compreendidos em suas interações específicas.

Nesse contexto, o espaço geográfico estabelecido como unidade de estudos para efetivação de um sistema de Indicadores e Índices de Sustentabilidade Geoambiental foram os municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú. Os indicadores de cada município foram analisados e comparados e poderão servir como parâmetros de planejamento e gestão dos recursos hídricos de cada região, contribuindo, portanto, para tal e para outros componentes ambientais da sub-bacia.



**INDICADORES E ÍNDICES DE
SUSTENTABILIDADE: UM
ENSAIO TEÓRICO**

Estrutura conceitual e características dos Indicadores e Índices de Sustentabilidade Ambiental

O conceito de indicador deriva da palavra latina – “indicare”, que significa destacar, revelar ou indicar algo e informações por meio da sistematização de, pelo menos, duas variáveis primárias sobre informações de diferentes dimensões. Segundo Ramos (1997, p. 3) quando selecionamos um indicador ou construímos um índice, como ao usar um parâmetro estatístico, ganhamos em clareza e facilidade de uso, mas perdemos informações não processadas. Os indicadores e índices são projetados para simplificar informações sobre fenômenos complexos e melhorar a comunicação.

Para Rabelo e Lima (2008, p. 63) os indicadores de sustentabilidade são flexíveis e mudam dependendo do objeto de estudo. Apesar de haver sugestões de indicadores que abrangem as dimensões da sustentabilidade, eles devem ser contextualizados na análise. Portanto, não existem indicadores de sustentabilidade definitivos, o que explica a existência de vários sistemas de indicadores.

Os indicadores têm a função fundamental de simplificar, quantificar e comunicar o funcionamento de um sistema específico. Como resultado, eles fornecem informações que facilitam a comunicação entre especialistas, políticos e a população em geral (LAURA, 2004, p. 118).

O desafio está em dar mais importância à medição do que realmente importa, em vez de focar apenas naquilo que é mensurável, como no caso das receitas em vez da qualidade de vida. Além disso, há uma dependência de modelos falsos que levam a resultados ambíguos, como o problema da valoração monetária de recursos naturais não renováveis (VAN BELLEN, 2002, p. 50).

Para Van Bellen (2002, p. 48), os indicadores são uma expressão do compromisso e, embora sejam imperfeitos, desempenham um papel fundamental na compreensão das relações entre o ser humano e o meio ambiente no contexto do desenvolvimento. Os indicadores de sustentabilidade são instrumentos que não são universalmente aplicáveis e têm suas limitações, tornando-se cada vez mais importante conhecer as particularidades dos diferentes sistemas, suas características e aplicações.

Os indicadores de sustentabilidade diferenciam-se dos demais por exigirem uma visão de mundo integrada, necessitando relacionar, para tanto, a economia, a sociedade e o meio ambiente (MARANGON *et al.*, 2004, p. 144). Nas regiões em crise, tais indicadores são de grande importância, uma vez que alertam sobre os perigos antes que eles sejam agravados, evidenciando maneiras de solucioná-los, e dando à sociedade a oportunidade de monitorar os sistemas considerados, muitas vezes, complexos. Definições mais técnicas adotam indicadores ambientais como valores calculados “a partir de parâmetros dando indicações ou descrevendo o estado de um fenômeno do meio ambiente ou de uma zona geográfica, que tenha alcance superior à informação diretamente dada pelo valor do parâmetro” (OCDE, 2003 p. 5).

Os indicadores têm o propósito de serem utilizados como uma ferramenta para avaliar os impactos das políticas e fornecer informações úteis aos tomadores de decisão, a fim de analisar a efetividade das políticas e realizar ajustes quando necessário (COSTA FREITAS *et al.* 2022, p. 2). Para Van Bellen (2002, p. 62) a eficácia dos sistemas de indicadores depende da adesão a princípios gerais essenciais. O cumprimento desses princípios, juntamente com a aplicação adequada da ferramenta em uma determinada situação, está diretamente ligado ao sucesso de um processo de avaliação.

Para Marangon *et al.* (2004, p. 04),

Indicadores são modos de representação (tanto quantitativa quanto qualitativa) de características e propriedades de uma dada realidade (processos, produtos, or-

ganizações, serviços) que têm por finalidade a busca da otimização de tomadas de decisão em relação: à definição do objeto de ação (o que fazer), ao estabelecimento de objetivos (para que fazer), às opções metodológicas (como fazer), à previsão de meios e recursos (com quem e com o que fazer) e à organização da sistemática de avaliação (taxação de valor), tendo como parâmetro a transformação desejada daquela realidade no tempo.

Os indicadores têm uma função relevante no processo de monitoramento e avaliação, pois oferecem um retorno sistemático e objetivo sobre o avanço em direção aos objetivos políticos, já que representam quantitativamente esses objetivos (COSTA FREITAS *et al.* 2022, p. 2).

A inclusão de indicadores, índices e grau de sustentabilidade busca agregar todas as ferramentas disponíveis para proporcionar aos gestores uma visão mais precisa do nível de sustentabilidade, permitindo um monitoramento contínuo, ao contrário de outros modelos (RABELO E LIMA, 2008, p.72).

Isto porque os indicadores de sustentabilidade podem ser utilizados como uma ferramenta para aprender sobre a sociedade, economia e meio ambiente, bem como as interações entre essas três dimensões. Quando selecionados cuidadosamente e comunicados de maneira eficaz, esses indicadores podem fornecer informações de forma imparcial e neutra politicamente (SHIELDS, SOLAR, MARTIN, 2002, p. 158).

Já para Benetti (2006, p. 68) os índices são construídos para se obter certa redução no volume de dados acerca de variáveis particulares que têm um significado ou transcendência especial. Já os autores Shields, Solar, Martin (2002, p. 153) consideram que um índice revela o estado de um sistema ou fenômeno, sintetizam diferentes conceitos da realidade empírica, o que deriva de operações realizadas com indicadores analíticos e tende a retratar o comportamento médio das dimensões consideradas.

O Índice de Sustentabilidade Ambiental é um método bastante prático, tanto como instrumento analítico, como ferramenta útil para gestores, pesquisadores e demais interessados; entretanto, é destinado a áreas grandes devido à disponibilidade de dados (CORTÉS *et al.*, 2012, p. 57). Esse índice é uma ferramenta importante para guiar o planejamento e a gestão do uso sustentável dos recursos naturais, facilitando a tomada de decisões na resolução de conflitos relacionados à sustentabilidade ambiental. Além disso, ele permite que a comunidade e os atores institucionais intervenham de maneira adequada, pois sintetiza as informações essenciais, utilizando apenas as variáveis relevantes para os objetivos (COSTA, 2013, p. 24).

Construção de sistemas de Indicadores e Índices Ambientais integrados

Os indicadores e os índices são importantes instrumentos utilizados no cotidiano dos seres humanos, uma vez que servem para sinalizar e alertar sobre alterações em sua saúde, finanças, as ações antrópicas e especialmente as relacionadas ao meio ambiente (SILVA, 2016, p.4). Sendo estratégico se trabalhar e aplicar os indicadores de sustentabilidade no ambiental (RABELO E LIMA, 2008, p. 64).

Para identificar e gerar indicadores de sustentabilidade, utilizam-se sistemas que atuam em distintas dimensões, visando medir o grau de sustentabilidade do desenvolvimento. De acordo com Rabelo e Lima (2008, p. 63) os indicadores de sustentabilidade devem ser considerados nessas relações e, por isso, geralmente são definidas quatro dimensões: social, ambiental, econômica e institucional. Essas dimensões compõem a sustentabilidade em um contexto limitado, onde pode ser difícil medir o desenvolvimento sustentável devido à falta de dados disponíveis (RABELO E LIMA, 2008, p.72).

Segundo Van Bellen (2002, p. 30) os indicadores e os índices têm funções distintas. Este autor parte da premissa de que, a partir de certo nível de agregação ou percepção, os indicadores podem ser definidos como variáveis individuais ou como uma variável, que é função

de outras variáveis. Nesse sentido, considera que a função dos indicadores e dos índices é estabelecida da seguinte forma:

a) simples como uma relação que mede a alterações da variável em relação a uma base específica;

b) um índice, um número simples que é uma função simplificada de duas ou mais variáveis; ou

c) complexa, como o resultado de um grande modelo de simulação.

Para Laura (2004, p. 134) para seleção de indicadores, deve-se considerar um conjunto de aspectos como critérios, ou por outro nome, varia de acordo com os objetivos ou problemas específicos, bem como suas funções e a escala de análise em que são aplicados.

Os indicadores simples são combinados para formar índices, que são valores únicos resultantes de uma relação pré-estabelecida entre os parâmetros. Essa relação pode ser determinada por estatística, formulação analítica ou cálculo matemático de razão, atribuindo valores relativos a cada parâmetro (SANTOS, 2004, p. 64).

Porém, cabe ao pesquisador escolher os melhores indicadores e/ou índices, adaptando-os quando preciso, para que cumpram seu objetivo: registrar, da forma mais fiel, a realidade. Feito isso, para obter uma visão sistêmica que facilite a aplicação, faz-se necessário o uso de uma sequência metodológica. Rabelo (2008, p. 32) adota oito passos que, juntos, tornam didática a busca pela sustentabilidade:

- **Passo 1:** Definição e caracterização do objeto de estudo;
- **Passo 2:** Contextualização da relação sociedade-natureza - Identificação dos fatores específicos necessários para a promoção do desenvolvimento sustentável da atividade ou comunidade em questão, a partir de entrevistas com especialistas e atores envolvidos (empresários, produtores, empregados, moradores etc.) e ampla revisão bibliográfica. Essa fase tem por objetivo evitar a seleção de indicadores de baixa relevância e a

omissão de indicadores importantes que podem levar à subestimação dos resultados;

- **Passo 3:** Definição dos indicadores de sustentabilidade para o estudo a partir dos critérios ‘possibilidade de obtenção’, ‘confiabilidade das informações’, ‘possibilidade de quantificação’, ‘baixa complexidade’, e ‘reconhecimento científico’, de tal forma que se aproximem o máximo possível da realidade local. É importante ressaltar que, por envolver análise de uma atividade específica ou de uma pequena comunidade, o sistema de indicadores em foco será formado a partir de dados primários, ou seja, obtidos diretamente pelo próprio pesquisador;
- **Passo 4:** Classificação dos indicadores selecionados segundo a dimensão social, econômica, ambiental e institucional; o porte; e o estágio de vida em que se encontra o projeto;
- **Passo 5:** Elaboração e aplicação de um pré-questionário para coleta dos dados que permitirão a obtenção dos indicadores. Deve-se atribuir escores às respostas no questionário para tornar possível a mensuração. A aplicação do pré-questionário para identificação de novos itens relevantes ao estudo ou exclusão de outros, conforme realidade observada na comunidade;
- **Passo 6:** Elaboração e aplicação do questionário final. No questionário, além dos aspectos relativos à análise da sustentabilidade, devem existir formulações que permitam analisar qualitativamente o nível de desenvolvimento sustentável existente no objeto de estudo;
- **Passo 7:** Cálculo do índice de sustentabilidade e conhecimento do seu grau de sustentabilidade para a possibilidade da geração de um cenário que inclua os impactos gerados sobre e para o subsistema meio ambiente humano, isto é, conhecimento dos limites do desenvolvimento sustentável;

- **Passo 8:** Sugestões de opções/respostas que possam permitir a busca da sustentabilidade.

Mesmo tendo vários Sistemas de Indicadores e Índices Ambientais, Van Bellen (2002, p. 32) afirma que a maioria dos sistemas de indicadores foram criados para atender uma demanda ou necessidade específica e se apresentam com uma relativa importância dentro do contexto do desenvolvimento sustentável. Ainda de acordo com o autor, existe a necessidade imperativa de utilizar sistemas interligados, indicadores inter-relacionados ou de diferentes estados de agregação, para, conforme Costa (2013, p. 54) se trabalhar com a complexa realidade do desenvolvimento sustentável.

Para se estabelecer um sistema de indicadores e índices ambientais, deve-se necessariamente escolher as prioridades, relacionando-as à utilização de critérios adequados. Os indicadores permitem monitorar de forma integrada a pressão socioeconômica e o progresso da gestão ambiental nos municípios usando mapas temáticos (CUNHA E SILVA, 2016, p 7).

Contudo, não é uma tarefa fácil a construção de indicadores compostos (COSTA FREITAS *et al.*, 2022, p. 3); mas, se estabelecido de forma técnica e em consonância com a realidade, é de fácil aplicação e indispensável nas tomadas de decisões; essas devem ser apoiadas por evidências científicas, com a necessária adoção de parâmetros, indicadores e/ou índices (MARÓSTICA *et al.*, 2021, p. 453).

Os indicadores permitem acompanhar de forma integrada a pressão socioeconômica e o progresso na gestão ambiental municipal por meio de mapas temáticos, além de fornecer uma visão espacial da situação geral dos municípios. No entanto, eles não abordam variáveis ambientais essenciais, como a qualidade do solo e da água, para análise de uma Bacia Hidrográfica (SILVA, 2016, p. 7).

O monitoramento das condições do ambiente, que é um sistema natural complexo, tornou-se um desafio para os atores da sociedade civil e os gestores públicos e privados. O objetivo é satisfazer as necessidades da geração atual sem prejudicar a capacidade das gerações

futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades (ROCHA *et al.*, 2010 p. 90).

Esses mesmos autores, afirmam que uma forma viável e prática de obter uma compreensão da realidade de um sistema é medir os níveis de qualidade e quantidade de seus componentes. O uso de índices e indicadores é uma ferramenta eficaz para avaliar o nível de qualidade de um ambiente natural, tornando os dados técnicos mais acessíveis e compreensíveis.

Para abordar os desafios complexos do desenvolvimento sustentável, é necessário utilizar sistemas interligados, indicadores inter-relacionados ou a combinação de diferentes indicadores. Atualmente, existem poucos sistemas de indicadores específicos para o desenvolvimento sustentável, principalmente em fase experimental, que foram desenvolvidos para aprimorar nossa compreensão dos fenômenos relacionados à sustentabilidade VAN (BELLEN, 2002, p. 32).

Este mesmo autor diz que ao considerar a sustentabilidade e seus indicadores, é importante reconhecer que os sistemas de avaliação em diferentes níveis e dimensões envolvem julgamentos de valor. Esses julgamentos podem estar implícitos ou explícitos dentro do contexto do desenvolvimento sustentável.

Para Van Bellen (2002, p. 34) os julgamentos de valor explícitos podem aparecer da seguinte maneira na utilização dos indicadores:

- Diretamente no processo de observação ou medição, como, por exemplo, por meio de preferências estéticas.
- Adicionado à medida observada, por meio da limitação imposta pelos padrões legais ou metas desejáveis.
- Por meio dos pesos atribuídos a diferentes indicadores dentro de um sistema agregado.

Embora os índices agregados sejam uma melhoria, o processo de transformar dados em índices agregados pode apresentar sérios desafios. É essencial ter indicadores com um certo grau de agregação para monitorar a sustentabilidade. As informações devem ser agre-

gadas, mas os dados devem ser estratificados por grupos sociais, setores industriais ou distribuição espacial. A generalização deve garantir que o indicador capture problemas de forma clara e concisa (VAN BELLEN, 2002, p. 35).

Vantagens e limitações dos Indicadores e Índices de Sustentabilidade Ambiental

A principal finalidade dos indicadores é reunir e quantificar dados de forma a tornar sua importância mais evidente. Os indicadores simplificam as informações de fenômenos complexos para melhorar a comunicação. Eles podem ser quantitativos ou qualitativos, com alguns autores defendendo que os indicadores mais adequados para avaliar o desenvolvimento sustentável devem ser qualitativos devido às limitações dos indicadores numéricos. No entanto, em alguns casos, avaliações qualitativas podem ser convertidas em notações quantitativas (VAN BELLEN, 2002, p. 30).

Ainda segundo Van Bellen (2002, p. 40) é essencial utilizar uma métrica que avalie a proximidade em relação a esse objetivo, abrangendo diversos aspectos relacionados à sustentabilidade, como os ambientais, econômicos, sociais, culturais, institucionais e outros. Essas ferramentas de avaliação são úteis para aqueles que precisam tomar as rédeas do desenvolvimento, uma vez que podem ser utilizadas na função de planejamento para a criação de políticas públicas.

Para Laura (2004, p.115) os indicadores são inerentemente normativos e políticos, ao invés de serem um valor numérico neutro que todos interpretam da mesma forma. Os indicadores e as decisões que deles decorrem envolvem uma ética sobre o que deve ser quantificado, em relação a qual referência essas medidas serão avaliadas e, por fim, qual resultado é desejado.

As ferramentas de avaliação, ou sistemas de indicadores, são valiosas para os tomadores de decisão e podem ser usadas no desenvolvimento de políticas e no planejamento. Além disso, essas ferramentas também desempenham uma função analítica, ajudando a interpretar

os dados ao agrupá-los em matrizes ou índices dentro de um sistema coerente. Van Bellen (2002, p. 47).

A seguir, exemplos de funções dos indicadores adotados por Van Bellen (2002, p. 47):

- função analítica (ajudam a interpretar os dados dentro de um sistema coerente);
- função de comunicação (tornam os tomadores de decisão familiarizados com os conceitos e os métodos envolvidos com a sustentabilidade);
- função de aviso mobilização (ajudam os administradores a colocar os mecanismos de uma forma pública); e
- função de coordenação (integra dados de diferentes áreas, é factível tanto em termos de orçamento quanto em termos e recursos e é aberto à população).

Os indicadores e os índices são projetados para simplificar a informação sobre fenômenos complexos de modo a melhorar a comunicação. Segundo Ramos (1997, P. 6) podem ser aplicados em uma série de situações-problemas como:

- a) atribuição de recursos;
- b) classificação de locais;
- c) cumprimento de normas legais;
- d) análise de tendências;
- e) informação ao público;
- f) investigação científica.

No mesmo artigo, a OCDE, citada por Ramos (1997, p. 6) apresenta quatro grandes grupos de aplicações de indicadores:

- (I) avaliação do funcionamento dos sistemas ambientais;
- (II) integração das preocupações ambientais nas políticas setoriais;

(III) contabilidade ambiental;

(IV) relato do estado do ambiente.

Segundo Oliveira (2003, p.32):

Os indicadores medem aspectos qualitativos e/ou quantitativos relativos ao meio ambiente, à estrutura, aos processos e aos resultados. Um indicador pode ser uma taxa ou coeficiente, um índice, um número absoluto ou um fato. Taxa/coeficiente é o número de vezes que um evento ocorreu dividido pelo número de vezes que ele poderia ter ocorrido, multiplicado por uma base e definido no tempo e no espaço. Índice é a razão entre dois números ou a razão entre determinados valores.

Como é possível constatar, indicador e índice são termos empregados, na maioria das vezes, como sinônimos e, em outras vezes, com significados distintos, seguindo a tendência atual.

Siche *et al.* (2007, p. 139) destacam a existência de uma certa confusão sobre o significado de índice e indicador, muitas vezes, utilizados como sinônimos. De acordo com os autores, essa utilização é empregada de forma equivocada e errônea. Porém, para eles a diferença está em que um índice é o valor agregado final de todo um procedimento de cálculo no qual se utilizam, inclusive, indicadores como variáveis que o compõem. Nesse caso, um indicador é apenas um componente de um sistema principal, o índice (COSTA, 2013, p.50).

Além disso, assim como existem inúmeras vantagens, existem também diversos pontos negativos na utilização de indicadores. Para Bossel (1999, p. 65) a ciência não consegue oferecer um método objetivo para encontrar o único indicador verdadeiro definido em um sistema complexo devido à grande quantidade de possíveis candidatos, enquanto os indicadores devem ser selecionados e agregados de forma compacta para ter algum valor.

Outro exemplo negativo referente à pobreza das informações é a possibilidade de ambivalência, a qual permite interpretações equivo-

cadadas. Ainda de acordo com Van Bellen (2002, p. 50) existe, também, o problema da “mensuração do que é mensurável mais do que a medição do que é realmente importante, como exemplo, receitas em vez de qualidade de vida”.

Siche *et al.* (2007, 145) também apresentam algumas limitações relacionadas ao uso de Índices e Indicadores de Sustentabilidade, a saber:

- dificuldades na definição de expressões matemáticas que melhor traduzem os parâmetros selecionados;
- perda de informação nos processos de junção dos dados;
- diferentes critérios na definição dos limites de variação; e
- complexidade nos cálculos para chegar ao índice final.

Uma limitação importante encontrada neste estudo, no entanto, foi a falta geral de informações locais atualizadas (CORTÉS *et al.*, 2012, p. 57). Recomenda-se a sua utilização como ferramenta de referência em todos os casos em que a definição e a aplicação de planos de gestão de bacias hidrográficas e desempenho mecanismos e índices de verificação são necessários (CORTÉS *et al.*, 2012, p. 67).

O uso de indicadores e índices de sustentabilidade ambiental pode fornecer uma descrição adequada da evolução das condições da bacia em termos de sustentabilidade, auxiliando diferentes partes interessadas e gestores de recursos hídricos no planejamento, tomada de decisão. Bem como na elaboração e implementação de estratégias locais para o desenvolvimento sustentável (CORTÉS *et al.*, 2012, p. 67).

O conhecimento sobre a construção de índices de sustentabilidade ambiental pode ser um instrumento apropriado, principalmente porque nestes sistemas estão agregadas todas as informações relacionadas à condição econômica, social e ambiental de um dado local em um determinado momento (COSTA, 2013 p. 24).

A ação impulsionada pelos indicadores está relacionada à diferença entre os objetivos desejados e a percepção do estado atual do sis-

tema. A percepção do estado é representada pelo indicador ou índice, que não pode ser medido com precisão. O indicador não reflete exatamente o estado atual do sistema, mas oferece uma aproximação ou associação a ele. O indicador é uma medida do sistema no passado e pode conter ruídos, tornando difícil determinar sua tendência. Além disso, o indicador pode ser desviado deliberada ou acidentalmente (VAN BELLEN, 2002, p. 50).

Por fim, uma das principais utilidades atribuídas aos indicadores é que o sistema de indicadores serve como uma ferramenta de apoio à tomada de decisões, considerando múltiplos critérios (LAURA, 2004, p.118).

Bacias hidrográficas como unidade de planejamento para a Sustentabilidade Ambiental

A bacia hidrográfica é amplamente reconhecida como uma unidade de planejamento globalmente aceita, pois é um sistema natural geograficamente definido, onde os fenômenos e interações podem ser integrados através de entrada e saída, permitindo que as bacias hidrográficas sejam consideradas unidades geográficas onde os recursos naturais se integram (NASCIMENTO, VILLAÇA, 2008, p. 107).

De acordo com Guerra (1978, p. 48) a bacia hidrográfica é composta por áreas de terra que são drenadas por um rio principal e seus afluentes. Muitos esquemas ou representações gráficas não mostram os limites internos do sistema da bacia hidrográfica, onde a maior parte da água circula e atua. A bacia hidrográfica é uma unidade de paisagem físico-territorial importante para os estudos ambientais (FAUSTINO; RAMOS SILVA, 2014, p. 19).

No Brasil, a implementação da bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento dos recursos hídricos tem progredido desde a promulgação da Lei Federal 9.433/97, resultando em melhorias na gestão dos recursos hídricos. No entanto, ainda há uma lacuna significativa na integração e articulação com outras políticas seto-

riais (BEVILACQUA 2011, p. 131). A bacia hidrográfica é um processo descentralizado que promove a conservação e proteção ambiental, incentivando a integração da comunidade e das instituições.

A importância da bacia hidrográfica como unidade integradora dos processos ambientais e das interferências antrópicas, leva a sua adoção como unidade de pesquisa (COSTA, 2013, p. 24). Dentro de uma bacia hidrográfica, os processos de circulação de matéria e energia não se limitam apenas aos rios e planícies alagadas, mas também incluem as encostas, onde os processos internos são muito importantes. Para identificar os limites espaciais das bacias hidrográficas, é necessário considerar a distribuição espacial de todos os processos envolvidos em todos os subsistemas (NASCIMENTO; VILLAÇA, 2008, p. 105).

Segundo Bevilacqua (2011, p 30) a Bacia Hidrográfica está se tornando uma unidade territorial de planejamento importante devido aos conflitos relacionados à disponibilidade suficiente de água em termos de quantidade e qualidade. Isso é necessário para garantir tanto a acumulação de riqueza e sua reprodução, quanto a sobrevivência humana, que é essencial para o desenvolvimento e reprodução do capital.

Essa abordagem de planejamento começou a surgir no século XX, seguindo uma tendência global, à medida que as questões ambientais e seu contexto jurídico e institucional passaram a fazer parte dos debates políticos, econômicos e sociais (BEVILACQUA, 2011, p 39).

A consolidação dessa nova forma de gerenciamento se deve ao fato de que, além de representar um sistema natural bem delimitado geograficamente, constitui-se em uma unidade territorial de fácil reconhecimento e de caracterização bem definida, visto que “não há qualquer área de terra, por menor que seja, que não se integre a uma bacia hidrográfica e, quando o problema central é água, a solução deve estar estreitamente ligada ao seu manejo e manutenção” (SANTOS, 2004, p.41).

Para Nascimento e Villaça (2008, P. 108) é essencial considerar a transformação de um sistema setorial e local para um sistema integrado e preditivo ao planejar e gerenciar uma bacia hidrográfica. Isso permitirá um diagnóstico mais abrangente dos problemas, incluindo aspectos socioeconômicos, para desenvolver um planejamento e gerenciamento eficaz.

Ainda segundo Nascimento e Villaça (2008, p. 116) para alcançar resultados efetivos na gestão dos recursos hídricos, é crucial ter um monitoramento adequado que possa identificar e sinalizar áreas suscetíveis ou não a contaminação, poluição, erosão e outros danos ambientais. Além disso, o monitoramento deve fornecer informações confiáveis sobre as medidas de conservação necessárias e seus custos associados.

O planejamento e a gestão ambiental devem envolver a bacia hidrográfica como unidade de gestão territorial e de pesquisa de forma integrada com processos ambientais (COSTA, 2013, p. 24). Essa interação perpassa pelos estudos integrados da geologia, geomorfologia, cobertura vegetal e rios, que estão interligados e, portanto, qualquer alteração nesses componentes pode impactar esse ambiente (FAUSTINO; RAMOS SILVA, 2014, p. 19).

Segundo Costa (2013, p. 32) para que o planejamento e o gerenciamento nas bacias hidrográficas sejam eficazes, faz-se necessário estudá-las, compreendendo melhor os fatores intervenientes na sua degradação. Para o autor, monitoramento da água e a análise do uso do solo são ferramentas importantes para compreender a dinâmica de uma bacia hidrográfica, especialmente quando há influência humana.

Para Santos (2004, p. 85) para compreender a bacia hidrográfica como uma unidade territorial, é necessário ir além do conceito clássico de rede de drenagem e considerá-la como um espaço formado por elementos físicos, biológicos, sociais e políticos interconectados que influenciam todo o sistema. Qualquer evento, seja de origem humana ou natural, afeta a dinâmica da bacia hidrográfica, incluindo a

quantidade e qualidade dos cursos de água. A medição de algumas variáveis permite interpretar, mesmo que parcialmente, a soma desses eventos.

Nesse sentido, Carvalho; Kelting, Silva (2011, p. 158) sugerem sistematizar indicadores socioeconômicos e de gestão ambiental referentes aos municípios que compõem a área da bacia hidrográfica. Isso porque, segundo os autores, os indicadores possibilitam acompanhar de forma integrada a situação referente à pressão socioeconômica e ao incremento da gestão ambiental municipal através do uso dos mapas temáticos, como também possibilita uma visualização espacial da situação geral dos municípios.

Os Índices de Sustentabilidade Ambientais como instrumentos de gestão de bacias hidrográficas

Os Índices de Sustentabilidade Ambientais são ferramentas estratégicas e importantes no apoio do planejamento e gestão de bacias hidrográficas, principalmente quando concebidos de forma integrada, servindo de suporte no desenvolvimento de políticas públicas que buscam garantir a sustentabilidade dessa importante unidade gerencial (SILVA, 2016, p. 37).

Segundo Van Bellen (2002, p. 36) os indicadores de desempenho são ferramentas de comparação que incluem indicadores descritivos e referências a objetivos políticos específicos. Eles fornecem informações aos tomadores de decisão sobre o sucesso na realização de metas locais, regionais, nacionais ou internacionais. Esses indicadores são usados em diferentes escalas, na avaliação política e no processo decisório. Os índices de sustentabilidade também são indicadores que resumem informações por meio da agregação de dados. Eles são especialmente úteis no mais alto nível de tomada de decisão, pois são mais fáceis de entender e utilizar.

Elaborar índices de sustentabilidade ambiental, a partir de indicadores, que reflitam a qualidade dos recursos hídricos não só é pos-

sível, mas também é importante para melhorar o gerenciamento e recuperar áreas hídricas degradadas. Segundo Costa (2013, p. 24) a adoção da bacia hidrográfica como unidade de pesquisa ocorre devido à sua relevância na integração dos processos ambientais e das interferências humanas.

Os princípios que guiam as novas concepções em relação à bacia hidrográfica são: avaliar os impactos da ocupação urbana sobre os processos hidrológicos e poluição difusa; garantir que novos empreendimentos não prejudiquem os sistemas de drenagem existentes e considerar um planejamento global do uso do solo urbano, incluindo projetos futuros (SCHUSSEL; NASCIMENTO NETO 2015, p. 138).

Para Silva (2016, p. 73) os índices de sustentabilidade devem ser simples, acessíveis, compreensíveis e fáceis de usar, além de apresentarem custo e coleta de dados viáveis, para que assim, serem eficazes como ferramentas de gestão. Ainda segundo Silva (2016, p. 6) os índices e indicadores são ferramentas muito úteis em processos de gestão, portanto a geração de um sistema de indicadores e índices para bacias hidrográficas é um importante avanço na gestão dessa unidade de planejamento.

O planejamento e gerenciamento integrado devem abranger políticas públicas, tecnológicas e educacionais, visando a promoção de um processo de longo prazo com a participação de usuários, autoridades, cientistas, público em geral e organizações públicas e privadas (NASCIMENTO; VILLAÇA, 2008, p. 112).

Dentro da visão de planejamento e gerenciamento integrado Tun-disi (2003, p. 117) considera os seguintes tópicos:

- Bacias hidrográficas como unidade de gerenciamento, planejamento e ação.
- Água como fator econômico.
- Plano articulado com projetos sociais e econômicos.
- Participação da comunidade, usuários e organizações.

- Educação sanitária e ambiental da comunidade.
- Treinamento técnico.
- Monitoramento permanente, com a participação da comunidade.
- Integração entre engenharia, operação e gerenciamento de ecossistemas aquáticos.
- Permanente prospecção e avaliação de impactos e tendências.
- Implantação de sistemas de suporte à decisão.
- Para áreas municipais segundo Tundisi (2003, p. 114) pode-se sintetizar as soluções para os principais problemas relacionados com recursos hídricos, em:
 - Proteção dos mananciais e das bacias hidrográficas.
 - Tratamento de esgotos e de águas residuárias industriais.
 - Tratamento e disposição dos resíduos sólidos (lixo doméstico, industrial e de construção civil).
 - Controle da poluição difusa.
 - Treinamento de gerentes, técnicos ambientais e de recursos hídricos.
 - Educação sanitária da população.
 - Programas de mobilização comunitária e institucional.
 - Campanhas e introdução de tecnologia para diminuir o desperdício da água tratada.
 - Estímulo e apoio às práticas coletivas de organização dos usos da água por associações ou grupos de pessoas.

No âmbito municipal, o gerenciamento de bacias hidrográficas enfrenta diversos desafios, como o nível de urbanização e o tamanho do município, pois os múltiplos usos podem causar impactos ambientais na área. Em municípios de médio ou pequeno porte, a conservação dos mananciais e a preservação das fontes de abastecimento superficiais e/ou subterrâneas são desafios importantes. É necessário focar na gestão do uso do solo, proteção da vegetação e reflorestamento (NASCIMENTO; VILLAÇA, 2008, p. 113). O índice traz como contribuição científica uma revisão de dados e informações que podem ser trabalhados em escala inferior à de um município (SILVA, 2016, p. 137).

O Estatuto da Cidade trouxe mudanças importantes, como a participação popular no planejamento, a obrigatoriedade do plano diretor em todo o município e a inclusão de diretrizes como sustentabilidade ambiental e gestão democrática. Também estabeleceu normas para regularização fundiária e ocupação por população de baixa renda.

O desafio dos planos de gestão municipal é a sobreposição desses objetivos, transformando-os em instrumentos que permitam monitorar o uso e ocupação do solo. A gestão por bacias hidrográficas atua como um meio de avaliar a situação da bacia, utilizando indicadores ambientais e antrópicos (SCHUSSEL; NASCIMENTO NETO 2015, p. 139).

O diagnóstico dos recursos hídricos municipais foi elaborado com base na organização das informações disponíveis e na avaliação da qualidade ambiental. Esse diagnóstico tem como objetivo fornecer o instrumental necessário para a formulação de indicadores de monitoramento ambiental tanto nas áreas urbanas quanto rurais do município (SCHUSSEL; NASCIMENTO NETO 2015, p. 139). Entretanto, a participação da comunidade é fundamental no planejamento desses processos.

3

SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BANABUIÚ

Localização e caracterização geográfica

A sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú se localiza na mesorregião do Sertão Central do estado do Ceará e está inserida em sua totalidade na região semiárida, que apresenta características fitogeográficas com limitações ambientais. Atualmente, a sub-bacia é composta atualmente por 15 municípios, a saber: Banabuiú, Boa Viagem, Ibicuitinga, Madalena, Mombaça, Monsenhor Tabosa, Morada Nova, Pedra Branca, Piquet Carneiro, Quixadá, Quixeramobim, Senador Pompeu, Milhã, Jaguaratama e Itatira. Tem uma área de drenagem de 19.316 km², correspondente a 13,37% do território cearense, sendo o Rio Banabuiú, o principal tributário do Rio Jaguaribe. São seus afluentes pela margem esquerda, os Rios Patu, Quixeramobim e Sitiá e pela margem direita apenas o riacho Livramento. Possui uma capacidade de acumulação de águas superficiais de 2.760.549.943 bilhões de m³, num total de 19 açudes públicos, públicos gerenciados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) - Gerência Regional de Quixeramobim, como pode ser observado na Tabela 1, a seguir.

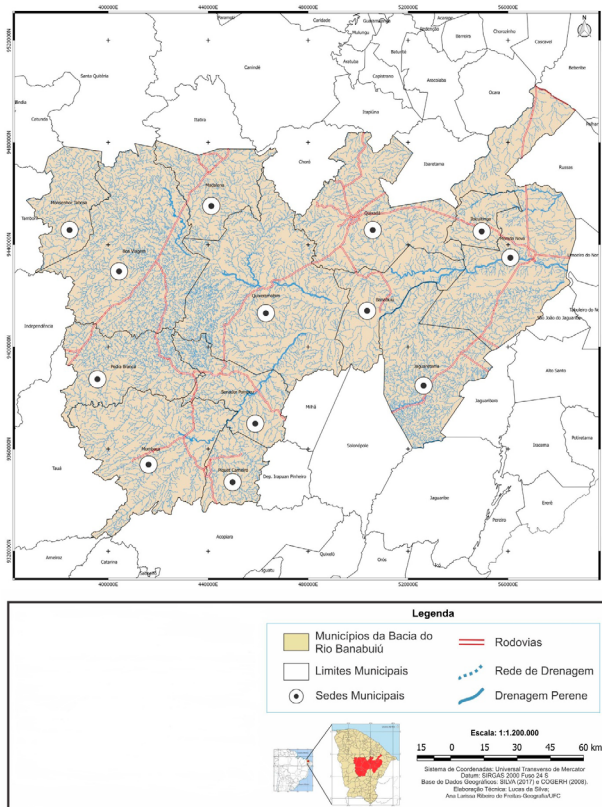
Tabela 1 - Capacidade de acumulação de águas superficiais dos açudes públicos da Sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

| AÇUDES | MUNICÍPIOS | CAPACIDADE (em m3) |
|---------------|----------------|--------------------|
| Banabuiú | Banabuiú | 1.600.999.936 |
| Pedra Branca | Quixadá | 434.040.000 |
| Cedro | Quixadá | 126.000.000 |
| Curral Velho | Morada Nova | 12.160.000 |
| Fogareiro | Quixeramobim | 118.820.000 |
| Cipoada | Morada Nova | 83.090.000 |
| Pirabibu | Quixeramobim | 74.000.000 |
| Patu | Senador Pompeu | 71.829.000 |
| Poço do Barro | Morada Nova | 54.700.000 |
| Quixeramobim | Quixeramobim | 54.000.000 |

| | | |
|------------------|------------------|----------------------|
| Serafim Dias | Mombaça | 43.000.000 |
| Umari | Madalena | 35.040.000 |
| São José II | Piquet Carneiro | 29.140.000 |
| Veirão | Boa Viagem | 20.960.000 |
| Trapiá | Pedra Branca | 18.190.000 |
| Monsenhor Tabosa | Monsenhor Tabosa | 12.100.000 |
| São José I | Boa Viagem | 7.670.000 |
| Capitão Mor | Pedra Branca | 6.310.000 |
| Jatobá | Milhã | 590.000 |
| TOTAL | | 2.687.840.000 |

Fonte: PORTAL COGERH (2023).

Figura 1 - Localização dos municípios que compõem a Sub-bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú



Fonte: Silva, 2017 (Adaptada).

Segundo Ceará (2009, p. 18) a sub-bacia do Banabuiú se encontra sobre uma superfície de aplainamento conservada ou moderadamente dissecada em colinas rasas ou em pequenos interflúvios tabulares, com os vales abertos e com mínima de amplitude altimétrica entre os fundos de vales e os interflúvios sertanejos, como altitude variando entre níveis de 89,0 a 725,0 metros. As maiores altitudes, a oeste, determinam o sentido oeste-leste da maior parte dos cursos d'água secundários que convergem para o rio principal.

Por ser uma sub-bacia inserida em uma área semiárida, sua drenagem apresenta rios e riachos intermitentes e sazonais, entre média e elevada, e, ainda, baixo potencial de águas subterrâneas, que ocorrem, na maioria dos casos, em sistemas de fraturas. Além disso, o alto curso do rio Banabuiú é encachoeirado, no qual são frequentes as corredeiras (CEARÁ, 2009, p. 18).

O clima é do tipo tropical quente semiárido com temperaturas médias anuais em torno dos 26°C a 28°C. Já a média pluviométrica anual se aproxima dos 700,0mm (SILVA; ALMEIDA, 2017, p.3).

Ainda segundo Silva e Almeida (2017, p. 6) o regime pluvial mensal e o da estação chuvosa na bacia hidrográfica do rio Banabuiú é irregular e a estação chuvosa dura de fevereiro a maio, e chove o equivalente a 70% do total anual.

Para Ceará (2009, p. 20) a sub-bacia apresenta um padrão geológico simples e seus terrenos são revestidos, basicamente, por caatinga degradada. Quanto aos aspectos geoecológicos, apresenta alto potencial natural, sendo a exploração biológica inevitável. Além disso, observa-se um predomínio de rochas do embasamento cristalino, representadas por gnaisses e migmatitos diversos, associados a rochas plutônicas e metaplutônicas de composição predominantemente granítica do pré-cambriano.

Já segundo Fuck Júnior (2008, p. 56) na área da sub-bacia, encontram-se sedimentos do período Quaternário nas Aluviões do rio Banabuiú, que são solos com grande potencial agrícola. No restante da área, predominam rochas do embasamento cristalino

Pré-Cambriano, onde encontramos Luvisolos, solos medianamente profundos e moderadamente ácidos, porém pedregosos e susceptíveis à erosão, e Planossolos Solódicos, solos rasos e susceptíveis à erosão, com fertilidade natural limitada. Também há manchas de Argissolos Eutróficos, solos medianamente profundos com grande potencial agrícola.

Em relação à vegetação da sub-bacia, os principais tipos de vegetação são a Caatinga Arbustiva Aberta no centro da bacia e a Caatinga Arbustiva Densa na maior parte das áreas leste e oeste da bacia (FUCK JÚNIOR 2008, p. 55).





OS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE GEOAMBIENTAL

Caracterização e sistematização dos Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental

Foram selecionados 33 indicadores com base no nível de influência que cada um exerce na sustentabilidade ambiental da área da referida sub-bacia. Esses indicadores foram obtidos através de sete dimensões: solos; clima; vegetação; geomorfologia; geologia; drenagem; e uso da terra.

Também foi considerada a contribuição de cada indicador para a manutenção da qualidade ambiental da área da sub-bacia, visando à disponibilidade de água para atividade agropecuária e consumo humano, além da contribuição para manutenção e desenvolvimento da cobertura vegetal da área da sub-bacia.

Esses indicadores foram divididos também como indicadores positivos e negativos, com base no tamanho das áreas de cada indicador por município, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Critérios de escolhas dos indicadores de Sustentabilidade Geoambiental dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



Fonte: Silva, 2017 (Adaptada).

Para a dimensão solos, foram considerados como indicadores apenas os dezesseis tipos mais frequentes nos municípios que compõem a sub-bacia. Esses solos foram classificados e categorizados em dois grupos: o primeiro, com seis tipos de solos e considerados positivos por oferecerem condições ambientais mínimas para a produção agrícola; e o segundo, com dez tipos e considerados negativos, por não oferecerem condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento agrícola, ou seja, são inadequados para uma agricultura convencional.

Os solos positivos, em geral, têm um índice de sustentabilidade geoambiental com boa permeabilidade, bem drenados, com baixa susceptibilidade à erosão e com presença de argila nos horizontes B e textura nos solos. Já os solos negativos são, geralmente, rasos, com pouca profundidade, salinos e apresentam problemas de drenagem.

Os grupos dos indicadores da dimensão solos selecionados são apresentados na Quadro 1, com suas respectivas categorizações (positivo ou negativo).

Quadro 1 - Indicadores para compor o índice de sustentabilidade geoambiental na dimensão “solos” dos municípios que compõem a sub-bacia Hidrográfica do rio Banabuiú.

| Indicadores | Categoria |
|--|-----------|
| Brunizem Avermelhado / Chernossolos | Positivo |
| Podzólico Vermelho Amarelo Álico / Argissolos | Positivo |
| Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico / Argissolos | Positivo |
| Podzólico Vermelho Amarelo Eutófico/ Argissolos | Positivo |
| Vertissolo / Vertissolos | Positivo |
| Brunizem Avermelhado / Chernossolos | Positivo |
| Afloramentos Rochosos / Neossolos | Negativo |
| Areias Quartzosas Distróficas / Neossolos | Negativo |
| Bruno Não Cálcio / Luvisolos | Negativo |
| Planossolo Solódico / Planossolos | Negativo |
| Planossolo Solódico e Não Solódico / Planossolos | Negativo |
| Regossolo Eutrófico/ Neossolo | Negativo |
| Solo Litólico Eutrófico /Neossolos | Negativo |

| | |
|--|----------|
| Solo Litólico Eutrófico e Distrófico / Neossolos | Negativo |
| Solonetz Solodizado / Planossolos | Negativo |
| Solos Aluviais Eutróficos / Neossolos | Negativo |

Fonte: Próprio autor.

Na dimensão vegetação foram considerados como indicadores os seis tipos mais frequentes nos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú, bem como a média do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

A utilização de informações de índices de vegetação geradas a partir de dados de sensoriamento remoto constitui uma importante estratégia para o monitoramento de alterações naturais ou antrópicas nos ecossistemas. O NDVI (razão entre a diferença das refletividades das bandas no infravermelho próximo e no vermelho, e a soma dessas mesmas refletividades) foi calculado, segundo a expressão abaixo:

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3}$$

Na expressão, ρ_4 e ρ_3 são as refletâncias das bandas 4 e 3, respectivamente. O NDVI é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação verde. Seus valores variam entre -1 e +1; superfícies verdes têm um NDVI entre 0 e 1, e a água e nuvens têm geralmente NDVI menor que zero.

Esses indicadores foram classificados e categorizados em dois grupos. Um, considerado positivo, com cinco tipos de vegetação que apresentam mais intensidade e maior porte e mais contribuem para a manutenção da dinâmica natural da biota e dos componentes ambientais da área de abrangência da sub-bacia. O outro, considerado negativo e composto por apenas um tipo de vegetação, por ter menor porte e menos abrangência. Isso se compara com as do grupo “positivo”, pois, mesmo sendo de cobertura menos intensa e de menor porte, contribui proporcionalmente com a manutenção da diversidade e qualidade ambiental da área da bacia em estudo.

Os grupos de vegetação selecionados como indicadores são apresentados na Quadro 2, com suas categorizações (positivo ou negativo).

Quadro 2 - Indicadores para compor o índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão vegetação dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

| Indicadores | Categoria |
|--|------------------|
| Caatinga Arbustiva Densa | Positivo |
| Complexo Vegetacional da Zona Litorânea | Positivo |
| Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea) | Positivo |
| Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca) | Positivo |
| Floresta Mista Dicotilo-Palmaceae (Mata Ciliar com Carnaúba) | Positivo |
| NDVI | Positivo |
| Caatinga Arbustiva Aberta (%) | Negativo |

Fonte: Próprio autor.

Para a dimensão clima, foram considerados como indicadores sete tipos de condições climáticas, que contribuem significativamente para a manutenção dos componentes naturais e ambientais dos municípios que compõem a sub-bacia.

Entre os componentes do clima, foram selecionados principalmente os relacionados à disponibilidade hídrica, por meio da precipitação e evapotranspiração, por se tratar de uma área inserida na região semiárida, onde a água é um fator limitante e, ao mesmo tempo, essencial para o desenvolvimento da região, que apresenta uma alta variabilidade espacial e temporal de sua precipitação, baixa capacidade de retenção de umidade no solo e elevado *déficit* hídrico. Além da precipitação, foram selecionados o número de focos de calor (queimadas) e o índice de aridez, este último também relacionado com a precipitação.

Esses indicadores foram classificados e categorizados em dois grupos: um com quatro categorias consideradas positivas e outro com três consideradas negativas. Os positivos são aqueles que, quanto maior seu valor, mais contribuirão para a manutenção dos componentes ambientais da área da sub-bacia. Já os negativos, são aqueles que, quanto maiores seus valores, menos contribuirão para a manutenção dos componentes ambientais e, conseqüentemente, para a sustentabilidade geoambiental da sub-bacia. (ver Quadro 3),

Quadro 3 - Indicadores para compor o índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão clima dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

| Indicadores | Categoria | Fonte |
|---|-----------|---------|
| Média Anual de Precipitação (mm) | Positivo | FUNCEME |
| Precipitação Máxima Anual (mm) | Positivo | FUNCEME |
| Precipitação Mínima Anual (mm) | Positivo | FUNCEME |
| Probabilidade de 75% de precipitação (mm) | Positivo | - |
| Número de focos de calor (Queimadas) | Negativo | FUNCEME |
| Índice de Aridez | Negativo | FUNCEME |
| Evapotranspiração de Referência ET0 (mm) | Negativo | FUNCEME |

Fonte: Próprio autor.

Os indicadores da dimensão clima foram obtidos através da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos do Governo do Estado do Ceará – FUNCEME. No entanto, os resultados das médias anuais das precipitações e da precipitação máxima e mínima anual foram calculados com base nas médias mensais dos dados de precipitação disponibilizados pelo órgão citado. Já a probabilidade (empírica) de 75% de precipitação foi determinada a partir desses dados, analisados e ordenados em ordem crescente e determinados mediante a equação abaixo, cuja legenda encontra-se logo a seguir.

$$\text{Pr}(\%) = N/n + 1.$$

Pr = a probabilidade de ocorrência da chuva, em %;

N = número de ordem dos dados agrupados;

n = número total de anos da série.

Para a dimensão geomorfologia, foram considerados como indicadores sete unidades geomorfológicas da área de estudo, conforme Quadro 4. Esses indicadores foram classificados em duas categorias. A primeira com quatro unidades consideradas positivas por apresentarem características ambientais que contribuem para a sustentabilidade da área. A segunda, com duas unidades consideradas negativas, por apresentarem características ambientais que, de alguma forma,

apresentam limitações ao uso agrícola e ambiental, impedindo os municípios de alcançarem a sustentabilidade geoambiental e, conseqüentemente, interferirem negativamente na sustentabilidade da sub-bacia.

Quadro 4 - Indicadores para compor o índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão geomorfologia dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

| Indicadores | Categoria |
|---|------------------|
| Corpo de água continental | Positivo |
| Planícies e Terra Fluviais | Positivo |
| Superfície Rebaixada do Vale do Rio Açú | Positivo |
| Serra Branca | Positivo |
| Serra do Machado e das Matas | Positivo |
| Depressão Sertaneja Setentrional | Negativo |
| Patamar Sertanejo de Tauá | Negativo |

Fonte: Próprio autor.

Para a dimensão geologia, foram considerados como indicadores três classes litológicas: i) rochas sedimentares (com quatro tipos);
ii) rochas metamórficas (com dezesseis tipos); e
iii) ígneas ou magmáticas (com dezessete tipos).

As rochas foram aglutinadas em classes por apresentarem características semelhantes capazes de influenciar na sustentabilidade geoambiental da sub-bacia, levando em consideração a limitação e capacidade de retenção da água e a susceptibilidade à erosão das classes litológicas.

Conforme é apresentado na Quadro 5, essas classes também foram classificadas como negativa e positiva, de acordo com o nível de contribuição para a manutenção dos componentes naturais e ambientais dos municípios.

Quadro 5 - Indicadores para compor o índice de sustentabilidade da dimensão geologia dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográficado rio Banabuiú.

| Indicadores (Classe de litologia) | Litologia | Categoria |
|--|--|------------------|
| Sedimentar | Arenitos e conglomerados - Argilas, areias argilosas e cascalhos - Conglomerados e arenitos - Sedimentos argilo-arenosos | Positivo |
| Metamórfica | Formaes ferríferas/itabiritos - Gnaisses, migmatitos e anfibolitos – Metacalcários - Micaxistos, metamigmatitos e quartzitos - Migmatitos e ortognaisses - Ortognaisses migmatizados, paragnaisses e anfibolitos - Ortognaisses, migmatitos e metamícticas - Paragnaisses e micaxistos - Paragnaisses e ortognaisses graníticos - Paragnaisses, micaxistos, quartzitos e metacalcários - Paragnaisses, micaxistos e metacalcários - Paragnaisses, micaxistos, quartzitos e metacalcários – Quartzitos - Quartzitos, micaxistos e metaconglomerados - Sequência para derivada - Sequência plutono-vulcanos sedimentar | Positivo |
| Ígneas / magmática | Anfibolitos e/ou anfibolito gnaiss – Augen orto-gneisse granítico – Dioritos - Dioritos e gabros - Dioritos e granitides - Dioritos, gabros e tonalitos – Granitides - Granitides cinzentos - Granitos e granodioritos - Granitos, migmatitos e paraderivadas – Metacarbonatos – Metagabros - Metagabros– Metarriolitos – Metaultramáficas - Ortognaisses granito-granodioríticos - Ortognaisses migmatizados e paraderivadas. | Negativo |

Fonte: Próprio autor.

Pela importância da rede de drenagem para a manutenção dos ecossistemas das bacias hidrográficas, optou-se por considerar os aspectos morfométricos da drenagem de cada município que compõe a sub-bacia, como indicadores na dimensão drenagem (ver Quadro 6).

Quadro 6 - Indicadores para compor o índice de sustentabilidade da dimensão drenagem dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

| Indicadores | Categoria |
|------------------------------|------------------|
| Área (km ²) | Positivo |
| Índice de circularidade | Positivo |
| Densidade hidrográfica | Positivo |
| Densidade de drenagem | Positivo |
| Índice de sinuosidade | Positivo |
| Coefficiente de compactidade | Negativo |
| Coefficiente de manutenção | Negativo |

Fonte: Próprio autor.

Nesta dimensão, foram considerados sete aspectos, sendo cinco positivos e dois negativos.

Os positivos são os que apresentam menos possibilidades de enchentes e inundações, como área de drenagem, índice de circularidade, densidade hidrográfica, densidade de drenagem e índice de sinuosidade. Esses indicadores, quando apresentam valores mais elevados, favorecem, em geral, a manutenção dos ecossistemas por apresentarem menos possibilidades de enchentes e inundações.

Já os indicadores considerados como negativos nessa dimensão foram aqueles que quanto maior for seu valor, mais tem possibilidade de ocorrências de enchentes e inundações, o que compromete o equilíbrio dos ecossistemas ambientais. Nessa categoria foram selecionados o coeficiente de compacidade e o coeficiente de manutenção da drenagem de cada município que compõe a sub-bacia em análise.

Para obtenção da drenagem dos municípios, foram utilizados dados SRTM baixados no site da EMBRAPA. Foram selecionadas as folhas SA-24-Y-D, SA-24-Z-C, SB-24-V-B, SB-24-X-A, SB-24-X-B, SB-24-V-D e SB-24-X-C. No software, foi realizada a mosaicagem e a re-projeção para coordenadas planas - SIRGAS 2000 - 24/S, para então começarem os procedimentos da análise de terreno. A drenagem foi delimitada do SAGA GIS, extensão do QGIS, em Terrain Analysis – Hydrology, no algoritmo Fill Sinks (wang e Liu).

Os indicadores dessa dimensão foram calculados com base nas fórmulas de Horton (1945), Strhaler (1952) e Christofolletti (1980).

Já para a dimensão uso da terra, foram consideradas seis classes de uso e ocupação do solo como indicadores, sendo três positivos e três negativos. Foram considerados como positivos: classes com aspectos ambientais que, de alguma forma, evidenciam e potencializam algum grau de conservação nas condições atuais dos ecossistemas dos municípios que compõem a sub-bacia. Essas classes foram os corpos hídricos, a presença da vegetação nativa preservada, a vegetação arbustiva densa e a vegetação arbustiva aberta, conforme se verifica na (Quadro 7).

Quadro 7 - Indicadores para compor o índice de sustentabilidade da dimensão uso da terra dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

| Indicadores | Categoria |
|----------------------------|------------------|
| Corpos Hídricos | Positivo |
| Vegetação arbustiva densa | Positivo |
| Vegetação arbustiva aberta | Positivo |
| Solos expostos/área urbana | Negativo |
| Vegetação arbustiva rala | Negativo |
| Agricultura Convencional | Negativo |

Fonte: Próprio autor.

A Quadro 7 ainda apresenta as classes que foram consideradas como negativas, a saber: solos expostos/área urbana, vegetação arbustiva rala e área com agricultura convencional, Essas classes são consideradas negativas porque não utilizam práticas sustentáveis em seu manejo e, de alguma forma, potencializam a degradação ambiental da área de estudo; isso considerando as ações antrópicas no funcionamento e no atual grau de desequilíbrio ambiental de cada município que compõe a sub-bacia em estudo.

Para obtenção das classes de uso da terra foi realizado um tratamento da imagem do satélite LANDSAT-8, com resolução espacial de 30m no soft realizado no ENVI 4.8, na qual foi realizada a composição e classificação automática não supervisionada pelo *Classification*, com SCALE LEVEL 60 e MERGE LEVEL 40. No QGIS, os vetores exportados foram unificados de acordo com as classes predefinidas, e as áreas das classes de cada município que compõe a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú foram calculadas.

Análise dos Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão solos dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú

Nesta dimensão foram considerados como indicadores dezesseis tipos de solos mais frequentes nos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú. Estes podem ser observados na

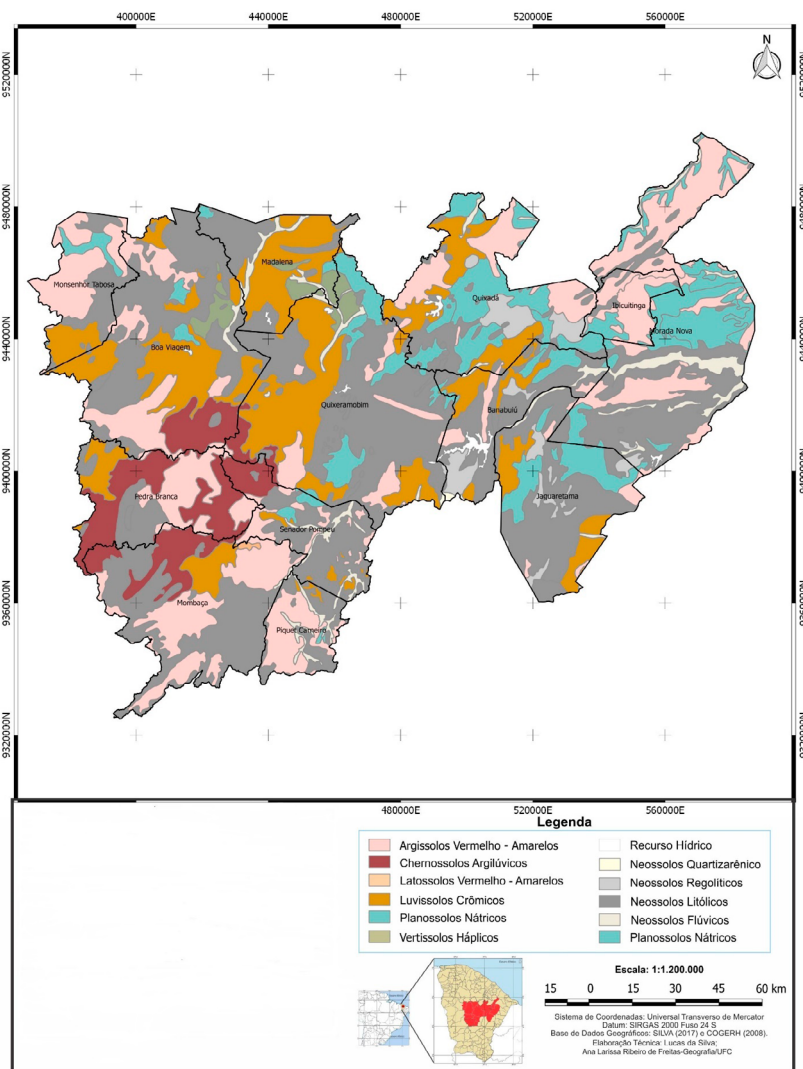
Figura 3 e na Tabela 2, com a quantidade em porcentagem (área) de todos os municípios. Essa quantidade é a relação de cada solo presente em cada município.

Quanto maior for à relação dos solos classificados como positivos, maior a participação na sustentabilidade geoambiental da sub-bacia. Já para os solos classificados como negativos, quanto maior for o valor do indicador, menos será sua contribuição na sustentabilidade geoambiental. Com isso, é possível perceber a contribuição de cada um deles na construção do Índice de Sustentabilidade Geoambiental de cada município da dimensão solos. A distribuição espacial desses solos pode ser também observada na Figura 3.

Entre os solos classificados como positivos, o Podzólico Vermelho Amarelo Eutófico (Argissolos) é a classe de solo de maior expressão geográfica entre os municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú e a terceira, considerando todos os solos (positivos e negativos). Ele está presente em cinco municípios: Pedra Branca; Mombaça; Senador Pompeu; Boa Viagem; e Quixeramobim. Destes, destaca-se Pedra Branca, pois possui esse solo em 42% de seu território. Também é bastante presente nos municípios de Mombaça e Senador Pompeu, correspondendo a 15% e 14%, respectivamente.

Os municípios de Boa Viagem e Quixeramobim são os que apresentam menores porcentagens do solo Podzólico Vermelho Amarelo Eutófico: 9,6% e 2,8% de seus solos, respectivamente. Essa expressividade na presença desta classe de solos é porque este tipo ocorre em diferentes posições na paisagem e apresenta variações das características pedológicas (morfológica, física e química), que afetam seu potencial de uso agrícola, e em geral são pobres em nutrientes, (QUEIROZ, 2019, p. 47). No entanto, de acordo com o mesmo autor, mesmo os solos considerados altamente restritivos e impróprios para a agricultura podem ser usados de forma não intensiva como pastagem natural, sem remover a vegetação nativa.

Figura 3 - Solos dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



Fonte: Silva, 2017 (Adaptada).

Tabela 2 - Valores dos tipos de solos (indicadores) selecionados para formular o Índice de Sustentabilidade Geoambiental - dimensão “solos” dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

| CATEGORIAS | INDICADORES (%) | Banabuiú | Boa Viagem | Ibicuitinga | Jaguaretama | Madalena | Mombaça | Monsenhor Tabosa | Morada Nova | Pedra Branca | Piquet Carneiro | Quixadá | Quixeramobim | Senador Pompeu |
|------------|--|----------|------------|-------------|-------------|----------|---------|------------------|-------------|--------------|-----------------|---------|--------------|----------------|
| | | | | | | | | | | | | | | |
| POSITIVO | Brunizem Avermelhado / Chernossolos | 0 | 9,6 | 0 | 0 | 0 | 15,6 | 0 | 0 | 42,8 | 0 | 0 | 2,8 | 14 |
| | Podzólico Vermelho Amarelo Álico / Argissolos | 7,1 | 0 | 0 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 9,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico / Argissolos | 1,3 | 0 | 46,5 | 2,4 | 0 | 0 | 0 | 1,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico / Argissolos | 0 | 18,3 | 21 | 1,1 | 0 | 31,6 | 48,6 | 20,6 | 28 | 51,8 | 21,9 | 8,1 | 14,8 |
| | Vertissolo / Vertissolos | 0 | 3,2 | 0 | 0 | 8,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,4 | 0 |
| | Brunizem Avermelhado / Chernossolos | 0,2 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 1 | 0 | 1,4 | 1,5 | 0,7 |
| NEGATIVO | Afloramentos Rochosos / Neossolos | 0,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0 |
| | Areias Quartzosas Distróficas / Neossolos | 18,5 | 25,8 | 0 | 14,3 | 48 | 6,9 | 16,2 | 0 | 10,4 | 2,7 | 20,4 | 28,9 | 5,6 |
| | Bruno Não Cálcio / Luvisolos | 7 | 0,9 | 13,7 | 0 | 2,6 | 0 | 8,3 | 10,2 | 0 | 0 | 19,5 | 8,1 | 2 |
| | Planossolo Solódico / Planossolos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,3 | 0 | 0,3 | 2,4 |
| | Planossolo Solódico e Não Solódico / Planossolos | 10,9 | 0 | 1,4 | 7,2 | 0 | 0 | 0 | 0,7 | 0 | 33,2 | 10 | 0,1 | 0 |
| | Regossolo Eutrófico / Neossolo | 41,5 | 39,2 | 4,6 | 19,3 | 33,1 | 44,9 | 26,9 | 31,6 | 17,8 | 0 | 10,3 | 43,8 | 53 |
| | Litólico Eutrófico / Neossolos | 6,3 | 0,6 | 4 | 35,5 | 0 | 0 | 0 | 1,9 | 0 | 0 | 1,7 | 0,5 | 0 |
| | Litólico Eutrófico e Distrófico / Neossolos | 3,5 | 0,9 | 8,8 | 18,3 | 0 | 0 | 0 | 15,8 | 0 | 0 | 13,6 | 1,9 | 0 |
| | Solonetz Solodizado / Planossolos | 2,9 | 1 | 0 | 1,6 | 7,6 | 0,4 | 0 | 7,9 | 0 | 11 | 1,3 | 1,5 | 7,5 |
| | Aluviais Eutróficos / Neossolos | 0 | 9,6 | 0 | 0 | 0 | 15,6 | 0 | 0 | 42,8 | 0 | 0 | 2,8 | 14 |

Fonte: COGERH (2008).

O solo Podzólico Vermelho Amarelo Álico/Argissolos corresponde a cerca de 1,8% dos solos da sub-bacia e está presente em apenas três municípios. Esse tipo de solo representa 9,4% dos solos do município de Morada Nova, 7,1% dos solos do município de Banabuiú, e 0,3 % dos solos do município de Jaguaratama.

Já o solo Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico/Argissolos corresponde a 1,14% dos solos da sub-bacia. Esse solo possui maior representatividade no município de Ibicuitinga (46,5%). Nos demais municípios, tal solo é pouco presente, representando apenas 2,4 % dos solos do município de Jaguaratama, 1,7 dos de Morada Nova, e 1,3% dos de Banabuiú.

O solo Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico/Argissolos é, entre os indicadores positivos, o de maior abrangência nos municípios que compõem a sub-bacia. Apenas dois municípios não apresentam esse tipo de solo: Banabuiú e Madalena. No entanto, é o tipo de solo mais abrangente no município de Piquet Carneiro, representando 51,8% de seus solos. Também é bastante presente nos municípios de Monsenhor Tabosa, com 48,6%, Mombaça, com 31,6%, Pedra Branca, com 28%, e Quixadá, com 21,9%.

Os solos Podzólico Vermelho Amarelo são frequentemente encontrados em áreas elevadas, como morros e encostas, em paisagens com relevo mais acidentado. Eles são derivados de rochas como gnaiesses e granitos, que contêm uma quantidade significativa de cascalho distribuído em todo o perfil. Esses solos costumam ser profundos, com textura geralmente arenosa ou média no horizonte A e argilosa ou média no horizonte B. Além disso, possuem uma fertilidade natural maior. B (OLIVEIRA et al., 2003, p. 1393).

Quanto aos solos Vertissolo/Vertissolos, percebe-se que são pouco presentes nos municípios estudados, aparecem em apenas três deles: Madalena (8,7%); Boa Viagem (3,2%); e Quixeramobim (2,4%).

Os Vertissolos apresentam baixa permeabilidade, o que limita a drenagem. Esses solos são encontrados em regiões planas, levemente onduladas, depressões e áreas onde existiram lagoas no passado. São

solos minerais que não são hidromórficos ou têm restrição temporária à percolação de água. Eles contêm 30% ou mais de argila ao longo do perfil e sofrem mudanças significativas de volume com a variação da umidade. As características morfológicas distintivas dos Vertissolos incluem fendas de retração amplas e profundas que se formam desde o topo do perfil durante períodos secos, assim como superfícies de fricção (slickensides) em seções mais internas do perfil, que possuem unidades estruturais grandes e inclinadas em relação à vertical (CUNHA et al., 2021, p. 1).

Já o solo Brunizem Avermelhado/Chernossolos representa 7% dos solos dos municípios da sub-bacia, sendo o quarto mais representativo. Está presente em Banabuiú, Boa Viagem, Morada Nova, Pedra Branca, Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu. No entanto, essa presença é pouco significativa comparada com outros solos, variando entre 0,2 e 1,5%.

Os solos Brunizem Avermelhado/Chernossolos são caracterizados por terem uma drenagem adequada e uma profundidade que varia de média a rasa, com textura argilosa, relevo forte ondulado e montanhoso (CUNHA et al., 2021, p. 1).

O grupo dos indicadores negativos apresentou maior variedade de solos, sendo o solo Litólico Eutrófico/Neossolo o mais representativo, com 37% dos solos da sub-bacia, estando presente em sete municípios. Destes, destaca-se Jaguarétama, onde 35,5% de seus solos correspondem ao Litólico Eutrófico/Neossolo, enquanto os demais municípios variaram entre 0,6 e 6,5% de seus solos com essa classe.

O solo Litólico Eutrófico e Distrófico representa 0,76% dos solos dos municípios estudados; no entanto, está presente em sete municípios. Possui presença mais significativa em Jaguarétama (18,3%), Morada Nova (15,8%), Quixadá (13,6%) e Ibicuitinga (8,8%). Os dois últimos tipos de solos citados, segundo Ceará (2015) são pouco desenvolvidos, de rasos a muito rasos, possuindo apenas um horizonte A assente, diretamente, sobre a rocha (R) ou sobre materiais desta rocha em grau mais adiantado de intemperização, constituindo um horizonte.

Ainda de acordo com a FUNCEME (2022) possuem drenagem variando de moderada a acentuada e são, comumente, bastante suscetíveis à erosão, em decorrência de suas reduzidas espessuras. Tais solos se caracterizam por ter um comportamento extremo em relação aos períodos de chuva e de seca: quando na estiagem, ressecam-se e fendilham-se, tornando-se extremamente duros; quando úmidos, tornam-se encharcados, muito plásticos e muito pegajosos, dificultando o manejo e uso de máquinas agrícolas e, com isso, têm baixo potencial para uso agrícola, apresentando, portanto, problemas relacionados com suas condições físicas (FUNCEME, 2022).

O solo Bruno Não Cálcico / Luvisolos Crômico é o segundo mais representativo entre os municípios que compõem a sub-bacia. Representando cerca de 18% dos solos, está presente na maioria dos municípios, sendo mais significativo em Quixadá com (19,5%), Ibi-cuitinga com (13,7%), Morada Nova com (10,2%), Monsenhor Tabosa com (8,3%) e Banabuiú (7%).

Para (FUNCEME (2022) os solos Bruno Não cálcico apresentam forte limitação ao uso agrícola, pela falta d'água, além de serem muito suscetíveis à erosão, com presença de pedregosidade superficial frequentemente e, muitas vezes, dentro da massa do solo, dificultando, em muito, a mecanização. Além disso, quando utilizada a irrigação, apresentam ocorrência e teores bastante significativos de sódio em profundidade, principalmente nos Brunos vérticos (FUNCEME, 2022).

Já para Manzatto, Junior; Peres (2002, p. 4) os Luvisolos compreendem solos com elevada fertilidade natural, dotados de argilas com alta capacidade de retenção de íons trocáveis (argila de atividade alta) e saturação por bases também altas (elevada capacidade de retenção de nutrientes) nos horizontes subsuperficiais, imediatamente abaixo de horizontes do tipo A, com baixos teores de matéria orgânica, pouco espessos e com nível de capacidade de retenção de nutrientes de baixa a média. Por outro lado, segundo Oliveira (2008), esses tipos de solos, em geral, têm pouca profundidade, são pedregosos com predominância morfo genética sobre a pedogênese.

O solo Planossolo Solódico e Não Solódico/Planossolos corresponde a menos de 2% dos solos dos municípios da sub-bacia; no entanto, está presente na maioria dos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú. O município de Piquet Carneiro apresenta mais quantidade (33,2%), seguido pelos municípios de Banabuiú (10,9%), Quixadá (10%) e Jaguaratama (7,2%). Os demais municípios não ultrapassaram 1,4% de seus solos com essa classe.

O solo Planossolo Solódico/Planossolos é o quinto mais frequente, representando 5% dos solos dos municípios pesquisados. No entanto, ele é encontrado em apenas três municípios e representa muito pouco em relação aos demais solos: corresponde a apenas 2,4% dos solos do município de Senador Pompeu; 1,3% dos solos de Piquet Carneiro; e 0,3% do município de Quixeramobim.

O Solonetz Solodizado/Planossolos é o sexto solo mais frequente, representando 4,6% dos solos dos municípios da sub-bacia. No entanto, ele é encontrado em quase todos os municípios pesquisados, não estando presente apenas nos municípios de Ibicuitinga e Pedra Branca, variando entre 1,3% a 7,9% dos solos.

Esses últimos três solos são classificados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) no grupo dos Planossolos. Segundo (FUNCEME, 2022) a classe compreende os solos com horizonte B textural, que, em geral, apresenta argila de atividade alta, saturação com sódio entre 6 e 15% nos horizontes Bt e/ou C. Esses horizontes mostram subsuperficiais feições associadas à umidade (mosqueado e/ou cores de redução), em face da drenagem imperfeita, apresentando problemas de encharcamento durante o período chuvoso e ressecamento e fendilhamento durante a época seca. São suscetíveis à erosão nas condições climáticas características da região semiárida, pela presença de horizontes superficiais arenosos e aumento do teor de argila em profundidade (MANZATTO; JUNIOR; PERES, 2002, p.5).

Os Planossolos também são fortemente limitados pela falta d'água em áreas semiáridas, devendo-se considerar, também, a saturação com sódio elevada, nos horizontes subsuperficiais, fator de restrição importante para a maioria das culturas (FUNCEME, 2022).

O solo Regossolo Eutrófico/Neossolo encontra-se presente em doze dos treze municípios pesquisados. Apenas Piquet Carneiro não apresenta entre seus solos o Regossolo Eutrófico/Neossolo. A presença deste solo é muito significativa em todos os municípios da sub-bacia, variando entre 4,6% e 53%. Representa mais de 30% dos solos dos municípios de Senador Pompeu (53%), Quixeramobim (48%), Mombaça (44,9%), Banabuiú (41%), Boa Viagem (39,2%), Madalena (33,1%) e Morada Nova (31,6).

Já o Litólico Eutrófico/Neossolos está presente em sete municípios, sendo mais significativo e mais presente no município de Jaguaratama (35,5%). Já nos demais municípios não ultrapassa 7%, variando entre 0,5% e 6,3%.

Em contrapartida, o solo Litólico Eutrófico e Distrófico/Neossolos está presente em seis municípios, variando entre 0,9% e 18,3%, sendo mais presente nos municípios de Jaguaratama (18,3%), Morada Nova (15,8%) e Quixadá (13,6%), do total dos solos de cada um desses municípios.

O solo Aluviais Eutróficos/Neossolos está presente em apenas cinco municípios, sendo mais significativo em Pedra Branca (48%) de seus solos. Na sequência, têm-se Mombaça (15,6%); Senador Pompeu (14%); Boa Viagem (9,6%); e Quixeramobim (2,8%).

O solo Areia Quartzosa Distrófica/Neossolos só não está presente nos municípios de Ibicuitinga e Morada Nova. Nos municípios em que está presente variou entre 2,7% e 48%. Destes, Madalena apresentou maior presença com 48%.

Os solos do grupo do Neossolos, pela classificação do SiBCS, em geral, se formam em função das condições do ambiente semiárido, com significativa participação do fator ativo clima. São pouco desenvolvidos e não passaram por grandes mudanças em relação ao material original. Eles se diferenciam principalmente pelo tipo de material de origem e pela paisagem em que são encontrados, como depósitos sedimentares e regiões com relevo acidentado (MANZATTO; JUNIOR; PERES, 2002, p. 4).

Para Almeida (2012, p. 89), os solos Neossolos Litólicos são considerados os mais susceptíveis à erosão e, quando localizados em altas declividades, amplia-se o potencial de degradação, o que pode desencadear processo de desertificação. São solos pouco profundos, com menos de 50cm de espessura, e geralmente têm uma fina camada de material terroso sobre a rocha (MANZATTO; JUNIOR; PERES, 2002, p. 4).

Quanto aos solos Litólicos são altamente vulneráveis à erosão, especialmente quando encontrados em áreas com declives acentuados, o que aumenta o risco de degradação e contribui para o processo de desertificação. Almeida (2012, p. 89). Os Neossolos Flúvicos são solos formados a partir de sedimentos depositados por rios. Esses solos geralmente apresentam uma camada superficial escurecida sobre camadas estratificadas (MANZATTO; JUNIOR; PERES, 2002, p. 4).

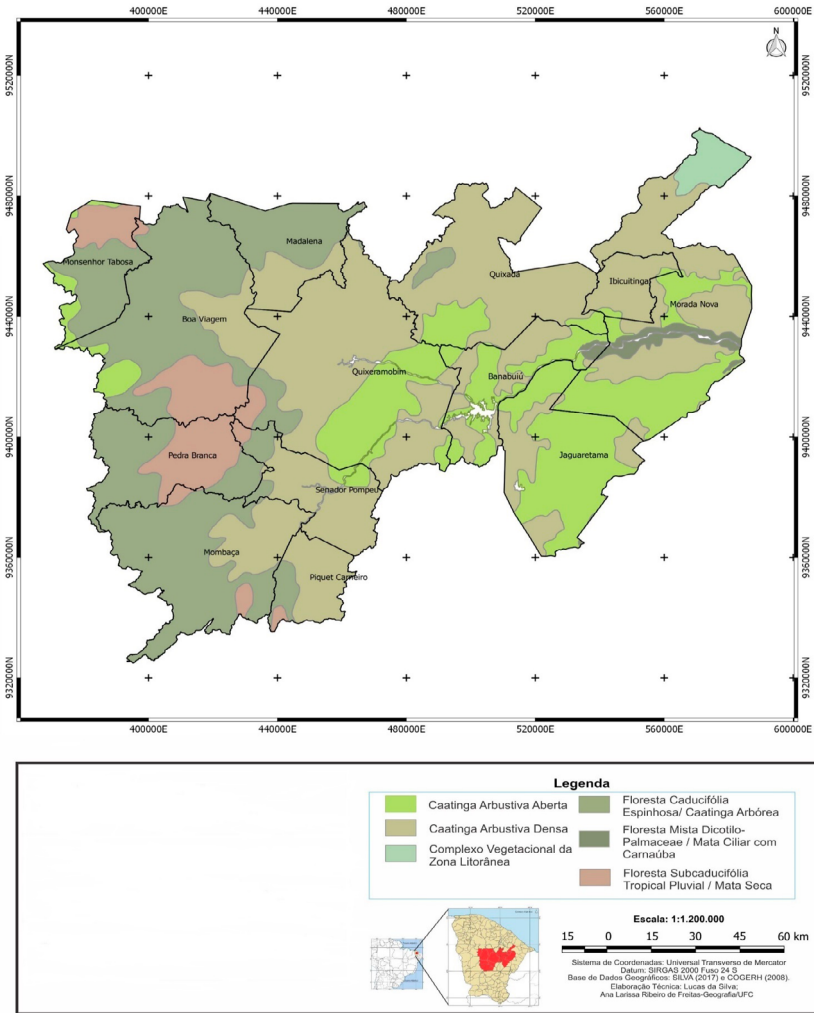
Análise dos Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão vegetação dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú

Como indicadores da dimensão vegetação, foram considerados os seis tipos de vegetação mais frequentes nos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú, como também a média do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Essas coberturas vegetais foram classificadas e categorizadas em dois grupos: um com cinco tipos de vegetação mais NDVI, considerados como positivos; e outro, composto por um tipo de vegetação, considerado como negativo.

Na Figura 4 são apresentados os tipos de vegetações (área) de todos os municípios que compõem a sub-bacia. Já na Tabela 3, são apresentadas as percentagens das vegetações, proporcionais para cada município que compõe a sub-bacia. Quanto maior for a relação dos indicadores da vegetação classificados como positivos, maior a participação na sustentabilidade geoambiental da sub-bacia, nesta di-

menção. Já para a vegetação classificada como negativa, quanto maior for à relação dos indicadores, menos será sua contribuição na sustentabilidade geoambiental da sub-bacia. Com isso, é possível perceber a contribuição de cada um deles na construção do índice de sustentabilidade geoambiental de cada município na dimensão vegetação.

Figura 4 - Vegetação dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú



Fonte: Silva, 2017 (Adaptada).

Tabela 3 - Valores dos indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental - dimensão vegetação dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

| CATEGORIAS | INDICADORES VEGETAÇÃO (%) | Banabuiú | Boa Viagem | Ibicuitinga | Jaguaretama | Madalena | Mombaça | Monsenhor Tabosa | Morada Nova | Pedra Branca | Piquet Carneiro | Quixadá | Quixeramobim | Senador Pompeu |
|--|--|----------|------------------------------|-------------|-------------|----------|---------|------------------|-------------|--------------|-----------------|---------|--------------|----------------|
| | | POSITIVO | Caatinga Arbustiva Densa (%) | 45,4 | 14,7 | 93,2 | 27,2 | 32,6 | 23,7 | 0 | 50,1 | 0,5 | 24 | 81,3 |
| Complexo Vegetacional da Zona Litorânea (%) | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Floresta Caducifolia Espinhosa (Caatinga Arbórea) (%) | 0 | | 62,9 | 0 | 0 | 67,4 | 72,3 | 82,6 | 0 | 59,9 | 62 | 3,9 | 6,9 | 13,7 |
| Floresta Subcaducifolia Tropical Pluvial (Mata Seca) (%) | 0 | | 16,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 39,6 | 14 | 0 | 3,1 | 3,5 |
| Floresta Mista Dicotilo-Palmaceae (Mata Ciliar com Carnaúba) (%) | 3,4 | | 0 | 0 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 6,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) | 0,20 | 0,21 | 0,34 | 0,28 | 0,23 | 0,22 | 0,18 | 0,34 | 0,24 | 0,23 | 0,18 | 0,23 | 0,24 |
| NEGATIVO | Caatinga Arbustiva Aberta (%) | 51,2 | 5,6 | 6,8 | 72,6 | 0 | 0 | 17,4 | 33,2 | 0 | 0 | 14,8 | 3,3 | 7,8 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: COGERH (2008).

Entre as vegetações do grupo positivo, a cobertura vegetal mais frequente é a Caatinga Arbustiva Densa, representando 42% das vegetações dos municípios que compõem a sub-bacia. Essa vegetação se caracteriza, segundo Egler (1951), pela grande presença de arbustos ramificados e tortuosos, com adensamento do estrato arbustivo em

algumas árvores. Esse adensamento, segundo o mesmo autor, se faz de forma contínua e homogênea, somente se mostrando mais rarefeito nos locais de afloramentos rochosos. Essa vegetação só não está presente de forma significativa no município de Monsenhor Tabosa.

Os municípios que apresentaram maiores abrangências desta vegetação foram: Ibicuitinga (93,2%); Quixeramobim (86,7%); Quixadá (81,3%); Senador Pompeu (75%); e Morada Nova (50,1%). Com esses valores, são os municípios com maior contribuição para o índice de sustentabilidade geoambiental da sub-bacia, considerando apenas a dimensão vegetação.

Já os municípios de Pedra Branca, Boa Viagem e Mombaça são os que apresentam as menores taxas, sendo o município de Pedra Branca com apenas 0,5% dessa vegetação, mostrando-se como o menos sustentável neste indicador.

Os municípios de Banabuiú, Madalena, Jaguaratama, Piquet Carneiro e Mombaça apresentaram percentuais que variaram entre 45,4% e 23,7%. Com esses dados, constata-se que contribuem, de forma significativa, para o aumento do índice de sustentabilidade geoambiental dos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú, nesta dimensão.

A vegetação Complexo Vegetacional da Zona Litorânea é encontrada apenas no município de Morada Nova e representa apenas 9,8% de cobertura vegetal deste município.

A Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea) representa certa de 30% da cobertura vegetal dos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú, sendo a segunda cobertura vegetal mais presente entre os municípios analisados. “A caatinga arbórea é constituída predominantemente por árvores, alcançando de 8,0 a 10,0 metros de altura” (RIZZINI, 1979). Segundo Fernandes e Bezerra (1990), esse tipo de vegetação apresenta três estratos: um arbóreo, com representantes de 8 a 12m de altura; outro arbustivo/subarbustivo, com indivíduos de 2 –5 m; e, finalmente, um herbáceo geralmente de caráter anual ou efêmero, muito pobre em espécies.

A Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca) está presente em apenas quatro municípios e representa 6,2% da vegetação dos municípios estudados. A mata seca é um tipo de vegetação natural que é caracterizada pela composição florística, cujos representantes não costumam ocorrer na área das caatingas.

Entre as vegetações do grupo positivo, a cobertura vegetal mais frequente é a Caatinga Arbustiva Densa, representando 42% das vegetações dos municípios que compõem a sub-bacia. Essa vegetação se caracteriza, segundo Egler (1951, p. 69) pela grande presença de arbustos ramificados e tortuosos, com adensamento do estrato arbustivo em algumas árvores. Esse adensamento, segundo o mesmo autor, se faz de forma contínua e homogênea, somente se mostrando mais rarefeito nos locais de afloramentos rochosos. Essa vegetação só não está presente de forma significativa no município de Monsenhor Tabosa.

Os municípios que apresentaram maiores abrangências desta vegetação foram: Ibicuitinga (93,2%); Quixeramobim (86,7%); Quixadá (81,3%); Senador Pompeu (75%); e Morada Nova (50,1%). Com esses valores, são os municípios com maior contribuição para o índice de sustentabilidade geoambiental da sub-bacia, considerando apenas a dimensão vegetação.

Já os municípios de Pedra Branca, Boa Viagem e Mombaça são os que apresentam as menores taxas, sendo o município de Pedra Branca com apenas 0,5% dessa vegetação, mostrando-se como o menos sustentável neste indicador.

Os municípios de Banabuiú, Madalena, Jaguaratama, Piquet Carneiro e Mombaça apresentaram percentuais que variaram entre 45,4% e 23,7%. Com esses dados, constata-se que contribuem, de forma significativa, para o aumento do índice de sustentabilidade geoambiental dos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú, nesta dimensão.

A vegetação Complexo Vegetacional da Zona Litorânea é encontrada apenas no município de Morada Nova e representa apenas 9,8% de cobertura vegetal deste município.

A Floresta Caducifolia Espinhosa (Caatinga Arborea) representa certa de 30% da cobertura vegetal dos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú, sendo a segunda cobertura vegetal mais presente entre os municípios analisados. A caatinga arborea é constituída predominantemente por árvores, alcançando de 15 a 20 metros de altura. Esse tipo de vegetação apresenta três estratos: um arboreo, com representantes de 8 a 12m de altura; outro arbustivo/subarbustivo, com indivíduos de 2 –5 m; e, finalmente, um herbáceo geralmente de caráter anual ou efêmero, muito pobre em espécies (FERNANDES, 1990, p. 147).

A Floresta Subcaducifolia Tropical Pluvial (Mata Seca) está presente em apenas quatro municípios e representa 6,2% da vegetação dos municípios estudados. A mata seca é um tipo de vegetação natural que é caracterizada pela composição florística, cujos representantes não costumam ocorrer na área das caatingas.

Entre os municípios pesquisados desse tipo de cobertura vegetal, Pedra Branca é o que apresenta maior área dessa vegetação (39,6%), seguido pelos municípios de Boa Viagem (16,8%) e Piquet Carneiro (14%).

Já os municípios de Quixeramobim (3,1%) e Senador Pompeu (3,5%) são os que apresentam menores áreas da vegetação mata seca entre os que apresentam esse tipo de vegetação, já que oito municípios não apresentam esse tipo de cobertura entre sua vegetação. Com isso, esses municípios são os que mais contribuem para o índice de sustentabilidade geoambiental dessa dimensão, considerando a Floresta Subcaducifolia Tropical Pluvial (mata seca) como indicador.

Considerando a Floresta Mista Dicotilo-Palmaceae (mata ciliar com carnaúba) como indicador de sustentabilidade geoambiental na dimensão vegetação, observa-se que ela aparece apenas em três municípios, a saber: Morada Nova; Banabuiú; e Jaguaratama. Destes, o que apresenta maior área dessa vegetação é o município de Morada Nova, caracterizando-se, assim, como o mais sustentável nesse indicador. Em contrapartida, os menos sustentáveis são aqueles que apresentam menores percentagens, juntamente com aqueles municípios que não tem essa cobertura vegetal em seus territórios.

Essa vegetação é muito importante para manter a qualidade ambiental da sub-bacia, principalmente porque ela exerce uma grande influência na manutenção da quantidade e qualidade das águas dos rios e mananciais da área.

Os carnaubais nativos desempenham um papel crucial na preservação da biodiversidade e dos recursos naturais e culturais no Nordeste. Para Cerqueira e Gomes, (2010, p. 6), os carnaúba tem múltiplos usos, como medicinal, artesanal, alimentício e na construção civil, além da extração de cera e celulose. Também contribui indiretamente para o ecossistema, ajudando a manter espécies e regular a temperatura, além de prevenir a erosão. Além disso, existem valores associados às futuras possibilidades de uso desse recurso ambiental, como descobertas medicinais ou novos produtos, além de ter um valor intrínseco na vida social das pessoas, seja como símbolo cultural ou como garantia dos valores de uma determinada região (CERQUEIRA E GOMES, 2010, p. 6).

Esses mesmos autores, afirmam que as carnaúbas exercem uma grande importância na preservação do meio ambiente, ajudando a controlar o regime de chuvas, na proteção do solo, Proteção do solo contra a ação da erosão, proteção de nascentes, de mananciais hídricos e de corpos d'água, por se encontrar em locais alagadiços, conservação da biodiversidade, manutenção da temperatura., além de fornecer matéria-prima, controlar a poluição atmosférica e servir de lazer (CERQUEIRA E GOMES, 2010, p. 17).

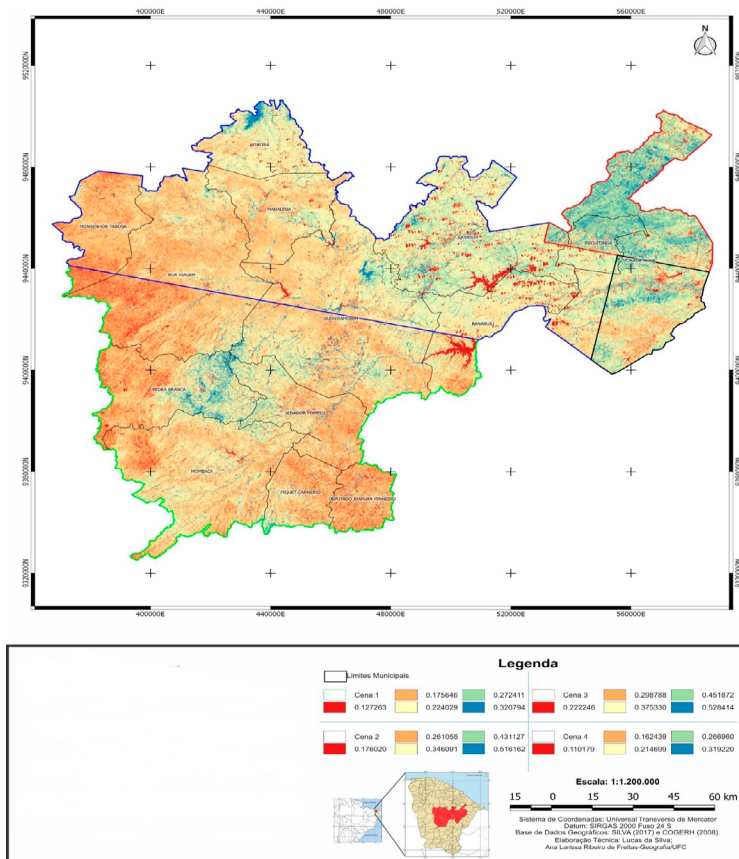
Como indicador positivo na dimensão vegetação, também foi analisado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) de cada município que compõe a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú. O NDVI é um indicador biofísico indispensável e importante aos estudos de avaliação e monitoramento sazonal e interanual da degradação do ambiente, pois, por meio dele, é possível avaliar a densidade da cobertura vegetal, tornando-se possível, assim, o monitoramento da vegetação (LOPES et al., 2010, p. 1211).

Como pode ser observado na Figura 5, a seguir, e na Tabela 3, apresentada anteriormente, os municípios que apresentaram a maior média do NDVI foram Ibicuitinga e Morada Nova, com índice 0,34. Esses municípios apresentam também a maior cobertura vegetal e

contribuem mais positivamente com o índice de sustentabilidade geoambiental, da dimensão vegetação, considerando o NDVI. Já os municípios de Quixadá e Monsenhor Tabosa foram os que apresentaram menores NDVI médio (0,18).

Os demais municípios apresentaram NDVI entre 0,20 e 0,28, que mostra uma uniformidade na ocorrência desse índice nos municípios da sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú. Esse intervalo, em geral, corresponde a áreas secas e com baixo regime pluviométrico, com vegetação bastante rala ou sem vegetação com solo exposto.

Figura 5 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) / 2010 da Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú – CE.



Fonte: Silva, 2017 (Adaptada).

Considerando os indicadores do grupo negativo em que, quanto maior o valor, menos sustentável será o município, observa-se que há ocorrência da Caatinga Arbustiva Aberta em uma área de 342.507,693 km², representando 17,7% da cobertura vegetal dos municípios que compõem a sub-bacia. Segundo Ceará (2009, p. 20), a Caatinga Arbustiva Aberta tem como característica seu porte mais baixo e os caules retorcidos e esbranquiçados. Esse tipo corresponde a uma vegetação menos desenvolvida porque é mais recente. Além disso, é constituída de um estrato arbustivo denso, de 3 a 4 metros de altura e o diâmetro dos troncos varia de 2 a 5 centímetros (ALVES, 2009, p.22).

A vegetação Caatinga Arbustiva Aberta encontra-se presente em nove municípios, sendo mais representativa no município de Jaguaratama, onde ela corresponde a 72,6% de sua cobertura vegetal. Como esse tipo de vegetação é considerado do grupo negativo, esse município é, portanto, menos sustentável neste aspecto.

Já o município de Banabuiú aparece como segunda maior área da vegetação Caatinga Arbustiva Aberta, representando mais da metade (52%) de sua cobertura vegetal. Os municípios de Morada Nova, Monsenhor Tabosa e Quixadá apresentam percentuais desse tipo de cobertura vegetal de 33,2, 17,4 e 14,8, respectivamente.

Entre os municípios que apresentam esse tipo de vegetação, os que apresentam menores percentuais são: Quixeramobim, com 3,3%; Boa Viagem, com 5,6%; Ibicuitinga, com 6,8%; e Senador Pompeu, com 7,8. Desconsiderando os municípios que não apresentam esse tipo de cobertura vegetal, os municípios citados, mesmo pertencendo ao grupo dos indicadores negativos, são os que mais contribuíram positivamente para o índice de sustentabilidade ambiental, por apresentarem menores valores, considerando a vegetação Caatinga Arbustiva Aberta como indicador.

Análise dos Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão clima dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú

Para os indicadores da dimensão clima, foram estabelecidos sete tipos de condições climáticas, que contribuem significativamente para manutenção dos componentes naturais e ambientais dos municípios que compõem a sub-bacia.

Os valores dos indicadores da dimensão clima são apresentados na Tabela 4. Nela, pode-se observar que quatro indicadores não positivos (Média Anual de Precipitação (mm), Precipitação Máxima Anual (mm), Precipitação Mínima Anual (mm) e Probabilidade de 75% de precipitação (mm) e três são negativos: Número de focos de calor (Queimadas); Índice de Aridez e Evapotranspiração de Referência ET0 (mm).

O primeiro indicador positivo analisado foi a Média Anual de precipitação dos municípios que compõem a sub-bacia. Nesta dimensão, apenas dois municípios apresentam média superior a 800 milímetros/ano de chuva: a maior média é a do município de Jaguaretama, com 854,8 mm, seguida pelo município de Pedra Branca, com 827,3 mm.

No entanto, sete apresentam médias acima dos 700 mm, a saber, Mombaça (774,8mm), Senador Pompeu (761,3mm), Piquet Carneiro (759,08 mm), Quixeramobim (732 mm), Morada Nova (731,9 mm), Ibicuitinga (717,72 mm) e Banabuiú (704,8 mm).

Já os municípios de Monsenhor Tabosa, Quixadá, Boa Viagem e Madalena são os que apresentam menores médias. Destes, o município de Madalena é o que apresenta a menor média (585,52 mm/ano), ou seja, é o município onde menos chove entre os pesquisados, configurando-se, desse modo, como o mais seco. Com isso, nesse indicador, é o que menos influência apresenta para a sustentabilidade da sub-bacia.

Considerando a precipitação máxima anual (mm) da série histórica analisada como indicador, destacam-se os municípios de Jaguaretama, com 1842,4 mm; Morada Nova, com 1723,7 mm; Pedra Branca,

com 1646,8 mm; e Piquet Carneiro, com 1587,4 mm. Já os municípios de Ibicuitinga, Madalena, Banabuiú, Boa Viagem e Quixadá são os que apresentam menos volumes máximos de chuva, sendo estes os que menos contribuem para o índice de sustentabilidade geoambiental da sub-bacia para esse indicador.

Os municípios de Quixeramobim, Senador Pompeu, Mombaça e Monsenhor Tabosa apresentam volume variando entre 1460 e 1495,9 milímetros.

Entre os municípios analisados, Boa Viagem foi o que registrou o menor volume de chuva (183,8 mm), seguido pelos municípios de Madalena, que registrou 192,0 mm, e Morada Nova com 192,8 mm. Quanto aos municípios de Jaguaratama (345,6 mm) e Senador Pompeu (335,7 mm), estes foram os que apresentaram maiores volumes entre suas mínimas registradas neste indicador, sendo, portanto, os mais favoráveis na configuração do índice de sustentabilidade geoambiental na dimensão clima. Os demais municípios registraram mínimas históricas variando entre 217,0 mm e 298,2 mm.

Ao considerar a Probabilidade de 75% de precipitação como indicador, cuja chance de ocorrência é de um ano para cada ciclo de quatro, o município de Jaguaratama apresentou o maior volume (1108,3 mm), seguido pelos municípios de Quixeramobim, Pedra Branca, Morada Nova, Senador Pompeu, Mombaça e Monsenhor Tabosa, que apresentaram volumes variando entre 912,65 mm e 990 mm. Entre os municípios que apresentam os menores volumes, destacam-se os municípios de Madalena, cujo volume é de 822,9 mm; Boa Viagem, com volume de 862,55 mm e Banabuiú, com 879,67mm.

Para Silva e Almeida (2017, p. 4), a precipitação é o elemento físico decorrente da variabilidade climática mais importante. Lucena e Campos (2014, p. 2) também afirmam que ela é fator indispensável no controle do ciclo hidrológico e uma das variáveis climáticas que maior influência exerce na qualidade do meio ambiente. Desse modo, é importante destacar que a escolha dos parâmetros de precipitação como indicadores do clima se alicerça no significativo valor da chuva

para a Região do Semiárido, onde as chuvas são distribuídas irregularmente, tanto na escala espacial, quanto na temporal.

Ademais, há anos em que a precipitação se concentra em um e/ou dois meses e há outros em que chove torrencialmente, embora de forma irregular no espaço e no tempo. Neste sentido, a falta de regularidade nas chuvas a cada ano, juntamente com políticas inadequadas de gestão dos recursos hídricos, tem piorado o problema social da falta de água potável para consumo e uso básico da população, principalmente nas áreas rurais.

Adentrando nas discussões acerca dos indicadores negativos, é importante esclarecer que o indicador “o número de focos de calor” foi obtido através de imagens de satélites. A escolha deste como indicador se justifica pelo fato de as queimadas, além de estarem relacionadas com atividades humanas, são agravadas por condições meteorológicas específicas, tais como, a não ocorrência de precipitação, alta temperatura e a baixa umidade relativa do ar.

Um dos grandes prejuízos advindos das queimadas é que, além da derrubada de árvores, causa a perda dos serviços hidrológicos essenciais fornecidos por elas, resultando em danos significativos ao meio ambiente. Além de ter efeitos prejudiciais na fertilidade do solo, reduzindo seus nutrientes, bem como causando danos ao meio ambiente, à saúde pública, à fauna e à flora (FLOR, 2022, p. 266 e 276).

Além disso, as queimadas geram vários problemas ambientais, econômicos e sociais, o que ocasionam sérios prejuízos ao ambiente, como danos à fauna e à flora, problemas de erosão, empobrecimento dos solos, poluição atmosférica, e estes se constituem problemas de saúde pública (SANTOS; SOARES; BATISTA, 2006, p. 93).

No indicador em questão, o município que apresenta maior número de foco de calor é o de Mombaça, que registrou 615 queimadas, seguido pelos municípios de Boa Viagem e Pedra Branca, que registraram 406 e 307 focos, respectivamente, sendo este último correspondente a apenas 50% do número de focos do município de Mombaça. Já os municípios de Piquet Carneiro, Quixeramobim, Senador

Pompeu e Monsenhor Tabosa registraram queimadas que variaram entre 167 e 217 focos. Somados esses números, eles representam 36% do total dos focos registrados.

Do total de municípios pesquisados, apenas seis apresentam números de focos de calor inferior a cem, dos quais 98 são em Quixadá, 57 em Morada Nova, 47 em Madalena, 19 em Jaguaratama, 9 em Ibicuitinga e 8 em Banabuiú. Com esses dados, infere-se que os dois últimos municípios são os que mais contribuem positivamente para o índice de sustentabilidade geoambiental.

No total, foram contabilizados 2.340 casos de queimadas em todos os municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú, considerando o ano de referência. Esses focos, em geral, estão associados à falta de chuva nesses municípios, pois os que registraram a maior quantidade de foco foram os que, geralmente, apresentam precipitação abaixo da média, o que normalmente ocorre no segundo semestre do ano, período de baixa precipitação, em que a vegetação está mais propícia às queimadas.

Tabela 4 - Valores dos indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão clima, dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

| NEGATIVO | | | POSITIVO | | | | CATEGORIAS |
|--|------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Evapotranspiração de Referência ETO (mm) | Índice de Aridez | Número de focos de calor (Queimadas) | Probabilidade de de 75% de precipitação (mm) | Precipitação Mínima Anual (mm) | Precipitação Máxima Anual (mm) | Média Anual de precipitação (mm) | INDICADORES CLIMA (%) |
| 2004,1 | 34,1 | 8 | 879,67 | 254,8 | 1223,4 | 704,8 | Banabuiú |
| 2023,9 | 33,3 | 406 | 862,55 | 183,8 | 1371,3 | 685,8 | Boa Viagem |
| 1986,1 | 34,8 | 9 | 885,8 | 241,3 | 1106,6 | 717,72 | Ibicuitinga |
| 1997 | 42,3 | 19 | 1108,3 | 345,6 | 1842,4 | 854,8 | Jaguaretama |
| 1855,6 | 30,3 | 47 | 822,9 | 192 | 1154 | 585,5 | Madalena |
| 1868,6 | 41,1 | 615 | 912,65 | 273,3 | 1460 | 774,8 | Mombaça |
| 2018,6 | 33,3 | 167 | 912,65 | 273,3 | 1460 | 689,2 | Monsenhor Tabosa |
| 1945,5 | 36,9 | 57 | 937,2 | 192,8 | 1723,7 | 731,9 | Morada Nova |
| 1944,7 | 41,3 | para ficar igu307 | 966 | 298,2 | 1646,8 | 827,3 | Pedra Branca |
| 1943,4 | 37,5 | 217 | 880,8 | 298,2 | 1587,4 | 759,1 | Piquet Carneiro |
| 2005,5 | 36,5 | 68 | 884 | 217 | 1395 | 686,7 | Quixadá |
| 2038,6 | 35,5 | 215 | 990 | 225,5 | 1495,9 | 732,0 | Quixeramobim |
| 1977,9 | 38,5 | 205 | 918,8 | 335,7 | 1460,3 | 761,3 | Senador Pompeu |

Fonte: COGERH (2008).

É importante destacar que a principal causa das queimadas é a ação desordenada provocada pelo homem que, ao promover o desmatamento e utilizar o fogo de maneira inapropriada, cria condições favoráveis para a ocorrência de grandes incêndios.

No entanto, análise do comportamento do fogo nos incêndios em vegetação é dificultada devido às constantes variações e dinamismo das condições climáticas, que criam quadros distintos em cada período. A combinação de alta temperatura ambiente e baixa umidade relativa do ar aumenta o poder evaporativo nos vegetais, resultando em sua maior secura e tornando-os mais propensos à combustão (TORRES, 2006, p. 165).

Já com relação ao Índice de Aridez, observa-se que todos os municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú se encontram inseridos na região delimitada como semiárida, por apresentarem índice de aridez de $20 \leq IA < 50$. Essa delimitação foi definida pela Portaria Ministerial nº 89 do Ministério da Integração Nacional, que levou em consideração três critérios técnicos, entre eles o índice de aridez de até 0,5 (calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial); e o risco de seca maior que 60% no período entre 1970 e 1990 (SILVA, 2006, p. 16).

Os maiores valores do índice de aridez estão localizados na porção mais ao sudoeste da sub-bacia, com exceção de Jaguaratama, que apresenta índice equivalente a 42,3; Pedra Branca, com 41,3; Mombaça, com 41,1; e Senador Pompeu, com 38,5. Estes municípios são os que apresentam menor caráter árido, ou seja, são aqueles que possuem um maior regime pluviométrico anual e, com isso, são os que mais contribuem positivamente para a sustentabilidade da sub-bacia na dimensão em questão.

Já os municípios de Piquet Carneiro, Morada Nova, Quixadá, Quixeramobim, Ibicuitinga, e Banabuiú apresentam índices que variaram entre 34,1 e 37,5. Mesmo apresentando índice médio dentro da classificação semiárida, parte deles apresenta baixos índices pluviométricos. Tal fato pode ser justificado pela influência da evapotrans-

piração, que também influencia no índice de aridez, uma vez que é um dos fatores para seu cálculo.

Os menores valores encontrados para o índice de aridez correspondem aos municípios de Boa Viagem, cujo índice foi 33,3 seguido pelos municípios de Madalena (30,3) e Monsenhor Tabosa (33,3). É importante frisar que, quanto menor o valor do índice de aridez, maior será o caráter árido do local. Desse modo, pode-se afirmar que esses municípios são os que menos contribuem para o índice de sustentabilidade geoambiental da sub-bacia nessa dimensão.

Com o índice de aridez, é possível mensurar além do caráter árido; pode também utilizá-lo como parâmetro para identificação de susceptibilidade à desertificação de cada município, pois, segundo Barreto, Cesário, Oliveira, (2019, p. 78), o índice de aridez evita uma generalização excessiva do processo, pois, de outra forma, qualquer problema ambiental poderia ser considerado desertificação.

A Evapotranspiração de Referência (ETO) também foi utilizada como indicador na dimensão clima, pela sua importância para gestão de recursos hídricos, previsão de produção agrícola, programação de irrigação e resolução de problemas no domínio da hidrologia e meteorologia (GOCIC; TRAJKOVIC, 2010, p. 158). É também estratégica para projeto e/ou manejo de irrigação, por assumir um papel importante no volume de água a ser aplicado na irrigação (SILVA *et al.*, 2015, p. 133). Esses fatores são essenciais para obtenção de melhores condições ambientais da região e segurança hídrica.

A evapotranspiração de referência empregada foi estimada pela FUNCEME, que utilizou a média ponderada pelo inverso da distância aos três pontos mais próximos onde existem dados disponíveis de ETO.

Os maiores valores de ETO foram obtidos nos municípios Quixeramobim (2.038,6 mm), Boa Viagem (2.023,9 mm), Monsenhor Tabosa (2.018,6 mm), Quixadá (2.005,5 mm) e Banabuiú (2.004,1 mm), pois todos ultrapassaram os 2.000 mm/ano. Já os municípios de Pedra Branca, Morada Nova, Senador Pompeu, Ibicuitinga e Jaguaratama apresentaram ETO que variaram entre 1997,0 mm e 1944,7 mm.

Os menores valores de ETO ocorreram nos municípios de Madalena, com 855,6 mm; Mombaça, com 1868,6 mm; e Piquet Carneiro, com 1943,4 mm. O município de Madalena, além de ser o que apresenta o menor valor de ETO, é também o que apresenta a menor média de pluviosidade e menor índice de aridez. Desse modo, pode-se verificar uma nítida relação entre esses indicadores.

Análise dos Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão geomorfologia dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú

Foram considerados como indicadores da dimensão Geomorfologia, os valores percentuais de cada unidade geomorfológica por municípios que compõem a área de estudo.

Como nos demais índices, os indicadores foram divididos em positivos e negativos. Destes, cinco são positivos (Corpo de água continental, Planícies e Terra Fluviais, Superfície Rebaixada do Vale do Rio Açu, Serra Branca e Serra do Machado e das Matas) e dois são negativos (Depressão Sertaneja Setentrional e Patamar Sertanejo de Tauá).

Entre os indicadores da categoria positiva, destaca-se a presença de corpo de água continental, em todos os municípios que compõem a sub-bacia. Mesmo sendo uma região com grandes limitações hídricas, com baixa precipitação e alta perda da água acumulada pela evaporação, ainda se percebe significativo espelho de água.

O município de Banabuiú destaca-se porque apresenta 6,1% de suas feições geomorfológicas constituídas por corpo de água. Isso ocorre devido à presença do reservatório que leva seu nome (Açude Banabuiú), com capacidade de armazenar mais de 1 bilhão de m³ (1.600.999.936).

Já o município de Jaguaratama foi o que apresentou o segundo maior percentual de corpo de água, com 4,4 %, seguido pelo município de Quixadá, com aproximadamente 3,0 %. Este apresenta dois

importantes reservatórios de água: o açude Pedra Branca, com capacidade de 434.040.000 m³, e o açude do Cedro, com capacidade de 126.000.000 m³.

Em contrapartida, os municípios de Monsenhor Tabosa, Pedra Branca, Boa Viagem, Piquet Carneiro, Mombaça e Madalena são os que apresentam menores percentuais de corpo de água continental entre suas classes morfológicas, não alcançando 1%. Ademais, todos esses municípios têm açudes públicos gerenciados pela COGERH.

As Planícies e Terra Fluviais só estão presentes no município de Morada Nova e correspondem a aproximadamente 5,0% de sua geomorfologia. Essa classe se caracteriza por apresentar uma geomorfologia constituída por depósito aluviana, em que rios não recebem contribuições diretas das fontes e secam quase ou totalmente, limitando a capacidade hídrica desse subsistema (LIMA, 2010, p.137). No entanto, Brandão (2014, p. 50) afirmou que, nessa classe, a ausência de água em grande parte do ano favorece o surgimento de solos mais profundos e de melhor fertilidade, além de uma melhor disponibilidade de acesso à água via escavação de poços rasos no aquífero aluvial.

Quanto à Superfície Rebaixada do Vale do Rio Açu, só está presente nos municípios de Jaguaretama e Morada Nova, que apresentam percentuais de 6,9% e 1,9%, respectivamente, de suas feições geomorfológicas. Desse modo, são os que mais contribuem para o índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão “geomorfologia” nesse indicador específico, por apresentar solos com grande capacidade agrícola e pela sua alta fertilidade natural, devido à presença de rochas carbonáticas dessa classe geomorfológica.

Já a Serra Branca se encontra presente em cinco municípios e representa apenas 10% das classes dos municípios que compõem a sub-bacia, sendo o de Pedra Branca o que apresenta maior percentual desta classe em relação às presentes em seu território: 83,7%. Em contrapartida, os demais municípios não ultrapassaram 30%: o município de Mombaça apresenta percentual de 29,2, seguido pelos municípios de Boa Viagem, Senador Pompeu e Quixeramobim,

que apresentam percentuais desta classe de 15,8%, 3,1%, e 1,1%, respectivamente.

A unidade geomorfológica Serra Branca se caracteriza por apresentar substrato geológico de conjunto de terrenos bastante diversificados, com ocorrência de solos bem estruturados, gradiente textural, boa fertilidade em decorrência do teor de matéria orgânica, provavelmente associados ao intemperismo das rochas ultramáficas (BRANDÃO, 2014, p.57).

Em relação à Serra do Machado e das Matas, verifica-se que são presentes em três municípios e correspondem a apenas 2% das classes dos municípios que compõem a sub-bacia. Destes, Monsenhor Tabosa apresenta maior percentual em relação aos demais (73%), seguido por Boa Viagem com 14,3% e Madalena com apenas 2,2%.

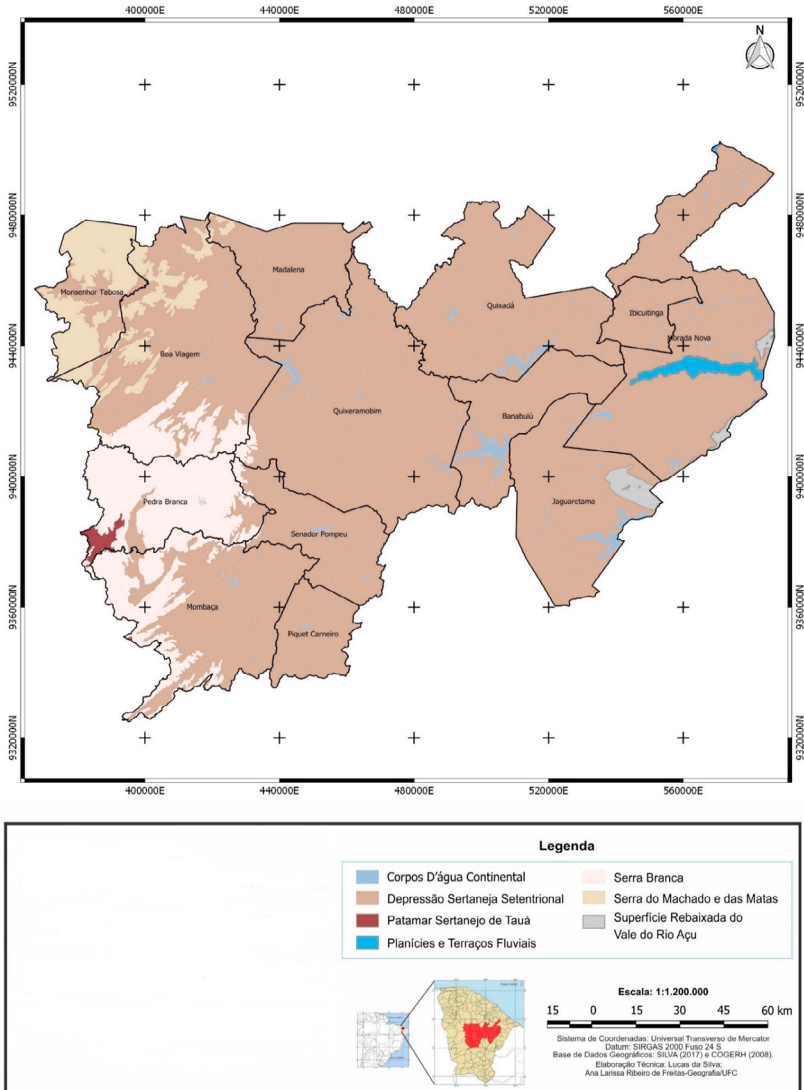
A Serra do Machado se caracteriza por apresentar uma feição acidentada, com vales aprofundados e vertentes íngremes e dissecadas. Em menor parte dessa passagem, ocorrem solos mais estruturados, profundos, bem drenados e de boa fertilidade natural (BRANDÃO, 2014, p. 56). Já a Serra das Matas é constituída de um maciço montanhoso com um relevo imponente de vertentes muito declivosas, que alcançam entre 300 e 600 metros de desnivelamento total, com a ocorrência de restritos brejos de altitude em seus topos (ver Figura 6).

Tabela 5 - Valores dos indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão geomorfologia, dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

| NEGATIVO | | POSITIVO | | | | | CATEGORIAS |
|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------|---|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| Patamar Sertanejo de Tauá | Depressão Sertaneja Setentrional | Serra do Machado e das Matas | Serra Branca | Superfície Rebaixada do Vale do Rio Açú | Planícies e Terras Fluviais | Corpo de água continental | CLASSE INDICADORES GEO-MORFOLOGIA (%) |
| 0,0 | 93,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 6,1 | Banabuiú |
| 0,0 | 69,4 | 14,3 | 15,8 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | Boa Viagem |
| 0,0 | 97,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2,4 | Ibicuitinga |
| 0,0 | 88,8 | 0,0 | 0,0 | 6,9 | 0,0 | 4,4 | Jaguaratama |
| 0,0 | 96,9 | 2,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 | Madalena |
| 0,2 | 70,0 | 0,0 | 29,2 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | Mombaça |
| 0,0 | 26,9 | 73,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | Monsenhor Tabosa |
| 0,0 | 90,9 | 0,0 | 0,0 | 1,9 | 4,9 | 2,4 | Morada Nova |
| 5,3 | 10,8 | 0,0 | 83,7 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | Pedra Branca |
| 0,0 | 99,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | Piquet Carneiro |
| 0,0 | 97,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2,9 | Quixadá |
| 0,0 | 97,4 | 0,0 | 1,1 | 0,0 | 0,0 | 1,4 | Quixeramobim |
| 0,0 | 95,7 | 0,0 | 3,1 | 0,0 | 0,0 | 1,2 | Senador Pompeu |

Fonte: COGERH (2008).

Figura 6 - Geomorfologia dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



Fonte: Silva, 2017 (Adaptada).

Dentre as unidades geomorfológicas estabelecidas na categoria, destaca-se a Depressão Sertaneja Setentrional, a mais significativa por ser a unidade que aglutina mais características das regiões se-

miáridas. Essa é a única unidade que está presente em todos os municípios que compõem a sub-bacia, desconsiderando a classe “corpo de água continental”.

Apenas Monsenhor Tabosa e Pedra Branca não apresentam a Depressão Sertaneja Setentrional como principal feição geomorfológica. Essa unidade representa apenas 26,9% e 10,8% de suas feições, respectivamente.

Depressão Sertaneja Setentrional se caracteriza por apresentar feições geomorfológicas como presença predominante de relevo dissecado com formas suaves, produto da superfície de aplainamento, com altitudes que variam de cerca de 200 metros até 500 metros, onde predominam maciços residuais, destacando-se a abundante presença de inselbergs de dimensões variadas, bastante característicos na região, mais intensamente no município de Quixadá (SOUSA, 2010, p. 72).

Essa classe consiste em vastas superfícies arrasadas, invariavelmente em cotas baixas, cujo piso se situa entre 40 e 350 metros, com rochas do embasamento ígneo-metamórfico Pré-Cambriano da Faixa de Dobramentos do Nordeste. Para Brandão (2014, p. 48) na Depressão Sertaneja há predomínio de um conjunto de solos rasos com fertilidade natural de baixa a alta em um ambiente tropical semiárido, com predomínio de vegetação de caatinga hiperxerófitas, com baixa densidade de drenagem e altos índices de sódio. Com isso, apresenta limitações de moderadas a forte ao uso agrícola devido à má condição física do solo e de teores médios de sódio trocável.

Por fim, a classe Patamar Sertanejo de Tauá se encontra presente apenas nos municípios de Pedra Branca e Mombaça: 5,3% no primeiro, e 0,2% no segundo.

Análise dos Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão geologia dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú

Como indicadores da dimensão Geologia, foram consideradas as três classes litológicas: rochas sedimentares, com quatro tipos; rochas metamórficas, com dezesseis tipos; e ígnea ou magmática, com dezessete tipos.

Os percentuais de cada classe se encontram na Tabela 6 e na Figura 7, nas quais é possível observar que os municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú se encontram localizados em uma área semiárida. Destes, apenas cinco apresentam formações litológicas da classe sedimentar, com destaque para Ibicuitinga, Morada Nova e Jaguaratama, que apresentam, em relação às demais classes litológicas, percentual da classe sedimentar de 34,2%, 30% e 23,3%, respectivamente,

O município Ibicuitinga, que apresenta o maior percentual desta classe, tem como única formação litológica os sedimentos argilo-arenosos. Já Morada Nova, além de apresentar formação litológica e sedimentos argilo-arenosos, apresenta formações conglomerados e arenitos, argilas, areias argilosas e cascalhos e arenitos e conglomerados. Jaguaratama apresenta formação litológica, sedimentos argilo-arenosos e conglomerados e arenitos.

Os municípios expostos anteriormente apresentam essas formações litológicas diferentes dos demais devido à localização próxima da unidade geomorfológica dos tabuleiros costeiros da Formação Barreiras (período Terciário), que se constituem uma extensa faixa sedimentar costeira, com poucas interrupções, sendo representadas geologicamente pelos sedimentos da Formação Barreiras de natureza granulométrica variada (SUGUIO; NOGUEIRA, 1999, p. 462).

Os municípios de Quixadá e Banabuiú também apresentam formação litológica da classe sedimentar, mas em menor percentagem: 3,8% e 0,4%, respectivamente. Quixadá apresenta formação litológi-

ca sedimentos argilo-arenosos e, em menor proporção, a formação argilas, areias argilosas e cascalhos, presentes nos depósitos aluviais. Banabuiú apresenta formação argilas, areias argilosas e cascalhos e conglomerados e arenitos.

Para Suassuna (2016, p. 136), nas bacias sedimentares, os solos geralmente são profundos (superiores a 2,0 metros, podendo ultrapassar 6,0 metros), com alta capacidade de infiltração, baixo escorrimento superficial e boa drenagem natural. Estas características possibilitam a existência de um grande suprimento de água de boa qualidade no lençol freático que, pela sua profundidade, está totalmente protegido da evaporação.

A classe litológica das rochas metamórficas é a mais significativa nos municípios de Piquet Carneiro e Boa Viagem, representando mais de 95% de suas respectivas classes litológicas. O município de Piquet Carneiro apresenta quatro formações litológicas da classe Metamórfica: quartzitos, paragnaisses e ortognaisses granticos; paragnaisses, micaxistos, quartzitos; metacalcrios e gnaisses, migmatitos e anfibolitos. Destas, a última representa 80% de abrangência. Boa Viagem apresenta sete formações litológicas, no entanto, a formação litológica Sequência plutono-vulcanos sedimentar representa sozinha 70% e, se somada com a formação Paragnaisses, micaxistos e metacalcrios, representam 97% em relação às demais formações deste município. As demais representam apenas 18% das formações litológicas da classe Metamórfica do referido município.

Três municípios também merecem destaque por apresentarem elevadas percentagens na classe metamórfica: Pedra Branca (86,6%); Madalena (84%); e Quixadá (80,1%). Entre as formações litológicas do município de Pedra Branca, a formação Sequência plutono-vulcanos sedimentar representa cerca de 95% das formações litológicas desta classe.

Em Madalena, destacam-se duas formações litológicas: a sequência plutono-vulcanos sedimentar, que representa cerca 40%; e as formações Migmatitos e ortognaisses, que representam 41,3% da classe metamórfica desse município.

Quixadá apresenta a maior diversidade de formações litológicas da classe metamórfica: Paragnaisses, metabasaltos, anfíbolitos, Gnaisses, Migmatitos e anfíbolitos; e Migmatitos e ortognaisses. Juntas, essas classes representam 53%.

Os municípios de Mombaça, Banabuiú, Quixeramobim, Senador Pompeu, Morada Nova e Ibicuitinga apresentaram percentuais que variaram entre 41% e 77%, neste indicador, sendo que as formações litológicas de maior abrangência em todos esses foi a Sequência plútono-vulcanos sedimentar.

Os municípios que apresentam menores percentuais na classe litológica metamórfica são Jaguaretama e Monsenhor Tabosa, com taxas de 8,8% e 7,0%, respectivamente. Com isso, esses dois municípios são os que menos contribuem para a sustentabilidade geoambiental da sub-bacia do rio Banabuiú, na dimensão geologia, pois, como essa classe é da categoria positiva, quanto mais elevada é a taxa percentual, mais influência exerce na sustentabilidade ambiental e, com isso, contribui para a sustentabilidade geoambiental da sub-bacia nessa dimensão.

Como indicadores negativos, foram utilizadas as classes litológicas Ígneas também presentes em todos os municípios que compõem a sub-bacia do Rio Banabuiú. Destes, destaca-se Monsenhor Tabosa, que apresenta 93% de geologia de rochas da classe Ígneas. Mesmo se caracterizando como estáveis aos processos de intemperismo, é limitante no armazenamento de água e fornecem materiais e origem de solos que dificultam a atividade agrícola e ambiental da região.

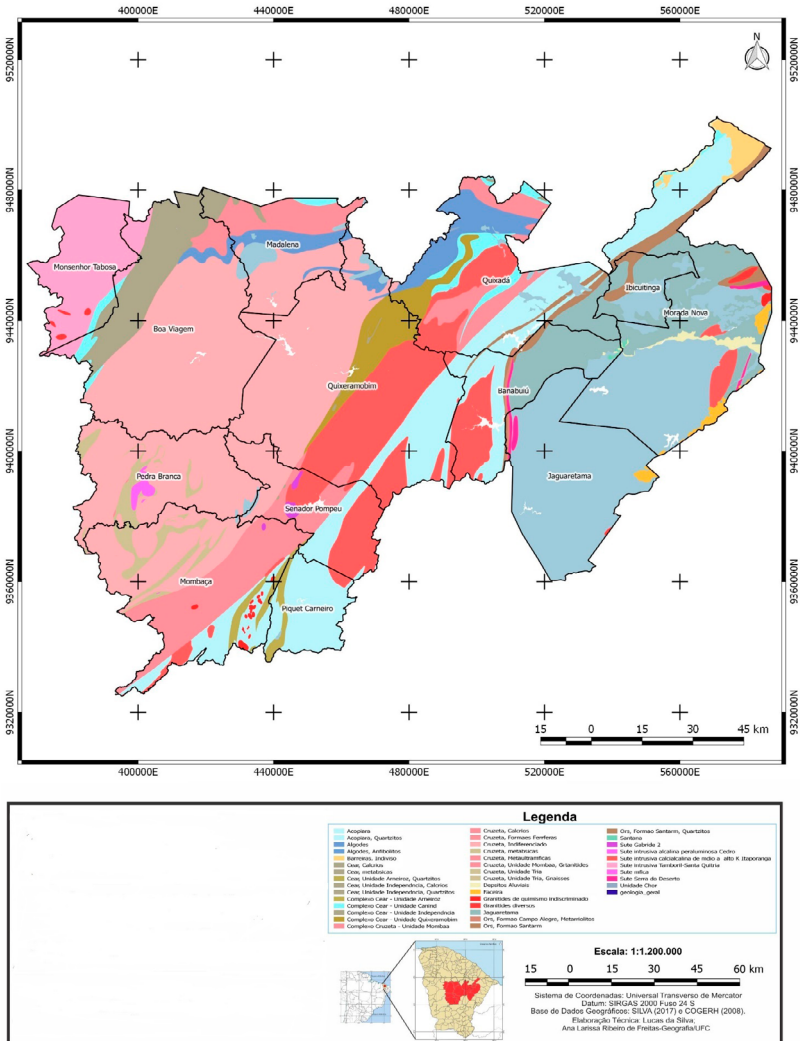
O segundo município com maior área nesta classe é o de Jaguaretama, com 67,9%, seguido por Senador Pompeu, com 42%. Jaguaretama apresenta 49% de suas formações litológicas de Dioritos e granitides, e 40% de formação Augen ortognaisses graníticos. Ambas representam 89% das suas formações litológicas. Senador Pompeu tem como maior percentagem a formação litológica Granitos e granodioritos, que representa 91% de todas suas formações litológicas.

Tabela 6 - Valores dos Indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão geologia, dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

| CATEGORIAS | INDICADORES GEOLOGIA (%) | CATEGORIAS | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------------------------|------------|------------|-------------|-------------|----------|---------|------------------|-------------|--------------|-----------------|---------|--------------|----------------|
| | | Banabuiú | Boa Viagem | Ibicuitinga | Jaguaretama | Madalena | Mombaça | Monsenhor Tabosa | Morada Nova | Pedra Branca | Piquet Carneiro | Quixadá | Quixeramobim | Senador Pompeu |
| POSITIVO | Sedimentar | 0,4 | 0,0 | 34,2 | 23,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 30,0 | 0,0 | 0,0 | 3,8 | 0,0 | 0,0 |
| | Metamórfica | 67,9 | 95,1 | 41,8 | 8,8 | 84,0 | 76,7 | 7,0 | 52,6 | 86,6 | 95,9 | 80,1 | 67,2 | 57,4 |
| NEGATIVO | Ígneas (Magmática) | 31,7 | 4,9 | 24,1 | 67,9 | 16,0 | 23,3 | 93,0 | 17,4 | 13,4 | 4,1 | 16,1 | 32,8 | 42,6 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: COGERH (2008).

Figura 7 - Geologia dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



Fonte: Silva, 2017 (Adaptada).

Outros municípios que se destacaram no indicador em questão foram Senador Pompeu, com 42,6%; Quixeramobim, com 32,8%; Banabuiú, com 31,7%; Ibicuitinga, com 24,1%; e Mombaça, com 23,3%. É importante salientar que, nos municípios de Senador Pompeu e Qui-

xeramobim, predomina a formação litológica Granitos e granodioritos, enquanto em Ibicuitinga prevalecem as formações Ortognaisses migmatizados e, em Mombaça, a formação litológica Metagabros.

Os municípios que apresentaram menores taxas na classe litológica ígneas foram Piquet Carneiro (4,1%) e Boa Viagem (4,9%); os demais variaram entre 13% e 17,5%. Tal fato sugere que esses são os que mais influenciam e contribuem para a sustentabilidade geoambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú nesta dimensão, por esse indicador ser considerado negativo.

Análise dos Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão drenagem dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú

Como indicadores da dimensão drenagem, foram considerados sete parâmetros morfométricos relacionados com a drenagem de cada município que compõe a Sub-bacia. Desses indicadores, cinco são considerados positivos (Área, Densidade de drenagem, Densidade hidrográfica, Índice de circularidade, Índice de sinuosidade) e dois negativos (Coeficiente de manutenção e Coeficiente de compacidade).

Esses indicadores encontram-se na Tabela 7 e na Figura 8, nas quais é possível observar que o município de Quixeramobim detém a maior área da drenagem (total de 3.273 km²), que representa 15,5% de toda a área de drenagem da sub-bacia. O segundo município de maior área é Boa Viagem, com 2.835 km², seguido por Morada Nova, com área de 2.776 km²; Mombaça, com 2.118 km²; e por Quixadá, com 2.018km². Juntos, esses municípios correspondem a 60% da área de drenagem na sub-bacia e, com isso, são os que mais contribuem positivamente para o índice de sustentabilidade geoambiental nessa dimensão.

Os municípios que apresentaram menores áreas de drenagem foram Ibicuitinga (424,60 km²), Piquet Carneiro (587,44 km²) e Mon-

senhor Tabosa (885,72 km²). Os demais apresentaram áreas de drenagem entre 1.100 km² e 1.760 km².

Considerando o Índice de circularidade como indicador, o município que apresentou mais circularidade na forma de sua drenagem foi Jaguaretama (0,046), seguido por Piquet Carneiro (0,039). Monseñor Tabosa, Quixeramobim, Boa Viagem e Madalena apresentaram circularidade de 0,027. Por outro lado, o município de Morada Nova apresentou a menor circularidade (0,016), seguido pelos municípios de Quixadá (0,020), Pedra Branca (0,020), Mombaça (0,021), Senador Pompeu (0,023) e Banabuiú (0,025).

Esses municípios que apresentaram os menores índices de circularidade são os que apresentam maior susceptibilidade à ocorrência de enchentes e inundações, pois o indicador em questão mensura o comportamento da infiltração e de escoamento das águas pluviais nas respectivas áreas de drenagem.

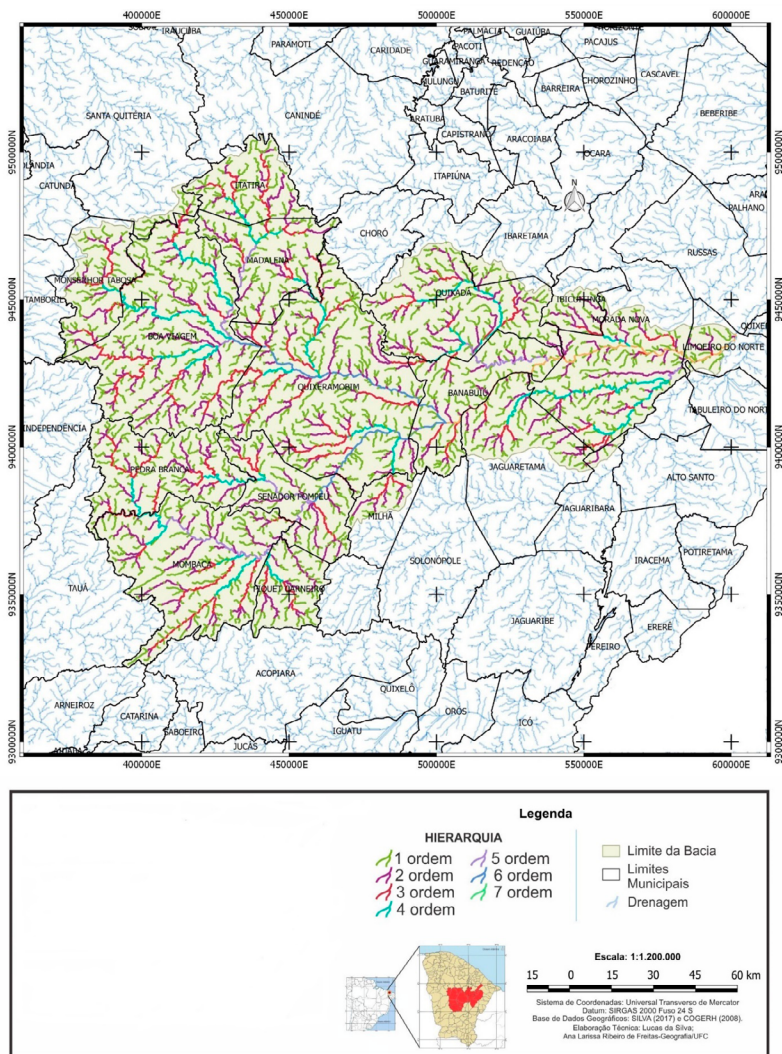
No entanto, em geral, as drenagens dos municípios apresentam poucas possibilidades de ocorrência de enchentes e inundações, pois apresentam índice muito baixo, considerando o valor máximo que pode ser obtido ser igual a 1 e, quanto maior o valor, mais próxima da forma circular, ou seja, quanto mais próximo o valor de 1, maior a tendência em produzir escoamentos rápidos nas drenagens dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú. Acerca disso, Villela e Mattos (1975) afirmam que, quanto maior o tempo de concentração, menor a vazão máxima de enchente, se mantidas constantes as outras características.

Tabela 7 - Valores dos Indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão drenagem dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

| NEGATIVO | | POSITIVO | | | | CATEGORIAS |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Coefficiente de manutenção | Coefficiente de capacidade | Índice de sinuosidade | Densidade de drenagem | Densidade hidrográfica | Índice de circularidade | Área (Km ²) |
| 2.128 | 1,77 | 0,72 | 0,47 | 0,21 | 0,046 | 1.079 |
| 2.068 | 1,71 | 1,11 | 0,48 | 0,20 | 0,039 | 2.835 |
| 2.146 | 1,59 | 1 | 0,47 | 0,21 | 0,031 | 425 |
| 2.135 | 1,31 | 0,83 | 0,47 | 0,19 | 0,027 | 1.758 |
| 2.168 | 1,71 | 1,4 | 0,46 | 0,22 | 0,027 | 1.034 |
| 2.152 | 1,94 | 1,46 | 0,47 | 0,19 | 0,027 | 2.118 |
| 2.252 | 1,7 | 1,32 | 0,44 | 0,20 | 0,027 | 886 |
| 2.047 | 2,22 | 1,05 | 0,49 | 0,22 | 0,025 | 2.777 |
| 2.138 | 1,98 | 1,44 | 0,47 | 0,18 | 0,023 | 1.303 |
| 2.154 | 1,42 | 1,32 | 0,46 | 0,20 | 0,021 | 587 |
| 2.111 | 1,99 | 1,18 | 0,47 | 0,20 | 0,020 | 2.018 |
| 2.112 | 1,71 | 1,29 | 0,47 | 0,19 | 0,020 | 3.273 |
| 2.161 | 1,83 | 1,27 | 0,46 | 0,18 | 0,016 | 1.001 |

Fonte: COGERH (2008).

Figura 8 - Drenagem dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do Rio Banabuiú.



Fonte: Silva, 2017 (Adaptada).

A densidade hidrográfica é uma variável de grande importância por representar o comportamento hidrológico de uma determinada área em um dos seus aspectos fundamentais, que é a capacidade de gerar novos cursos d'água (CHRISTOFOLETTI, 1974, p. 115).

A densidade hidrográfica é também a relação existente entre o número de canais e a área da sub-bacia, que indica o número de rios por unidade de área em cada município e foi utilizada também como indicador na dimensão drenagem. Neste, observou-se que a densidade hidrográfica dos municípios variou entre 0,18 e 0,22 rios/km². A maior densidade hidrográfica foi apresentada pelo município Madalena (0,22 rios/km²) e a menor por Senador Pompeu (0,18 rios/km²). Assim, todos os municípios da sub-bacia apresentaram baixa densidade hidrográfica, o que contribui necessariamente para uma baixa densidade de drenagem nos municípios.

A densidade de drenagem que relaciona o comprimento da drenagem e a área da sub-bacia e auxilia na compreensão do escoamento superficial também foi utilizada como indicador na dimensão drenagem. Pôde-se observar que o município que apresentou a maior densidade de drenagem foi Morada Nova, com 0,49 km/km², seguido por Boa Viagem, com 0,48 km/km².

Os municípios de Quixadá, Quixeramobim, Banabuiú, Jaguaratama, Pedra Branca e Ibicuitinga apresentaram densidade de drenagem de 0,47 km/km². Com isso, apresentam maior fazer escoamentos mais rápidos, se comparados com os demais, enquanto os municípios de Mombaça, Piquet Carneiro, Senador Pompeu e Madalena apresentaram densidade de drenagem de 0,46 km/km². A menor proporção de densidade drenagem (0,44 km/km²) foi apresentada por Monseñor Tabosa.

Em geral, a densidade de drenagem dos municípios que compõem a sub-bacia é baixa. Isto significa que, de forma geral, a sub-bacia tem baixa capacidade de infiltração de água no solo. Isso porque, à medida que aumenta o valor da densidade, ocorre a diminuição do tamanho dos componentes fluviais das sub-bacias de drenagem. Com isso, quanto maior a densidade de drenagem, maior é a velocidade com que a água atinge o rio, contribuindo, assim, para enchentes e alagamentos nos municípios que compõem a referida sub-bacia.

A sinuosidade relaciona o comprimento do canal principal com a distância vetorial entre os extremos do canal, e constitui um fator

controlador da velocidade de escoamento das águas. Nesse indicador, o município que apresentou o maior valor foi Mombaça (1,46) seguido por Pedra Branca (1,44), Madalena (1,40), Monsenhor Tabosa (1,32), Piquet Carneiro (1,32), Quixeramobim (1,29) e Senador Pompeu (1,27). Estes municípios são os que apresentaram drenagens sinuosas, comparados com os demais. Com isso, pode apresentar acúmulos de sedimentos, provocando assoreamento e diminuindo, assim, o fluxo da água nessas drenagens.

Os municípios que apresentam os menores índices de sinuosidade são: Banabuiú (0,72); Jaguaratama (0,83); Ibicuitinga (1,00); Morada Nova (1,05); Boa Viagem (1,11); e Quixadá (1,18). Estes são os que mais influenciam nas enchentes a jusante, pois contribuem para a maior retenção de água, visto que, quanto menor for esse índice, maior a velocidade do escoamento superficial.

O indicador Coeficiente de Compacidade é a relação entre perímetro da sub-bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da sub-bacia. Neste indicador, a maior compacidade foi apresentada pelo município de Morada Nova, com coeficiente de compacidade de 2,22, seguido pelos municípios de Quixadá (1,99), Pedra Branca (1,98), Mombaça (1,94), Senador Pompeu (1,83) e Banabuiú (1,77).

Os municípios de Madalena, Boa Viagem e Quixeramobim apresentaram compacidade de 1,77. Já Monsenhor Tabosa apresentou coeficiente de 1,7. Os que apresentaram menos coeficiente de compacidade foram Jaguaratama (1,31), Piquet Carneiro (1,42) e Ibicuitinga (1,59).

O Coeficiente de Compacidade determina a irregularidade da drenagem de cada município: quanto maior for o coeficiente de compacidade mais irregular será a bacia/drenagem. Destaca-se que todos os municípios da sub-bacia apresentaram coeficientes acima de 1. Com isso, são suscetíveis de ocorrência de inundações, pois, quanto menor for o valor desse coeficiente (números próximos a zero), mais arredondada será a sub-bacia e mais sujeita a enchentes ela estará. Simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a sub-bacia se aproxima

da forma circular, e diminui à medida que a forma se torna alongada (CARDOSO et al., 2006, p. 244).

O Coeficiente de Manutenção também foi utilizado para mensurar o índice de sustentabilidade geoambiental na dimensão Drenagem. O coeficiente de manutenção tem a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de 1m de canal de escoamento. Com esse dado, é possível estimar qual seria a área necessária para a manutenção de 1m de curso fluvial perene, o que permite raciocinar sobre o balanço hidrodinâmico da área (SCHUMM, 1956, p. 607).

O município de Monsenhor Tabosa apresentou o maior Coeficiente (2.251,54), que é um valor classificado como alto, ou seja, nessa sub-bacia é necessária uma área de 2.046,68km² para manter ativo um quilômetro (km) de canal fluvial. Morada Nova apresentou o menor coeficiente de manutenção (2.046,68), e os demais apresentaram coeficiente que variou entre 2.067,84 e 2.168,34.

O coeficiente de manutenção é fundamental para mensurar a sustentabilidade ambiental da sub-bacia, pois evidencia áreas de recarga e, com isso, permite diagnosticar o risco de disponibilidade hídrica

Análise dos Indicadores de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão uso da terra dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú

Foram considerados como indicadores da dimensão uso da terra, os valores percentuais das áreas ocupadas por cada classe de uso e ocupação dos solos de cada município que compõe a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

Entre os indicadores da categoria dos positivos, o corpo hídrico foi mais significativo no município de Jaguaratama, que apresentou o maior percentual deste indicador, com 6,9% de sua área total. Atrás seguem Mombaça, com 5,5%; Boa Viagem, com 3,1%; e Pedra Branca, com 2,6%. Os municípios de Quixeramobim e Morada Nova foram os

que apresentaram menos percentuais deste indicador em relação aos demais.

Com relação ao indicador positivo Vegetação Arbustiva Densa, o município de Banabuiú apresentou cerca de 70% de sua área ocupada por este indicador, seguido por Quixadá, que apresentou 42,64%. Piquet Carneiro e Mombaça apresentaram uma área de 31,91% cada.

Os municípios que apresentaram menores percentagens de suas áreas ocupadas com vegetação arbustiva densa foram Boa Viagem, Monsenhor Tabosa e Madalena com percentuais de 3,14%, 3,52%, e 10,68%, respectivamente.

Com relação ao indicador Vegetação Arbustiva Aberta, três dos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú apresentaram mais de 50% de suas áreas ocupadas com este indicador. A maior área foi apresentada por Madalena (63,96), seguido por Morada Nova (59,32) e Ibicuitinga (52,45).

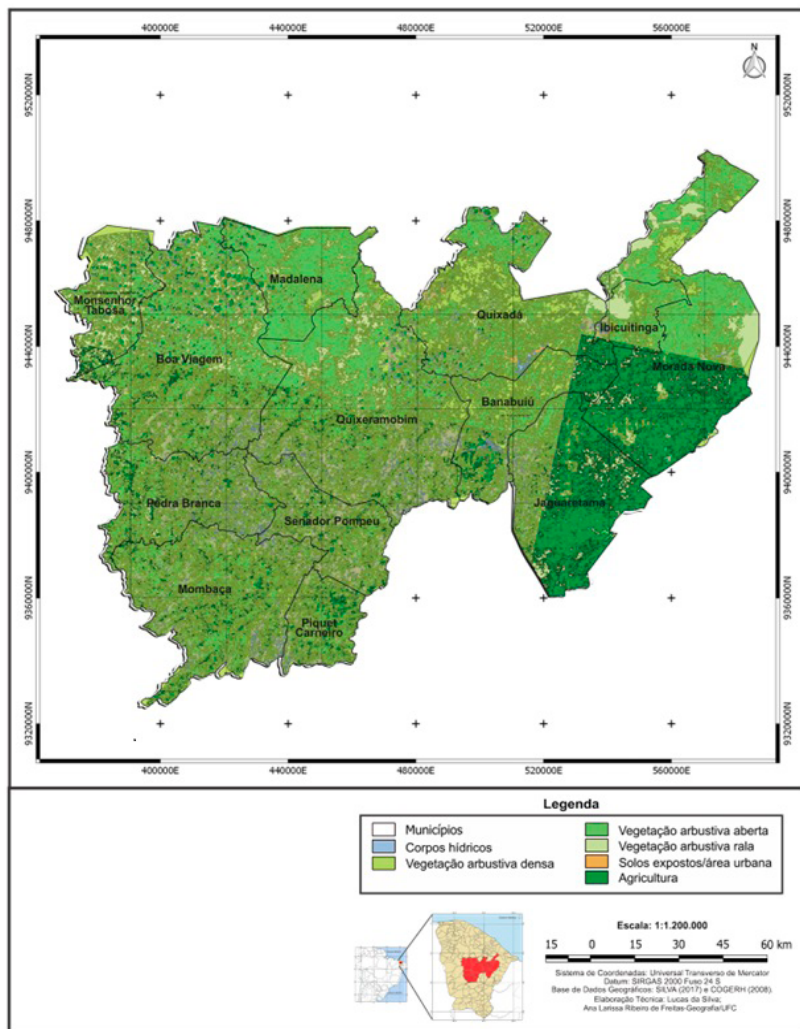
Os municípios de Quixeramobim, Boa Viagem, Piquet Carneiro apresentaram as seguintes percentagens: 47,68%; 40,72%; e 36,93%, respectivamente. O município que apresentou menor percentual deste indicador foi Jaguaratama com 6,84%. Em seguida temos Banabuiú (12%) e Mombaça (12%). Os demais variaram entre 26% e 34%.

Tabela 8 - Valores dos Indicadores selecionados para formulação do Índice de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão uso da terra, dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

| NEGATIVO | | | POSITIVO | | | CATEGORIAS |
|-------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------|---|
| Agricultura | Vegetação Arbustiva Rala | Solos expostos e/ou Área Urbana | Vegetação Arbustiva aberta | Vegetação Arbustiva densa | Corpos Hídricos | CLASSE INDICADORES USO DA TERRA (hectare) |
| 1,3 | 47,0 | 4,9 | 36,4 | 209,5 | 4,1 | Banabuiú |
| 166,4 | 584,3 | 73,4 | 632,0 | 48,7 | 47,5 | Boa Viagem |
| 0,0 | 94,2 | 10,9 | 209,3 | 76,0 | 8,7 | Ibicuitinga |
| 0,0 | 25,2 | 1,6 | 3,2 | 13,4 | 3,2 | Jaguaretama |
| 27,6 | 203,6 | 16,5 | 662,5 | 110,7 | 15,0 | Madalena |
| 30,8 | 65,0 | 40,9 | 85,6 | 113,4 | 19,6 | Mombaça |
| 90,4 | 409,9 | 39,3 | 205,2 | 27,8 | 16,6 | Monsenhor Tabosa |
| 0,0 | 341,6 | 9,2 | 873,2 | 242,5 | 5,5 | Morada Nova |
| 523,6 | 1369,0 | 296,4 | 1681,5 | 952,5 | 128,9 | Pedra Branca |
| 93,6 | 11,4 | 31,4 | 175,5 | 151,7 | 11,5 | Piquet Carneiro |
| 25,7 | 262,8 | 62,2 | 506,5 | 656,1 | 25,3 | Quixadá |
| 29,4 | 371,5 | 29,8 | 626,3 | 241,3 | 15,1 | Quixeramobim |
| 67,2 | 150,6 | 70,5 | 206,5 | 205,7 | 16,4 | Senador Pompeu |

Fonte: COGERH (2008).

Figura 9 - Uso da terra dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



Fonte: Silva, 2017 (Adaptada).

Entre as classes de uso do solo, o indicador Solos expostos e/ou área urbana é mais presente no município de Mombaça, que apresentou 11,52%, seguido pelos municípios de Senador Pompeu, com 9,83 e Piquet Carneiro, com 6,61%. Esse indicador se caracteriza por

solos rasos pedregosos, com elevado grau de degradação, devido à forma inadequada como os solos desses municípios são utilizados, principalmente pela agricultura. Segundo Guimarães et al. (2016) essa situação é agravada na estação seca, pois o uso da terra para o manejo agrícola é dificultado, causando lentidão e retardando a regeneração da vegetação natural.

Os municípios de Pedra Branca, Monsenhor Tabosa, Boa Viagem e Quixadá apresentaram percentual de áreas de 5,99%, 4,98%, 4,73%, e 4,04%, respectivamente. Morada Nova foi o que apresentou menor percentual neste indicador, com 0,62%, seguido pelos municípios de Madalena (1,59%), Banabuiú (1,62%) e Quixeramobim (2,27%).

A classe de uso vegetação arbustiva rala é mais frequente no município de Jaguaratama, em que apresentou 53,95% de sua área com essa cobertura, seguido pelo município de Monsenhor Tabosa com 51,94%.

Os municípios que apresentaram menores percentuais no indicador uso da terra foram Piquet Carneiro (2,41%), Banabuiú (15,49), Quixadá (17,08) e Mombaça (18,28%). Os demais apresentaram percentuais entre 21% e 38%: Senador Pompeu (21,01); Morada Nova (23,59%); Ibicuitinga (23,59%); Pedra Branca (27,65%); Quixeramobim (28,28%); e Boa Viagem (37,64%).

A agricultura é uma atividade bastante praticada nos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú, prevalecendo agricultura itinerante. Segundo Guimarães et al (2016, p. 11), essa forma de cultivo retira toda a vegetação, e o solo é queimado para novo plantio, deixando, com isso, o solo cada vez mais suscetível à erosão. Nessa região, os processos erosivos são mais preocupantes, uma vez que a erosão torna os solos mais vulneráveis, pois, somada às pressões antrópicas, existe a própria fragilidade do material pedológico: solos rasos, cascalhentos e areno-argilosos (COSTA, 2009, p. 4).

Entre os municípios da sub-bacia, a agricultura é o uso mais frequente em Piquet Carneiro, que apresentou 19,7% de seu território ocupado por agricultura, seguido pelos municípios de Monsenhor Tabosa (11,45%), Boa Viagem (10,72%), Pedra Branca (10,57%), Se-

nador Pompeu (9,38%), Mombaça (8,66%) e Madalena (2,66%). Estes são os que mais contribuem para a insustentabilidade da sub-bacia neste indicador, já que é considerado como negativo na dimensão uso da terra.

Os municípios que menos contribuem para a insustentabilidade da sub-bacia no indicador em questão, por apresentarem percentuais de áreas menores no uso de seus solos com atividades agrícolas, são: Morada Nova; Ibicuitinga; Jaguaretama; Banabuiú; Quixadá; e Quixeramobim, respectivamente.





**OS ÍNDICES DE
SUSTENTABILIDADE
GEOAMBIENTAL**

Cálculo dos Índices de Sustentabilidade Geoambiental

Os Índices de Sustentabilidade Geoambiental dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica foram estabelecido com base no nível e na influência dos indicadores geofísicos da área da sub-bacia, a partir da vulnerabilidade e do grau de comprometimento ambiental de cada município.

Para esses índices, foram estabelecidas sete dimensões: solos; vegetação; clima; geomorfologia; geologia; drenagem; e uso da terra. Essas dimensões foram categorizadas em indicadores positivos e negativos, com base no tamanho das áreas e na abrangência de cada indicador por município.

Para uma melhor compreensão dos resultados, os índices foram categorizados em níveis de desempenho de sustentabilidade e representados por gráficos e mapas por meio de cores.

A partir dos indicadores da categoria socioambiental e da categoria geoambiental foi obtido um índice individual para cada indicador de cada dimensão, seguindo as propostas metodológicas adaptadas por Carvalho *et al.* (2011, p. 299) em que para cada indicador foi definido seu tipo de relação com o entorno geral. Segundo os autores, para cada variável é necessário identificar se ela mede uma situação em que, ao aumentar seu valor, favorece ou desfavorece o processo de desenvolvimento, no caso do estudo de sustentabilidade ambiental. Assim, existe uma relação positiva se um aumento no valor da variável resulta em melhoria do sistema. Em contrapartida, a relação é negativa se um aumento no valor da variável resulta em piora do sistema. A operacionalização foi feita conforme regra encontrada em Carvalho *et al.* (2011, p. 299), com legenda logo abaixo da fórmula.

Relação Positiva:

$$I = \frac{x - m}{M - m}$$

Relação Negativa:

$$I = \frac{M - x}{M - m}$$

I = índice calculado referente a cada variável, para cada território analisado;

x = valor observado de cada variável em cada território analisado;

m = valor mínimo considerado;

M = valor máximo considerado.

Para realizar o cálculo do índice para cada indicador foi realizada a agregação desses indicadores por dimensão, na qual foi determinado o índice individual de acordo com a distinção do sinal, indicando se a relação é positiva ou negativa, conforme estabelece Carvalho *et al.* (2011, p. 299).

Para as variáveis que apresentem diferentes unidades de medida, foram utilizadas unidades de agregação a partir das relações positivas e negativas de cada uma delas. Esse procedimento, segundo Carvalho *et al.* (2011, p. 299) possibilitará ajustar os valores observados das variáveis a escalas cujo valor mínimo é 0 (zero) e valor máximo é igual a 1 (um), criando condições para a agregação nas dimensões/categorias, e consequentemente a estimação do indicador proposto (Índice de Sustentabilidade ambiental integrado para sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú).

Após a definição dos índices, eles foram classificados em níveis de sustentabilidade ambientais com intervalos de 0,0 a 1,0, conforme pode ser observado no Quadro 8.

Quadro 8: Índices e Desempenho Ambiental.

| Índice (0,0-1,0) | Desempenho |
|------------------|------------------------------|
| 0,0 - 0,2 | Insustentável |
| 0,21 - 0,4 | Potencialmente Insustentável |
| 0,41 - 0,6 | Sustentabilidade Média |
| 0,61 - 0,8 | Potencialmente Sustentável |
| 0,81 - 1,0 | Sustentável |

Fonte: (Silva, 2017).

Em seguida, foram determinados os índices de sustentabilidade geoambiental, a partir dos indicadores das dimensões solos, vegetação, clima, geomorfologia e geologia, através da média aritmética dos valores individuais de cada indicador, obtida pela equação empírica abaixo, que busca representar o Índice de Sustentabilidade Geoambiental (ISGa) dos municípios que compõem a sub-bacia.

$$\text{ISGa} = \frac{(\text{iSolos} + \text{iVegetação} + \text{iClima} + \text{iGeomorfologia} + \text{iGeologia}) \times 1 + (\text{iDrenagem}) \times 2 + \text{iUso da Terra} \times 2}{5}$$

Onde:

ISGa: índice de sustentabilidade geoambiental;

iSolos: média dos índices dos indicadores da dimensão solos por município;

iVegetação: média dos índices dos indicadores da dimensão vegetação por município;

iClima: média dos índices dos indicadores da dimensão clima por município;

iGeomorfologia: média dos índices dos indicadores da dimensão geomorfologia por município;

iGeologia: média dos índices dos indicadores da dimensão geologia por município,

iDrenagem: média dos índices dos indicadores da dimensão drenagem por município;

iUso da Terra: média dos índices dos indicadores da dimensão uso da terra por município.

Para representar os índices, escolheu-se o gráfico tipo radar, porque por meio dele é possível uma melhor visualização do comportamento de todos os indicadores com seus respectivos índices, em que, cada área dos triângulos representa os índices finais de sustentabilidade socioambiental da dimensão ambiental de cada município.

Para a materialização dos mapas foi utilizado um banco de dados, com informações levantadas das imagens de sensoriamento remoto das bases cartográficas e dos trabalhos de campos realizados na área da sub-bacia. Para isso, foram utilizados sistemas de informações geográficas – SIG, por meio de *softwares* do livre *Quantum GIS* (QGIS). O QGIS foi utilizado para delimitar a área de estudo e definir os limites dos municípios, classificar os atributos e parâmetros ambientais como indicador ambiental da área de estudo.

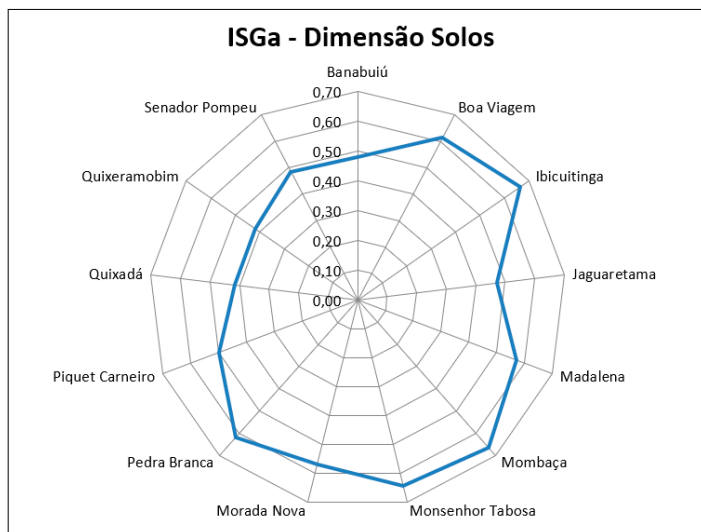
Para a geração e sistematização dos dados espaciais dos municípios que compõem a sub-bacia foram utilizados os *softwares* QUANTUM GIS 2.2 e o ENVI 4.8. Como principais fontes de dados foram utilizadas as dos estudos realizados pelo Governo do Estado do Ceará (2009) e a base de dados da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH

Índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão solos dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú

Os índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão solos foram estabelecidos tendo como base de cálculo os dezesseis tipos de solos mais frequentes nos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú. Estes podem ser observados na Figura 10, em que se observa o desempenho de todos os indicadores a dessa dimensão por municípios.

Assim, pode-se afirmar que os municípios com maiores Índices de Sustentabilidade na dimensão solos são os que apresentam a maior área do triângulo no gráfico. Desse modo, o município que aparece com o melhor desempenho Sustentável Geoambiental é o município de Ibicuitinga, com índice 0,67, seguido dos municípios de Mombaça (0,66), Monsenhor Tabosa (0,64) e Boa Viagem (0,61). Estes municípios têm tais índices por apresentarem maiores percentuais de solos como indicador positivo e menores valores em seus indicadores negativos.

Figura 10 - Índices de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão solo, dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

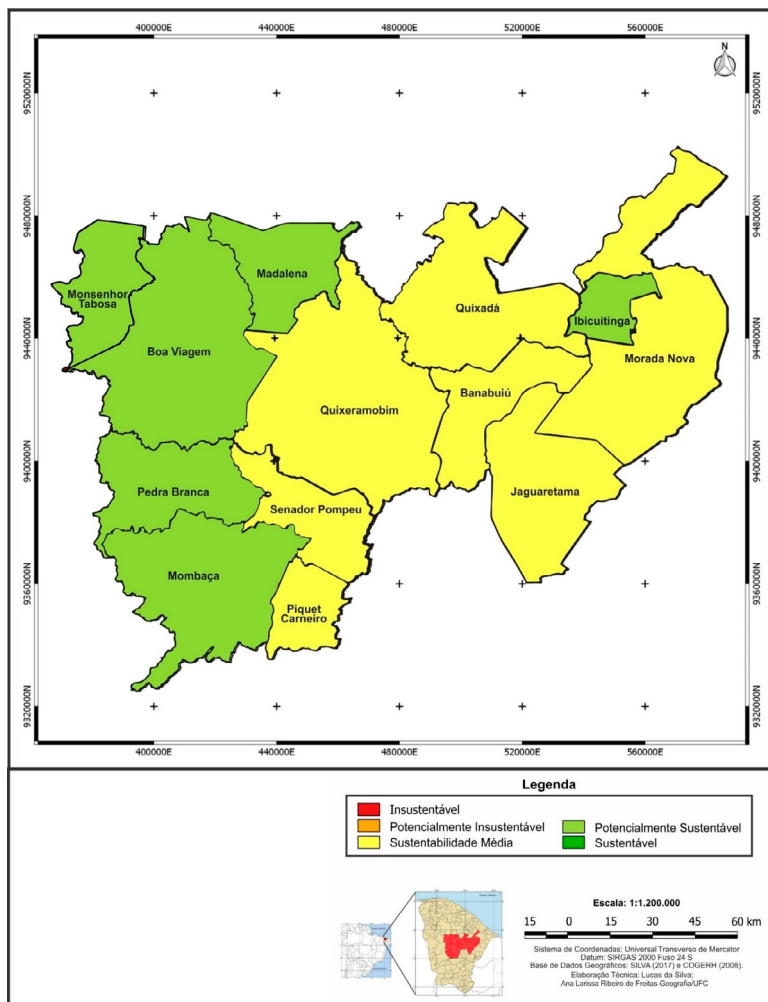


Fonte: Próprio autor.

É possível também observar, na Figura 10, os municípios com baixo desempenho de sustentabilidade na dimensão solo, por apresentarem valores baixos em seus indicadores positivos, e altos nos negativos. Nesta classificação, os municípios de Quixadá e Quixeramobim apresentam menores índices (0,42), seguidos dos municípios de Jaguaretama (0,47), Banabuiú e Senador Pompeu, ambos com índices de (0,48). Os demais municípios apresentam desempenho oscilando entre 0,50 (Piquet Carneiro) e 0,57 (Madalena e Morada Nova).

A Figura 11 mostra os níveis de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão solos. Observa-se que os municípios pesquisados apresentam apenas dois níveis de sustentabilidade Geoambiental: Potencialmente Sustentável e Sustentabilidade Média. Os municípios considerados como Potencialmente Sustentáveis são: Ibicuitinga; Mombaça; Monsenhor Tabosa; Pedra Branca; e Boa Viagem; os municípios considerados com Sustentabilidade Média são: Madalena; Morada Nova; Piquet Carneiro; Senador Pompeu; Banabuiú; Jaguaretama; Quixeramobim; e Quixadá.

Figura 11 - Níveis de sustentabilidade geoambiental, da dimensão solos, dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



Fonte: Silva, 2017 (Adaptada).

Mesmo que a maioria dos solos esteja na categoria negativa, isto não ocorre em todos os municípios, visto que uma parte significativa dos solos descritos também apresenta categoria positiva, o que, de certa forma, contribuiu para um resultado favorável, pois se trata de um valor médio.

Nesse resultado, mesmo que favorável, deve-se considerar que os solos do Semiárido, em geral, apresentam limitações em seus usos, por normalmente serem jovens, salinos, pobres em nutrientes, susceptíveis à erosão e que, devido ao seu material de origem ser cristalina, dificulta a infiltração da água. No entanto, tais solos podem ser bem aproveitados se manejados adequadamente, com técnicas apropriadas, sem o uso intenso de maquinário que favorecem, além de outros problemas, sua compactação. Para solos com essas características, recomenda-se um manejo de uso sustentável, sem utilização abusiva de agrotóxicos, optando por técnicas agroecológicas.

Para que a região consiga a sustentabilidade, é necessário quebra de paradigma e mudança nas formas de uso do solo. Para isso, Ab'Sáber (1999, p. 27) propõe que sejam pensadas áreas rurais mais passíveis de serem manejadas, incluindo pecuária e agricultura, ampliação de culturas secas e, sobretudo, melhor manejo da tecnologia da água para os lençóis de vertentes e de interflúvios. Para esse mesmo autor, é preciso, ainda, adotar padrões mais polivalentes de produção, de modo a garantir a continuidade da produção rural em todos os tipos de tempo. Segundo Pereira (2006) apud Almeida (2012, p. 128), para atenuar os problemas do mau uso do solo da região semiárida, deve-se pensar não somente em conservação, mas também em recuperação. Indica-se, portanto, a implantação de atividades que se mostrem como as principais vocações produtivas do domínio semiárido.

Índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão vegetação dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú

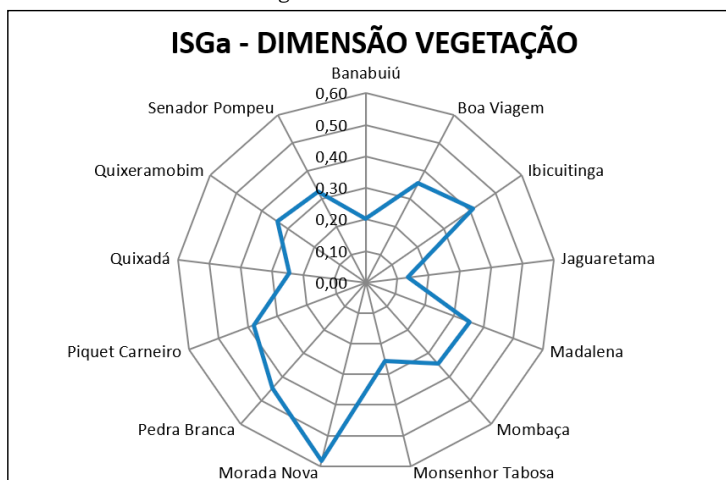
Os índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão vegetação foram estabelecidos tendo como base de cálculo os seis tipos de vegetação mais frequentes nos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú, bem como a média do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Estes podem ser observados na Figura 12, em que o município de Morada Nova apresenta o maior

índice de sustentabilidade na dimensão vegetação, com 0,58, seguido dos municípios de Pedra Branca (0,45), Piquet Carneiro (0,39) e Ibicuitinga (0,41). Esses municípios apresentam tais índices porque obtiveram maiores áreas de vegetações como indicador positivo e menores valores em seus indicadores negativos.

Os municípios de Piquet Carneiro, Boa Viagem e Madalena apresentam os seguintes índices: 0,38; 0,36; e 0,35; respectivamente. Já os municípios de Mombaça, Quixeramobim e Senador Pompeu têm índices iguais, de 0,34.

O município de Banabuiú apresenta o segundo menor índice (0,20), sendo o município de Jaguaretama o que obteve o menor índice nesta dimensão (0,14), ou seja, muito abaixo dos demais por ter apresentado maior área da Caatinga Arbustiva Aberta (72,6%), considerado o único indicador negativo nesta dimensão. No geral, os municípios citados acima apresentam baixos índices, por apresentarem as piores taxas nos indicadores positivos e altas taxas nos indicadores negativos na dimensão em tela. Isto indica, portanto, que são os que menos contribuem e menos influenciam para a sustentabilidade geoambiental da sub-bacia do rio Banabuiú, na dimensão vegetação.

Figura 12 - Índice da dimensão vegetação dos municípios que compõem a Sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



Fonte: Próprio autor.

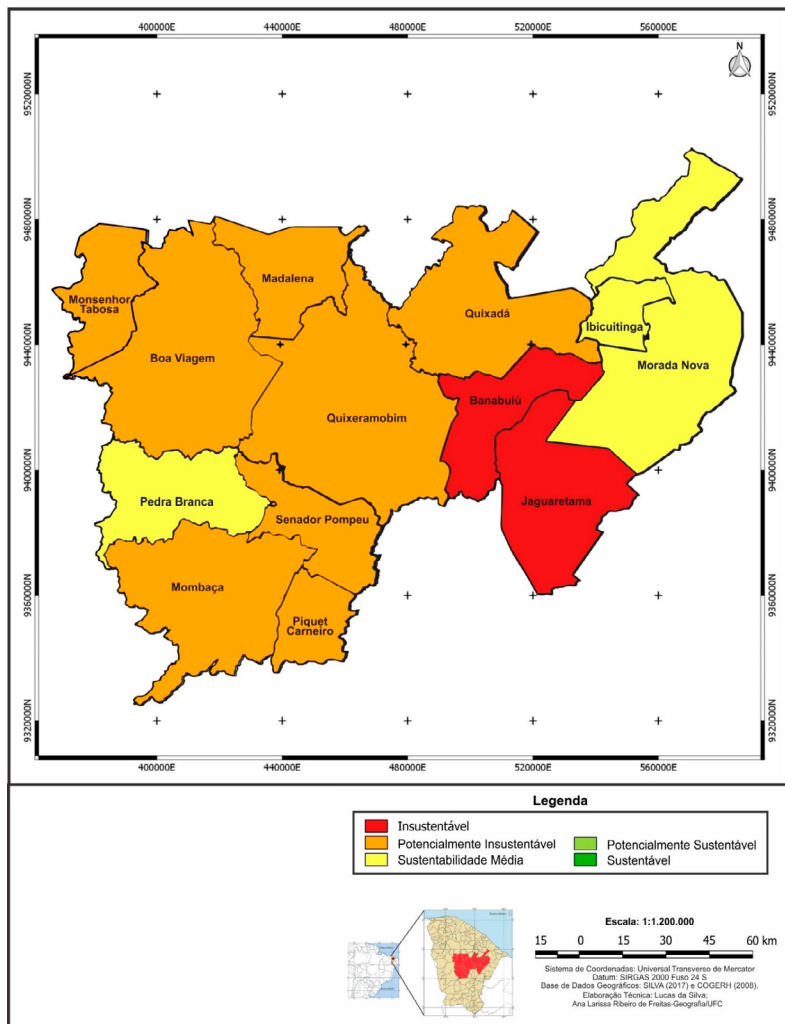
Com base nos índices expostos, a Figura 13 mostra os níveis de sustentabilidade geoambiental da dimensão vegetação, onde se observa que os municípios de Morada Nova, Ibicuitinga e Pedra Branca apresentam o nível de sustentabilidade classificado como “Sustentabilidade Média”. Já a grande maioria dos municípios que compõem a sub-bacia (Piquet Carneiro, Boa Viagem, Madalena, Mombaça, Quixeramobim, Senador Pompeu, Monsenhor Tabosa e Quixadá) apresenta nível de sustentabilidade “Potencialmente Insustentável”. Isto significa que esses municípios têm um nível de sustentabilidade geoambiental na dimensão “vegetação” apenas um acima do pior. Necessita, assim, de ações de preservação e conservação da cobertura vegetal existente e de manejo e reflorestamento das coberturas classificadas como indicador positivo.

Apenas os municípios de Jaguaruana e Banabuiú apresentam o nível “Insustentável” na dimensão “vegetação”, isto porque, como já mostrado, os referidos municípios apresentam os menores índices nesta dimensão, muito abaixo dos demais, bem como por ter apresentado maior taxa percentual no único indicador negativo.

Na dimensão vegetação, os municípios que apresentam níveis de sustentabilidade geoambiental “Potencialmente Insustentável” e “Insustentável” são os que apresentam maior vulnerabilidade e, conseqüentemente, são os que menos influenciam na sustentabilidade da sub-bacia do rio Banabuiú e menos contribuem com ela.

Portanto, esses municípios necessitam de um olhar diferenciado em seus usos, devido à sua vulnerabilidade ambiental, pois a vegetação da área da abrangência da sub-bacia do rio Banabuiú se encontra no ecossistema semiárido, que é, por natureza, considerado frágil, de pouca biomassa, o que confere pouca proteção à vegetação, sendo ainda alvo não só da agricultura, mas também da pecuária extensiva, presente na colonização da área (MATALLO JUNIOR, 2003, p. 15).

Figura 13 - Níveis de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão vegetação, dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



Fonte: Silva, 2017 (Adaptada)

Índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão clima dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú

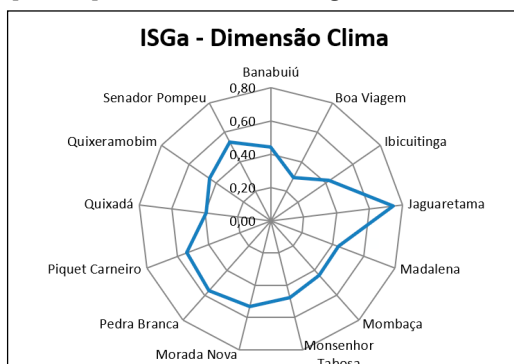
Os índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão clima foram estabelecidos tendo como base de cálculo os indicadores descritos na Tabela 4, por meio da média simples dos valores registrados por cada um dos municípios que compõem a sub-bacia. Esses índices estão ilustrados na Figura 14, na qual é apresentado o desempenho de todos esses indicadores.

A partir disso, pôde-se verificar que o município com maior índice de sustentabilidade geoambiental é Jaguaretama, com o melhor índice (0,74), seguido por Pedra Branca com 0,56.

Já o município Piquet Carneiro aparece com índice de 0,54, seguido por Senador Pompeu e Morada Nova, os quais apresentam índice de 0,53. Esses municípios apresentaram melhores índices por terem apresentado maiores valores nos indicadores da dimensão clima e na dimensão solos como indicador positivo e menores valores dessas dimensões em seus indicadores negativos.

O município de Monsenhor Tabosa apresenta índice de 0,48 e Quixeramobim de 0,45. Já Banabuiú, Mombaça e Madalena apresentam índice igual, de 0,44, enquanto Ibicuitinga apresenta de 0,43.

Figura 14 - Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão clima dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



Fonte: Próprio autor.

Os menores índices de sustentabilidade geoambiental da dimensão clima são dos municípios Boa Viagem, Quixadá e Ibicuitinga, com 0,29; 0,39; e 0,43; respectivamente. Esses municípios apresentam esses baixos índices em função da baixa pluviometria, tanto na média anual, como na máxima e na mínima registrada. Tais municípios ainda apresentam elevados valores de evapotranspiração, assim como menores valores de índice de aridez e, com isso, apresentam maior caráter árido do local.

O município de Boa Viagem apresenta a pior mínima registrada entre os municípios pesquisados, além ter sido o segundo pior nos indicadores de probabilidade (75%), de ocorrência de chuva, na média histórica e no índice de aridez. O valor de evapotranspiração do referido município corresponde ao terceiro maior e ao quarto pior no volume máximo de chuva registrado nos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú.

Com base nesses índices, a Figura 15 mostra o nível de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão clima. Nela, observa-se que apenas o município de Jaguaretama apresenta o nível de sustentabilidade “Potencialmente Sustentável”. Com isso, pode-se afirmar que é o que mais contribui para a sustentabilidade geoambiental da sub-bacia, nesta dimensão. No entanto, é importante destacar que esse município apresenta esse nível de sustentabilidade por ter apresentado maiores volumes de chuva na média histórica, na máxima e na mínima registrada, bem como na probabilidade de 75% de ocorrência.

Também apresenta o segundo melhor índice de aridez. Desse modo, percebe-se que as condições favoráveis desse município, que se destaca em relação aos demais, podem ser justificadas pela sua localização geográfica, entre outros fatores, pois está inserido na mesorregião geográfica do Jaguaribe. Esse município tem, pois, condições fisiográficas e fitogeográficas diferentes dos municípios mais localizados na depressão sertaneja do estado do Ceará.

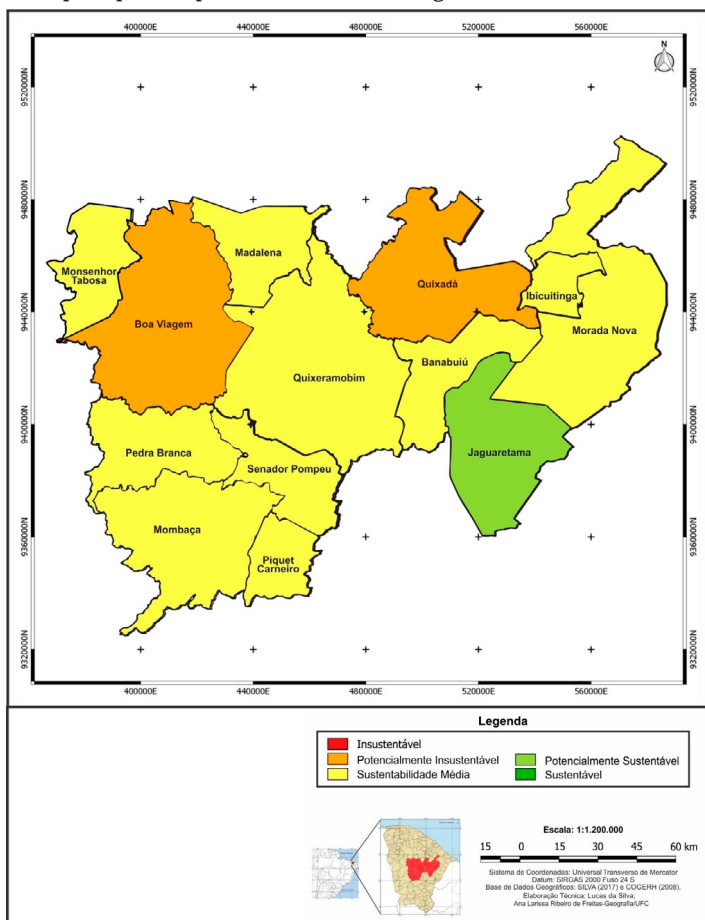
Dos municípios pesquisados, dez apresentam nível de “Sustentabilidade Média” na dimensão clima, com índices compreendidos en-

tre 0,41 e 0,60, são eles: Pedra Branca (0,56); Piquet Carneiro (0,54); Senador Pompeu (0,53); Morada Nova (0,53); Monsenhor Tabosa (0,48); Quixeramobim (0,45); Banabuiú (0,44); Mombaça (0,44); Madalena (0,44); e Ibicuitinga (0,43). Esse nível de sustentabilidade alerta para a necessidade de um manejo adequado do uso e ocupação dos solos desses municípios, com técnicas eficazes para produção agrícola e pecuária, além da implementação de políticas públicas efetivas de convivências com semiárido.

Os municípios de Boa Viagem e Quixadá são os que apresentam níveis de sustentabilidade geoambiental na dimensão clima classificados como “Potencialmente Insustentável”. Com esses dados, verifica-se que têm o pior nível entre os municípios pesquisados nesse aspecto e urge, portanto, a necessidade de se prover estratégias de convivência diante do fenômeno de escassez hídrica, que é uma característica da região semiárida.

Mesmo o indicador clima sendo alicerçado nos aspectos climático e meteorológico e nas limitações hidrológicas e irregularidade pluviométrica, não se pode desconsiderar as intervenções humanas, como o intenso uso dos solos dessa região que, na maioria das vezes, é realizada de forma inadequada.

Figura 15 - Níveis de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão clima, dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



Fonte: Silva, 2017 (Adaptada).

Índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão geomorfologia dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú

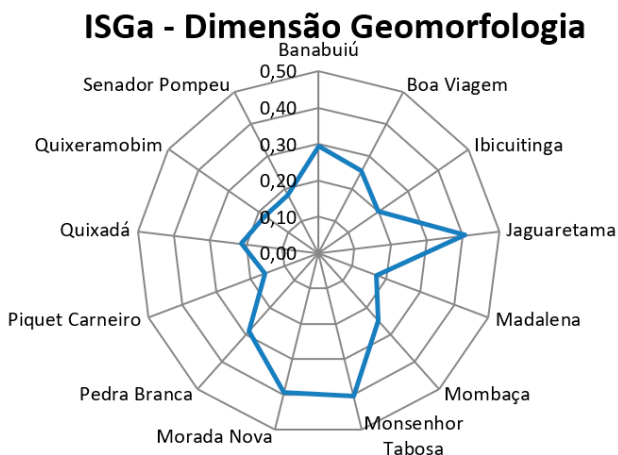
Os índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão geomorfologia foram estabelecidos tendo como base de cálculo as sete unidades geomorfológicas da área de estudo, conforme Tabela 5.

No geral, os valores foram baixos em função da pouca presença dos indicadores positivos na grande maioria dos municípios. Desse modo, quando um indicador positivo não aparece em determinado município, recebe o valor zero, o que representa o valor mínimo de sustentabilidade, influenciando negativamente para o valor médio de sustentabilidade nessa dimensão específica.

Os valores do índice de sustentabilidade geoambiental da dimensão geomorfologia são apresentados na Figura 16, onde se observa que, entre os municípios analisados, Jaguaretama apresenta maior índice (0,41), seguido por Monsenhor Tabosa (0,40) e Morada Nova (0,39). Esses municípios se destacam porque apresentaram maiores taxas nos indicadores positivos, bem como baixas taxas nos indicadores negativos.

Esses valores foram obtidos em função desses municípios estarem localizados em áreas com características geomorfológicas, que contribuem mais positivamente para sua sustentabilidade geoambiental.

Figura 16 - Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão geomorfologia dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



Fonte: Próprio autor.

Os municípios de Banabuiú e Pedra Branca apresentam índices de 0,29, enquanto Ibicuitinga, Quixadá, Mombaça e Boa Viagem apre-

sentam índices que variam entre 0,20 e 0,26. Senador Pompeu e Quixeramobim apresentaram índices de 0,18 cada.

Os municípios que apresentam menores índices são Piquet Carneiro e Madalena, com 0,16 e 0,17, respectivamente. Com isso, são os que mais contribuem para insustentabilidade geoambiental da sub-bacia do rio Banabuiú, na dimensão em tela, por terem apresentado as piores taxas nos indicadores positivos e altas taxas nos indicadores negativos. Isto indica que as características geomorfológicas desses municípios não são favoráveis à sustentabilidade da área em estudo.

Com relação aos níveis de sustentabilidade geoambiental na dimensão geomorfologia, o maior nível alcançado foi de Sustentabilidade Média, obtido apenas por Jaguaretama. Este se destaca por apresentar características geomorfológicas que contribuem mais para a produção agrícola, armazenamento de água e qualidade dos aspectos ambientais. Isso se deve ao fato de esse município fazer parte de outra configuração geomorfológica, diferenciando-se dos demais que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú.

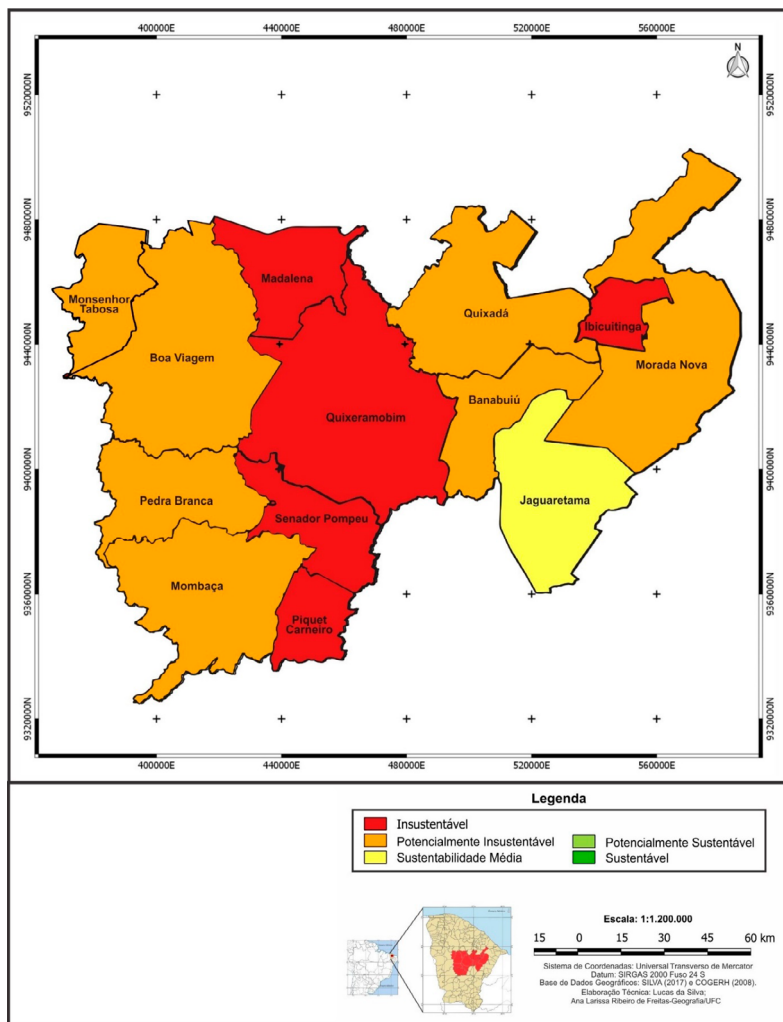
No entanto, mesmo sendo o município com melhor nível de sustentabilidade, apresenta, assim como os demais, altos níveis de degradação ambiental, como mostrou Souza et al. (2011, p. 35), a saber: Jaguaretama apresenta áreas degradadas por exploração mineral, diversidade biológica empobrecida e ações erosivas intensificadas com aceleração dos processos de degradação ambiental nas vertentes e no entorno de nascentes fluviais. Os mesmos autores também apresentam cenários desejáveis para o citado município: i) propõem controle dos desmatamentos e da atividade de mineração; ii) aumento da produção agrícola e melhoria dos sistemas tecnológicos, com práticas conservacionistas de uso do solo implementadas, tais como, sistemas agroflorestais, silviculturais implementados para reverter tendências de extinção das matas secas e ciliares; iii) controlar a erosão e a degradação dos recursos hídricos; e iv) recuperar a diversidade biológica.

Dos municípios que compõem a sub-bacia do rio Banabuiú, seis apresentam, na dimensão geomorfologia, o nível de sustentabilidade geoambiental classificado como “Potencialmente insustentável”: Morada Nova; Banabuiú; Pedra Branca; Boa Viagem; Mombaça; e Quixadá. Esse nível é o penúltimo, apenas melhor que os classificados como insustentável (Ver Figura 17).

Ainda nessa dimensão, a situação mais crítica se encontra nos municípios de Ibicuitinga, Senador Pompeu, Quixeramobim, Madalena e Piquet Carneiro. Estes são os que apresentam o nível de “insustentável” por possuírem características geomorfológicas que não contribuem para a sustentabilidade da sub-bacia, uma vez que todos esses apresentam taxas menores de Corpo de água continental, de Planícies e Terra Fluviais, de Superfície Rebaixada do Vale do Rio Açu, de Serra Branca e de Serra do Machado e das Matas. Todos esses indicadores são considerados positivos, pois contribuem de forma significativa com a sustentabilidade da sub-bacia. Muitos desses municípios apresentam 0% na maioria desses indicadores geomorfológicos, baixando, desse modo, o índice médio de sustentabilidade.

Finalmente, esses municípios também apresentam altos valores de percentagem no indicador Depressão Sertaneja Setentrional, classificado como negativo. Com isso, são os que menos contribuem para a sustentabilidade da sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

Figura 17 - Níveis de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão Geomorfológica, dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

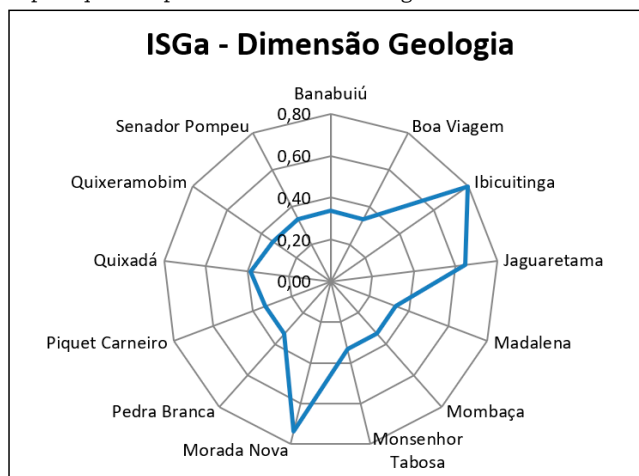


Fonte: Silva, 2017 (Adaptada).

Índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão geologia dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú

Os índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão geologia foram estabelecidos tendo como base de cálculo as classes geológicas dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú. Os municípios com maiores índices de sustentabilidade geoambiental na dimensão geologia são os que apresentam a maior área do triângulo no gráfico de radar, onde Ibicuitinga apresenta melhor desempenho, com índice de 0,79, seguido por Morada Nova, com 0,74 (ver Figura 18).

Figura 18 - Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão geologia dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



Fonte: Próprio autor.

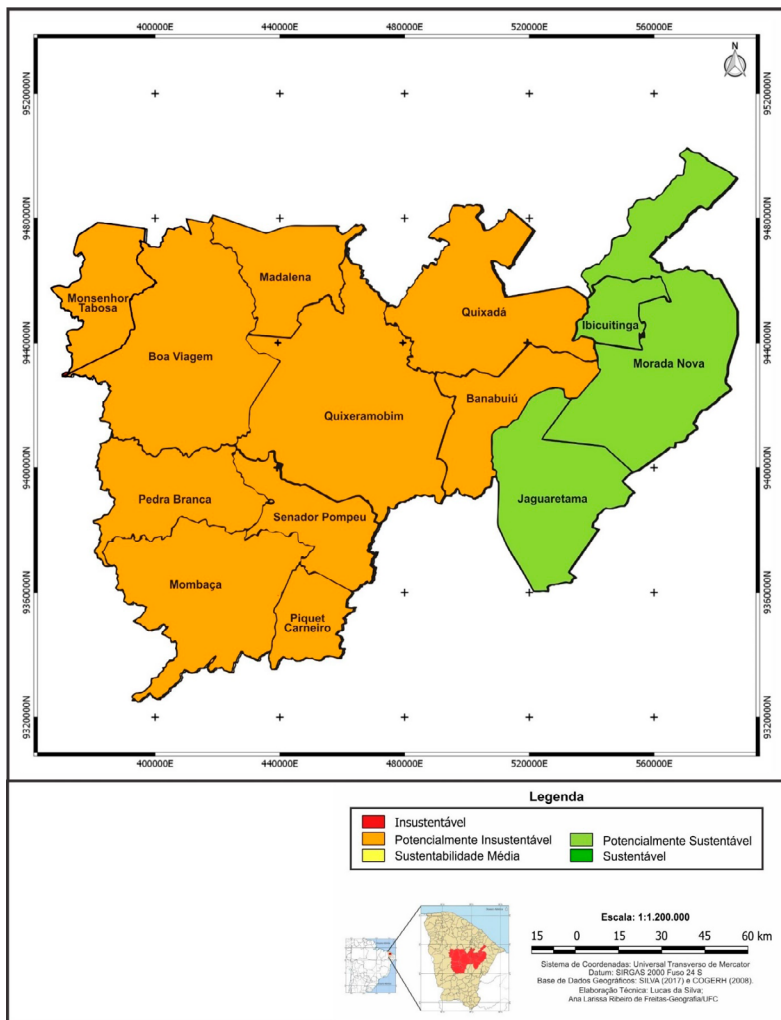
Esses municípios obtiveram tais índices por apresentarem maiores valores em seus indicadores positivos e menores nos negativos. Os municípios que obtiveram índices superiores a 0,5, como é o caso de Jaguaretama (0,65), são os que mais contribuem para a sustentabilidade geoambiental dos municípios da sub-bacia, pois apresentam taxas altas nos indicadores positivos e baixas nos negativos (ver Tabela 6). Já Quixadá e Banabuiú apresentam índices de 0,38 e 0,34, respectivamente.

Ainda na Tabela 6, observam-se os municípios que menos contribuem para a sustentabilidade geoambiental na dimensão geologia, por apresentarem baixas taxas nos indicadores positivos e altas nos negativos. Nesta situação, encontram-se Boa Viagem, Madalena, Mombaça, Monsenhor Tabosa, Pedra Branca, Piquet Carneiro, Quixeramobim e Senador Pompeu, todos com índices de 0,33. Com isso, caracterizam-se como os que menos influenciam na sustentabilidade geoambiental da sub-bacia e menos contribuem com ela.

A Figura 19 mostra o nível de sustentabilidade geoambiental da dimensão geologia. Nela, é possível observar que o maior nível obtido pelos municípios pesquisados na dimensão em estudo foi o Potencialmente Sustentável, dos quais fazem parte apenas Ibicuitinga, Morada Nova e Jaguaratama.

Os demais municípios apresentam nível de sustentabilidade Potencialmente Insustentável, por apresentarem índices entre 0,21 e 0,4. Esse nível é o segundo pior e, com isso, são esses municípios que menos influenciam na sustentabilidade geoambiental da sub-bacia menos contribuem com ela, considerando esta dimensão. Isso devido a apresentarem altos valores nos indicadores das classes ígneas e metamórficas, consideradas negativas, porque esses tipos de litologia são, em sua maioria, de qualidade inferior e normalmente servem apenas para o consumo animal; às vezes, atendem ao consumo humano e raramente prestam para irrigação. As águas que têm contato com esse tipo de substrato se mineralizam com muita facilidade, tornando-se salinizadas (SUASSUNA, 2016, p. 136).

Figura 19 - Nível de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão geologia, dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



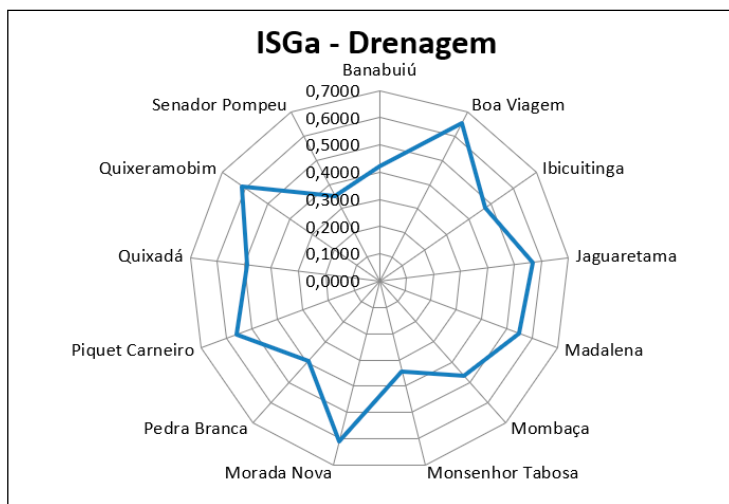
Fonte: Silva, 2017 (Adaptada)

Índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão drenagem dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú

Os índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão drenagem foram estabelecidos tendo como base de cálculo os padrões da drenagem de cada município que compõe a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.

Desse modo, pode-se observar na Figura 20, o município que apresenta maior índice nessa dimensão: Boa Viagem com 0,66. Atrás dele seguem Quixeramobim e Morada Nova, que apresentam índice de 0,61 cada.

Figura 20 - Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão drenagem dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



Fonte: Próprio autor.

Esses municípios apresentam tais índices por mostrarem maiores valores em seus indicadores positivos e menores nos negativos na dimensão drenagem. Também é possível observar que Jaguaratama, Piquet Carneiro e Madalena apresentam índices de 0,57; 0,56; e 0,55; respectivamente. Esses municípios que obtiveram índices superiores a 0,5 são os que mais contribuem para a sustentabilidade geoambien-

tal dos municípios da sub-bacia. Já Pedra Branca, Banabuiú, Mombaça, Ibicuitinga e Quixadá apresentaram índices entre 0,42 e 0,49: Quixadá, com 0,49; Ibicuitinga, com 0,47; Mombaça, com 0,47; Banabuiú, com 0,42; e Pedra Branca, com 0,40.

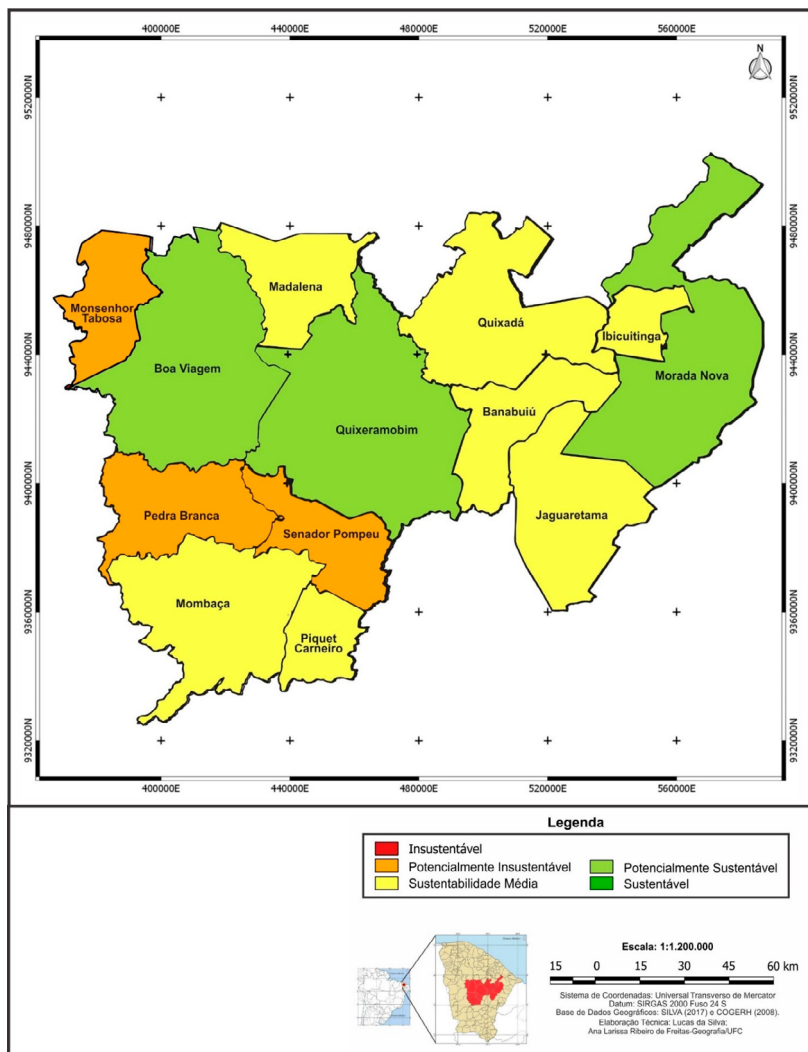
Monsenhor Tabosa é o município com menor índice (0,34), seguido por Senador Pompeu, que apresenta índice de 0,35 na dimensão drenagem.

A Figura 21 mostra o nível de sustentabilidade geoambiental da dimensão drenagem nos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú. É possível observar que o maior nível obtido nesta dimensão foi o de Potencialmente Sustentável, obtido por Boa Viagem, Quixeramobim e Morada Nova. Estes são os que apresentam características em sua morfometria que mais contribuem para a sustentabilidade da região. Tal fato se deve porque apresentam menor possibilidade de enchentes e inundações e não favorecem ocorrência de sedimentações, alagamentos e assoreamento dos rios, comparados com os demais municípios que apresentam menores níveis de sustentabilidade nesta dimensão.

Considerando a dimensão drenagem, mais da metade dos municípios apresentam nível de sustentabilidade geoambiental Sustentabilidade Média, são eles: Jaguaratama; Piquet Carneiro; Madalena; Quixadá; Ibicuitinga; Mombaça; e Banabuiú.

Os municípios de Pedra Branca, Senador Pompeu e Monsenhor Tabosa apresentam nível de sustentabilidade Potencialmente Insustentável, por apresentarem índices inferiores a 0,2. Esses são os que menos contribuem para a sustentabilidade geoambiental na dimensão exposta, por apresentarem características morfométricas, que dificultam o processo de escoamento, o que favorece a ocorrência de enchentes, sedimentações, alagamentos, assoreamento dos rios etc.

Figura 21 - Nível de Sustentabilidade Geoambiental, da dimensão drenagem, dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



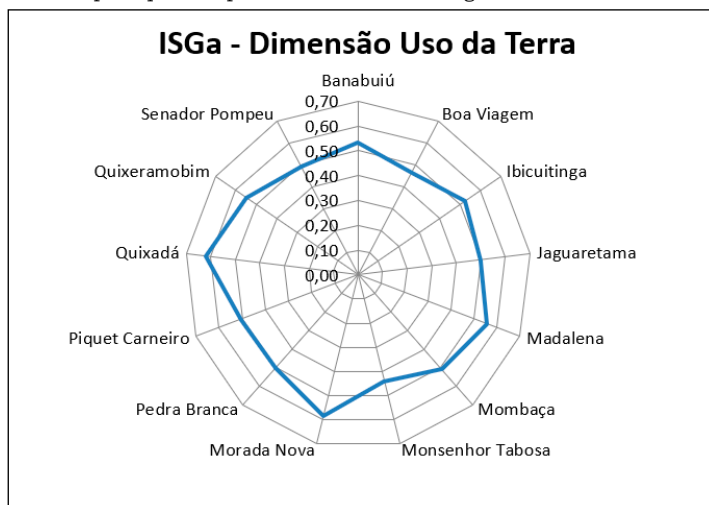
Fonte: Silva, 2017 (Adaptada).

Índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão uso da terra dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú

Os índices de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão uso da terra foram estabelecidos tendo como base de cálculo seis classes de uso e ocupação do solo conforme se verifica na Tabela 8.

Observa-se na Figura 22 que os índices médios variam entre 0,44 e 0,62. Apenas o município de Quixadá apresenta índice superior a 0,60. Já Morada Nova, Madalena, Quixeramobim, Banabuiú e Ibicuitinga apresentam os seguintes índices, respectivamente: 0,59; 0,56; 0,55; 0,53; e 0,52. Os municípios de Mombaça e Piquet Carneiro apresentam índices 0,51, enquanto Pedra Branca e Jaguaretama apresentam igual índice de 0,50.

Figura 22 - Índice de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão uso da terra dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



Fonte: Próprio autor.

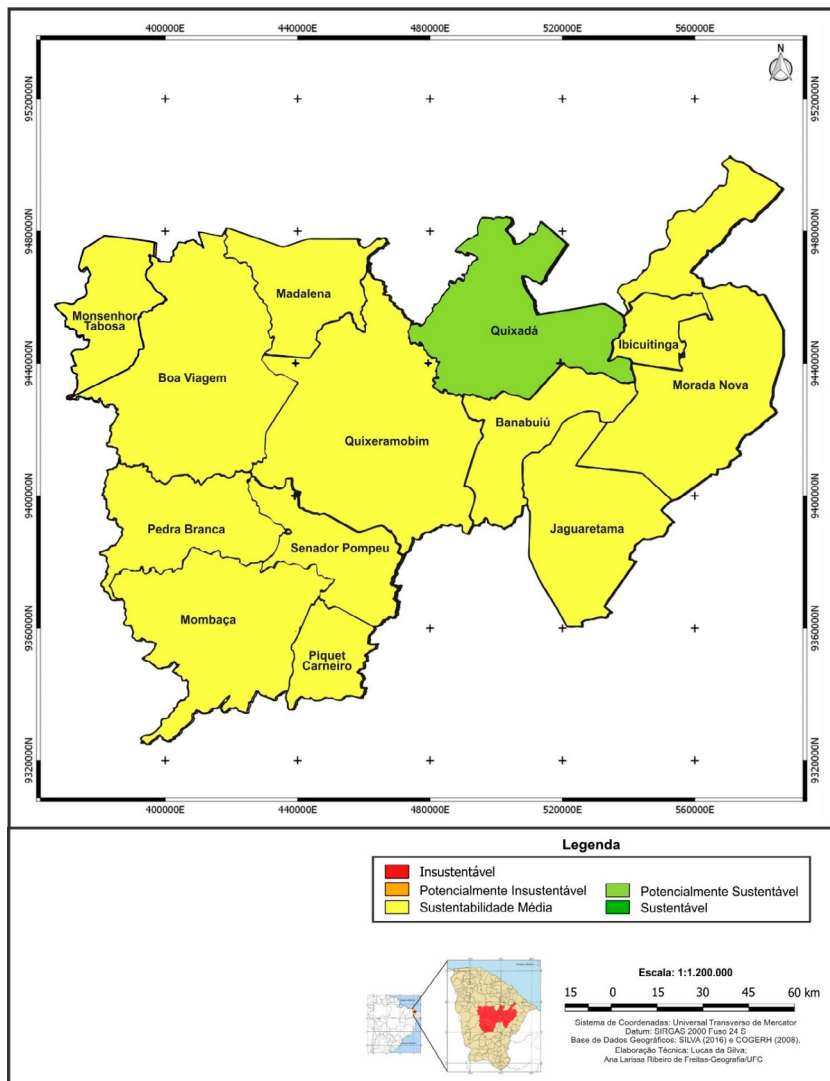
A Figura 22 mostra, ainda, que os municípios que apresentam menores índices são Piquet Carneiro e Madalena, com 0,16 e 0,17, respectivamente. Com isso, esses são os municípios que mais contribuem para a insustentabilidade geoambiental da sub-bacia do rio

Banabuiú, na dimensão geomorfológica, por apresentarem as piores taxas nos indicadores positivos e altas taxas nos indicadores negativos. Isto indica que as características geomorfológicas desses municípios não são favoráveis à sustentabilidade da sub-bacia hidrográfica do Rio Banabuiú.

Com relação aos níveis de sustentabilidade geoambiental na dimensão uso da terra, o maior nível alcançado foi de “Potencialmente Sustentável”, obtido apenas pelo município de Quixadá. Este se destaca por apresentar índices mais elevados nos indicadores relacionados aos usos e ocupações, se comparado com os demais municípios, pois apresentou mais áreas de corpos hídricos, vegetação arbustiva densa e vegetação arbustiva aberta. Estes indicadores foram os considerados positivos, uma vez que, quanto maior for a área de ocupação, mais contribuem para o índice de sustentabilidade geoambiental da sub-bacia na dimensão acima exposta (ver Figura 23).

Com exceção de Quixadá, todos os municípios apresentaram nível de sustentabilidade “Sustentabilidade Média” na dimensão uso da terra. Com isso, esses municípios estão em “alerta” e necessitam, portanto, de manejos adequados à utilização e ocupação de seus solos, principalmente nas áreas consideradas como indicadores negativos, como nos solos expostos, nas áreas de vegetação arbustiva rala e nas áreas utilizadas com agricultura. A diminuição dessas áreas contribuirá para a elevação do índice nessa dimensão e, consequentemente, para a elevação dos níveis de sustentabilidade, pois esses indicadores são classificados como negativos e, com isso, são os que menos contribui para a sustentabilidade da sub-bacia.

Figura 23 - Nível de Sustentabilidade Geoambiental da dimensão uso da terra dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



Fonte: Silva, 2017 (Adaptada).

Índices de Sustentabilidade Geoambiental médio dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú

Os índices de sustentabilidade geoambiental geral (médias das dimensões solos, vegetação, clima, geomorfologia e geologia) da sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú são apresentados na Figura 24, onde é possível observar que os maiores índices foram apresentados pelos municípios de Morada Nova (0,58), Jaguaratama (0,50) e Ibicuitinga (0,50). Esses municípios se localizam mais próximos à região da Chapada do Apodi, onde se encontram características geoambientais mais favoráveis ao desenvolvimento agrícola e ao armazenamento de água para manutenção da biota da região.

Essa região se caracteriza por ser uma grande superfície cárstica, onde predominam os cambissolos e os latossolos eutróficos, ambos fertilizados e de alta fragilidade natural (BACCARO et al. 2009, p. 204). Esses mesmos autores afirmam que os topos planos desta chapada apresentam depressões rasas, com água ocupada por carnaúbas. Nesses topos, a drenagem não é concentrada devido à grande permeabilidade dos calcáreos e não há uma rede fluvial organizada.

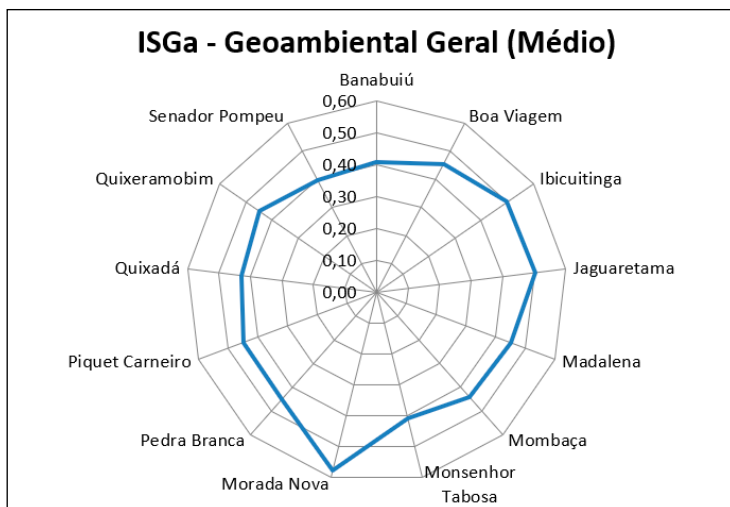
Mesmo tendo características positivas, essa região apresenta fragilidades como o rebaixamento de seus aquíferos, contaminação das águas superficiais pelos esgotos domésticos e industriais, fossas e exploração imobiliária sem controle ambiental (BACCARO et al., 2009, p. 21).

Para essa região, os autores apresentam como potencialidades ambiental e econômica o desenvolvimento sustentável da indústria salinera, a cultura de cultivos comerciais, a exploração sustentável do petróleo e o desenvolvimento do turismo ecológico e cultural. Entre as propostas de conservação e recuperação das áreas degradadas, verificamos como primordial o controle no uso da água dos aquíferos e pesquisas para avaliação de seu potencial e monitoramento (BACCARO et al., 2009, p.21).

Já os municípios de Boa Viagem, Madalena, Piquet Carneiro, Quixeramobim e Pedra Branca apresentam igual índice de 0,45.

Os menores índices de sustentabilidade geoambiental foram apresentados pelos municípios de Senador Pompeu (0,40), Monsenhor Tabosa (0,41), Banabuiú (0,41), Quixadá (0,43) e Mombaça (0,44). Estes são os que apresentam piores índices de sustentabilidade. Destaca-se que, com exceção do município de Morada Nova, todos apresentam índice igual ou inferior à metade (0,5). Isso mostra que os municípios, em geral, exercem uma influência negativa na sub-bacia e que é uma área vulnerável do ponto de vista geoambiental, necessitando, portanto, de ações de conservação e recuperação das áreas degradadas, bem como de um manejo e uso adequado dos solos, como também alternativas eficazes na utilização da água superficial e subterrânea. Também se torna indispensável um plano de reposição das matas ciliares e da cobertura vegetal das áreas de proteção permanente.

Figura 24 - Índice de sustentabilidade geoambiental médio dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



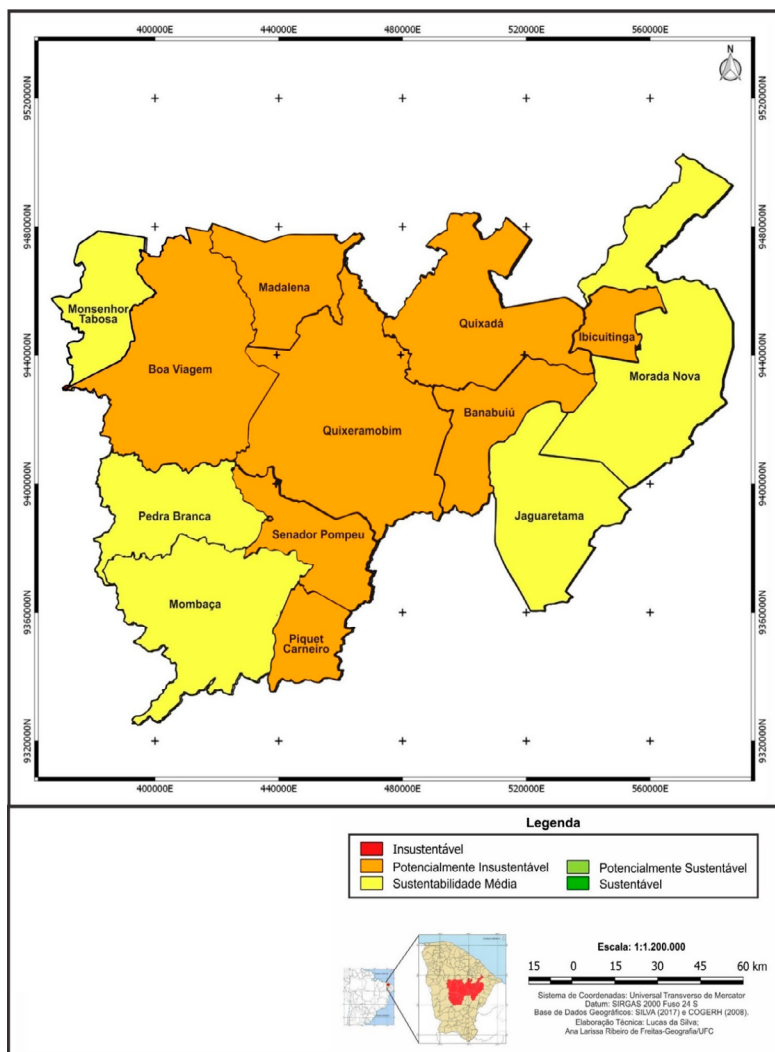
Fonte: Próprio autor.

Os níveis de sustentabilidade de todas as dimensões geoambientais (solos, vegetação, clima, geomorfologia e geologia) estão na Figura 25. Ela mostra que os municípios da sub-bacia apresentam apenas

dois níveis de sustentabilidade geoambiental geral: Sustentabilidade Média e Potencialmente insustentável. Os municípios que apresentaram nível Sustentabilidade Média foram Morada Nova, Ibicuitinga, Jaguaretama, Pedra Branca, Monsenhor Tabosa, Piquet Carneiro, Boa Viagem, Madalena, Banabuiú, Quixeramobim, Quixadá e Mombaça. Em tese, esses são os municípios mais sustentáveis geoambientalmente da sub-bacia hidrográfica e que mais influenciam na sustentabilidade geoambiental e com ela contribuem.

Apenas o município de Senador Pompeu apresenta índice geoambiental diferente dos demais, sendo este o menos sustentável geoambientalmente, pois apresenta nível de sustentabilidade Potencialmente Insustentável. Com isso, este município apresenta limitações ambientais e é o que mais influencia negativamente para a sustentabilidade geoambiental geral da sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú e menos contribui com ela.

Figura 25 - Níveis de Sustentabilidade Geoambiental Médio dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú.



Fonte: Silva, 2017 (Adaptada).

CONCLUSÃO

Devido à heterogeneidade das dimensões, dos indicadores e dos índices estabelecidos para a formulação dos índices de sustentabilidade Geoambiental, exige-se, necessariamente, para a efetivação do planejamento estratégico e gestão ambiental da sub-bacia hidrográfica do Rio Banabuiú, que sejam feitos de forma dimensional, analisando cada indicador por dimensão. Desta forma, é possível propor soluções e manejo adequado para cada realidade específica de cada município que compõe a sub-bacia hidrográfica do Rio Banabuiú.

Torna-se necessário que sejam incluídos mais indicadores e mais dimensões de acordo com a disponibilidade e acessibilidade das informações. Ademais, é importante que cada indicador seja, de forma contínua, avaliado, monitorado e reordenado, conforme necessidade de compreender e de tornar mais ampla a realidade ambiental de cada município que compõe a sub-bacia hidrográfica em estudo.

É evidente a necessidade de reorganizar os indicadores de acordo com as potencialidades e fragilidades de cada sub-bacia hidrográfica, arranjando-os nas dimensões ambiental, social e econômica, selecionando indicadores disponíveis e atuais e, sempre que possível, utilizando valores médios.

Neste sentido, a metodologia proposta é simples e eficaz, objetivando a obtenção de cenários de sustentabilidade ambiental em bacias hidrográficas, meios de parâmetros e indicadores existentes, capazes de mesurar e representar a atual situação socioeconômica e ambiental dos municípios que compõem a sub-bacia.

Por isso, os resultados oriundos desta pesquisa podem ser um instrumento inovador para formulação de políticas públicas específicas para a área da sub-bacia, auxiliando nas tomadas de decisões para a

melhoria da qualidade de vida das pessoas e provendo a sustentabilidade ambiental em todos os municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do rio Banabuiú, visando, assim à preservação, conservação e proteção do meio ambiente e de seus atributos naturais, principalmente a água.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. In: **Revista Estudos Avançados**. Dossiê Nordeste seco. São Paulo: IEA/USP, v. 13, n. 36, p. 7-59, maio/agosto, 1999.

ALMEIDA, I. C. S. **Susceptibilidade Socioambiental à Desertificação nos Municípios de Junco do Seridó e Santa Luzia, Estado da Paraíba – Brasil**. 2012. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós- Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará, Departamento de Geociências, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2012.

ALVES, J. J. A. Caatinga do Cariri Paraibano. Belo Horizonte, **Geonomos** v. 17, n. 1, p. 19 – 25, 2009.

BACCARO, C.A.D.; SILVA, P.C.M.; CAMACHO, R.G.V. Mapeamento geomorfológico da Bacia do Apodi-Mossoró-RN – NE do Brasil. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, v. 08, n. 16, p. 201-216. 2009.

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. **A carnaubeira e seu papel como uma planta econômica**. Fortaleza: ETENE, 1972.

BARRETO, L. L.; CEZÁRIO, A. R. V.; OLIVEIRA, V. P. V. de. O conceito de desertificação: construção histórica, críticas e potencialidades. **Revista Verde Grande: Geografia e Interdisciplinaridade**, Montes Claros - Mg, v. 22, n. 01, p. 67-80, dez. 2019.

BELLEN, H. **Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

BENETTI, L. B. **Avaliação do Índice de Desenvolvimento Sustentável (IDS) do Município de Lages/SC Através do Método do Painel de Sustentabilidade**. 2006. 215p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BEVILACQUA, A. F. **A bacia hidrográfica como unidade territorial de Planejamento e desenvolvimento sustentável**. In: VI Encontro Nacional da ANPPAS. Anais... Belém, 2012.

BOSSSEL, H. **Indicators for sustainable development: theory, method, applications: a reporter to the Balaton Group**, International Institute for Sustainable Development. Canadá, 1999.

BRANDÃO, R. L.; FREITAS, L. C. B. (Org.). **Geodiversidade do Estado do Ceará**: Programa Geologia do Brasil Levantamento da Geodiversidade. Fortaleza -CE: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014. 214 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Guia para a elaboração de planos municipais de saneamento**. Brasília: MCidades, 2006. 152 p.

CADERNO REGIONAL DA SUB-BACIA DO BANABUIÚ / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). – Fortaleza: INESP, 2009.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CARDOSO, V. C.; SOUZA, S. A.; BIUDES. M. S.; MACHADO, N. G. **Focos de Calor na Região Centro-Oeste no Período de 2006 até 2012**. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 4 (ConGeA), 2014, Feira de Santana – BA. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Anais...2013.

CARVALHO, J.R. M.; CURI. W. F.; CARVALHO, E.K. M.A. Proposta e Validação de Indicadores Hidroambientais para Bacias Hidrográficas: Estudo de Caso na Bacia do Alto Curso do Rio Paraíba, PB. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, ano 23 n. 2, 295-310, maio/ago. 2011.

CERQUEIRA, E. B.; GOMES, J. M. A. Valor econômico dos carnaubais nativos nordestinos. **Informe Econômico**, v. 23, n. 11, p. 14-19, Fev./Mar./Abr. 2010.

CHAVES, H.M.L. & Alipaz, S. Water Resour Manage. An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index. **Water Resources Management**. v. 21, n. 5, p 883–895. May, 2007.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda e EDUSP, 1974.

CORTÉS, A.E., et al., Application of the Watershed Sustainability Index to the Elqui river basin, North-Central Chile. **Obras y Proyectos** n. 12, p. 57-69, 2012.

COSTA, F. M. B; XAVIER A.; FRAGOSO, R.; ANTUNES, C. A composite indicator to measure sustainable water use in Portugal: A compromise programming approach. **Journal of Environmental Management**. v. 311, p. 1-15, Mar, 2022.

COSTA, A. S. **Levantamento da Capacidade de Uso da Terra na Fazenda Afluente do Quipauá, em Ouro Branco (RN)**. 2009. 41 p. Monografia (Engenharia Florestal) Universidade Federal de Campina Grande, Patos.

COSTA, J. R. Índice de sustentabilidade para pequenas propriedades agrícolas em condições amazônicas. **Revista Inclusão Social**, v. 6 n. 2, p.100-104, jan./jun. 2013.

COSTA, R. E. da **Elaboração de um índice de sustentabilidade ambiental do uso da água na bacia hidrográfica do rio Pirapó - MARINGÁ**. 2013. 75 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana do Departamento de Engenharia Civil,) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

CRUZ, M. L. B. et al. **Prognóstico da gestão ambiental da área de influência direta do açude Castanhão**. In: CRUZ, M. L. B. (Org.). Os recursos hídricos do Ceará: integração, gestão e potencialidades. Fortaleza: IPECE, 2011. p. 11-37.

CUNHA, T. J. F. et al. **Vertissolos**. Consultor autônomo. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/vertissolos>. Acesso em: 20 jun. 2022.

DEPPE, F.; PAULA, E. V. de; MENEGHETTE, C. R.; VOSGERAU, J. Comparação de índice de risco de incêndio florestal com focos de calor no Estado do Paraná. **FLORESTA**, v. 34, n. 2, p. 119-126, 2004.

EGLER, W. A. Contribuição ao Estudo da Caatinga Pernambucana. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro: IBGE. Ano 13, n.4, p. 577-590, out./dez. 1951.

ESTEVES, F.A. 1988. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência/FINEP, 575p.

FAUSTINO, A. B.; RAMOS, F. F.; SILVA, S. M. P. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) com base em sensoriamento remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. **Sociedade e Território**, v. 26, n. 2, p. 18-30, 2014.

FERNANDES, A. **Temas Fitogeográficos**. Fortaleza: Stylus Comunicações, 1990.

FLOR, M. J. P. de S. Consequências das derrubadas e queimadas de vegetação: práticas utilizadas pelos agricultores da Transassuruni Altamira Pará 2021. **Revista Alterjor**, v. 25 n. 1, p. 261-282, 2022.

FUCK JÚNIOR, S. C. de F. Subsídio à gestão ambiental: descrição fisiográfica e análise funcional das bacias hidrográficas do Ceará. **Geoambiente**, Goiânia, n. 10, p. 01–31 pág., 2008.

FUNCEME. **Compartimentação Geoambiental do Estado do Ceará**. Fortaleza, 2009. 37 p.

FUNCEME. **Litólicos eutróficos e distróficos**. Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/areas/578-lit%C3%B3licos>. Acesso em 10 de nov. 2022.

GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Software for estimating reference evapotranspiration using limited weather data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 71, p. 158-162, 2010.

GOMES, J. M. A.; CERQUEIRA, E. B.; CARVALHO, J. N. F. **Análise Privada do Uso Direto do Carnaubais Nativos Nordestinos, VIII**. In: Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, 8., 2009, Cuiabá - MT. Anais...2009.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

GUIMARÃES, C. C. B. et al. Uso da Terra e Declividade no Sertão Central do Ceará, Brasil. **Revista Nordestina de Biologia**, João Pessoa, PB, v. 24, p.3-18, 2016.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. **Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development**. Washington: World Resources Institute, 1995.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Perfil básico municipal**. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2012/Quixada.pdf> Acesso em set. de 2002.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2014. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br>. Acesso em 10 nov.2016.

LAURA, A. A. **Um Método de Modelagem de um Sistema de Indicadores de Sustentabilidade para Gestão dos Recursos Hídricos – MISGERH: O Caso da Bacia dos Sinos**. 2004. 519p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LIMA, F. J. de; CESTARO, L. A; ARAÚJO, P. C. de. Sistemas Geoambientais do Município do Crato/CE - **Mercator** - volume 9, número 19, 2010: mai./ago. p. 129 a 142.

LOPES, H.; CANDEIAS, A.L.B.; ACCIOLY, L.J.O.; SOBRAL, M. do C.M. & PACHECO, A.P. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.11, 2010, p.1210–1219.

LUCENA, L.R.R.; CAMPOS, A. C.P. Análise de Lacunaridade da Precipitação de Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo. **Biomatemática**: DEINFO – UFRPE, Recife - PE, n. 24, p.1-8, 2014.

MAGALHÃES Jr., A. P. **Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos: Realidade e Perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 2004. 688p.

MANZATTO, C. V.; FREITAS Jr. E; PERES, J. R. R. **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2002. 174 p.

MARANGON, M. et al. Indicadores de Sustentabilidade como instrumento para avaliação de comunidades em crise: aplicação à comunidade de Serra Negra. **Revista Educação & Tecnologia**. Curitiba, Editora do CEFET-PR, v.8, p. 143 - 161, 2004.

MARÓSTICA, J. R., CORTESE, T. T. P., LOCOSSELLI, G. M., & KNISS, C. T. Sustentabilidade urbana e indicadores de área verde no município de São Paulo. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional** v. 17, n. 1, p. 450-463, jan-abr, 2021.

MARTINS, M. F.; CANDIDO, G. A. **Índices de Desenvolvimento Sustentável para Municípios: Uma Proposta - Metodológica de Construção e Análise.** In: Encontro Nacional da ECOECO, 09., 2011, Brasília - DF. Anais... Brasília - DF: Ecoeco, 2011.

MATALLO Jr., H. **A desertificação no mundo e no Brasil.** In: SCHENKEL, C. S. e MATALLO JR, H (Org). Desertificação. Brasília: UNESCO, 2003.

MUELLER, C.; TORRES, M.; MORAIS, M. **Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos.** Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 1997.

NASCIMENTO, W., VILLAÇA, M. Bacias Hidrográficas: Planejamento e Gerenciamento. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros.** Seção Três Lagoas – MS – n. 7 – v. 5, maio de 2008.

OECD. **Education at a Glance: Indicadores da OCDE.** Country Notes: Brasil 2013. Disponível em: http://www.oecd.org/edu/Brazil_EAG2013%20Country%20Note%20%28PORT%29.pdf. Acesso em 10 nov. 2016.

OLIVEIRA, C.L. **Aplicação do ISA, Indicador de Salubridade Ambiental, ao município de Toledo. Florianópolis,** 2003. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2003.

OLIVEIRA, J. B. de; MENK, J. R. F. **Latossolos Roxos do Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônomo, 1984. 132 p. (IAC. Boletim Técnico, 82).

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil.** 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201 p.

OLIVEIRA, S. B. P.; SOUZA, M. J. N.; LEITE, F. R. B.; COSTA, R. N. S. **Contribuição ao estudo da degradação ambiental no Município de Caridade-CE.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR)., 2003, Anais...Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1391 - 1398.

PIRES, J.S.R.; SANTOS, J. E. Bacias Hidrográficas – integração entre meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje.** v. 19, n. 110, p.41-45, 1995.

QUEIROZ, P. S. **Levantamento das classes de solo e aptidão agrícola como norteadores para o uso da terra no Projeto de Assentamento Bom Sucesso II, Flores de Goiás-GO.** 2019. 75 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

RABELO, L. **Indicadores de Sustentabilidade: a possibilidade do desenvolvimento sustentável.** Fortaleza: PRODEMA – UFC, 2008.

RABELO, L. S; LIMA, P. V. P. S. Indicadores de sustentabilidade: a possibilidade da mensuração do desenvolvimento sustentável. REDE – **Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 1, n.1, p 55-76, dez. 2007.

RAMOS, T. B. **Sistemas de Indicadores e Índices Ambientais.** Comunicação apresentada no 4º Congresso Nacional dos Engenheiros do Ambiente. Organização: APEA, pp. IV33-IV43, Faro, Portugal:1997.

RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D. P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações.** Brasília, DF: MEC; Lavras: ESAL; Piracicaba: POTAFOS, 1988. 81 p.

ROCHA, J. L. S. **Indicador integrado de qualidade ambiental, aplicado à gestão da bacia hidrográfica do Rio Jiquiriça – BA.** 2018. 87 f.: il. Dissertação (Mestrado) Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente- PRODEMA. Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, Ilhéus-BA, 2008.

ROCHA, J. L. S.; REGO, N. A. C.; SANTOS, J. W. B.; OLIVEIRA, R. M.; MENEZES, M. Indicador integrado de qualidade ambiental aplicado à gestão da bacia hidrográfica do rio Jiquiriçá, BA, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 89-101, 2010.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, J.F.; SOARES; R.V.; BATISTA, A.C. **Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002.** Revista Floresta, Curitiba, v.36, n.1, p.93 – 100, 2006.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, V. F. dos; SOUZA, J. S. A.; FIGUEIRA, Z. R.; ABDON, L. M.; SILVA, R. C. **Aplicação Metodológica de Indicadores e Índices Sócio-ambientais em Diagnóstico no Programa de Gerenciamento Costeiro: Setor Costeiro Estuarino, Amapá.** In: X Congresso ABEQUA, 2005, Guarapari-ES, Gurapari, 2005.

SCHUMM, S. A. **Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy.** Geological Society of America Bulletin, New York, v. 67, n. 5, p. 597-646, May 1956.

SEPÚLVEDA, S. **Desenvolvimento microregional sustentável: método para planejamento local.** Brasília: IICA, 2005, 292 p.

SCHUSSEL, Z; NASCIMENTO, P. N. Gestão por bacias hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal. **Ambiente & Sociedade n São Paulo** v. 18, n. 3 p. 137-152, jul.-set. 2015.

SHIELDS, D.J; SOLAR, S.V; MARTIN, W.E. The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. **Ecological Indicators**, n. 2, p. 149– 160. 2002.

SICHE, R; AGOSTINHO, F; ORTEGA, H; ROMEIRO, A. Índices Versus Indicadores: Precisões Conceituais na Discussão da Sustentabilidade de Países. **Ambiente & Sociedade**, v. 10, n. 2, p. 137-148. 2007.

SILVA, D. C. C. **Proposta Metodológica para Elaboração de um Índice Espacial de Sustentabilidade Ambiental Aplicado a Bacias Hidrográficas.** 2016. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Ciência e Tecnologia (campus de Sorocaba), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2016.

SILVA, L. da.; ALMEIDA, H. A. de. **Índice de Seca, na Estação Chuvosa, na Bacia Hidrográfica do rio Banabuiú, C.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO – SBRNS, 3., 2017, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Massa, 2017. p. 1 - 6.

SILVA, L. da.; LIMA, E. R. V. de. Índice de Sustentabilidade da Dimensão Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú, CE. **Espaço Aberto**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p.71-85, 2017.

SILVA, L. da. **Índice de sustentabilidade ambiental integrado da sub-bacia hidrográfica do Rio Banabuiú, CE.** 2017. 158 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

SILVA, M. G. da et al. Estimativa da Evapotranspiração de Referência pela Equação de Hargreaves-Samani no Estado do Ceará, Brasil. **Brazilian Journal Of Biosystems Engineering**. Tupã, p. 132-141. fev. 2015.

SILVA, M. G.; OLIVEIRA, I. de S.; CARMO, F. F. do; LÊDO, E. R. F.; SILVA FILHO, J. A. da. Estimativa da evapotranspiração de referência pela equação de Hargreaves-Samani no estado do Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v.9, n.2, p.132-141, 2015.

SILVA, R. M. A. da. **Entre o combate à seca e a convivência com o semiárido: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento**. 2006. 298 f., il. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável). Universidade de Brasília-UNB, Brasília, 2006.

SILVA, D. C. C. **Proposta metodológica para elaboração de um índice espacial de sustentabilidade ambiental aplicado a bacias hidrográficas**. 2016. 158 f.: il. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba 2016.

SOUSA, S. A. M. de. **Avaliação de Implementação de Uma Unidade de Conservação de Proteção Integral: O caso do Monumento Natural dos Monólitos de Quixadá-CE**. 2010. 130 f. il. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geografia, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza - CE, 2010.

SOUZA, M. J. N. et al. **Prognóstico da Gestão Ambiental da Área de Influência Direta do Açude Castanhão**. In: Cleyber Nascimento de Medeiros (Org.). Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). Os Recursos Hídricos do Ceará: Integração, Gestão e Potencialidades. Fortaleza - CE: IPECE, 2011. p. 268.

SUASSUNA, J. **Semiárido: proposta de convivência com a seca**. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, 2002.

SUASSUNA, J. (Recife-PE). Fundação Joaquim Nabuco. **Semiárido: proposta de /convivência com a seca**. 2016. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br>>. Acesso em: 7 fev. 2016.

SUGUIO, K.; NOGUEIRA, A.C.R. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais. **Geociências**, v.18, p.461-479,1999.

TORRES, F. T. P. T. Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de juiz de fora (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 18. p.162 - 171, jun/2006.

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI - Enfrentando a Escassez**. São Carlos: Rima, 2003.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa**. 2002. 235 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

SOBRE O AUTOR



Lucas da Silva

Tem graduação em Licenciatura em Geografia pela Universidade Estadual da Paraíba, Bacharelado em Geografia pela Universidade Federal da Paraíba; Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela Universidade Estácio de Sá; Mestrado em Manejo de Solos e Água pela Universidade Federal da Paraíba, Doutorado em Desenvolvimentismo e Meio Ambiente pela Universidade Federal da Paraíba, com pós-doutorado em Engenharia do Ambiente pela Universidade de Aveiro, Portugal. Atualmente é Professor do Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Ceará. E responsável pelo Laboratório de Estudos Ecológicos e Ambientais do Bioma Caatinga – LEEABC. Tem experiência na área de Geociências e Ciências Ambientais, com ênfase em Climatologia, Recursos Hídricos, Geoprocessamento, Sustentabilidade, Tecnologias da Informação Verde, atuando principalmente nos seguintes temas: semiárido, clima, educação ambiental, gestão ambiental, geografia ambiental, geografia física, sistema de informação verde, bacias hidrográficas, planejamento ambiental e governança ambiental.



Este livro foi composto em fonte IBM Plex Serif, impresso no formato 15 x 21 cm em Off set 75g/m², com 142 páginas e em e-book formato pdf. Novembro de 2023.

ISBN 978-658479220-3



9

786584

792203