

Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro

Fortim - Ceará - Brasil

Diagnóstico do Meio Físico

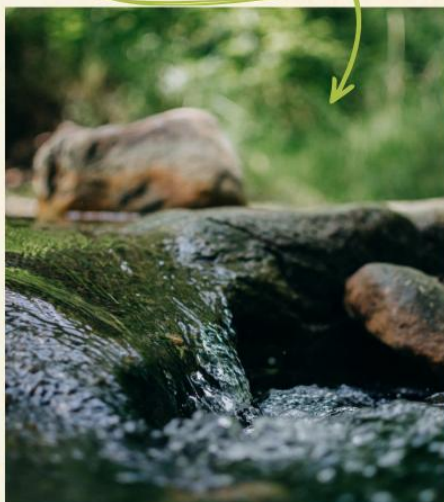


Solo



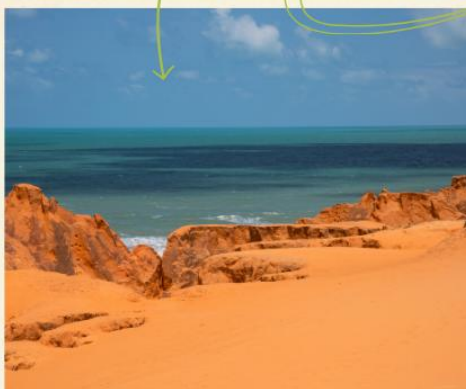
Clima

Água



ONDE O JAGUARIBE
ENCONTRA O MAR,
NATUREZA E TRADIÇÃO
EM HARMONIA

Relevo



GOVERNO MUNICIPAL DE

FORTIM

CONTINUAR AVANÇANDO

**ZONEAMENTO ECOLÓGICO
ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC**
Fortim - CE - Brasil
- Diagnóstico Meio Físico -



**ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO COSTEIRO (ZEEC) DO
MUNICÍPIO DE FORTIM - CE**

**ETAPA 02
DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO**

REVISÃO 00

A SERVIÇO DA

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE

Av Joaquim Crisóstomo, Nº 1049 - Centro - Cep: 62.815-000
Boulevard Shopping - Sala 120.
(88) 3413-1004
35.050.756/0001-20

SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO

Rua Joaquim Crisostomo, Nº 962 - Centro - Cep: 62.815-000.
(88) 3413-1058
35.050.756/0001-20

GOVERNO MUNICIPAL DE FORTIM

Vila da Paz Bloco D, Nº 40 Centro, Cep: 62815-000.
Fortim – Ceará
(88) 3413-1058
35.050.756/0001-20

É facultada a reprodução integral ou parcial do presente documento, mediante a devida menção da fonte. Os conceitos expressos em trabalhos devidamente autenticados são plenamente responsabilidade de seus respectivos autores.

Que o Jaguaribe abraça o mar, natureza e tradição em harmonia



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.bioteconsultoria.com.br

ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC Fortim - CE - Brasil - Diagnóstico Meio Físico -



Secretaria de Meio Ambiente – Governo Municipal de Fortim

Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano – Governo Municipal de Fortim

Zoneamento Ecológico – Econômico Costeiro de Fortim – Ceará – Zona Costeira do Baixo Jaguaribe – Diagnóstico do Meio Físico - Secretaria Municipal de Meio Ambiente – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano - Fortim, 2025.

100 p.; il.

Conteúdo: INTRODUÇÃO; METODOLOGIA; Levantamento de Dados; Glossário de Seções; Planejamento e Objetivos; Dados Secundários (Bases Oficiais e Acadêmicas); Dados Primários (Diagnóstico In Loco e Aquisição Remota); Visitas de Campo; Topografia e Posicionamento; Imagens e Modelos; Hidrodinâmica Costeira e Marés; Tratamento, Integração e Análise em SIG; QA/QC – Garantia e Controle de Qualidade; Integração Físico–Socioeconômica; Produtos e Entregas; Limitações e Lacunas; Área de Estudo; MEIO FÍSICO; Dinâmica Litorânea e Planejamento Ambiental; Caracterização Climática; Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); Frente Fria; Vórtice Ciclônico de Ar Superior; Linhas de Estabilidade; Ondas Leste; Classificação Climática; Normas Climatológicas; Precipitação; Temperatura; Nebulosidade; Irradiação; Insolação; Direção e Intensidade dos Ventos; Maré; Geomorfologia; Estruturação da Bacia Potiguar; Bacia Fluvial do Jaguaribe - Baixo Curso; Unidades Geomorfológicas; Tabuleiros Pré-Litorâneos; Planícies Flúvio-marinha; Planície de Deflação; Campo de Dunas; Planícies Aluviais; Geologia; Geologia Regional; Província Borborema; Formação Barreiras; Processos e Ambientes Depositionais; Diagenese e Mineralogia; Expressão Geomorfológica; Propriedades Hidrogeológicas e Geotécnicas; Geologia Local; Hidrografia; Hidrografia Regional; Hidrografia Local; Hidrologia; Hidrologia Regional; Poços Cadastrados e Tipologia (Artesianos/Semiartesianos); Principais Sistemas Aquíferos e Regiões; Hidrologia Local; REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Outro o Jaguaribe encontra o mar, sobrepõe e funde-se em harmonia



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.bioteconsultoria.com.br

**ZONEAMENTO ECOLÓGICO
ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC**
Fortim - CE - Brasil
- Diagnóstico Meio Físico -



GOVERNO MUNICIPAL DE FORTIM

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE

Francisca Idelnizi Sousa dos Santos
licenciamentosemmam@gmail.com

SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO

Cintia Rodrigues da Silva
desenvolvimentourbano@fortim.ce.gov.br

GOVERNO MUNICIPAL DE FORTIM

Delma da Costa dos Santos
gabinete@fortim.ce.gov.br

BIOTEC CONSULTORIA AMBIENTAL

Coordenação e Integração Ecológica

(Planejamento Geral, Integração dos Diagnósticos Ambientais e Coordenação Científica)

- Isabel A. Pereira de Oliveira – Bióloga, Mestre em Ecologia

Meio Biótico (Ecologia, Flora e Fauna, Gestão Ambiental)

(Levantamentos Biológicos, Avaliação da Biodiversidade, Capacidade de Suporte e Impactos Cumulativos)

- Maria da Conceição Gomes de Sousa – Biólogo Sênior
- Isabel A. Pereira de Oliveira – Bióloga, Mestre em Ecologia
- Francisco Erivan Rocha – Gestor Ambiental

Meio Físico-Natural (Geologia, Geomorfologia, Hidrologia e Solos)

(Dinâmica Geoambiental, Condicionantes Climáticos e Análise de Suporte Físico)

- Wilkson Jardim – Geólogo Sênior

Unir o saguão, a natureza e o mar, a cultura e a tradição em harmonia



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.biotecconsultoria.com.br

ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC

Fortim - CE - Brasil

- Diagnóstico Meio Físico -



- João Edjackson Silveira – Agrônomo, Engenheiro Civil e Engenheiro Florestal
- Aristides Gonçalves de Souza Neto – Engenheiro Florestal
- Éder Ramon Feitoza Ledo – Tecnólogo em Irrigação e Drenagem

Meio Socioespacial e Ordenamento Territorial

(Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra, Análise Socioespacial e Potencialidades de Uso)

- Jessica Girão Lopes – Mestre em Geografia
- Lidia Gomes de Castro – Mestre em Geografia
- Mariana Amâncio de Sousa Moraes – Mestre em Geografia
- Francisco Erivan Rocha – Tecnólogo em Geoprocessamento, Tecnólogo em Gestão Ambiental

Geotecnologias, Cartografia e Sensoriamento Remoto

(Aquisição, Processamento e Análise de Dados Espaciais e Cartográficos)

- Rodrielyson Henrique De Araujo – Auxiliar de Topografia
- Francisco Bruno do Nascimento – Auxiliar de Topografia
- Vinicius Queiroz Pinto – Cadista
- Mateus Rodrigo Fonteles de Freitas – Cadista
- Éder Ramon Feitoza Ledo – Tecnólogo em Irrigação e Drenagem

Consultoria Especializada em Impactos e Poluição

(Análise Química, Ambiental e de Poluentes, com Enfoque em Risco Ecológico e Qualidade Ambiental)

- Tiago Silva Rodrigues – Engenheiro Químico / Engenheiro de Segurança do Trabalho

Produção Editorial e Comunicação Científica

(Supervisão Editorial, Normalização Bibliográfica, Diagramação e Finalização dos Relatórios do ZEEC)

- Guilherme dos Santos Rodrigues

Dele o Jaguaribe encontra o mar, sobressa e finda em harmonia



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.biotecconsultoria.com.br

ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC

Fortim - CE - Brasil

- Diagnóstico Meio Físico -



- Sabrina Mara da Silveira
- Francisco Ubirajara da Silva Rodrigues

Dele o Jaguaribe abraça o mar, sorriega e brinca em harmonia



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.bioteconsultoria.com.br

**ZONEAMENTO ECOLÓGICO
ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC**
Fortim - CE - Brasil
- Diagnóstico Meio Físico -



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	METODOLOGIA.....	4
2.1	Levantamento de Dados.....	5
2.2	Glossário de Seções	8
2.2.1	Planejamento e Objetivos.....	9
2.2.2	Dados Secundários (Bases Oficiais e Acadêmicas)	10
2.2.3	Dados Primários (Diagnóstico In Loco e Aquisição Remota).....	11
2.2.3.1	Visitas de Campo	11
2.2.3.2	Topografia e Posicionamento	12
2.2.3.3	Imagens e Modelos	12
2.2.4	Hidrodinâmica Costeira e Marés	12
2.2.5	Tratamento, Integração e Análise em SIG	13
2.2.6	QA/QC – Garantia e Controle de Qualidade.....	14
2.2.7	Integração Físico–Socioeconômica.....	14
2.2.8	Produtos e Entregas	15
2.2.9	Limitações e Lacunas.....	16
2.3	Área de Estudo.....	17
3	MEIO FÍSICO.....	19
3.1	Dinâmica Litorânea e Planejamento Ambiental	20
3.2	Caracterização Climática	21
3.2.1	Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).....	23
3.2.2	Frente Fria	25
3.2.3	Vórtice Ciclônico de Ar Superior.....	26
3.2.4	Linhas de Estabilidade.....	28
3.2.5	Ondas Leste	30
3.2.6	Classificação Climática	31
3.2.7	Normas Climatológicas	33
3.2.8	Precipitação	34
3.2.9	Temperatura.....	36

Que o saguão vacante o mar, sapanga e tradição em harmonia



**ZONEAMENTO ECOLÓGICO
ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC**
Fortim - CE - Brasil
- Diagnóstico Meio Físico -



3.2.10	Nebulosidade.....	38
3.2.11	Irradiação	39
3.2.12	Insolação	41
3.2.13	Direção e Intensidade dos Ventos.....	42
3.2.14	Maré.....	45
3.3	Geomorfologia	46
3.3.1	Estruturação da Bacia Potiguar.....	48
3.3.2	Bacia Fluvial do Jaguaribe - Baixo Curso.....	50
3.3.3	Unidades Geomorfológicas.....	52
3.3.4	Tabuleiros Pré-Litorâneos	53
3.3.5	Planícies Flúvio-marinha.....	54
3.3.6	Planície de Deflação.....	56
3.3.7	Campo de Dunas.....	57
3.3.8	Planícies Aluviais.....	58
3.4	Geologia.....	59
3.4.1	Geologia Regional.....	59
3.4.2	Provincia Borborema.....	59
3.4.3	Formação Barreiras	61
3.4.4	Processos e Ambientes Depositionais	62
3.4.5	Diagênese e Mineralogia	63
3.4.6	Expressão Geomorfológica.....	64
3.4.7	Propriedades Hidrogeológicas e Geotécnicas	65
3.4.8	Geologia Local.....	65
3.5	Hidrografia	68
3.5.1	Hidrografia Regional.....	68
3.5.2	Hidrografia Local	71
3.6	Hidrologia.....	74
3.6.1	Hidrologia Regional	74
3.6.2	Poços Cadastrados e Tipologia (Artesianos/Semiartesianos)	75
3.6.3	Principais Sistemas Aquíferos e Regiões	76
3.6.4	Hidrologia Local.....	78
4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

onde o Jaguaribe encontra o mar, surge a tradição em harmonia



ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC

Fortim - CE - Brasil
- Diagnóstico Meio Físico -



Que o Jaguaribe abraça o mar, a praia e a tradição em harmonia



ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de Localização do Município de Fortim.....	18
Figura 2: Esquema de circulação global atmosférica.....	22
Figura 3: Esquema conceitual da ZCIT e convergência dos ventos alísios (ilustração esquemática).....	24
Figura 4: Na sequência, (a) e (b) esquematizam a formação das Frentes Frias. (c) representa um esquema do posicionamento N-NE de uma Frente Fria. O item (d) mostra a nebulosidade na região da Amazônia. Por fim, (e) apresenta uma Frente Fria próxima ao sul da Bahia. (d) e (e) são imagens do satélite METEOSAT-7 da FUNCEME.....	26
Figura 5: Esquema conceitual: influência remota de frente fria gerando.....	26
Figura 6: Esquema representativo dos VCASs.....	27
Figura 7: Esquema conceitual do VCAN: miolo inibido e bordas favorecidas.....	28
Figura 8: Esquema das Linhas de Instabilidade. (a) corresponde a um período de fevereiro a maio. (b) corresponde a um período de agosto a novembro. (c) é a Linha de Instabilidade vista do satélite METEOSAT-7.....	29
Figura 9: Linhas de instabilidade propagando-se em direção à costa.....	29
Figura 10: Imagem do satélite METEOSAT-7 mostrando a nebulosidade vinda da Costa da África..	31
Figura 11: Mapa Pluviométrico.....	33
Figura 12: Mapa climático, do Ceará.....	33
Figura 13: Precipitação acumulada histórica (entre 1994 - 2024) para a cidade de Fortim/ CE.....	36
Figura 14: Temperatura acumulada histórica (entre 1994 - 2024) para a cidade de Fortim/ CE.....	37
Figura 15: Nebulosidade histórica (1994 - 2024) para o município de Fortim/ CE.....	39
Figura 16: Irradiação T x GHI.....	41
Figura 17: Insolação histórica (1994 - 2024) para o município de Fortim/ CE.....	42
Figura 18: Média anual da intensidade dos ventos em Fortim-CE.....	44
Figura 19: Influência da Maré - Fortim-CE.....	46
Figura 20: Mapa Hipsométrico.....	47
Figura 21: Tipos de Relevo.....	48
Figura 22: Bloco Diagrama do Baixo Jaguaribe.....	51
Figura 23: Mapa Gravimétrico do NE Setentrional.....	51
Figura 24: Área de Expansão da Flecha Litorânea e Principais Fluxos de Energia na Foz do Rio Pirangi.....	55

onde o Jaguaribe encontra o mar, sobressai a tradição em harmonia



ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC

Fortim - CE - Brasil

- Diagnóstico Meio Físico -



Figura 25: Delta do Rio Jaguaribe e Atuação dos Principais Fluxos.....	56
Figura 26: Geologia Regional.....	61
Figura 27: Geologia Local.....	68
Figura 28: Hidrografia Regional.....	71
Figura 29: Hidrografia Local.....	72
Figura 30: Domínios Hídricos do Ceará.....	74
Figura 31: Domínios Hidrológicos de Fortim.....	81

Onde o Jaguaribe abraça o mar, natureza e tradição em harmonia

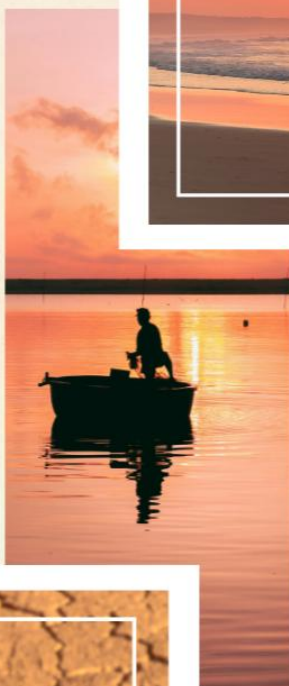


Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.biotecconsultoria.com.br



GOVERNO MUNICIPAL DE
FORTIM
CONTINUAR AVANÇANDO



Onde o
Jaguaribe
encontra o mar,
natureza e
tradição em
harmonia



1. INTRODUÇÃO

ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC

Fortim - CE - Brasil

- Diagnóstico Meio Físico -



O diagnóstico do meio físico no âmbito do Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Costeira (ZEEC) do município de Fortim representa a base técnico-científica fundamental para a compreensão dos processos naturais que estruturam o território e condicionam os usos do solo. Localizado na sub-região costeira do baixo Jaguaribe, o recorte de estudo abrange aproximadamente 2.500 hectares de ambientes litorâneos e ribeirinhos, incluindo feições geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e hidrogeológicas, além da dinâmica oceânica (marés, ondas e correntes). A análise enfatiza sistemas dunares, falésias, planícies fluviomarinhas, estuários e praias, elementos essenciais para a definição das potencialidades e limitações do espaço costeiro (Muehe, 2001; Maia & Araújo, 2020).

Em um cenário marcado pela intensificação da urbanização e pela expansão de empreendimentos turísticos e portuários, torna-se imperativo compreender de forma integrada as características físicas do território. Este diagnóstico identifica unidades e processos que conferem suporte ou impõem restrições às atividades humanas, como a estabilidade das encostas de falésias, a mobilidade e a sensibilidade dos campos de dunas, a suscetibilidade à erosão praial, o regime hidrossedimentológico do estuário do rio Jaguaribe, a variabilidade do lençol freático raso em depósitos quaternários e a influência das forçantes oceânicas sobre a morfodinâmica costeira (Angulo et al., 2006; Souza et al., 2013).

A abordagem metodológica incluiu cartografia geológica e geomorfológica de detalhe, análise de perfis topográficos, interpretação de aerolevantamentos de alta resolução e séries hidrometeorológicas regionais. A dinâmica de marés foi analisada a partir de registros maregráficos, permitindo relacionar amplitudes, correntes e eventos extremos à evolução do estuário e da linha de costa. Do ponto de vista hidrogeológico, foram caracterizados os aquíferos costeiros associados a depósitos arenosos e argilo-arenosos, a profundidade do nível d'água, as zonas potenciais de intrusão salina e a vulnerabilidade natural à contaminação, aspectos cruciais para o manejo sustentável dos recursos hídricos subterrâneos e para o planejamento de captações (Silva et al., 2016; Medeiros et al., 2021).

Na ausência de uma leitura integrada do meio físico, prevalece a fragmentação típica dos licenciamentos ambientais pontuais, que frequentemente subestimam efeitos cumulativos e sinérgicos entre processos — por exemplo, intervenções na deriva litorânea que intensificam a erosão costeira, ou rebaixamentos temporários do lençol freático associados a obras em áreas frágeis (Muehe, 2010). A consolidação territorial proposta pelo

Onde o Jaguaribe encontra o mar, natureza e tradição em harmonia



ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC

Fortim - CE - Brasil

- Diagnóstico Meio Físico -



ZEEC amplia a previsibilidade de impactos e reforça a efetividade de instrumentos como o EIA/RIMA, proporcionando ao poder público e à sociedade condições mais adequadas para decisões sobre ocupação e uso dos recursos naturais.

Alinhado aos princípios do Decreto Federal nº 4.297/2002, o diagnóstico compartimenta o território em unidades físico-ambientais e estabelece parâmetros de uso a partir de critérios de fragilidade, relevância geoambiental e vulnerabilidade a processos naturais (inundações, erosão costeira, movimentos de massa e salinização). Tal estruturação fornece suporte direto à definição de zonas e subzonas do ZEEC-Fortim, integrando-se às políticas públicas setoriais e fortalecendo a governança territorial e a gestão costeira integrada (Brasil, 2002; Diegues, 2008).

Em síntese, o diagnóstico do meio físico constitui um referencial técnico essencial para orientar a expansão urbana, as atividades turísticas, pesqueiras e agropecuárias, bem como projetos de infraestrutura, sempre com vistas à preservação da integridade geológica e geomorfológica, à segurança hídrica e à estabilidade da linha de costa. Trata-se, portanto, de um instrumento estruturante para um desenvolvimento justo, resiliente e ambientalmente responsável no município de Fortim.

Ordem o Zaqueiro vacante o mar, sapientia e tradição em harmonia



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.bioteconsultoria.com.br

Onde o Jaguaribe
encontra o mar, natureza e
tradição em harmonia



GOVERNO MUNICIPAL DE
FORTIM
CONTINUAR AVANÇANDO

2. METODOLOGIA



2.1 Levantamento de Dados

O levantamento de dados para o Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Costeira (ZEEC) de Fortim, com ênfase no diagnóstico do meio físico e sua necessária integração ao meio socioeconômico, foi estruturado a partir de um planejamento sistemático que definiu objetivos, recorte territorial e eixos de análise. Essa etapa inicial é essencial para assegurar que o estudo abarque, de forma articulada, as feições geológicas e geomorfológicas, a hidrologia e a hidrogeologia, a dinâmica de marés, os sistemas dunares, as falésias, o estuário e as planícies fluviomarinhas, estabelecendo conexões com as pressões antrópicas, os usos do solo e as atividades produtivas. O propósito central é a construção de um diagnóstico territorial integrado, superando a fragmentação de dados setoriais, reconhecendo as interdependências entre processos físico-ambientais, a formação histórica do território e a estrutura institucional local, valorizando tanto a informação técnico-científica quanto os saberes comunitários (Diegues, 2008; Muehe, 2010).

Para a composição da linha de base, priorizou-se o levantamento de dados secundários, com coleta, crítica e análise de informações provenientes de instituições oficiais e fontes acadêmicas. Em termos cartográficos, demográficos e econômicos, utilizam-se as bases do IBGE (2025) e do IPECE (2025), complementadas por planos diretores, legislações municipais e documentos setoriais correlatos. Do ponto de vista geocientífico, os insumos disponibilizados pelo SGB/CPRM (2025), especialmente por meio do GeoSGB, forneceram mapeamentos geológicos, depósitos quaternários, referências hidrogeológicas e camadas temáticas de suporte. No campo acadêmico, destacam-se as contribuições do Repositório da UFC, que reúne teses, dissertações e artigos com recortes metodológicos e séries históricas aplicáveis à área de estudo. Para a componente oceânica, a Marinha do Brasil, por meio da Diretoria de Hidrografia e Navegação/CHM, disponibiliza a Tábua de Marés, adotando-se o Porto de Areia Branca (RN) como estação de referência, com ajustes locais considerando profundidade, configuração costeira e forçantes meteorológicas (Marinha do Brasil, 2025).

Reconhecendo lacunas inerentes aos dados secundários — como a baixa resolução em escala local para processos morfodinâmicos, mobilidade de dunas, erosão de falésias, variações do lençol freático e balanço sedimentar praiial — o estudo incorporou dados primários por meio de diagnóstico in loco. As campanhas de campo abrangeram falésias ativas e passivas, campos dunares em diferentes estágios de fixação, praias, estuário, planícies

Outro o saguão do oceano e mar, sempre a tradição em harmonia



ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC

Fortim - CE - Brasil

- Diagnóstico Meio Físico -



aluviais e terraços marinhos, incluindo áreas urbanizadas e trechos em conflito de uso. Os registros foram sistematizados em fichas de ponto, croquis, fotografias georreferenciadas e descrições litológicas/estruturais, com foco na detecção de instabilidades, como recalques, solapamento e movimentos de massa. Na vertente hidrogeológica, a análise incluiu observação de poços e escavações, medição do nível d'água e verificação de vulnerabilidades à intrusão salina (Souza et al., 2013; Silva et al., 2016).

O levantamento planialtimétrico foi realizado com GNSS/RTK e, quando necessário, estação total, permitindo a geração de curvas de nível, perfis topográficos e a validação de modelos digitais de terreno, assegurando precisão e compatibilidade com o sistema SIRGAS 2000 (UTM, fuso 24S). Em paralelo, a aquisição remota incorporou ortofotos RGB obtidas por drones, modelos digitais de superfície e terreno (MDS/MDT) e imagens multiespectrais e hiperespectrais, utilizadas para análises de vegetação (índices como NDVI), umidade superficial, crostas salinas, assinaturas sedimentares e detecção de zonas de estresse. Em áreas críticas — como bordos de dunas e paredões de falésias — foram elaborados modelos 3D texturizados a partir de nuvens de pontos, subsidiando inspeções detalhadas, mensuração de recuos, estimativa de volumes e avaliação de suscetibilidades (Angulo et al., 2006; Medeiros et al., 2021).

A hidrodinâmica costeira e a dinâmica de marés foram parametrizadas com base nos dados da Marinha/CHM, aplicando procedimentos de transferência e ajuste entre Areia Branca (RN) e Fortim, considerando batimetria, morfologia costeira e condições meteorológicas. Essa abordagem permitiu relacionar amplitudes e fases de maré às correntes de enchente e vazante que modulam o estuário do rio Jaguaribe e a deriva litorânea. A articulação com o regime hidrossedimentológico do rio possibilitou interpretar a conectividade com barreiras litorâneas e campos dunares, o risco de intrusão salina e a morfodinâmica das praias, compondo um quadro integrado das forçantes marinhas e fluviais sobre a linha de costa (Maia & Araújo, 2020).

Os dados primários e secundários foram processados em ambiente SIG/Geoprocessamento, estruturados em banco geográfico corporativo com metadados completos, incluindo informações de fonte, método, precisão e incertezas. A partir desse acervo, foram produzidos mapas temáticos de geologia, depósitos quaternários, geomorfologia, uso e cobertura da terra, vulnerabilidade a erosão e movimentos de massa,

Outro o Jaguaribe encontra o mar, sobressa e finda em harmonia



ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC

Fortim - CE - Brasil

- Diagnóstico Meio Físico -



sensibilidade de praias, dunas, falésias e estuário, além de cartas hidrogeológicas com zonas de recarga e risco de salinização. Complementarmente, foram realizadas análises derivadas de balanço sedimentar, mobilidade da linha de costa, identificação de hotspots de instabilidade e sínteses da capacidade de suporte físico do território (Muehe, 2001; Souza et al., 2013).

Para assegurar confiabilidade e reprodutibilidade, adotou-se protocolo de QA/QC com rastreabilidade do plano de amostragem, logs de campo, relatórios de voo e parâmetros de processamento fotogramétrico. A consistência espacial foi verificada por pontos de controle independentes e validação cruzada entre MDT/MDS e perfis topográficos, enquanto a consistência temática foi aferida por verificação cruzada dos mapeamentos geológicos e geomorfológicos com imagens de alta resolução e observações de campo. O versionamento dos dados e o registro explícito de incertezas integraram a governança do banco geográfico, garantindo transparência, atualização e confiabilidade.

Os produtos finais contemplaram ortomosaicos, MDT/MDS, mapas temáticos (geologia, geomorfologia, vulnerabilidade, hidrogeologia e sensibilidade costeira), além de perfis topográficos e modelos 3D de áreas críticas. Esses resultados foram acompanhados de relatórios de campo, planilhas de QA/QC e caderno de metadados. Em todas as etapas, buscou-se integrar as informações do meio físico às atividades socioeconômicas — turismo, pesca artesanal, urbanização e infraestrutura —, explicitando restrições e oportunidades em zonas suscetíveis, como falésias, dunas e planícies de inundação, além de áreas de recarga aquífera e trechos de elevada sensibilidade costeira.

Por fim, o estudo reconheceu limitações decorrentes de janelas temporais de coleta, variações sazonais de marés e descarga fluvial, restrições de acesso e zonas de sombra em sensores remotos. Tais limitações foram explicitadas e acompanhadas de recomendações de coletas adicionais ou monitoramento periódico. Ao conjugar bases oficiais (IBGE, IPECE, CPRM/SGB), produção acadêmica (Repositório UFC), dados hidrodinâmicos da Marinha/CHM e levantamentos primários de alta resolução, consolidou-se um arcabouço técnico robusto e transparente, aplicável à gestão integrada do território e à definição das diretrizes do ZEEC de Fortim, fortalecendo a governança territorial e a resiliência ambiental..

Que o Lagoanhê abraça o mar, abraça e faz a vida em harmonia



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.bioteconsultoria.com.br

2.2 Glossário de Seções

- Planejamento e objetivos: Síntese do propósito, escopo territorial e eixos de análise; define o “o quê, por quê e como” do estudo, assegurando a integração entre meio físico, usos do solo e pressões antrópicas.
- Dados secundários (bases oficiais e acadêmicas): Conjunto de informações existentes (IBGE, IPECE, SGB/CPRM–GeoSGB, Marinha/CHM, Repositório UFC, planos/leis) que formam a linha de base e revelam lacunas.
- Dados primários (diagnóstico in loco e aquisição remota): Informações coletadas diretamente: observações e medições em campo, topografia de detalhe, fotos aéreas, multiespectral/hiperespectral e modelos 3D.
 - Visita de campo: Roteiros por falésias, dunas, praias e estuário; registros padronizados (fichas, croquis, fotos georreferenciadas), descrição de afloramentos e medições hidrogeológicas (NA, CE).
 - Topografia e posicionamento: Levantamento planialtimétrico com GNSS/RTK e estação total para curvas, perfis e controle de modelos; padrão SIRGAS 2000 / UTM 24S.
 - Imagens e modelos: Fotografias aéreas RGB (ortomosaico), MDS/MDT, multiespectral/hiperespectral (NDVI) e modelos 3D (nuvem de pontos/malhas) para volumes, recuos e suscetibilidades.
- Hidrodinâmica costeira e marés: Caracterização de marés, ondas e correntes e sua interação com o estuário e a linha de costa; transferência/ajuste da maré de Areia Branca/RN para Fortim.
- Tratamento, integração e análise em SIG: Banco geográfico corporativo com metadados; mapas temáticos e análises (balanço sedimentar, mobilidade da linha de costa, hotspots, capacidade de suporte).
- QA/QC – Garantia e Controle de Qualidade: Protocolo de qualidade (logs, GSD, sobreposição, RMSE, GCPs), validações espaciais/temáticas e versionamento com registro de incertezas.
- Integração físico–socioeconômica: Tradução dos achados em restrições e oportunidades para turismo, pesca, ocupação e infraestrutura; condicionantes de uso e prioridades de manejo.

Dele o Jaguaribe encontra o mar, sobressa e finda em harmonia



ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC

Fortim - CE - Brasil

- Diagnóstico Meio Físico -



- Produtos e entregas: Ortomosaicos, MDT/MDS, mapas temáticos, perfis/seções, modelos 3D, relatórios de campo, planilhas QA/QC, caderno de metadados e anexo metodológico.
- Limitações e lacunas: Declaração de restrições (sazonalidade, janelas de coleta, acessos, sombras de sensor) e proposição de coletas/monitoramentos complementares.

2.2.1 Planejamento e Objetivos

O levantamento de dados no âmbito do Zoneamento Ecológico-Econômico de Fortim foi estruturado a partir de um planejamento prévio que estabeleceu com clareza os objetivos, o escopo territorial e os eixos de análise. Essa etapa inicial é fundamental para garantir a consistência metodológica e a integração entre as diferentes dimensões do meio físico e socioeconômico, assegurando que as informações coletadas possam subsidiar o ordenamento territorial de forma robusta e transparente (Muehe, 2010; Maia & Araújo, 2020).

Nesse contexto, buscou-se contemplar, de forma articulada, as principais feições naturais que caracterizam a zona costeira em estudo — geologia, geomorfologia, hidrologia e hidrogeologia, dinâmica de marés, sistemas dunares, falésias, estuário e planícies fluviomarinhas. Tais componentes constituem não apenas a base ecológica e geodinâmica do território, mas também os condicionantes que influenciam a ocupação humana, a instalação de empreendimentos e o uso produtivo do solo (Angulo et al., 2006; Souza et al., 2013).

A formulação dos objetivos foi orientada pela necessidade de construir um diagnóstico territorial integrado, capaz de transcender a visão fragmentada comumente observada em estudos setoriais. Nesse sentido, buscou-se reconhecer as interdependências entre processos físico-ambientais, o histórico de formação do território e a estrutura institucional local, de modo a fornecer um referencial aplicável tanto à gestão ambiental quanto ao planejamento socioeconômico. Tal perspectiva valoriza não apenas o conhecimento técnico-científico, mas também os saberes locais e comunitários, cuja incorporação fortalece a legitimidade e a efetividade das estratégias de manejo e conservação (Diegues, 2008; Berkes, 2009).

Ordem o Zaquear de vacante e mar, natureza e tradição em harmonia



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.biotecconsultoria.com.br

2.2.2 Dados Secundários (Bases Oficiais e Acadêmicas)

A constituição da linha de base para o Zoneamento Ecológico-Econômico de Fortim fundamentou-se em um levantamento criterioso de dados secundários, o qual envolveu etapas de coleta, crítica e análise de informações provenientes de instituições oficiais e de produções acadêmicas. Esse procedimento foi essencial para conferir solidez metodológica ao estudo, garantindo que os diagnósticos ambientais fossem elaborados a partir de fontes reconhecidas e auditáveis (IBGE, 2025; IPECE, 2025).

No âmbito cartográfico, demográfico e econômico, as bases fornecidas pelo IBGE e pelo IPECE constituem os principais referenciais para caracterização populacional, socioeconômica e territorial, sendo complementadas por planos diretores, legislações municipais e documentos setoriais correlatos. Essas informações permitem compreender o ordenamento urbano, as tendências de expansão territorial e as pressões sobre os ecossistemas costeiros (IPECE, 2025).

Do ponto de vista geocientífico, os insumos disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), sobretudo por meio da plataforma GeoSGB, oferecem mapeamentos de depósitos quaternários, informações hidrogeológicas e camadas temáticas indispensáveis à análise das dinâmicas do meio físico. Essas informações permitem identificar potenciais aquíferos, áreas de vulnerabilidade natural e unidades geológicas que condicionam processos erosivos e de instabilidade (SGB/CPRM, 2025).

No campo acadêmico, o Repositório da Universidade Federal do Ceará constitui uma fonte valiosa de teses, dissertações e artigos científicos, os quais complementam o diagnóstico ao fornecer recortes metodológicos específicos e séries históricas de monitoramento relevantes para a região. A incorporação desses estudos assegura maior detalhamento analítico e permite a triangulação entre dados técnicos e conhecimento científico validado (UFC, 2025).

Para a componente oceânica, a Marinha do Brasil, por meio do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), disponibiliza as Tábuas de Marés, que constituem a principal referência para a parametrização hidrodinâmica. Adotou-se a estação de Areia Branca (RN) como base astronômica, procedendo-se à transferência e ao ajuste dos dados para a realidade de Fortim, considerando as diferenças de profundidade, configuração costeira e influência das forças

Dele o Jaguaribe encontra o mar, sobressa e finda em harmonia



meteorológicas. Essa abordagem assegura maior precisão na caracterização das interações entre marés, correntes e a linha de costa, fundamentais para a gestão de riscos e o planejamento territorial (MARINHA DO BRASIL, 2025).

- Fontes principais:
 - GeoSGB (SGB/CPRM): <https://geoportal.sgb.gov.br/geosgb/>
 - CHM/Marinha – Tábua de Marés:
<https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>
 - IBGE (2025) e IPECE (2025) – bases cartográficas e indicadores.
 - Repositório UFC – teses, dissertações e artigos.

2.2.3 Dados Primários (Diagnóstico In Loco e Aquisição Remota)

2.2.3.1 Visitas de Campo

As visitas de campo foram conduzidas a partir de roteiros temáticos que abrangeram diferentes compartimentos da paisagem costeira e flúvio-marinha, incluindo falésias ativas e passivas, campos dunares em distintas fases de mobilidade (fixos, semifixos e móveis), praias, estuário, planícies aluviais e terraços marinhos. Esse escopo espacial incorporou ainda trechos urbanizados e áreas de potencial conflito de uso, possibilitando avaliar de maneira integrada a interação entre processos naturais e pressões antrópicas (Muehe, 2010; Maia & Araújo, 2020).

A padronização dos registros de campo assegurou a comparabilidade e a reprodutibilidade das observações. Foram utilizadas fichas de ponto, croquis técnicos, fotografias georreferenciadas e descrições litológicas e estruturais de afloramentos, com ênfase na identificação de instabilidades como recalques, solapamentos e movimentos de massa, fenômenos típicos de ambientes costeiros suscetíveis à erosão e à dinâmica morfodinâmica intensa (Souza et al., 2013; Angulo et al., 2006).

Na vertente hidrogeológica, a investigação incluiu a observação de poços e escavações, a medição sistemática do nível d'água (NA) e, quando pertinente, a aferição de parâmetros físico-químicos como a condutividade elétrica. Esses dados permitiram inferir condições de salinização, processos de intrusão salina e a vulnerabilidade natural dos aquíferos rasos em áreas litorâneas, aspectos de grande relevância para a segurança hídrica e para o planejamento de usos múltiplos do território (Silva et al., 2016; Medeiros et al., 2021).

Outro o Zaquear de vacante e mar, sapanga e fadiga em harmonia



2.2.3.2 Topografia e Posicionamento

O levantamento planialtimétrico de detalhe empregou receptores GNSS/RTK e, quando necessário, estação total, com o objetivo de gerar curvas de nível, perfis topográficos e assegurar o controle de precisão dos modelos digitais produzidos. Todo o acervo foi estruturado segundo o sistema de referência geodésico SIRGAS 2000, utilizando a projeção UTM fuso 24S, o que garantiu plena compatibilidade com bases estaduais e nacionais, além de promover a interoperabilidade dos dados em diferentes escalas e aplicações (IBGE, 2005; Teixeira et al., 2017).

2.2.3.3 Imagens e Modelos

A aquisição remota incorporou fotografias aéreas RGB obtidas por drones para a produção de ortomosaicos e de Modelos Digitais de Superfície e de Terreno (MDS/MDT), assegurando alta resolução espacial para análises geomorfológicas e ambientais. Complementarmente, foram utilizadas imagens multiespectrais e hiperespectrais, voltadas à avaliação da vegetação por meio de índices como o NDVI, ao monitoramento da umidade superficial, à detecção de crostas salinas, à identificação de assinaturas de sedimentos e à delimitação de zonas de estresse ambiental (Colomina & Molina, 2014; Zarco-Tejada et al., 2018).

Em áreas críticas, como bordos de dunas, taludes e paredões de falésias, foram gerados modelos tridimensionais (3D) a partir de nuvens de pontos e malhas texturizadas. Esses produtos possibilitaram inspeções visuais detalhadas, a mensuração de recuos, a estimativa de volumes e a avaliação de suscetibilidades, fornecendo subsídios técnicos fundamentais para o planejamento costeiro e para a gestão de riscos associados à dinâmica morfodinâmica (Remondino et al., 2014; Turner et al., 2016).

2.2.4 Hidrodinâmica Costeira e Marés

A hidrodinâmica costeira e a dinâmica de marés foram tratadas com base nos parâmetros disponibilizados pela Marinha do Brasil, por meio do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), adotando-se a estação de Areia Branca (RN) como referência astronômica. Para a realidade de Fortim, operacionalizou-se um procedimento de transferência e ajuste, considerando as especificidades locais de batimetria, morfologia costeira e condições de

onde o jaguaribe encontra o mar, natureza e tradição em harmonia



vento e onda, assegurando maior precisão na caracterização das forças hidrodinâmicas (Marinha do Brasil, 2025; Harari & Camargo, 1995).

Esse processo permitiu correlacionar as amplitudes e fases de maré às correntes de enchente e vazante que modulam a circulação no estuário do rio Jaguaribe, assim como a deriva litorânea que condiciona o transporte sedimentar ao longo da costa. A articulação desses parâmetros com o regime hidrossedimentológico do rio possibilitou interpretar a conectividade com as barreiras litorâneas e os campos dunares, bem como identificar a susceptibilidade à intrusão salina e a influência sobre a morfodinâmica das praias, aspectos centrais para o manejo integrado da zona costeira (Muehe, 2010; Maia et al., 2018).

2.2.5 Tratamento, Integração e Análise em SIG

Todos os dados secundários e primários foram tratados em ambiente de SIG/Geoprocessamento, sendo consolidados em um banco geográfico corporativo (Geopackage ou Geodatabase) estruturado com metadados completos, que incluíram informações sobre fonte, data, método de aquisição, precisão, limitações e incertezas. Essa padronização garantiu rastreabilidade, consistência e interoperabilidade entre diferentes camadas de informação, assegurando a robustez metodológica e a confiabilidade dos produtos derivados (Goodchild, 2018; Câmara et al., 2020).

A partir desse acervo integrado, foram produzidos mapas temáticos detalhando aspectos cruciais da paisagem física: geologia e depósitos quaternários, unidades e processos geomorfológicos, uso e cobertura da terra, vulnerabilidade à erosão costeira e a movimentos de massa, além da sensibilidade ambiental de praias, dunas, falésias e do estuário. Também foram geradas cartas hidrogeológicas, com destaque para os aquíferos costeiros, zonas de recarga e áreas de risco de salinização, fundamentais para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos subterrâneos em ambientes costeiros (Custódio & Llamas, 2016; Foster & Chilton, 2003).

Complementarmente, desenvolveram-se análises derivadas de balanço sedimentar qualitativo, mobilidade da linha de costa, identificação de hotspots de instabilidade e sínteses da capacidade de suporte físico do território. Esses produtos constituíram instrumentos estratégicos para orientar decisões de manejo territorial, possibilitando maior previsibilidade

onde o Jaguaribe encontra o mar, surge a tradição em harmonia



em relação a processos erosivos, pressões antrópicas e riscos naturais (Muehe, 2010; Nicholls et al., 2020).

2.2.6 QA/QC – Garantia e Controle de Qualidade

Para assegurar confiabilidade e reprodutibilidade, adotou-se um protocolo de QA/QC (Quality Assurance/Quality Control) que contemplou a rastreabilidade do plano de amostragem, a elaboração de logs de campo, a sistematização de relatórios de voo e a definição rigorosa dos parâmetros de processamento fotogramétrico, incluindo Ground Sample Distance (GSD), sobreposição entre faixas de voo e cálculo do Root Mean Square Error (RMSE). Esses critérios técnicos constituíram a base para a validação quantitativa e qualitativa dos produtos derivados (Congalton & Green, 2019; ASPRS, 2015).

A consistência espacial foi verificada por meio de pontos de controle independentes (GCPs), que permitiram aferir a acurácia posicional absoluta e relativa, além da realização de validação cruzada entre Modelos Digitais de Terreno e de Superfície (MDT/MDS) e perfis topográficos de referência. Esse procedimento assegurou compatibilidade geométrica e reduziu incertezas associadas à interpolação e ao processamento de nuvem de pontos (Casella et al., 2020).

No campo da consistência temática, procedeu-se à verificação por pares dos mapeamentos geológicos e geomorfológicos, os quais foram confrontados com imagens de alta resolução e evidências diretas de campo. Essa etapa ampliou a robustez interpretativa, mitigando vieses individuais e garantindo maior confiabilidade às classificações finais (Comber et al., 2018).

Adicionalmente, foram incorporados mecanismos de governança do banco geográfico, incluindo o versionamento de dados, a padronização de nomenclaturas e o registro explícito de incertezas. Esses procedimentos asseguraram transparência, rastreabilidade e atualização contínua, permitindo a integração segura das informações em processos de planejamento territorial e gestão costeira (Devillers et al., 2007).

2.2.7 Integração Físico-Socioeconômica

Os resultados do diagnóstico do meio físico foram integrados às dimensões socioeconômicas com o objetivo de estabelecer conexões entre os processos naturais e as atividades humanas, possibilitando uma leitura territorial mais abrangente e aplicada à gestão

Dele o Jaguaribe vacante o mar, sapanga e fiação em harmonia



costeira. Essa integração permitiu relacionar parâmetros geológicos, geomorfológicos, hidrológicos e hidrogeológicos a setores como turismo, pesca artesanal, ocupação urbana e infraestrutura, explicitando restrições e oportunidades para o uso sustentável do território (Creel, 2003; Cicin-Sain & Knecht, 1998).

Nas zonas suscetíveis, como falésias, campos dunares e planícies de inundação, a análise física subsidiou a identificação de áreas de maior vulnerabilidade, orientando condicionantes para ocupação, prevenção de riscos e planejamento de obras de contenção ou adaptação. Do mesmo modo, em áreas de recarga aquífera e trechos de elevada sensibilidade costeira, foram definidas recomendações específicas para o manejo dos recursos hídricos e a mitigação de impactos associados à intrusão salina, ao rebaixamento do lençol freático e à erosão costeira (Muehe, 2010; Nicholls et al., 2020).

Essa articulação reforçou o papel do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) como instrumento de governança territorial, ao traduzir a base físico-ambiental em condicionantes concretos de uso e ocupação. Assim, possibilitou-se a compatibilização entre as demandas de desenvolvimento econômico e a necessidade de conservar a integridade dos ecossistemas costeiros, estabelecendo critérios objetivos para a implantação ou adequação de atividades produtivas, em conformidade com os princípios de planejamento integrado e desenvolvimento sustentável (Brasil, 2002; Kay & Alder, 2005).

2.2.8 Produtos e Entregas

Os produtos e entregas resultantes do levantamento integraram um conjunto abrangente de informações espaciais, cartográficas e analíticas, concebidas para subsidiar tanto o planejamento territorial quanto a gestão integrada da zona costeira. Foram gerados ortomosaicos de alta resolução e Modelos Digitais de Terreno e de Superfície (MDT/MDS), que forneceram a base geométrica e altimétrica para análises subsequentes. Em complemento, elaboraram-se mapas temáticos de geologia, geomorfologia, vulnerabilidade, hidrogeologia, sensibilidade costeira e uso/cobertura da terra, permitindo a espacialização de atributos físicos e ambientais essenciais para a definição de zonas de manejo (Goodchild, 2018; Câmara et al., 2020).

O conjunto incluiu ainda perfis e seções topográficas em áreas críticas — como falésias, campos dunares, praias e estuário —, concebidos para avaliar a dinâmica

onde o lagoa encontra o mar, natureza e tradição em harmonia



morfodinâmica e os condicionantes de estabilidade em diferentes compartimentos do meio físico. Além disso, foram desenvolvidos modelos tridimensionais (3D) com malhas texturizadas, que possibilitaram inspeções visuais detalhadas, mensuração de recuos, estimativas volumétricas e análise de suscetibilidades em trechos de maior vulnerabilidade (Casella et al., 2020).

Complementaram esse acervo os relatórios técnicos de campo, contendo registros sistemáticos e análises interpretativas, bem como planilhas de QA/QC, assegurando a rastreabilidade e a validação dos dados. Também foram organizados um caderno de metadados, detalhando fontes, métodos, precisões e limitações, e um anexo metodológico, no qual se descreveram os parâmetros de aquisição, os algoritmos aplicados e os softwares utilizados. Esses elementos asseguraram transparência, reprodutibilidade e confiabilidade, atributos indispensáveis à aplicação dos resultados em políticas públicas e processos de licenciamento ambiental (Devillers et al., 2007; Congalton & Green, 2019).

2.2.9 Limitações e Lacunas

Foram reconhecidas limitações e lacunas inerentes ao processo de aquisição e análise de dados, decorrentes de condicionantes ambientais, técnicos e logísticos. Entre as principais restrições, destacaram-se as janelas de coleta, frequentemente delimitadas pela disponibilidade de equipamentos e pelas condições de acesso, que restringiram a representatividade temporal dos levantamentos. As variações sazonais de marés e de descarga fluvial também se configuraram como fatores críticos, uma vez que influenciaram diretamente a dinâmica sedimentar, a intrusão salina e a mobilidade da linha de costa, exigindo interpretações cuidadosas e a necessidade de séries temporais mais longas (Muehe, 2010; Nicholls et al., 2020).

Adicionalmente, registraram-se restrições de acesso em determinados trechos do território, sobretudo em áreas privadas ou de difícil alcance, o que limitou a cobertura homogênea do diagnóstico in loco. No campo da aquisição remota, observaram-se zonas de sombra em sensores, relacionadas à topografia, à densidade da vegetação ou a condições atmosféricas, resultando em lacunas pontuais na cobertura de imagens e modelos digitais (Casella et al., 2020).

Outro o Jaguaribe encontra o mar, sobressa e finda-se em harmonia



Essas condicionantes foram explicitadas nos produtos finais e acompanhadas de recomendações para coletas complementares ou monitoramentos periódicos, de modo a mitigar incertezas e fortalecer a consistência das análises. A incorporação de campanhas adicionais, associadas ao uso combinado de diferentes sensores e técnicas de interpolação, constitui estratégia indispensável para ampliar a robustez e a confiabilidade do Zoneamento Ecológico-Econômico (Câmara et al., 2020; Goodchild, 2018).

2.3 Área de Estudo

O Município de Fortim localiza-se no litoral leste do estado do Ceará, integrando o Setor 1 – Costa Leste da planície litorânea estadual (Figura 1). Conforme o Diagnóstico do Meio Físico da Planície Litorânea do Ceará, elaborado pela SEMA (2021), Fortim compartilha esse setor com os municípios de Pindoretama, Cascavel, Beberibe, Aracati e Icapuí. A faixa costeira apresenta orientação predominante ESE–NNW, com a presença de ambientes praias, dunares, estuarinos e de baixadas, distribuídos de forma contínua ao longo do trecho. Ressalta-se, contudo, que a planície litorânea de Fortim é menos extensa quando comparada às de Beberibe, Aracati e Icapuí, o que influencia diretamente a configuração de suas feições ambientais e o grau de exposição da linha de costa frente à ação das dinâmicas oceânicas e eólicas (SEMA, 2021).

Segundo a carta topográfica do IPECE (Mapa Municipal de Fortim), o município foi mapeado em projeção UTM, fuso 24S, com grade métrica E/N e adoção do SIRGAS 2000 como sistema de referência geodésico, em conformidade com a base oficial recomendada para levantamentos, delimitações territoriais e instrumentos de licenciamento ambiental (IPECE, s.d.). O produto cartográfico resultou da vetorização de folhas do mapeamento do DSG/SUDENE e da utilização de imagens SPOT-5, assegurando compatibilidade e consistência com outras bases oficiais (IPECE, s.d.). Em complementação, os Mapas Municipais do IBGE oferecem o enquadramento administrativo-territorial atualizado, sendo úteis para conferência de limites municipais, toponímia e estatísticas de área (IBGE, s.d.).

No que concerne à conformação territorial, Fortim limita-se ao norte e nordeste com o Oceano Atlântico, a oeste/noroeste com o município de Beberibe e ao sul/sudeste com Aracati, conformando uma estrutura típica de município costeiro sob influência direta de processos marinhos e estuarinos (IPECE, s.d.; SEMA, 2021).

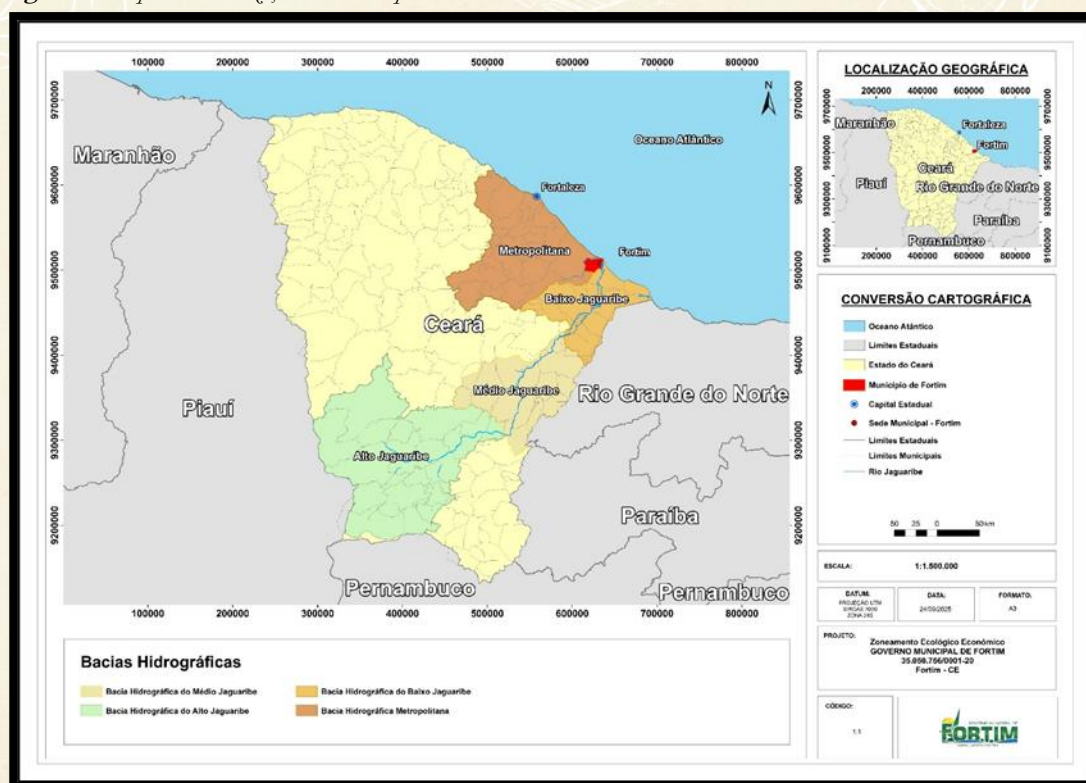
Que o Jaguaribe abraça o mar, abraça e faz a harmonia



Sob a ótica hidrográfica, Fortim participa de duas unidades de drenagem de interesse direto: (i) a Bacia do Rio Jaguaribe, em seu baixo curso, cujo estuário conforma uma ampla reentrância costeira entre Aracati e Fortim, abrigando planícies fluviomarinhas, manguezais, apicuns e áreas de salgado; e (ii) o conjunto das Bacias do Litoral Leste do Ceará, destacando-se o Rio Pirangi, que integra a drenagem costeira local e compõe o mosaico ambiental característico do Setor 1 (SEMA, 2021).

Para fins operacionais e metodológicos, recomenda-se a padronização de coordenadas no sistema SIRGAS 2000, em formato geográfico e/ou UTM fuso 24S, adotando-se o Mapa Municipal do IPECE como base topográfica principal. Esse produto deve ser articulado aos Mapas Municipais do IBGE e às peças técnicas do Diagnóstico do Meio Físico (SEMA, 2021), de modo a justificar escolhas metodológicas e delimitações de áreas em projetos, memoriais descritivos e relatórios técnicos (IPECE, s.d.; IBGE, s.d.; SEMA, 2021).

Figura 1: Mapa de Localização do Município de Fortim.



Fonte: Biotec Consultoria Ambiental. 2025.



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.bioteconsultoria.com.br

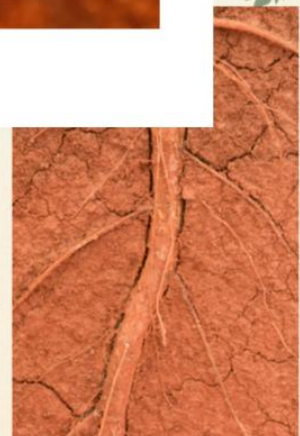
Outro o Jaguaribe abraça o mar, refrega e fazção em harmonia

Onde o Jaguaribe encontra o mar,
natureza e tradição em harmonia

GOVERNO MUNICIPAL DE
FORTIM
CONTINUAR AVANÇANDO



3. MEIO FÍSICO



3.1 Dinâmica Litorânea e Planejamento Ambiental

O litoral constitui uma zona de interface altamente dinâmica, resultado das interações complexas entre continente, oceano e atmosfera. Essa condição o torna diretamente submetido a múltiplas forças ambientais, incluindo a topografia costeira, as variações de marés, a ação das ondas e correntes marinhas, além de fluxos eólicos e hídricos que, em conjunto com as condições climáticas regionais, regulam a circulação de matéria e energia entre os sistemas ambientais. A consequência direta desse mosaico de interações é a instabilidade geomorfológica característica das zonas costeiras, marcada pela constante remodelação de feições e processos (Silva, 1993; Muehe, 2010).

Enquanto espaço de transição e interação, o litoral evidencia as inter-relações entre diferentes unidades da paisagem — praias, dunas, estuários, falésias e planícies fluviomarinhas. A modificação em qualquer uma dessas unidades repercute de forma imediata ou progressiva sobre as demais, alterando sua configuração, funcionalidade e dinâmica evolutiva. Essa interdependência reforça a necessidade de análises integradas e multiescalares, que permitam compreender os fluxos sedimentares, a vulnerabilidade a processos erosivos e a resiliência frente a pressões antrópicas e mudanças climáticas (Nicholls et al., 2020; Bird, 2008).

Diante desse cenário, a caracterização do meio físico adquire papel estratégico no planejamento ambiental. Trata-se de uma etapa fundamental para identificar vulnerabilidades e potencialidades, sobretudo em contextos nos quais atividades humanas — urbanização, turismo, ocupação desordenada e infraestrutura — configuram vetores de modificação da dinâmica natural. A caracterização requer a integração de estudos in loco, análises laboratoriais e trabalhos de gabinete, de modo a fornecer a base técnico-científica necessária para subsidiar planos de manejo, licenciamento ambiental e políticas públicas voltadas ao uso sustentável da zona costeira (Cicin-Sain & Knecht, 1998; Kay & Alder, 2005).

Quando conduzida sob padrões técnicos e legais rigorosos, essa abordagem contribui para a redução significativa de impactos ambientais nos meios biótico e abiótico, além de alinhar o desenvolvimento regional aos parâmetros legais estabelecidos em âmbitos municipal, estadual e federal. Assim, o planejamento ambiental costeiro, sustentado em diagnósticos físico-ambientais consistentes, não apenas mitiga riscos, mas fortalece a

onde o lagoa encontra o mar, natureza e tradição em harmonia



governança territorial e a gestão integrada da zona costeira, em conformidade com os princípios do desenvolvimento sustentável (Brasil, 2002; Creel, 2003).

3.2 Caracterização Climática

O conhecimento da dinâmica climática é essencial para a compreensão da região de estudo, pois influencia diretamente a distribuição das chuvas, os padrões da fauna e da flora, a formação e manutenção dos solos, bem como a relação entre o meio abiótico e o clima. Além disso, o clima exerce papel determinante sobre as populações locais e é, ao mesmo tempo, modulado pelas atividades humanas. Diversas práticas produtivas e socioeconômicas dependem diretamente das condições climáticas, o que torna essas informações indispensáveis para a gestão territorial e para decisões que buscam reduzir impactos da expansão urbana e de outras pressões antrópicas (INMET, 2015).

O clima regional e local é condicionado por múltiplos fatores físicos e químicos, tais como altitude, massas de ar, proximidade da costa, relevo, vegetação e ação antrópica. A compreensão integrada desses elementos permite interpretar o comportamento climático e suas repercussões sobre os sistemas naturais e sociais.

No contexto equatorial, a incidência de energia solar é mais intensa em comparação aos polos, resultando em balanço positivo de radiação no Equador e negativo nas altas latitudes. Esse desequilíbrio térmico promove a transferência de calor em direção aos polos e de ar frio em direção às latitudes tropicais, estabelecendo um ciclo de equilíbrio global. Essa dinâmica atmosférica é organizada em três grandes células: Hadley, Ferrel e Polar (Figura 2), que ilustra as células de circulação atmosférica e suas zonas de influência (INMET, 2015; Barry & Chorley, 2010).

A célula de Hadley atua entre a Linha do Equador e os Trópicos de Câncer e Capricórnio, caracterizando-se pela ascensão de ar aquecido, que se desloca para os trópicos, resfria-se e retorna em direção ao equador. A célula de Ferrel predomina nas médias latitudes, onde o ar se desloca em direção aos polos, sofre resfriamento e retorna, fechando o ciclo. Por sua vez, a célula Polar, localizada nas altas latitudes, promove o resfriamento do ar e o transporte de massas em direção às regiões tropicais, resultando em fenômenos associados ao frio intenso e à elevada umidade (INMET, 2015).

onde o jaguarito abraça o mar, a natureza e tradição em harmonia



Figura 2: Esquema de circulação global atmosférica.



Fonte: Martins et al., 2008.

No Nordeste brasileiro, a dinâmica climática é fortemente modulada pela atuação de diferentes sistemas atmosféricos, entre os quais se destacam a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as Frentes Frias, os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior, as Linhas de Instabilidade, os Complexos Convectivos de Mesoescala e as Ondas de Leste (FUNCEME, 2018). A interação entre esses sistemas regula a variabilidade pluviométrica e condiciona os períodos de maior ou menor disponibilidade hídrica, repercutindo diretamente sobre a dinâmica dos ecossistemas e as atividades socioeconômicas regionais.

O município de Fortim integra o Litoral Leste do Ceará, região marcada por uma estação chuvosa principal entre os meses de fevereiro e maio, fortemente influenciada pela atuação da ZCIT e modulada pela passagem de sistemas transientes tropicais. Essa sazonalidade define a distribuição das chuvas, com impactos relevantes sobre a recarga hídrica, a produtividade agropecuária, a atividade pesqueira e a estabilidade dos ambientes costeiros e estuarinos.

A pluviosidade média registrada nos últimos dez anos no litoral leste situa-se, em geral, entre 900 e 1.100 mm/ano, com picos sazonais em março e abril, período em que a ZCIT apresenta maior intensidade (FUNCEME, 2018; IPECE, 2020). Na faixa costeira, a radiação solar global apresenta valores elevados, da ordem de 2.100 a 2.250 kWh/m².ano (GHI), enquanto os ventos alísios de sudeste tornam-se mais intensos durante a estação seca, entre agosto e dezembro. Essas condições estão bem documentadas nos atlas eólico e solar

onde o jaguaribe encontra o mar, surge a harmonia

do Ceará, que ressaltam o potencial energético da região (Atlas Eólico e Solar do Ceará, 2019; Global Solar Atlas, WB).

No que se refere à dinâmica oceânica, as marés são do tipo semidiurno, com amplitudes de sizígia que atingem 3,5 a 3,8 metros no porto de referência mais próximo, em Areia Branca (RN). Essa informação é utilizada como base para extrapolação dos efeitos hidrodinâmicos costeiros para Fortim, ajustando-se às particularidades locais de batimetria, morfologia e regimes de vento e onda (Marinha do Brasil – CHM, 2025).

3.2.1 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) constitui uma faixa quase contínua de baixa pressão atmosférica e convecção profunda, situada nas proximidades da linha do equador. Essa configuração resulta da convergência dos ventos alísios de nordeste, provenientes do Hemisfério Norte, e de sudeste, originários do Hemisfério Sul. A interação desses fluxos promove intensa ascensão de ar úmido, favorecendo a formação de nebulosidade densa e precipitações significativas. Sua posição, contudo, apresenta caráter migratório, deslocando-se sazonalmente em resposta aos gradientes de aquecimento oceânico e continental, em estreita relação com as variações da temperatura da superfície do mar (TSM) (Hastenrath, 1991; Moura & Shukla, 1981).

No contexto do Atlântico Tropical, o deslocamento da ZCIT para latitudes meridionais, especialmente entre os meses de fevereiro e maio, está diretamente associado ao incremento das chuvas sobre a faixa litorânea do Ceará, incluindo o município de Fortim. Essa sazonalidade explica a concentração da quadra chuvosa regional no primeiro semestre, desempenhando papel crucial para o abastecimento hídrico, a recarga dos aquíferos, a produção agrícola e a manutenção da estabilidade ecológica de ambientes estuarinos e costeiros (Nobre & Shukla, 1996).

A localização sazonal da ZCIT é fortemente modulada pelo gradiente meridional de TSM no Atlântico Tropical, frequentemente descrito como dipolo do Atlântico. Quando o Atlântico Norte apresenta anomalias positivas de temperatura, a ZCIT tende a se manter ancorada em latitudes mais setentrionais, reduzindo a precipitação sobre o território cearense. Em contrapartida, quando o Atlântico Sul se encontra mais aquecido, há tendência de migração da ZCIT para o sul, ampliando a ocorrência de chuvas intensas na região. Esse

Outro o Jaguaribe encontra o mar, sobressa e finda-se em harmonia



padrão é também condicionado por teleconexões com o Pacífico Tropical, notadamente pelo fenômeno El Niño–Oscilação Sul (ENOS), que pode potencializar ou atenuar os efeitos oriundos do Atlântico (Uvo, 1998; Andreoli & Kayano, 2007).

Em escala intra-sazonal, a variabilidade pluviométrica regional sofre influência de oscilações tropicais, tais como ondas de leste e a Oscilação de Madden–Julian, que modulam a frequência e a intensidade dos episódios de precipitação em períodos de algumas semanas. Por essa razão, recomenda-se o acompanhamento contínuo dos boletins semanais e mensais produzidos por instituições de meteorologia regional, como a FUNCEME, aliado ao monitoramento de mapas de anomalias de TSM no Atlântico Tropical (FUNCEME, 2018).

No âmbito do planejamento setorial — abrangendo gestão de recursos hídricos, execução de obras de infraestrutura e estratégias de defesa civil — torna-se imprescindível expressar os prognósticos sazonais em termos probabilísticos, utilizando-se a metodologia dos tercís de precipitação (abaixo da média, dentro da normalidade e acima da média). Tais informações devem ser referenciadas às Normais Climatológicas 1991–2020 da estação meteorológica costeira mais próxima, como Aracati ou Fortaleza, assegurando coerência metodológica e consistência temporal (INMET, 2020).

Figura 3: Esquema conceitual da ZCIT e convergência dos ventos alísios (ilustração esquemática).



Fonte: Martins et al., 2008. XXX

No trimestre de fevereiro a abril (FMA), o deslocamento sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) em direção ao sul tende a intensificar a ocorrência de episódios de chuva na faixa litorânea leste do Ceará, incluindo o município de Fortim. Esse comportamento atmosférico reforça a necessidade de monitoramento sistemático dos boletins meteorológicos semanais e das anomalias de temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical, de modo a subsidiar avaliações mais precisas da variabilidade

Que o Jaguaribe abraça o mar, a força e a tradição em harmonia

pluviométrica. Além disso, os prognósticos devem ser convertidos em medidas práticas de planejamento e gestão, como a flexibilização de cronogramas de campo, o adequado dimensionamento de sistemas de drenagem urbana e a ativação de protocolos de alerta voltados à mitigação de riscos associados a eventos hidrometeorológicos extremos.

3.2.2 Frente Fria

Após a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as frentes frias representam os sistemas atmosféricos de maior relevância para o regime pluviométrico do Nordeste brasileiro, embora sua influência seja mais indireta. Esses sistemas ocorrem com maior frequência entre os meses de novembro e janeiro, quando massas de ar frio oriundas de latitudes médias interagem com o ar quente e úmido das baixas latitudes tropicais (Kousky, 1979; Molion & Bernardo, 2002).

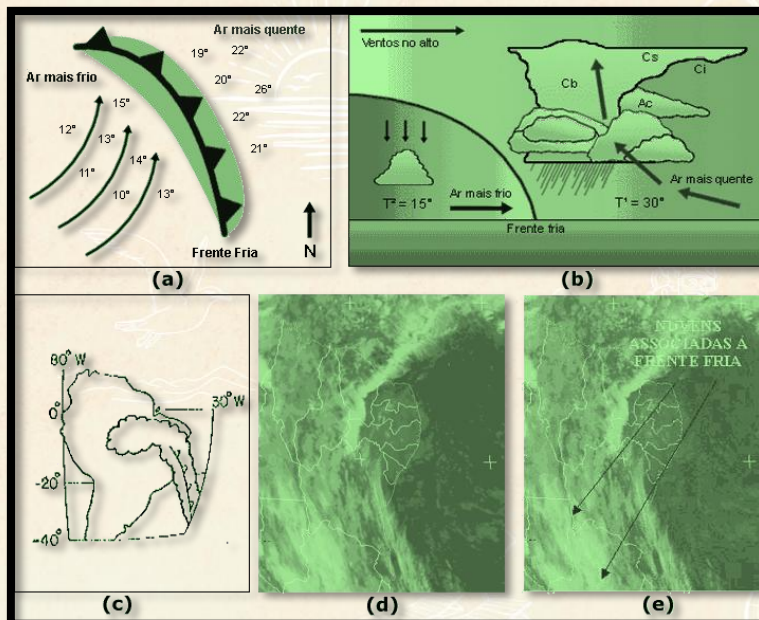
As frentes frias (Figura 4) são formadas pela colisão de massas de ar de diferentes características: o ar frio, mais denso, avança sob o ar quente, forçando sua ascensão. Esse processo gera resfriamento adiabático do ar úmido e promove a formação de nuvens convectivas carregadas, frequentemente associadas a precipitações intensas.

No contexto do Nordeste brasileiro, especialmente no litoral leste do Ceará, essas frentes raramente conseguem avançar até o território cearense de forma direta. Contudo, sua atuação remota exerce papel significativo: ao se aproximarem do Atlântico tropical, podem induzir a formação de linhas de instabilidade e intensificar a brisa marítima (Figura 5), resultando em episódios de chuva durante o período de pré e pós-estação chuvosa. Esses mecanismos, ainda que menos frequentes do que a ação da ZCIT, complementam a variabilidade pluviométrica regional e ampliam a complexidade dos processos climáticos que condicionam o município de Fortim (FUNCEME, 2018; INMET, 2020).

onde o jaguaribe encontra o mar, natureza e tradição em harmonia



Figura 4: Na sequência, (a) e (b) esquematizam a formação das Frentes Frias. (c) representa um esquema do posicionamento N-NE de uma Frente Fria. O item (d) mostra a nebulosidade na região da Amazônia. Por fim, (e) apresenta uma Frente Fria próxima ao sul da Bahia. (d) e (e) são imagens do satélite METEOSAT-7 da FUNCEME.



Fonte: FERREIRA & MELLO, 2004

Figura 5: Esquema conceitual: influência remota de frente fria gerando.



Fonte: FUNCEME 2018.

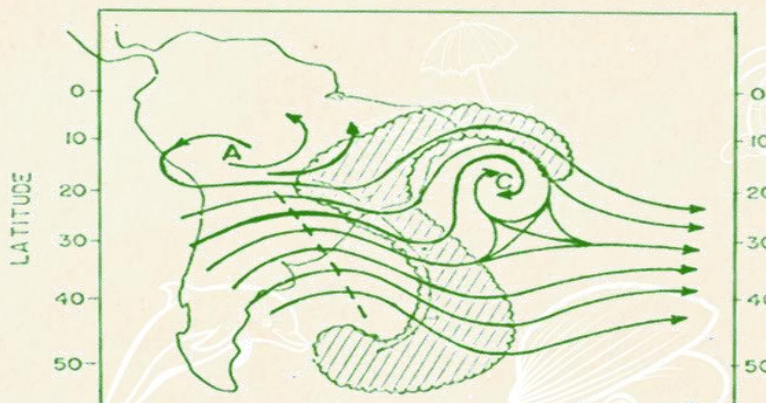
3.2.3 Vórtice Ciclônico de Ar Superior

Os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS ou VCAN) constituem sistemas atmosféricos típicos do Nordeste brasileiro, formados predominantemente entre os meses de outubro e março, com maior frequência nos períodos de janeiro e fevereiro (Gan & Kousky, 1982). Esses sistemas apresentam deslocamento de leste para oeste e têm duração

média de 7 a 10 dias, influenciando significativamente a variabilidade intra-sazonal das chuvas na região.

O VCAN caracteriza-se por um formato circular, no qual os ventos em altos níveis atmosféricos giram no sentido horário no Hemisfério Sul (Figura 7). A estrutura interna desse sistema apresenta contraste marcante: em seu núcleo central, observa-se movimento descendente do ar (subsidiência), associado ao aumento da pressão atmosférica, o que inibe a formação de nuvens convectivas e, conseqüentemente, reduz a ocorrência de precipitação (Figura 6). Já em suas bordas, a circulação ciclônica induz divergência em altos níveis, favorecendo o levantamento do ar úmido e a formação de núcleos convectivos, frequentemente responsáveis por episódios de chuva intensa e localizada.

Figura 6: Esquema representativo dos VCASs.



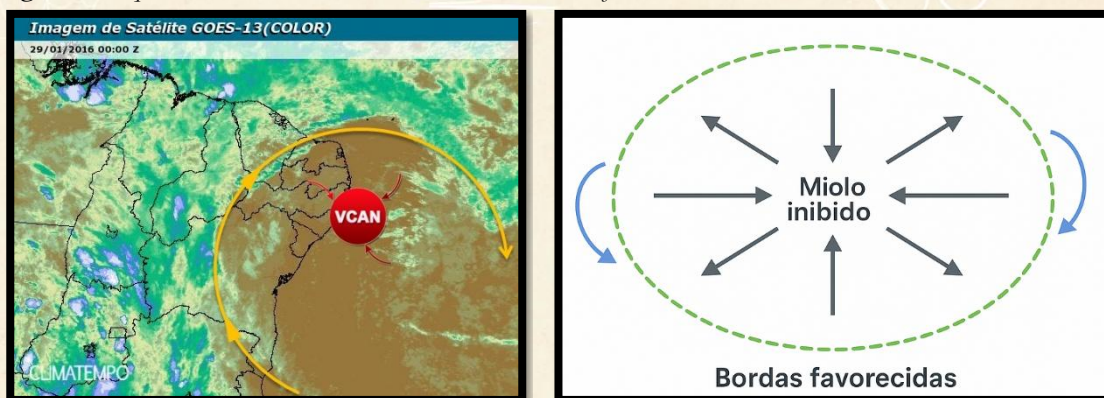
Fonte: GAN e KOUSKY, 1980.

A atuação dos VCANs modula, portanto, a convecção tropical, criando um regime dual: inibição de chuvas no miolo e intensificação de precipitações convectivas nas bordas (Kousky & Gan, 1981; Rao & Bonatti, 1987). Mesmo em anos de neutralidade climática — ou seja, sem a presença significativa de El Niño ou La Niña —, esses sistemas podem redistribuir espacial e temporalmente a chuva, introduzindo grande variabilidade em intervalos de poucos dias. Essa condição é especialmente relevante para o litoral leste do Ceará, onde municípios como Fortim sofrem influência direta dessa redistribuição pluviométrica, com impactos sobre a recarga hídrica, o regime estuarino e as atividades agropecuárias e pesqueiras locais.

Onde o jaguaribe abraça o mar, sobressa e brinca em harmonia

Assim, o monitoramento contínuo dos VCANs, por meio de imagens de satélite, cartas sinóticas e previsões numéricas de tempo, é essencial para subsidiar o planejamento setorial e reduzir vulnerabilidades frente a eventos hidrometeorológicos de curta duração, mas potencialmente severos.

Figura 7: Esquema conceitual do VCAN: miolo inibido e bordas favorecidas



Fonte: Adaptado de Filipe Pungirum. *Climatempo*. 2018; Kousky & Gan, 1981; Uvo & Nobre, 1989; Rao et al., 1996; Silva Dias et al., 2004; Cavalcanti & Kousky, 2009; Reboita et al., 2010; Marengo & Espinoza, 2016.

3.2.4 Linhas de Estabilidade

As Linhas de Instabilidade (LI) constituem sistemas convectivos tropicais caracterizados por bandas organizadas de nuvens dos tipos Cumulus e Cumulonimbus, frequentemente associadas a episódios de precipitação intensa (Figura 8). Sua formação decorre, em grande medida, do aquecimento radiativo característico das regiões tropicais, o qual intensifica os fluxos convectivos. Por essa razão, a ocorrência das LI é mais recorrente no final da tarde e no início da noite, período em que o aquecimento diurno atinge seu máximo e favorece a ascensão de ar quente e úmido. Estudos clássicos apontam que a proximidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) exerce influência decisiva no reforço da convecção, ampliando a frequência e a persistência dessas linhas organizadas de instabilidade atmosférica (Cavalcanti, 1982).

Que o Jaguaribe vacine o mar, saqueie e tráfego em harmonia

ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC

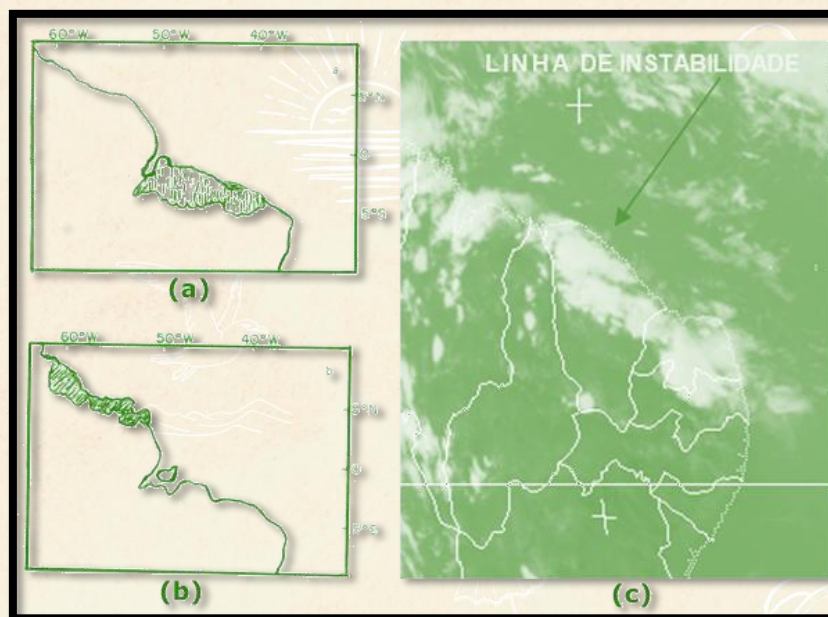
Fortim - CE - Brasil

- Diagnóstico Meio Físico -



29

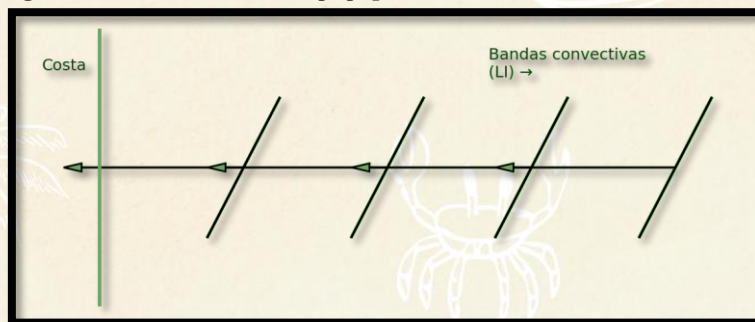
Figura 8: Esquema das Linhas de Instabilidade. (a) corresponde a um período de fevereiro a maio. (b) corresponde a um período de agosto a novembro. (c) é a Linha de Instabilidade vista do satélite METEOSAT-7



Fonte: Adaptado de CAVALCANTI, 1982.

As LI se propagam com frequência sobre o litoral (Figura 9), podendo apresentar acoplamento com a circulação de brisa marítima ou serem intensificadas pela atuação remota de frentes frias no Atlântico Sul, que funcionam como mecanismos adicionais de instabilidade e ascensão convectiva (Kousky, 1980; Cohen et al., 1995).

Figura 9: Linhas de instabilidade propagando-se em direção à costa.



Fonte: Adaptado de CAVALCANTI, 1982.

Sob a perspectiva operacional, as LI provocam pancadas de chuva rápidas, localizadas e de alta intensidade, capazes de comprometer a drenagem urbana em municípios costeiros como Fortim. A curta duração e a irregularidade espacial dessas precipitações tornam imprescindível o monitoramento contínuo por meio de imagens de satélite, radares

Que o Jaguaribe abraça o mar, abraça e faz a harmonia



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.bioteconsultoria.com.br

meteorológicos e boletins regionais, sobretudo em atividades de planejamento de infraestrutura e gestão de riscos hidrometeorológicos.

3.2.5 Ondas Leste

As Ondas de Leste (OL), também denominadas Distúrbios Ondulatórios de Leste, configuram-se como sistemas atmosféricos de escala sinótica que se originam na faixa tropical do Atlântico, sob a influência predominante dos ventos alísios. Esses distúrbios se propagam de leste para oeste, acompanhando o escoamento atmosférico tropical, podendo alcançar a costa nordestina após se desenvolverem nas proximidades do continente africano (Figura 10). Sua gênese resulta da interação entre gradientes térmicos, instabilidades barotrópicas e variações na intensidade dos ventos alísios, que induzem ondulações no campo de escoamento. Quando associadas a condições oceânicas e atmosféricas favoráveis — como altos índices de umidade relativa, temperaturas elevadas da superfície do mar (TSM) e subsidência reduzida em níveis superiores da troposfera — as OL intensificam a atividade convectiva, originando episódios significativos de precipitação (Burpee, 1972; Thorncroft & Hodges, 2001).

No Nordeste do Brasil, a atuação das OL é mais pronunciada durante os meses de junho a agosto, período em que o Atlântico Tropical apresenta condições sazonais propícias à sua propagação e organização (Kousky & Gan, 1981). No contexto do Ceará, esses sistemas meteorológicos tendem a gerar precipitações principalmente no setor centro-norte do Estado, embora sua intensidade e distribuição espacial sejam moduladas pela interação com outros mecanismos atmosféricos, tais como a circulação de brisa marítima e os vórtices ciclônicos de ar superior (Ferreira et al., 2009).

Do ponto de vista aplicado, as OL desempenham papel relevante no planejamento hídrico e na gestão de riscos climáticos, visto que, embora apresentem menor frequência em relação à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), podem contribuir de forma significativa para a recarga hídrica regional e para a mitigação de períodos secos durante o inverno climático do Nordeste. Por esse motivo, o monitoramento contínuo das OL — mediante análise de imagens de satélite, campos de vento e boletins de previsão regional — é essencial para antecipar impactos potenciais sobre setores agrícolas e urbanos, assegurando maior capacidade de resposta a eventos meteorológicos adversos.

Onde o Sagariche abraça o mar, a natureza e tradição em harmonia



Figura 10: Imagem do satélite METEOSAT-7 mostrando a nebulosidade vinda da Costa da África.



Fonte: FUNCEME, 2000.

3.2.6 Classificação Climática

O Nordeste brasileiro encontra-se inserido na faixa tropical do globo, em proximidade à linha equatorial, condição que determina forte sazonalidade hídrica e significativa irregularidade espacial e temporal das precipitações. Historicamente, a região é marcada pela recorrência de secas, associadas a um regime pluviométrico irregular e geralmente escasso, agravado por elevadas taxas de evaporação que superam expressivamente as registradas em outras regiões do país (Molion; Bernardo, 2002).

À luz das classificações climáticas internacionais, o território cearense apresenta particularidades relevantes. De acordo com o sistema de Köppen (1936), predominam os tipos Aw (clima tropical quente, com estação seca no inverno) e BSh (semiárido quente, com temperaturas médias anuais superiores a 24 °C), que recobrem grande parte do estado. Já pela classificação de Thornthwaite (1948), aproximadamente 85% da área do Ceará

Under the Jaguaribe escarpment and the sea, nature and tradition in harmony



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.bioteconsultoria.com.br

ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC

Fortim - CE - Brasil

- Diagnóstico Meio Físico -



32

enquadra-se em condições semiáridas e cerca de 8% em domínio árido, considerando-se os balanços hídricos entre precipitação e evapotranspiração potencial (Marengo et al., 2011).

Na perspectiva da Organização das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), ao aplicar o Índice de Aridez, o semiárido nordestino é igualmente categorizado como “semiárido brando”, em função da relação entre a precipitação média anual e a evapotranspiração potencial (PNUMA, 1992). Essa classificação assume importância estratégica no âmbito das políticas públicas, uma vez que fundamenta programas voltados à mitigação dos efeitos da seca e ao uso sustentável dos recursos hídricos.

No caso particular do município de Fortim, situado na Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, a quadra chuvosa tem início em fevereiro e se estende até abril, em consonância com a sazonalidade pluviométrica típica do litoral leste do Ceará (FUNCEME, 2020). A precipitação média anual varia entre 800 e 1.000 mm, evidenciando acentuada variabilidade interanual e espacial, o que aumenta a vulnerabilidade do município a eventos climáticos extremos. As temperaturas médias anuais oscilam entre 24 °C e 30 °C, mantendo-se elevadas durante todo o ano, condição que intensifica as perdas hídricas por evaporação (Figura 11 e Figura 12).

A caracterização climática constitui, assim, um elemento fundamental para o planejamento territorial e ambiental, na medida em que condiciona processos ecológicos, produtivos e sociais. No contexto do Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro (ZEEC), sua incorporação será decisiva para a delimitação de áreas sujeitas a maior restrição hídrica, para a definição de zonas prioritárias de conservação da vegetação nativa e para a identificação de setores mais adequados ao desenvolvimento de atividades econômicas adaptadas às condições semiáridas.

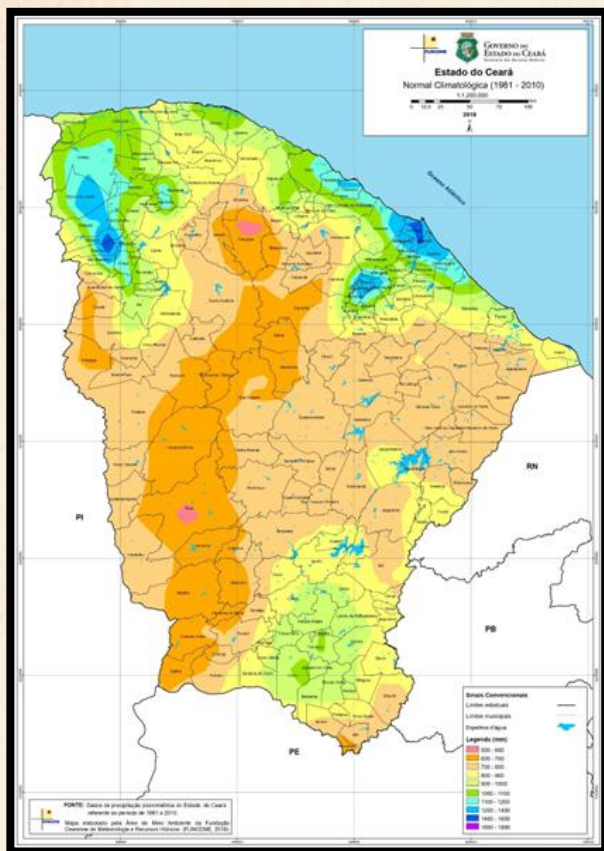
onde o Jaguaribe encontra o mar, sobressai a tradição em harmonia



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

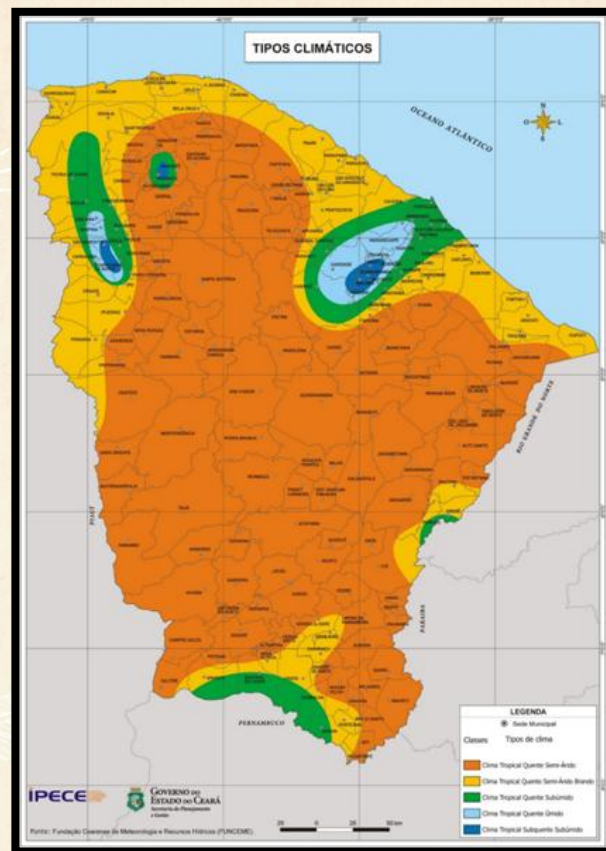
www.bioteconsultoria.com.br

Figura 11: Mapa Pluviométrico.



Fonte: FUNCEME. 2018.

Figura 12: Mapa climático, do Ceará.



Fonte: FUNCEME. 2018.

3.2.7 Normas Climatológicas

O conhecimento das normas climatológicas constitui etapa essencial para a caracterização ambiental, uma vez que estabelece parâmetros de referência capazes de representar o comportamento médio das variáveis meteorológicas em séries temporais suficientemente longas. Ainda que nem todas as variáveis climáticas exerçam influência direta sobre cada setor socioeconômico, a maioria delas impacta dinâmicas territoriais críticas, como o turismo, a agricultura, a infraestrutura urbana e a gestão de recursos hídricos. No município de Fortim, essa relevância é ainda mais acentuada, considerando-se a dependência do turismo litorâneo e das atividades produtivas fortemente condicionadas ao regime pluviométrico.

Conforme a Organização Meteorológica Mundial (OMM), o cálculo das Normais Climatológicas deve basear-se em séries históricas de, no mínimo, 30 anos de observações contínuas, o que permite atenuar variações interanuais e oferecer um retrato mais estável e

Onde o lagoar se encontra o mar, surge a harmonia

representativo do clima regional (OMM, 2017). No Brasil, a responsabilidade pela sistematização e divulgação dessas informações cabe ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que consolida registros de precipitação, temperatura, nebulosidade, insolação e radiação solar, compondo um banco de dados de valor estratégico para o planejamento climático.

No caso do Ceará, esse conjunto de informações é complementado por instituições regionais, como a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), que desenvolvem análises especializadas mais detalhadas, adequadas às escalas sub-regionais e municipais. Para Fortim, os registros indicam uma pluviosidade média anual em torno de 857,7 mm, com quadra chuvosa concentrada entre janeiro e abril. As temperaturas médias variam entre 24 °C e 30 °C, mantendo-se elevadas durante todo o ano. O município dispõe ainda de uma estação meteorológica operada pelo INMET, o que confere maior robustez metodológica e confiabilidade aos registros, permitindo o cruzamento de informações com produtos regionais da FUNCEME e do IPECE (FUNCEME, 2020; IPECE, 2020; INMET, 2021).

Essas informações normativas não apenas subsidiam estudos ambientais, mas também orientam o ordenamento territorial, a formulação de estratégias de adaptação às mudanças climáticas e a elaboração de planos setoriais voltados ao turismo e à infraestrutura, configurando-se como instrumento indispensável para mitigar os impactos das variações climáticas sobre a dinâmica socioeconômica local.

3.2.8 Precipitação

A precipitação constitui um dos elementos mais determinantes para a caracterização climática e para o planejamento de atividades econômicas em regiões tropicais semiáridas, como o município de Fortim. Em particular, em operações de lavra a céu aberto, a ocorrência de chuvas intensas pode comprometer a mobilização de equipes, atrasar detonações e inviabilizar tanto a extração quanto o transporte de blocos minerais. Por essa razão, o conhecimento detalhado da quadra chuvosa, bem como das oscilações sazonais e interanuais da pluviosidade, representa insumo estratégico para o ordenamento territorial e a mitigação de riscos operacionais (FUNCEME, 2020; INMET, 2021).

Outro o Jaguaribe encontra o mar, sobressa e finda-se em harmonia



O regime pluviométrico de Fortim apresenta acentuada sazonalidade. A estação chuvosa tem início em janeiro, intensifica-se em fevereiro e atinge seu ápice entre março e abril, quando os totais mensais variam entre 190 e 210 mm. O mês de maio ainda mantém índices relativamente elevados (120–140 mm), mas a partir de junho observa-se declínio expressivo, com volumes reduzidos para a faixa de 50 a 70 mm. Entre setembro e novembro ocorre o mínimo pluviométrico, com médias próximas de 0 a 10 mm/mês, configurando a estação seca. Dezembro representa um período de transição, com ligeira recuperação das chuvas (20–30 mm) e prenúncio da quadra úmida subsequente (FUNCEME, 2020; IPECE, 2020).

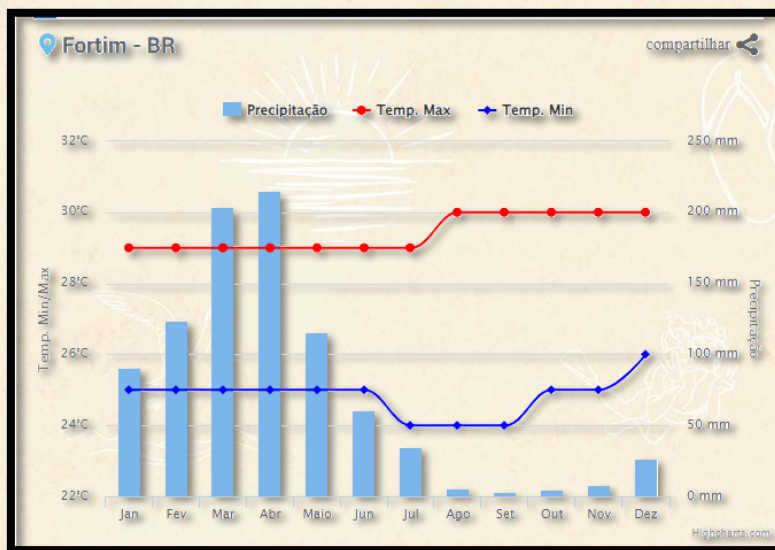
No agregado anual, aproximadamente 90 a 95% da precipitação concentra-se no primeiro semestre, padrão típico das áreas litorâneas do Ceará, condicionadas pela atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e pela influência de sistemas atmosféricos transientes. A pluviosidade média histórica situa-se entre 900 e 1.000 mm/ano, em consonância com as Normais Climatológicas calculadas para séries de 30 anos, conforme recomenda a Organização Meteorológica Mundial (OMM). A variabilidade interanual, entretanto, é modulada por fenômenos oceânicos de larga escala, como o El Niño–Oscilação Sul (ENOS) e o dipolo do Atlântico Tropical, que podem acentuar períodos de seca ou intensificar a quadra chuvosa (Grimm et al., 2000; Nobre; Shukla, 1996).

As temperaturas médias acompanham esse ciclo pluviométrico. Os valores máximos permanecem em torno de 29 °C no início do ano, atingem aproximadamente 30 °C no auge da estação seca, enquanto as mínimas oscilam entre 25 °C de janeiro a maio e 24 °C entre julho e setembro, voltando a se elevar no final do ano. Esses padrões, representados na Figura 13, permitem a clara identificação das fases mais chuvosas e secas, bem como dos períodos mais quentes e mais amenos. Trata-se de informações imprescindíveis não apenas para a gestão de recursos hídricos e o planejamento agrícola, mas também para a mineração a céu aberto e a adaptação das atividades turísticas às condições sazonais.

Dele o Jaguaribe encontra o mar, sobressa e finda em harmonia



Figura 13: Precipitação acumulada histórica (entre 1994 - 2024) para a cidade de Fortim/CE.



Fonte: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/5815/fortim-ce>. 2025.

3.2.9 Temperatura

A temperatura constitui uma das variáveis climatológicas mais relevantes para a caracterização ambiental, sobretudo em regiões semiáridas ou sujeitas a forte sazonalidade pluviométrica. Sua análise está diretamente relacionada à radiação solar incidente, que, nas baixas latitudes, apresenta-se elevada e relativamente constante ao longo do ano. A proximidade da faixa equatorial faz com que áreas como o litoral leste do Ceará recebam altos índices de insolação, resultando em amplitudes térmicas anuais reduzidas, mas capazes de exercer impactos significativos sobre a saúde humana, a produtividade laboral e a dinâmica dos processos ecológicos (INMET, 2021; OMM, 2017).

Sob a perspectiva socioambiental, a temperatura influencia diretamente a qualidade do trabalho em atividades agrícolas, pesqueiras e extrativistas, visto que níveis elevados de calor podem comprometer tanto o desempenho físico quanto a saúde dos trabalhadores. A sensação térmica, por sua vez, depende de um conjunto de fatores associados, tais como a velocidade e direção dos ventos, a umidade relativa e a cobertura de nuvens, cuja interação pode atenuar ou acentuar a percepção de calor (FUNCEME, 2020; IPECE, 2020).

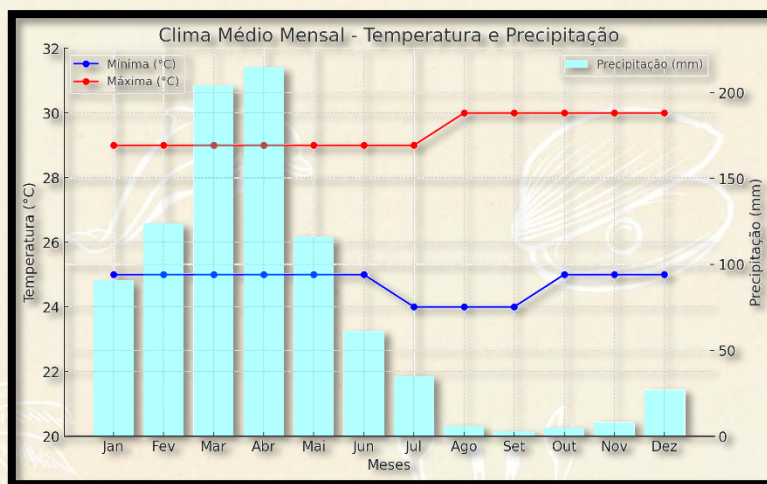
No município de Fortim, localizado no litoral leste do Ceará, o regime térmico acompanha a sazonalidade pluviométrica. Durante o primeiro semestre, as chuvas exercem efeito moderador sobre as temperaturas, enquanto o segundo semestre, mais seco,

onde o jaguaribe abraça o mar, sobressa e brilha em harmonia

caracteriza-se por valores relativamente mais elevados. As temperaturas máximas médias mantêm-se próximas a 29 °C entre janeiro e julho, elevando-se para aproximadamente 30 °C de agosto a dezembro. Já as temperaturas mínimas médias situam-se em torno de 25 °C de janeiro a junho, reduzem-se para cerca de 24 °C entre julho e setembro e retornam à faixa de 25–26 °C nos meses de outubro a dezembro.

Esse comportamento reforça a forte sazonalidade climática da região. Entre agosto e dezembro, a combinação de baixa nebulosidade, menores índices de umidade relativa e redução da cobertura vegetal sazonal intensifica a insolação direta, configurando o período de maior desconforto térmico e coincidente com os menores volumes pluviométricos. Essa dinâmica, representada na Figura 14, é fundamental não apenas para a compreensão do conforto climático humano e da saúde pública, mas também para a avaliação de impactos sobre atividades econômicas como turismo, pesca e agricultura, que são fortemente dependentes da variabilidade térmica e de sua interação com outros elementos do clima.

Figura 14: Temperatura acumulada histórica (entre 1994 - 2024) para a cidade de Fortim/CE



Que o Jaguaribe abraça o mar, abraça e faz a harmonia

ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC Fortim - CE - Brasil - Diagnóstico Meio Físico -



Figura 14: Temperatura acumulada histórica (entre 1994 - 2024) para a cidade de Fortim/CE

Mês	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	25	29	91
Fevereiro	25	29	124
Março	25	29	204
Abril	25	29	215
Maio	25	29	116
Junho	25	29	61
Julho	24	29	35
Agosto	24	30	6
Setembro	24	30	3
Outubro	25	30	5
Novembro	25	30	8
Dezembro	25	30	27

Fonte: Adaptado de: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/5815/fortim-ce>. 2025.

3.2.10 Nebulosidade

A nebulosidade corresponde ao percentual de cobertura de nuvens observado em determinado período e constitui uma variável climatológica de grande relevância para a compreensão da dinâmica atmosférica regional. Sua presença exerce influência direta sobre o balanço de radiação, uma vez que as nuvens atuam na atenuação da incidência da radiação solar direta sobre a superfície terrestre, reduzindo a temperatura aparente e, consequentemente, a sensação térmica. Assim, maiores índices de nebulosidade estão associados à amenização do calor e à diminuição da exposição a riscos à saúde pública, como insolação, desidratação e estresse térmico, especialmente em regiões tropicais sujeitas a elevados níveis de irradiação solar (OMM, 2017; INMET, 2021).

No município de Fortim, a nebulosidade apresenta forte sazonalidade, acompanhando o regime pluviométrico característico do litoral leste do Ceará. Durante o primeiro semestre do ano, em especial nos meses de março e abril, a cobertura de nuvens torna-se mais expressiva, coincidindo com o auge da quadra chuvosa. Nesse período, o aumento da nebulosidade atua como fator moderador das temperaturas superficiais, favorecendo maior conforto climático e reduzindo o estresse ambiental sobre as atividades humanas.

Que o saguão vacante o mar, sapanga e tradição em harmonia



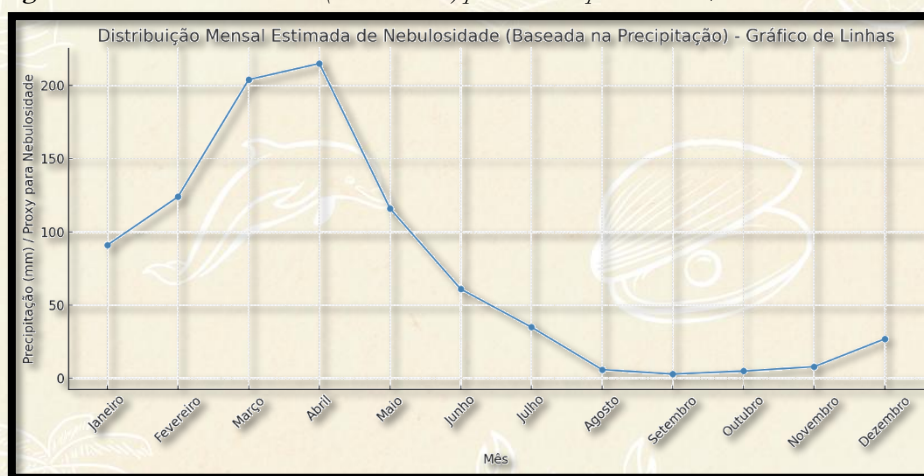
Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.bioteconsultoria.com.br

Em contraste, no segundo semestre, particularmente entre agosto e novembro, a nebulosidade atinge valores mínimos, em correspondência à acentuada redução das chuvas. Essa condição permite maior incidência de radiação solar direta, elevando as temperaturas do ar e intensificando a sensação de calor. O cenário contribui para acentuar os efeitos da estiagem, ampliando os impactos sobre a saúde da população e sobre setores produtivos dependentes da disponibilidade hídrica, como a agricultura, a pecuária e o turismo (FUNCEME, 2020; IPECE, 2020).

A Figura 15 sintetiza graficamente esse comportamento, evidenciando a estreita correlação entre a cobertura de nuvens e o ciclo sazonal de precipitação em Fortim. A interpretação integrada dessa variável, em associação à análise da precipitação e da temperatura, constitui ferramenta indispensável para estudos de conforto climático, planejamento urbano e definição de estratégias de adaptação frente às variabilidades e extremos do clima regional.

Figura 15: Nebulosidade histórica (1994 - 2024) para o município de Fortim/CE.



Fonte: INMET. 2025.

3.2.11 Irradiação

A irradiação solar corresponde ao fluxo de energia proveniente do Sol que incide sobre a superfície terrestre sob a forma de ondas eletromagnéticas. Essa variável constitui elemento central para a compreensão do balanço de energia na atmosfera e para a análise de processos ambientais, ainda que, em diagnósticos regionais, sua influência seja considerada mais indireta em comparação a parâmetros como precipitação e temperatura. O conhecimento dessa medida torna-se, contudo, indispensável para a avaliação do potencial

energético, da variabilidade térmica e da sustentabilidade de atividades produtivas locais (OMM, 2017; IPCC, 2021).

A intensidade da irradiação é geralmente expressa em W/m^2 e varia em função de fatores como latitude, estação do ano, nebulosidade, altitude e horário do dia. Em Fortim, situado no litoral leste do Ceará, os níveis de Irradiação Solar Global Horizontal (Global Horizontal Irradiance – GHI) encontram-se entre 2.100 e 2.250 $kWh/m^2.ano$, de acordo com o Atlas Eólico-Solar do Estado do Ceará e o Global Solar Atlas do Banco Mundial. Esses valores estão entre os mais elevados do Brasil, reflexo da posição em baixa latitude e da predominância de céus pouco nublados durante grande parte do ano, conforme representado na Figura 16 (FUNCEME, 2019; World Bank, 2020).

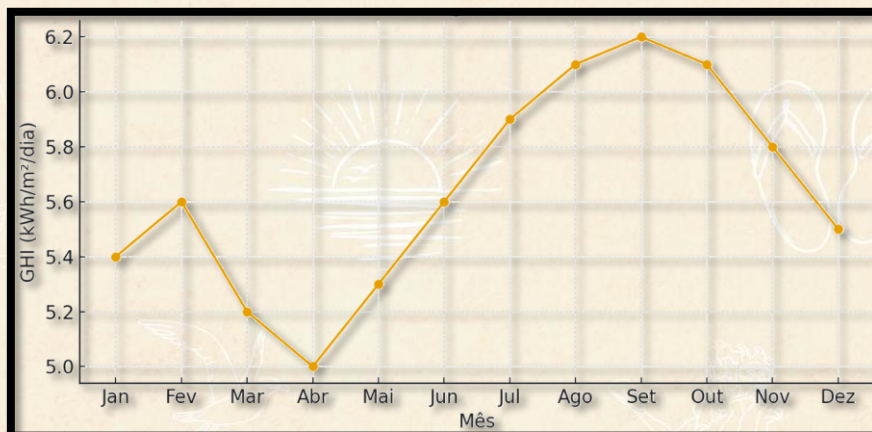
A elevada disponibilidade de irradiação solar traz efeitos diretos e indiretos para Fortim. No setor do turismo, intensifica a sensação térmica nos meses secos, impondo desafios à infraestrutura de hospedagem e às atividades de lazer ao ar livre, que exigem medidas de adaptação como sombreamento e climatização. Na agricultura e pecuária, a alta incidência solar intensifica os processos de evapotranspiração, impactando a disponibilidade hídrica, a produtividade agrícola e a necessidade de manejo adaptado de cultivos e pastagens. Já no campo da energia renovável, configura-se como um recurso estratégico: os níveis médios de GHI em Fortim superam amplamente as faixas de referência para a viabilidade técnica de projetos fotovoltaicos, colocando o município em posição privilegiada para diversificação da matriz elétrica regional e fortalecimento de cadeias produtivas vinculadas à transição energética (EPE, 2020; IEA, 2022).

Esse quadro evidencia tanto oportunidades quanto desafios: se, por um lado, a elevada irradiação favorece o aproveitamento econômico por meio da energia solar, por outro impõe pressões adicionais sobre a gestão hídrica e sobre o conforto térmico da população, demandando políticas de adaptação integradas ao planejamento territorial e setorial.

Que o Jaguaribe abraça o mar, saporiza e refresca e faz tudo em harmonia



Figura 16: Irradiação T x GHI



Fonte: Biotec Consultoria Ambiental. 2025.

3.2.12 Insolação

A insolação corresponde ao número de horas efetivas de brilho solar registradas em determinado local, representando a disponibilidade temporal de radiação ao longo do ano. Diferentemente da irradiação solar, que expressa a intensidade energética (W/m^2), a insolação mede a duração do período em que o Sol permanece visível acima do horizonte sem bloqueio significativo por nuvens ou obstáculos. Por esse motivo, constitui uma variável essencial não apenas para a caracterização ambiental, mas também para a análise de impactos econômicos e sociais em contextos tropicais semiáridos (OMM, 2017; INMET, 2021).

Em Fortim, os registros indicam insolação média diária em torno de 9,5 horas, totalizando aproximadamente 3.010 horas anuais de brilho solar, de acordo com o Atlas Solari-métrico do Brasil. Esses valores, considerados elevados em comparação a padrões nacionais e internacionais, conferem ao município um posicionamento estratégico para setores dependentes da radiação solar (Pereira et al., 2017; FUNCEME, 2019). A variabilidade intra-anual mostra que os maiores índices de insolação ocorrem entre agosto e outubro, período seco caracterizado por baixa nebulosidade, quando os totais mensais ultrapassam 300 horas de sol, como representado na Figura 17.

Do ponto de vista econômico, a insolação elevada amplia significativamente o potencial de geração de energia solar fotovoltaica, criando oportunidades para investimentos em usinas centralizadas e em sistemas descentralizados de microgeração, que podem reduzir custos energéticos locais e estimular cadeias produtivas associadas à transição energética. No setor do turismo, a elevada insolação reforça a atratividade de Fortim como destino de sol e

onde o saguazeiro abraça o mar, a fogueira e a tradição em harmonia



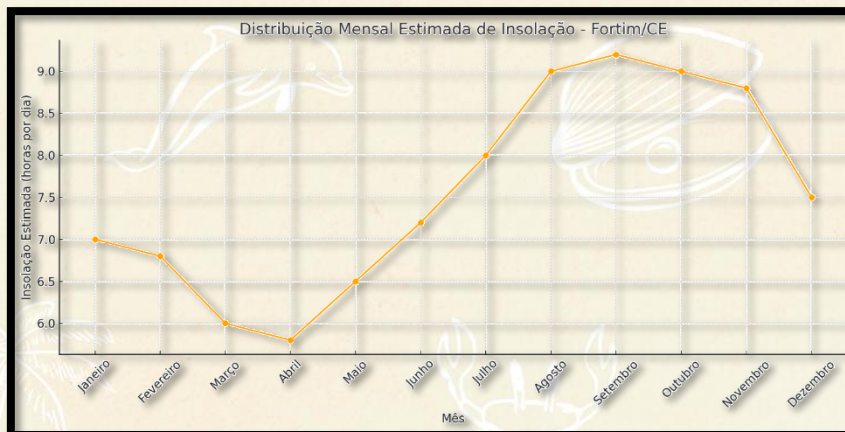
Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.bioteconsultoria.com.br

praia, mas exige investimentos em infraestrutura adaptativa, como sombreamento, climatização e serviços de lazer adequados ao conforto térmico, sob risco de comprometer a competitividade frente a outros polos turísticos. Na agricultura e pecuária, a insolação prolongada intensifica os processos de evapotranspiração, aumentando os custos com irrigação e manejo hídrico e pressionando pequenos produtores que já operam em condições de vulnerabilidade climática.

Sob a ótica social, a insolação elevada apresenta um paradoxo: ao mesmo tempo em que favorece setores como turismo e energia renovável, também intensifica riscos à saúde pública, ampliando a incidência de doenças relacionadas à radiação ultravioleta, como insolação, desidratação e câncer de pele. Esses impactos atingem de forma desproporcional trabalhadores rurais, pescadores e prestadores de serviços turísticos expostos prolongadamente ao sol, exigindo políticas de proteção, campanhas educativas e acesso a equipamentos de proteção individual. Além disso, os meses de maior insolação coincidem com o auge da seca, período em que comunidades mais vulneráveis enfrentam dificuldades no acesso à água e em sua qualidade de vida.

Figura 17: Insolação histórica (1994 - 2024) para o município de Fortim/CE



Fonte: INMET. 2025.

3.2.13 Direção e Intensidade dos Ventos

A circulação dos ventos em regiões costeiras, como Fortim, está diretamente associada à interação entre gradientes de pressão atmosférica, marés térmicas, brisas terrestres e marítimas e aos sistemas atmosféricos de grande escala que modulam o clima nordestino.

Que o Jaguaribe vacine o mar, saqueie e tráfego em harmonia



No município de Fortim, os ventos apresentam predominância de sudeste ao longo do ano, acompanhando o padrão dos ventos alísios que incidem sobre o Atlântico Tropical. Essa direção é relevante tanto para a dinâmica costeira — por sua influência na deriva litorânea, transporte de sedimentos e morfodinâmica de praias e dunas — quanto para o potencial energético, uma vez que o Ceará figura entre os estados brasileiros de maior capacidade instalada de energia eólica.

A circulação dos ventos em regiões costeiras, como o município de Fortim, é condicionada por gradientes de pressão atmosférica, brisas terrestres e marítimas, marés térmicas e pela influência de sistemas atmosféricos de grande escala que modulam o clima no Nordeste do Brasil. Esses fatores, aliados à baixa latitude e à forte atuação dos ventos alísios no Atlântico Tropical, conferem ao litoral cearense um regime de ventos caracterizado pela regularidade e intensidade, aspectos decisivos tanto para a dinâmica ambiental quanto para o aproveitamento econômico (OMM, 2017).

Em Fortim, os ventos predominam de sudeste ao longo de grande parte do ano, refletindo a atuação dos alísios tropicais. Essa direção exerce influência direta sobre a deriva litorânea e o transporte de sedimentos, moldando a morfodinâmica de praias, dunas e estuários. Do ponto de vista energético, tal padrão coloca o Ceará entre os estados brasileiros com maior potencial eólico instalado, consolidando-se como referência nacional na produção de energia renovável (FUNCEME, 2020; IPECE, 2020).

Em relação à intensidade, observa-se uma variação sazonal marcada. Os ventos mais fortes concentram-se entre agosto e dezembro, período seco, quando a redução da nebulosidade e a maior incidência solar favorecem o fortalecimento da circulação atmosférica. Na quadra chuvosa, entre fevereiro e maio, as velocidades tendem a ser mais moderadas, embora permaneçam significativas para efeitos ambientais e socioeconômicos. Estudos indicam que velocidades médias variam entre 3 m/s e 6 m/s em localidades do litoral cearense, o que confirma a viabilidade técnica de aproveitamento energético (Oliveira et al., 2024).

Sob a ótica socioeconômica, a regularidade e intensidade dos ventos de Fortim possuem múltiplas implicações. A energia eólica representa não apenas um vetor de diversificação da matriz energética, mas também uma oportunidade de geração de empregos

onde o jaguaribe abraça o mar, natureza e tradição em harmonia



e renda local, ainda que acompanhada de desafios como a necessidade de ordenamento territorial, mitigação de impactos sobre comunidades pesqueiras e conservação de ecossistemas costeiros. Além disso, os ventos sustentam atividades turísticas, como kitesurf e windsurf, consolidando o município como destino para o turismo esportivo. Em contrapartida, a força dos ventos pode acentuar processos erosivos costeiros e comprometer infraestruturas vulneráveis, exigindo monitoramento meteorológico constante e estratégias de adaptação (Silva et al., 2017; Lira et al., 2011).

Figura 18: Média anual da intensidade dos ventos em Fortim-CE



Fonte: Windy Weather World Inc., 2025.

Sob a perspectiva aplicada, a atuação dos ventos em Fortim apresenta implicações diretas em diferentes setores:

- **Gestão costeira:** a persistência dos ventos alísios impõe a necessidade de incorporar sua direção e intensidade no planejamento e dimensionamento de obras costeiras, portuárias e empreendimentos turísticos, de modo a assegurar estabilidade estrutural e reduzir vulnerabilidades ambientais.
- **Energia renovável:** o regime eólico característico do litoral leste cearense consolida o município como área estratégica para a implantação de usinas eólicas, tanto onshore quanto offshore, ampliando o potencial de geração de energia limpa e sustentável.
- **Turismo e lazer:** a regularidade e intensidade dos ventos favorecem a prática de esportes náuticos, como kitesurf e windsurf, fortalecendo a vocação turística local e agregando valor às atividades econômicas ligadas ao setor.

- Saúde e conforto térmico: a ventilação natural proporcionada pelos ventos atua como fator regulador do microclima, mitigando os efeitos da elevada radiação solar e amenizando a sensação térmica durante o período mais quente do ano.

3.2.14 Maré

Em Fortim, o regime de maré semidiurna configura-se como um dos principais moduladores da dinâmica costeiro-estuarina, atuando diretamente sobre a morfodinâmica praial e sobre os processos de circulação estuarina (Figura 19). No litoral aberto, a variação da maré controla as cotas d'água, a largura da faixa de praia e a eficiência do transporte longitudinal associado à interação entre ondas e deriva litorânea, condicionando alternâncias entre fases de erosão e acreção (Pugh; Woodworth, 2014).

Na desembocadura do rio Jaguaribe, a maré propaga-se sob a forma de onda amortecida. Na barra estuarina, conserva grande parte da amplitude, apresentando apenas pequena defasagem. No trecho intermediário, entretanto, ocorre perda de energia em decorrência do atrito e da convergência da seção transversal, enquanto no montante do estuário a influência da maré se reduz, cedendo predominância ao escoamento fluvial e à ação dos ventos (Miranda; Castro; Kjerfve, 2002).

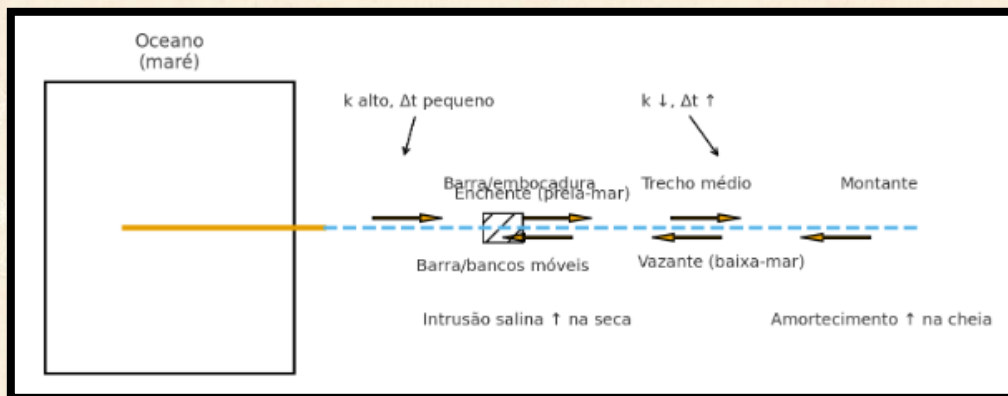
O balanço entre descarga fluvial e maré estabelece cenários contrastantes. Durante a estiagem, a menor vazão do Jaguaribe intensifica a intrusão salina, reduz o tempo de residência hídrica e favorece a migração de barras arenosas e bancos submersos. Já na quadra chuvosa, o aumento da descarga fluvial promove maior turvação, desloca a cunha salina para jusante e redistribui sedimentos finos ao longo do estuário, modificando habitats e influenciando a bioprodutividade local (Schettini, 2002).

Sob a perspectiva da gestão costeira, recomenda-se integrar informações sobre Nível Médio do Mar (NMM), marés de sizígia e setup de ondas em Modelos Digitais de Terreno (MDT), de modo a identificar faixas potenciais de inundação em áreas vulneráveis (Neves; Muehe, 2008). Além disso, séries temporais de marégrafos, campanhas batimétricas periódicas e análises multitemporais da linha de costa constituem instrumentos fundamentais para subsidiar decisões relacionadas a dragagens, projetos de aquicultura e planejamento de obras de infraestrutura em zonas estuarinas e costeiras.

onde o Jaguaribe encontra o mar, surge a beleza e a harmonia



Figura 19: Influência da Maré - Fortim-CE



Fonte: Biotec Consultoria Ambiental. 2025.

Do ponto de vista aplicado, as marés em Fortim assumem relevância estratégica para o ordenamento territorial e para a gestão costeira. A variabilidade maregráfica define zonas de inundação e condiciona o dimensionamento de estruturas hidráulicas de baixo porte, como quebra-mares, trapiches e pontes estuarinas. O ciclo de enchente e vazante regula a navegabilidade na barra do Jaguaribe, influenciando a necessidade de dragagens periódicas e impactando a logística portuária, a pesca e o transporte de pequena escala. Na aquicultura, a intrusão salina modulada pela maré afeta diretamente viveiros de camarão, salinas e áreas de coleta de mariscos, bem como os ciclos reprodutivos de espécies estuarinas exploradas pela pesca artesanal (Lacerda et al., 2013).

Por fim, o processo de urbanização em áreas baixas de planície costeira deve considerar os efeitos cumulativos de marés de sizígia, ondas de tempestade e elevação do nível médio do mar, fatores que ampliam riscos de inundação e exigem critérios mais restritivos de ocupação territorial (IPCC, 2021). Ademais, a interação entre maré e descarga fluvial desempenha papel determinante no controle da exportação e deposição de sedimentos, modulando a qualidade da água, a produtividade primária e os processos de assoreamento no estuário do Jaguaribe (Miranda; Castro; Kjerfve, 2002).

3.3 Geomorfologia

O relevo constitui um dos elementos geomórficos mais relevantes para o desenvolvimento humano, na medida em que fornece a base física e recursos essenciais à expansão da sociedade e ao estabelecimento de atividades produtivas. Trata-se, simultaneamente, de um fator natural e de um condicionante antrópico, pois, ao mesmo

Outro o Jaguaribe encontra o mar, sobressa e finda em harmonia



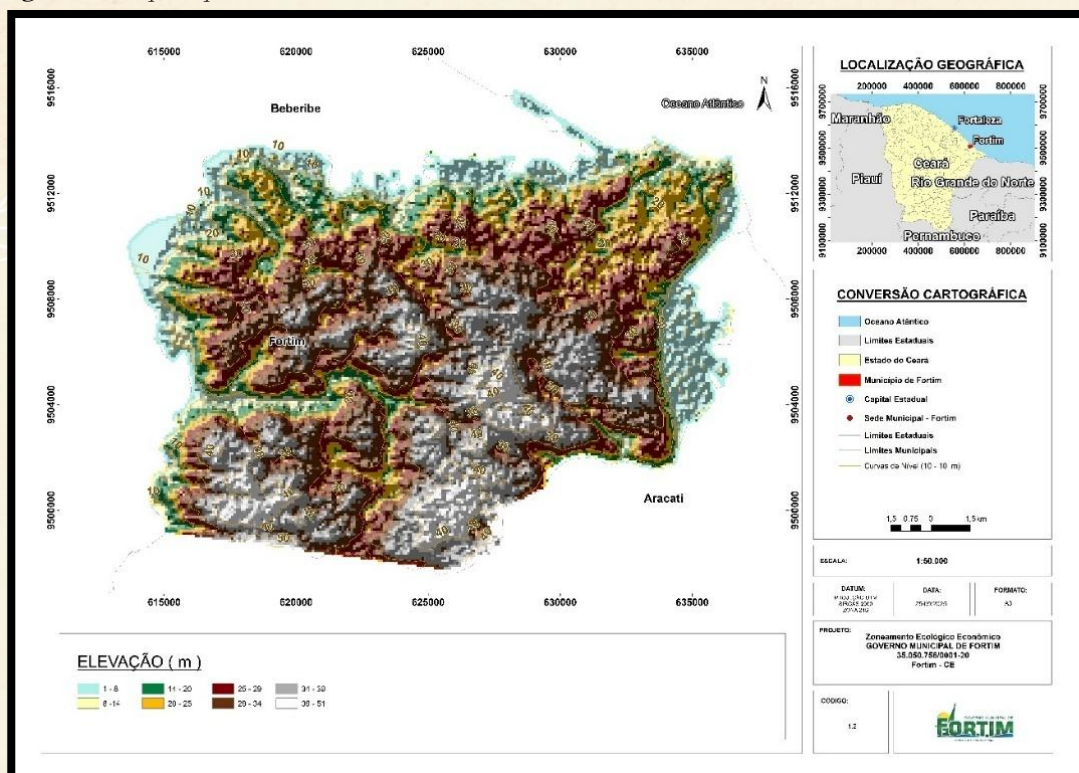
Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.biotecconsultoria.com.br

tempo em que orienta a ocupação do espaço, figura entre os componentes ambientais mais intensamente impactados pela ação humana, que altera o equilíbrio dinâmico dos processos naturais e modifica a paisagem em diferentes escalas (Ross, 1992).

Nos estudos ambientais, a caracterização do relevo parte da análise integrada das feições específicas de um espaço, contemplando tanto a variação dos níveis topográficos (Figura 20) quanto os processos geomorfológicos atuantes na superfície (Figura 21). Esses aspectos assumem centralidade para o planejamento territorial e ambiental, porquanto orientam a definição de usos compatíveis do solo, subsidiam a identificação de áreas suscetíveis a riscos naturais e oferecem suporte às decisões voltadas à promoção do desenvolvimento sustentável (Christofolletti, 1980).

Figura 20: Mapa Hipsométrico



Fonte: Biotec Consultoria Ambiental. 2025.

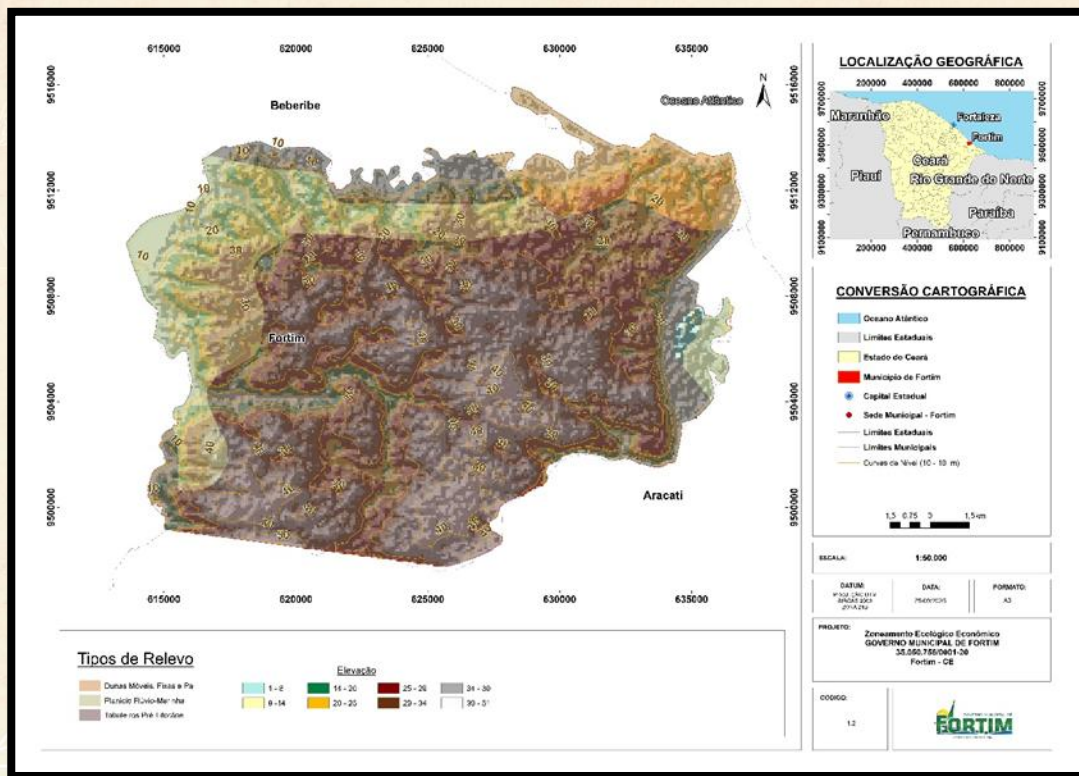
Que o Jaguaribe abraça o mar, natureza e tradição em harmonia



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.bioteconsultoria.com.br

Figura 21: Tipos de Relevo



Fonte: Biotec Consultoria Ambiental, 2025.

A proposta de mapeamento geomorfológico adota como princípio a organização dos fatos geomorfológicos segundo uma lógica temporal e espacial, permitindo a identificação de padrões e hierarquias entre formas e processos. A individualização das unidades de relevo fundamenta-se em parâmetros estruturais, litológicos, pedológicos, climáticos e morfodinâmicos, capazes de explicar a evolução das formas terrestres e a configuração atual da paisagem ao longo do tempo geológico (IBGE, 2006; Ross, 2006). Nesse sentido, a análise geomorfológica não apenas descreve a superfície terrestre, mas também constitui ferramenta estratégica para a gestão integrada do território, conciliando o uso dos recursos naturais com a conservação ambiental.

3.3.1 Estruturação da Bacia Potiguar

A Bacia Potiguar, localizada na porção oriental do Nordeste brasileiro, estende-se pelos estados do Rio Grande do Norte e do Ceará, abrangendo também suas plataformas continentais (SOARES, 2003). Seus limites geológicos são definidos ao sul, leste e oeste pelo embasamento cristalino, enquanto ao norte conecta-se ao Oceano Atlântico. Sua gênese encontra-se vinculada ao rifte cretáceo potiguar, originado no contexto do regime tectônico

União e harmonia entre o homem e a natureza, preservando o meio ambiente e a qualidade de vida.



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.biotecconsultoria.com.br

divergente que promoveu a ruptura entre os continentes Sul-Americano e Africano, no Cretáceo Inferior.

O processo de rifteamento da crosta superior foi condicionado pela tectônica rúptil, responsável pela formação do sistema de blocos falhados do Nordeste e pela configuração estrutural inicial da bacia. A orientação dos falhamentos esteve fortemente relacionada à reativação de zonas de fraqueza crustal pré-existent, de idade proterozoica (FRANÇOLIN, 1987). Durante o Neocomiano (~145 Ma), o regime compressivo de direção leste-oeste, associado à distensão norte-sul, promoveu a reativação dessas falhas e resultou no estabelecimento do rifteamento que moldou o atual arcabouço estrutural da Bacia Potiguar, caracterizado por grabens de direção sudoeste–nordeste (SW–NE).

Posteriormente, parte dos riftes intracontinentais foi abortada, evoluindo para um regime de subsidência térmica (~145 Ma), seguido pela abertura transformante do Atlântico Equatorial durante o Aptiano (~113 Ma). Esse processo truncou riftes abortados de direção sudeste–noroeste (SE–NW), estabelecendo as condições para a instalação de ambientes deposicionais marinhos durante episódios transgressivos. No Turoniano (~92 Ma), consolidaram-se depósitos marinhos, sobrepostos às sucessões continentais prévias, definindo os sistemas sedimentares costeiros e estuarinos da região (MATOS, 2000).

A sedimentação das calhas tectônicas recém-formadas foi dominada por sistemas deposicionais continentais, incluindo ambientes fluviais, coluviais, estuarinos e lagunares, posteriormente recobertos por depósitos marinhos transgressivos. Do ponto de vista geomorfológico, a Bacia Potiguar apresenta-se como uma extensa cuesta voltada para o interior, modelada por processos exodinâmicos. Nesse contexto, a drenagem superficial e a dissecação linear assumem papel central na dinâmica erosiva, promovendo o desgaste diferencial das camadas sedimentares, conservando o topo da cuesta e condicionando o recuo progressivo das vertentes.

A maior espessura do pacote sedimentar em direção ao norte, associada aos mergulhos sub-horizontais e à alternância litológica de camadas com diferentes resistências, confere ao relevo a morfologia cuestiforme. A frente voltada para o norte e leste é íngreme, configurando a escarpa principal, sustentada pela Formação Jandaíra, composta por calcários de idade Turoniana (~92 Ma), que atuam como cornija estrutural. Esta unidade carbonática

Dele o Jaguaribe escorrega o mar, sobressa e finda em harmonia



apresenta baixa dissecação em função da sazonalidade da drenagem superficial, que limita a erosão diferencial, conferindo estabilidade relativa à escarpa (SOUZA et al., 2002; PESSOA NETO et al., 2007).

3.3.2 Bacia Fluvial do Jaguaribe - Baixo Curso

A evolução geomorfológica do baixo curso do rio Jaguaribe encontra-se fortemente associada à dinâmica estrutural e sedimentar da Bacia Potiguar, refletindo processos contínuos de interação entre o embasamento cristalino e as unidades sedimentares adjacentes. Segundo Maia et al. (2006), a formação da bacia sedimentar vinculada ao abortamento do rifte implicou na atuação persistente de processos erosivos em suas bordas, resultando em um padrão topográfico predominantemente tabular. Nesse contexto, o recuo das vertentes, induzido pela ação fluvial e pela dinâmica exodinâmica regional, promoveu a redução progressiva da área sedimentar no setor cearense, favorecendo a exumação de núcleos granitoides atualmente aflorantes nas várzeas do rio Jaguaribe. Essa característica geomorfológica marca a zona de transição entre a bacia sedimentar e o embasamento cristalino (MAIA; BEZERRA; CLAUDINO-SALES, 2010).

O desenvolvimento do rio Jaguaribe em direção ao setor leste (Figura 22) constitui fator determinante no processo de degradação lateral que atua sobre a borda ocidental da Bacia Potiguar. Enquanto a superfície de cimeira mantém-se relativamente preservada, as vertentes apresentam intenso desgaste erosivo, resultado da combinação entre processos de erosão linear e movimentos de massa. A evolução da planície aluvial do baixo curso (Figura 23) está diretamente condicionada ao mergulho do embasamento cristalino em direção ao interior da bacia, o que favorece o avanço das feições deposicionais fluviais sobre as unidades sedimentares subjacentes (LATRUBESSE; CARVALHO, 2006).

Onde o Jaguaribe encontra o mar, natureza e tradição em harmonia



assentamentos urbanos, todos vulneráveis a processos de inundação, erosão de margens e salinização de solos. Além disso, a instabilidade geomorfológica da borda da Chapada do Apodi representa um desafio à gestão territorial, exigindo monitoramento contínuo da rede fluvial e dos processos erosivos para subsidiar políticas de uso sustentável do solo e mitigação de riscos ambientais.

3.3.3 Unidades Geomorfológicas

O relevo cearense pode ser compreendido, de forma abrangente, a partir da compartimentação em três grandes unidades geomorfológicas: (i) os tabuleiros interiores e costeiros, que se distribuem ao longo do litoral e recobrem depósitos sedimentares terciários e quaternários; (ii) os planaltos e maciços residuais, responsáveis pelas principais elevações do território estadual; e (iii) as planícies fluviais, associadas às margens dos grandes rios, em articulação com a depressão sertaneja que domina a porção central do Ceará (IBGE, 2006; CPRM, 2010).

No município de Fortim e adjacências, esse quadro regional manifesta-se por quatro compartimentos geomorfológicos de destaque. Os tabuleiros pré-litorâneos caracterizam-se por superfícies suavemente onduladas, assentadas sobre formações sedimentares recentes, que condicionam áreas de uso agropecuário e expansão urbana. As planícies flúvio-marinhas, situadas na interface estuarina, resultam da interação entre processos fluviais, marinhos e de maré, configurando ambientes de elevada produtividade biológica, essenciais para a pesca artesanal e a carcinicultura (MUEHE, 2010). Os campos de dunas móveis e fixas, típicos de setores costeiros com intensa mobilidade sedimentar, assumem relevância paisagística e ecológica, mas também representam áreas vulneráveis à ocupação irregular e à especulação imobiliária (SOUZA; LINS-DE-BARROS, 2018). Por fim, as planícies aluviais, que acompanham a rede de drenagem, refletem a dinâmica deposicional dos cursos d'água e funcionam como zonas críticas de inundação e recarga hídrica.

Do ponto de vista aplicado, o mosaico dessas unidades geomorfológicas constitui um elemento estratégico para o planejamento ambiental e socioeconômico. A distribuição dos compartimentos condiciona a localização de ecossistemas costeiros sensíveis, como manguezais e restingas, que sustentam atividades extrativistas tradicionais. Ao mesmo tempo, define áreas de maior vulnerabilidade a processos erosivos, inundações sazonais e

onde o lagoarinho abraça o mar, natureza e tradição em harmonia



movimentos de massas arenosas, fatores que impactam diretamente o turismo litorâneo, a infraestrutura urbana e a agricultura irrigada.

3.3.4 Tabuleiros Pré-Litorâneos

Os tabuleiros pré-litorâneos configuram-se como superfícies aplainadas resultantes de processos morfogenéticos mecânicos, expressando formas herdadas de antigos ciclos de erosão condicionados por paleoclimas áridos e semiáridos. Na área em estudo, essas feições articulam-se com a Depressão Sertaneja, de baixa expressividade topográfica, cuja gênese está associada a longos períodos de atuação de processos morfoclimáticos pretéritos que moldaram o relevo nordestino (SOUZA et al., 2002).

Sob o regime climático semiárido atual, esses tabuleiros são caracterizados por intensos processos de pedimentação, que consistem na formação de rampas suavemente inclinadas a partir do recuo progressivo das vertentes. Tais superfícies, de declividade moderada e convergência para fundos de vale, estabelecem transições graduais entre compartimentos mais elevados e as planícies fluviais e costeiras adjacentes (LUCENA, 2014). A dinâmica geomorfológica dominante favorece a presença de solos de textura arenosa a média, relativamente pobres em nutrientes e suscetíveis à erosão quando submetidos a pressões antrópicas.

Do ponto de vista ambiental e socioeconômico, os tabuleiros pré-litorâneos desempenham papel estratégico para o escoamento superficial e a recarga hídrica local, além de constituírem áreas preferenciais para atividades agropecuárias e para a expansão urbana em municípios como Fortim. No entanto, a relativa fragilidade dessas unidades, marcada pela baixa coesão dos solos e pela dependência da cobertura vegetal para manutenção da estabilidade superficial, expõe-nas a processos de degradação acelerada quando submetidas à supressão de vegetação nativa, ao sobrepastoreio e à compactação do solo por práticas agrícolas inadequadas. Essas pressões comprometem a sustentabilidade produtiva, aumentam a vulnerabilidade à erosão laminar e em ravinas e intensificam a sedimentação em sistemas fluviais e estuarinos próximos.

Assim, os tabuleiros pré-litorâneos, representados na Figura 21 e Figura 22, constituem áreas-chave para o planejamento territorial e ambiental, exigindo manejo adequado do uso do solo, práticas conservacionistas e políticas de ordenamento que

onde o lagoarinho abraça o mar, natureza e tradição em harmonia



compatibilizem a expansão econômica com a conservação dos recursos naturais, especialmente em um contexto de intensificação da pressão turística e imobiliária no litoral cearense.

3.3.5 Planícies Flúvio-marinha

O município de Fortim encontra-se delimitado, a oeste, pela foz do rio Pirangi e, a leste, pela foz do rio Jaguaribe. O encontro desses cursos d'água com o oceano Atlântico configura um estuário de grande relevância geomorfológica, classificado como unidade paisagística de planície flúvio-marinha, originalmente recoberta por manguezais, que funcionam como ecossistemas-chave na interface entre ambientes terrestres e marinhos (SILVA, 1993).

A dinâmica marinha exerce papel fundamental na configuração dessa unidade. A deriva litorânea atua como agente redistribuidor de sedimentos, propágulos de mangue e nutrientes, transportando-os desde falésias costeiras, praias adjacentes e da própria plataforma continental em direção às desembocaduras fluviais. Esse processo deposicional dá origem a feições como bancos arenosos e flechas litorâneas, estruturas móveis que remodelam a linha de costa e interferem diretamente na hidrodinâmica estuarina (MEIRELES, 2012; SILVA, 1993).

Um exemplo notável ocorre na planície flúvio-marinha do rio Pirangi, onde se desenvolve uma flecha litorânea com mais de três quilômetros de extensão. Essa formação promove alterações constantes na posição da foz, deslocando-a progressivamente para oeste ao longo do tempo (Figura 24). Tais mudanças refletem a interação complexa entre processos marinhos e fluviais, resultando em ajustes contínuos da paisagem costeira.

Do ponto de vista aplicado, as planícies flúvio-marinhas desempenham papel estratégico para a proteção costeira, a manutenção da biodiversidade e o equilíbrio sedimentar regional, além de representarem áreas sensíveis frente a pressões antrópicas, como expansão urbana, turismo e aquicultura.

onde o Jaguaribe encontra o mar, surge a planície em harmonia



Figura 24: Área de Expansão da Flecha Litorânea e Principais Fluxos de Energia na Foz do Rio Pirangi.



Fonte: Biotec Consultoria Ambiental, 2025.

A morfodinâmica da desembocadura do rio Pirangi exemplifica de forma clara os processos costeiros atuantes no litoral cearense. Conforme Sales e Pelvast (2006), a feição arenosa ali presente pode ser classificada como flecha litorânea (spit), cuja gênese está vinculada ao aporte de sedimentos provenientes de depósitos costeiros e sua redistribuição pela ação combinada de ondas e correntes longitudinais.

Apesar de o fluxo fluvial fornecer parcela do material, observa-se a baixa eficiência do rio Pirangi no transporte de carga sólida, o que resulta na predominância da contribuição marinha e, consequentemente, na formação de uma única flecha arenosa. Essa flecha apresenta crescimento progressivo, responsável por alterar continuamente a posição da foz em direção ao oeste. A evolução desse processo é evidenciada tanto em imagens de satélite quanto nos vestígios de paleomangues preservados ao longo da faixa praial, testemunhos da migração do sistema estuarino ao longo do tempo.

De forma análoga, a deriva litorânea associada ao transporte de materiais fluviais, à ação eólica e à ampla disponibilidade sedimentar condiciona a configuração morfológica do

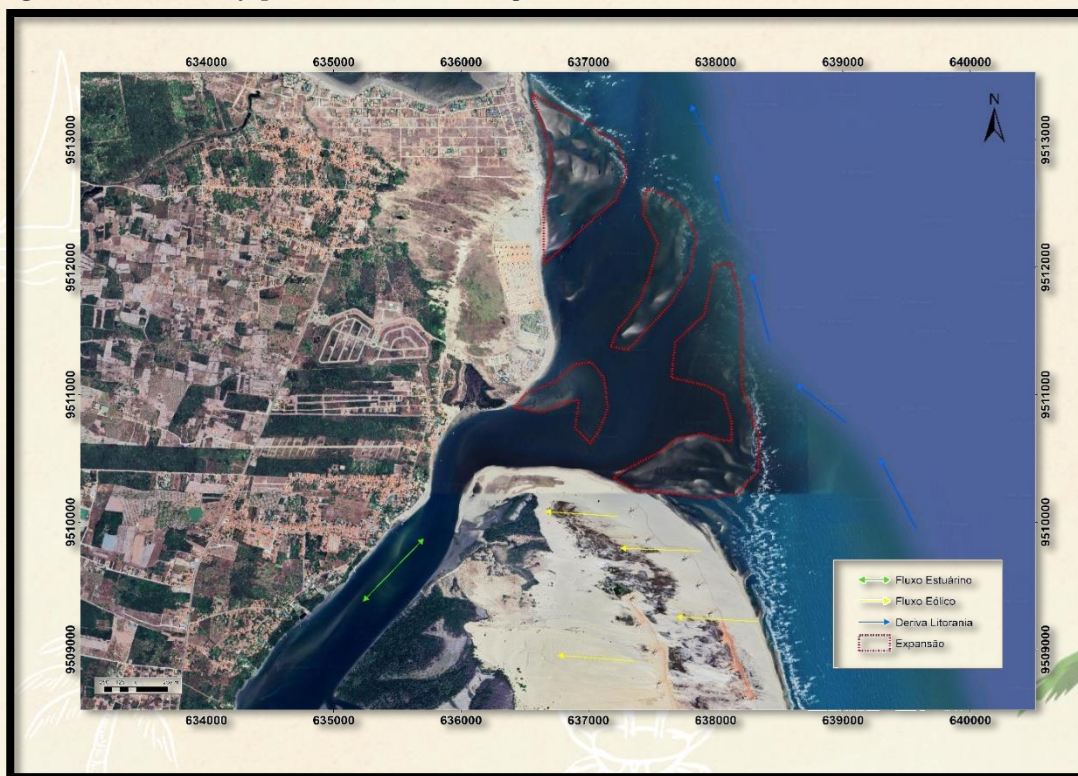
onde o lagoa e o mar, a natureza e a paisagem se encontram em harmonia



estuário do rio Jaguaribe. Nesse setor, destacam-se os bancos de areia internos (Figura 24), cuja gênese é descrita por Maia (1993) e Suguio (2010) como parte de um delta submerso controlado por ondas. Essa tipologia deltaica reflete o predomínio dos processos marinhos sobre os fluviais, conferindo ao estuário características de alta instabilidade e mobilidade sedimentar.

Do ponto de vista aplicado, a caracterização das flechas litorâneas e bancos arenosos é essencial para o planejamento costeiro e estuarino, subsidiando ações de dragagem, monitoramento hidro-sedimentar, definição de zonas de risco de inundação e estratégias de conservação dos manguezais associados.

Figura 25: Delta do Rio Jaguaribe e Atuação dos Principais Fluxos.



Fonte: Biotec Consultoria Ambiental. 2025.

3.3.6 Planície de Deflação

As planícies de deflação constituem superfícies essencialmente planas ou suavemente inclinadas, situadas entre o limite da maré alta e a base dos campos de dunas. Nesses ambientes, a atuação dos processos eólicos é predominante, promovendo a remoção seletiva das frações sedimentares mais finas e a consequente exposição ou acumulação de grãos mais

Onde o Jaguaribe encontra o mar, surge a tradição em harmonia



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.biotecconsultoria.com.br

grosseiros, originando feições residuais típicas de áreas costeiras sujeitas a intensa mobilidade sedimentar (Maia, 1993; Giannini, 2007).

Essas planícies desempenham papel crucial na dinâmica costeira por funcionarem como áreas transitórias entre a faixa praial ativa e os sistemas dunares. Sua principal função está relacionada à regulação da disponibilidade de sedimentos para o transporte eólico em direção ao continente, processo especialmente relevante em regiões semiáridas litorâneas, como o litoral do Ceará, onde a baixa cobertura vegetal e a elevada insolação favorecem a deflação eólica (Giannini, 2007; Maia, 1993).

Do ponto de vista aplicado, as planícies de deflação configuram áreas de alta vulnerabilidade geomorfológica. A contínua remoção de sedimentos pode acelerar processos erosivos, fragilizar a estabilidade das dunas frontais e reduzir a resiliência da linha de costa frente a eventos extremos, como tempestades e marés de sizígia. Em contrapartida, essas áreas representam zonas estratégicas para o monitoramento da dinâmica sedimentar, uma vez que permitem identificar tendências de erosão e acreção ao longo do tempo. Tal conhecimento é fundamental para orientar políticas de gestão costeira, conservação de ecossistemas associados — como restingas e dunas fixas — e definição de critérios de ocupação em áreas de risco (Maia, 1993; Giannini, 2007).

3.3.7 Campo de Dunas

Os campos de dunas no município de Fortim distribuem-se paralelamente à linha de costa, estando diretamente condicionados ao regime climático regional, à sazonalidade pluviométrica e, sobretudo, à direção e intensidade dos ventos dominantes. Esses sistemas eólicos são compostos por dois subtipos principais: dunas fixas, que ocupam aproximadamente 198,28 hectares (2,80%), e dunas móveis, que, em conjunto com a faixa praial, somam cerca de 413,67 hectares (5,83%). Além de sua expressiva representatividade morfológica e paisagística, as dunas desempenham funções essenciais na dinâmica costeira integrada, atuando como depósitos temporários de sedimentos para o transporte litorâneo e como reservatórios subterrâneos de água doce devido à sua elevada porosidade (Meireles, 2012).

No litoral de Fortim predominam dunas em processo de fixação natural, colonizadas por vegetação pioneira psamófila, intercaladas com setores de dunas móveis que avançam

Dele o Jaguaribe encontra o mar, sobressa e finda em harmonia



sobre os tabuleiros litorâneos. Esses ambientes apresentam alta instabilidade morfodinâmica, dado que sua morfologia encontra-se em remodelagem constante sob a ação eólica (Giannini, 2007).

Durante o período seco, intensifica-se a mobilização sedimentar, com a orientação das dunas determinada pela predominância dos ventos de leste para oeste (E-O). No segundo semestre, verifica-se maior influência dos ventos de sudeste (SE), enquanto, no período chuvoso, a contribuição dos ventos de nordeste (NE) torna-se mais significativa (Silva et al., 2011). Essa variabilidade sazonal favorece a retroalimentação sedimentar, pois as dunas recebem aporte de materiais provenientes de falésias costeiras, do transporte fluvial, de aportes continentais e de origem marinha, devolvendo parte desse volume para a faixa praial e assegurando o equilíbrio entre processos de erosão e deposição ao longo da linha de costa.

As dunas móveis de Fortim correspondem a depósitos eólicos recentes, cujas cotas altimétricas variam entre 5 e 25 metros. Distribuem-se ao longo da flecha litorânea do rio Pirangi, apresentando cordões paralelos à linha de costa, com cotas médias em torno de cinco metros. Tornam-se particularmente expressivas na praia do Canto da Barra, nas proximidades da foz do rio Jaguaribe, onde se configuram como marcos paisagísticos e ambientais de grande relevância no litoral leste cearense (Meireles, 2012; Maia, 1993).

3.3.8 Planícies Aluviais

As planícies aluviais configuram-se como unidades geomorfológicas resultantes do processo de deposição de sedimentos em áreas associadas ao fluxo fluvial e ao gradiente topográfico. Esses ambientes distinguem-se pela acumulação sucessiva de camadas arenosas, sílticas e cascalhentas, transportadas e depositadas de acordo com as condições hidrodinâmicas atuantes. Um aspecto central de sua dinâmica refere-se aos depósitos de preenchimento de canais: durante fases de maior transporte, sedimentos de granulometria mais grosseira são carregados e depositados, colmatando parcialmente o leito e originando novas feições deposicionais (Christofolletti, 1981).

No baixo curso do rio Jaguaribe, a acumulação sedimentar tende a ocorrer nas áreas de relevo mais plano, onde a energia do fluxo diminui, favorecendo a deposição de materiais finos. Entretanto, parte desses sedimentos pode permanecer temporariamente armazenada

onde o Jaguaribe encontra o mar, surge a praia em harmonia



em várzeas intermediárias e terraços fluviais. Durante fases posteriores de maior energia, tais depósitos sofrem remobilização, sendo novamente erodidos e transportados, o que reforça o caráter cíclico e retrabalhado da sedimentação aluvial (Charlton, 2008).

Sob a ótica ambiental e socioeconômica, as planícies aluviais representam áreas férteis e de alta relevância para atividades agropecuárias, além de abrigarem densas ocupações humanas em razão da disponibilidade de recursos hídricos e da proximidade com áreas de produção agrícola. Contudo, sua vulnerabilidade a inundações sazonais, processos de assoreamento e instabilidade fluvial coloca desafios significativos para a gestão territorial. No município de Fortim, tais riscos tornam-se ainda mais relevantes diante do avanço da ocupação urbana em áreas de várzea, o que exige planejamento preventivo, estratégias de manejo sustentável e políticas integradas de mitigação de riscos socioambientais.

3.4 Geologia

3.4.1 Geologia Regional

3.4.2 Província Borborema

A Província Borborema (PB) constitui um dos mais expressivos orógenos neoproterozoicos do Nordeste brasileiro, formado no contexto da Orogenia Brasileira/Pan-Africana, durante o processo de amalgamação do supercontinente Gondwana Ocidental. Sua evolução foi marcada por múltiplos episódios tectono-magmáticos, incluindo acreção de terrenos, subducção, colisão continental, extrusão/transcorrência e magmatismo tardi-orogênico, compondo um arcabouço policíclico desenvolvido entre aproximadamente 1,0 e 0,53 Ga (Neves, 2003; Ganade de Araújo et al., 2014; Van Schmus et al., 2011).

Em escala regional, a PB encontra-se compartimentada por grandes zonas de cisalhamento de direção E-W, destacando-se as zonas de Patos e Pernambuco, que segmentam a província em diferentes subprovíncias ou domínios estruturais. No setor setentrional, sobressaem-se os domínios Médio Coreaú, Ceará Central (DCC) e Rio Grande do Norte, cuja individualização é reconhecida a partir de estudos estruturais, geofísicos e geocronológicos (Ferreira et al., 1998; Van Schmus et al., 1995; Van Schmus et al., 2011; Oliveira et al., 2023). Essas zonas de cisalhamento canalizaram episódios magmáticos, controlaram padrões metamórficos e acomodaram fases transcorrentes tardi-orogênicas,

onde o jaguaribe encontra o mar, natureza e tradição em harmonia



corroboradas por dados de gravimetria, magnetometria, sísmica rasa e análises isotópicas U-Pb e Hf em zircões (Neves, 2015; Oliveira et al., 2023).

O Domínio Ceará Central (DCC), onde se insere a faixa leste do Ceará, incluindo Fortim e o Baixo Jaguaribe, é considerado um dos elementos-chave na edificação da PB. Nesse domínio destaca-se o Arco Magmático Tamboril-Santa Quitéria, com registros de magmatismo de margem convergente, anatexia crustal e metamorfismo de médio a alto grau, associado a rochas metassedimentares e ortoderivadas paleoproterozoicas a mesoproterozoicas retrabalhadas no Neoproterozoico (Ganade de Araújo et al., 2014; Arthaud et al., 2015). Sua arquitetura é marcada por zonas de cisalhamento de alto deslocamento e contatos tectônicos complexos com domínios vizinhos, compondo um mosaico acrecionário heterogêneo. Evidências isotópicas (U-Pb-Hf-Nd) e estruturais sustentam um modelo evolutivo caracterizado por sucessivos episódios de subducção oceânica, colisões continentais e transcorrência tardi-colisional (Neves, 2003, 2015; Ganade de Araújo et al., 2014; Arthaud et al., 2015).

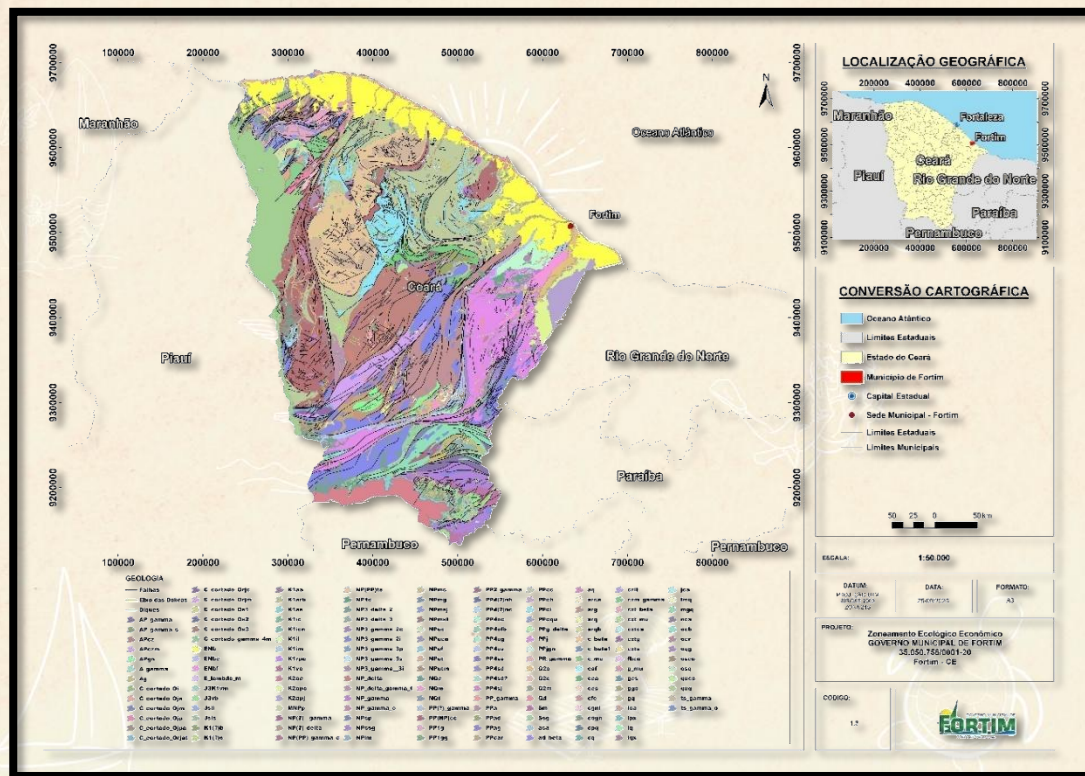
Estudos geofísicos recentes reforçam a existência de fortes contrastes crustais entre blocos, permitindo refinar o traçado de lineamentos sob coberturas fanerozoicas e detalhar a delimitação das zonas de cisalhamento regionais (Oliveira et al., 2023). No quadro litoestrutural, a PB — e em particular o DCC — registra:

- magmatismo juvenil e retrabalhado, expresso em granitos de arco e suítes sin- a pós-colisionais;
- metamorfismo de fácies xisto verde a granulito, ligado a distintos estágios orogênicos;
- episódios tardios de transpressão e transcorrência, que remodelaram a arquitetura tectônica;
- heranças paleoproterozoicas e arqueanas, evidenciadas por assinaturas isotópicas em rochas orto- e paraderivadas..

Esse arcabouço policíclico e heterogêneo explica a elevada complexidade estrutural da região, condicionando tanto o relevo quanto a organização da drenagem e, particularmente no litoral leste do Ceará, a compartimentação morfoestrutural sobre a qual se assentam as coberturas neógeno-quaternárias (Figura 26).

onde o Jaguaribe encontra o mar, sobressai a tradição em harmonia

Figura 26: Geologia Regional.



Fonte: Biotec Consultoria Ambiental. 2025.

3.4.3 Formação Barreiras

A Formação Barreiras corresponde a um pacote siliciclástico neógeno, predominantemente atribuído ao Mioceno–Plioceno, depositado sobre discordância erosiva que entalha tanto o embasamento cristalino da Província Borborema quanto coberturas sedimentares pré-neógenas. Sua cronologia revela caráter heterogêneo, sustentado por múltiplos marcadores, incluindo análises palinológicas, datações por luminescência e paleomagnetismo, além de correlações estratigráficas regionais em ambientes costeiros (Arai, 2006; Rossetti et al., 2013). Em diversos setores do litoral nordestino, reconhece-se ainda a presença de depósitos “Pós-Barreiras”, de idade quaternária, resultantes do retrabalhamento e rebaixamento dos tabuleiros neógenos (Rossetti, 2000).

Arcabouço Estratigráfico

Do ponto de vista sedimentológico, a Formação Barreiras apresenta empilhamento granodecrescente ascendente, típico de sistemas flúvio-deltaicos associados a planícies de

inundação, nos quais se registram localmente pulsos eólicos e indícios de influência marinha rasa (Rossetti; Góes, 2001). Suas litofácies principais incluem:

- Arenitos finos a médios, quartzosos, com estratificação cruzada tabular e acanalada, sets métricos e superfícies de reativação, indicando transporte por correntes de alta energia.
- Camadas conglomeráticas de canais entrelaçados, compostas por clastos quartzosos em matriz arenosa, evidenciando deposição episódica sob descargas fluviais concentradas.
- Siltitos e argilitos, maciços ou laminados, muitas vezes associados a horizontes de paleossolos caracterizados por gleização, moteados e slickensides.
- Crosta laterítica/ferruginosa no topo das sequências, revelando episódios de pedogênese sob condições tropicais úmidas a subúmidas durante fases de estabilidade tectono-climática (Beurlen, 1967; Rossetti, 2000).

A arquitetura de canais e barras documentada em afloramentos reflete um regime de descarga sazonal, compatível com paleoclimas semiáridos a subúmidos do Neógeno e com um nível de base instável, condicionado por oscilações relativas do mar e pela dinâmica tectônica regional (Rossetti et al., 2013; Lima et al., 2018).

Do ponto de vista aplicado, a Formação Barreiras possui relevância socioeconômica significativa: os tabuleiros recobertos por seus depósitos condicionam a ocupação urbana e a infraestrutura costeira; os solos arenosos derivados de seus arenitos sustentam práticas agrícolas, ainda que com baixa fertilidade natural; e as crostas lateríticas fornecem material para a construção civil. Além disso, sua fragilidade frente a processos erosivos e movimentos de massa coloca a gestão territorial em áreas costeiras como Fortim diante do desafio de compatibilizar usos produtivos e conservação ambiental.

3.4.4 Processos e Ambientes Depositionais

O modelo deposicional associado à Formação Barreiras revela-se como um mosaico dinâmico, resultante da interação entre sistemas fluviais, costeiros e marinhos ao longo do Neógeno e do Quaternário. Os depósitos fluviais foram controlados por sistemas entrelaçados e meandantes, associados a eventos de progradação deltaica e ao desenvolvimento de leques costeiros, os quais constituíram as principais fontes de aporte

onde o Jaguaribe encontra o mar, sobressai a tradição em harmonia



sedimentar (Dominguez; Bittencourt; Martin, 1992). Em diferentes momentos, tais sistemas foram retrabalhados por processos marinhos vinculados a fases transgressivas e regressivas, refletindo oscilações do nível relativo do mar que marcaram a evolução cenozóica da margem equatorial brasileira (Bezerra et al., 2001).

As variações eustáticas exerceram papel determinante no reafeiçoamento das bordas dos tabuleiros neógenos, promovendo tanto a erosão diferencial quanto a deposição costeira subsequente. Esse mecanismo possibilitou a justaposição e sobreposição de cordões litorâneos, restingas e campos de dunas quaternárias sobre os depósitos siliciclásticos da Formação Barreiras, registrando evidências claras da interação entre processos continentais e marinhos ao longo do tempo geológico (Rossetti; Valeriano; Thallês, 2013).

Do ponto de vista aplicado, a caracterização desses ambientes deposicionais é essencial para a compreensão da compartimentação costeira atual e de sua vulnerabilidade a processos erosivos, sobretudo em áreas de intensa pressão antrópica, como o litoral leste do Ceará. A integração entre registros fluviais, deltaicos e marinhos fornece subsídios relevantes para o planejamento territorial, o manejo de zonas costeiras e a avaliação de riscos associados às mudanças climáticas globais e à elevação do nível do mar.

3.4.5 Diagênese e Mineralogia

A diagênese da Formação Barreiras é caracterizada por processos intensos de alteração química, que resultaram na predominância de minerais de argila do grupo da caulinita, bem como de óxidos e hidróxidos de ferro, especialmente hematita e goethita. Esses minerais são responsáveis pela rubefação marcante dos sedimentos, que conferem tonalidades avermelhadas e amareladas típicas à unidade, além de contribuírem para a formação de crostas ferruginosas endurecidas em determinados setores (Mabesoone, 1994; Nascimento et al., 2015).

O processo de cimentação apresenta, em geral, intensidade fraca a moderada, sendo dominado por sílica (quartzo secundário) e por óxidos de ferro, o que favorece a preservação de uma porosidade relativamente elevada. Essa característica estrutural tem implicações diretas na dinâmica hidrogeológica, conferindo ao Barreiras a condição de importante aquífero em várias porções do Nordeste brasileiro (Nascimento et al., 2015).

Entre o lagoarinho e o mar, natureza e tradição em harmonia



Adicionalmente, são comuns os nódulos ferruginosos e horizontes lateríticos, que se configuram como testemunhos de condições paleoclimáticas marcadas por intenso intemperismo químico, associado a períodos de clima tropical úmido intercalados ao longo do Neógeno e do Quaternário (Mabesoone, 1994). Essas feições mineralógicas e diagêneticas constituem, portanto, registros significativos da evolução paleoambiental e dos controles climáticos atuantes na gênese e transformação da Formação Barreiras.

3.4.6 Expressão Geomorfológica

A Formação Barreiras apresenta expressão geomorfológica marcante, configurando-se em extensos tabuleiros estruturais contínuos que se destacam na paisagem costeira do Nordeste brasileiro. Esses tabuleiros possuem espessura variável, podendo ultrapassar 100 metros, e margeiam as planícies costeiras e estuarinas, estabelecendo transições abruptas entre compartimentos geomorfológicos distintos.

As escarpas associadas aos tabuleiros encontram-se fortemente condicionadas por fraturas herdadas do embasamento cristalino, bem como por reativações tectônicas de baixa taxa no Quaternário, que influenciam o encaixe fluvial e a orientação da rede de drenagem. Essa associação entre herança estrutural e neotectônica resulta em uma compartimentação morfoestrutural complexa, com vertentes abruptas submetidas a processos contínuos de dissecação (Bezerra et al., 2001; Rossetti, 2001).

Na base dessas escarpas, observam-se depósitos coluviais e aluviais, acumulados em resposta à instabilidade dos taludes e à mobilização de material detrítico proveniente da erosão das encostas. Esses depósitos representam evidências da dinâmica gravitacional e da atuação combinada de processos fluviais e de movimentos de massa, que remodelam progressivamente as vertentes e condicionam a evolução da paisagem ao longo do tempo geológico.

Do ponto de vista aplicado, os tabuleiros da Formação Barreiras assumem papel estratégico no planejamento territorial e ambiental, uma vez que suas feições morfológicas influenciam a suscetibilidade a processos erosivos, a disponibilidade de recursos hídricos subterrâneos e a ocupação antrópica em áreas costeiras.

onde o jaguaribe encontra o mar, natureza e tradição em harmonia



3.4.7 Propriedades Hidrogeológicas e Geotécnicas

Do ponto de vista hidrogeológico, os arenitos pouco cimentados da Formação Barreiras configuram um aquífero livre poroso, caracterizado por condutividades hidráulicas médias a altas, compatíveis com sua elevada porosidade primária e com o baixo grau de cimentação. Essa condição favorece a recarga hídrica e a circulação subterrânea, mas também torna o sistema aquífero altamente suscetível à contaminação. A interação com horizontes lateríticos e ferruginosos condiciona a presença de ferro e manganês em concentrações que podem comprometer a qualidade da água para abastecimento humano (Nascimento et al., 2015).

Sob a ótica geotécnica, a Formação Barreiras é composta por materiais pouco coesivos, com predominância de areias finas a médias e intercalações siltico-argilosas, que apresentam reduzida resistência mecânica. Tais características conferem alta vulnerabilidade a processos erosivos, incluindo ravinamento, piping e instabilidades em taludes de escarpa (Bezerra et al., 2001). Esses processos são agravados em áreas de uso antrópico intensivo, especialmente onde há supressão da cobertura vegetal ou concentração de fluxos superficiais.

Para mitigar tais riscos, recomenda-se a adoção de medidas integradas de manejo, como:

- drenagem superficial controlada, evitando o escoamento concentrado;
- revegetação das encostas e topos de tabuleiro, promovendo maior retenção hídrica e estabilização superficial;
- planejamento do uso do solo, com restrição de ocupação em áreas de maior fragilidade geotécnica.

Essas ações contribuem para a estabilidade dos tabuleiros e a redução de riscos ambientais, assegurando o aproveitamento sustentável das potencialidades hidrogeológicas e geotécnicas da Formação Barreiras.

3.4.8 Geologia Local

O município de Fortim situa-se no litoral oriental do Ceará, na desembocadura do rio Jaguaribe, inserido na Província Borborema, mais especificamente no Domínio Ceará Central, e recoberto por uma extensa cobertura neógeno-quaternária costeira e estuarina

onde o Jaguaribe encontra o mar, sobressa e perfaz-se em harmonia



(Figura 27). O embasamento regional, aflorante no interior do estado, é formado por gnaisses e migmatitos brasileiros, cortados por grandes zonas de cisalhamento transcorrente, características da Borborema, que condicionam tanto o relevo quanto o traçado das drenagens de médio porte (Neves, 2003; Neves, 2021; Oliveira et al., 2023). Essa estruturação regional define a compartimentação morfotectônica que sustenta a planície costeira do baixo Jaguaribe.

Sobre o embasamento cristalino, ocorrem depósitos neógenos do Grupo/Formação Barreiras, compostos por pacotes siliciclásticos avermelhados a amarelados, com fácies flúvio-deltaicas, eólicas e pontuais influências marinhas, interpretados como produtos de colmatagem e retrabalhamento durante oscilações do nível de base no Neógeno (Rossetti et al., 2013; Souza et al., 2020). No setor oriental cearense, os tabuleiros do Barreiras constituem patamares elevados que margeiam retro-barreiras e lagunas holocênicas. Estudos recentes sugerem que soerguimentos discretos e reativações neotectônicas sutis podem ter influenciado a dissecação e o basculamento desses terraços (Bezerra & Vita-Finzi, 2000; Alves et al., 2019).

A planície costeira de Fortim é dominada por depósitos quaternários, resultantes de sistemas praias, eólicos, estuarinos e fluviais. Destacam-se cordões litorâneos (strandplains), dunas móveis e fixas, planícies de maré, manguezais e aluviões associados ao baixo curso do rio Jaguaribe. A evolução desses depósitos durante o Quaternário superior encontra-se fortemente relacionada à história do nível relativo do mar holocênico, que registrou um alto por volta de 5–6 ka e subsequente queda acompanhada de oscilações de curta duração. Esse processo favoreceu a progradação de costas dominadas por ondas, gerando sucessivos alinhamentos de cristas praias (Suguio, Martin & Dominguez, 1984; Dominguez, Bittencourt & Martin, 1992). No litoral leste do Ceará, esse modelo explica a organização dos cordões eólicos superpostos a depósitos marinhos rasos.

O estuário do rio Jaguaribe apresenta enchimento sedimentar holocênico superior a 20–23 m, com planícies estuarinas que se estendem por dezenas de quilômetros a montante. Nesses depósitos, observa-se alternância de fácies lamosas e arenosas, além de marcadores de intrusão salina e variação de turbidez modulados pela interação entre maré semidiurna mesomaré e descarga fluvial (Bungenstock et al., 2023). Eventos recentes de estiagem severa ampliaram a intrusão salina, ocasionando episódios de hipersalinidade — como registrado

Onde o Jaguaribe encontra o mar, sobressai a tradição em harmonia



ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC

Fortim - CE - Brasil

- Diagnóstico Meio Físico -



67

em 2016 — com consequências biogeoquímicas e sedimentares relevantes (Cavalcante, 2019). Essa sensibilidade hídrica reforça a necessidade de séries temporais extensas de monitoramento de marés, salinidade e batimetria, fundamentais para a gestão do canal estuarino e das áreas de aquicultura adjacentes.

A morfodinâmica costeira de Fortim resulta da interação entre marés, ondas e deriva litorânea sobre um estoque arenoso abundante. Sob regime de ondas de leste/sudeste, moduladas sazonalmente, ocorrem migração de barras de boca, deslocamento lateral de canais de maré e alternância de trechos erosivos e acrecionários. Esses mecanismos são coerentes com os controles costeiros descritos para o litoral leste-nordeste do Brasil (Bittencourt, 2002; Dominguez et al., 1992) e afetam a navegabilidade na foz, o traçado de margens e a distribuição dos habitats estuarinos.

Em termos neotectônicos, diferentes trabalhos identificaram reativações discretas em margens passivas do Nordeste, com inversões locais de bacias, basculamentos e reativações transcorrentes, capazes de modular gradientes, linhas de costa e a compartimentação das planícies costeiras (Bezerra & Vita-Finzi, 2000; Gandini et al., 2014; Alves et al., 2019). Embora apresentem baixas taxas de recorrência, tais ajustes tectônicos podem influenciar a preservação ou erosão de terraços do Barreiras, o grau de confinamento de lagoas e o encaixe fluvial, especialmente quando combinados às variações do nível do mar e às mudanças climáticas.

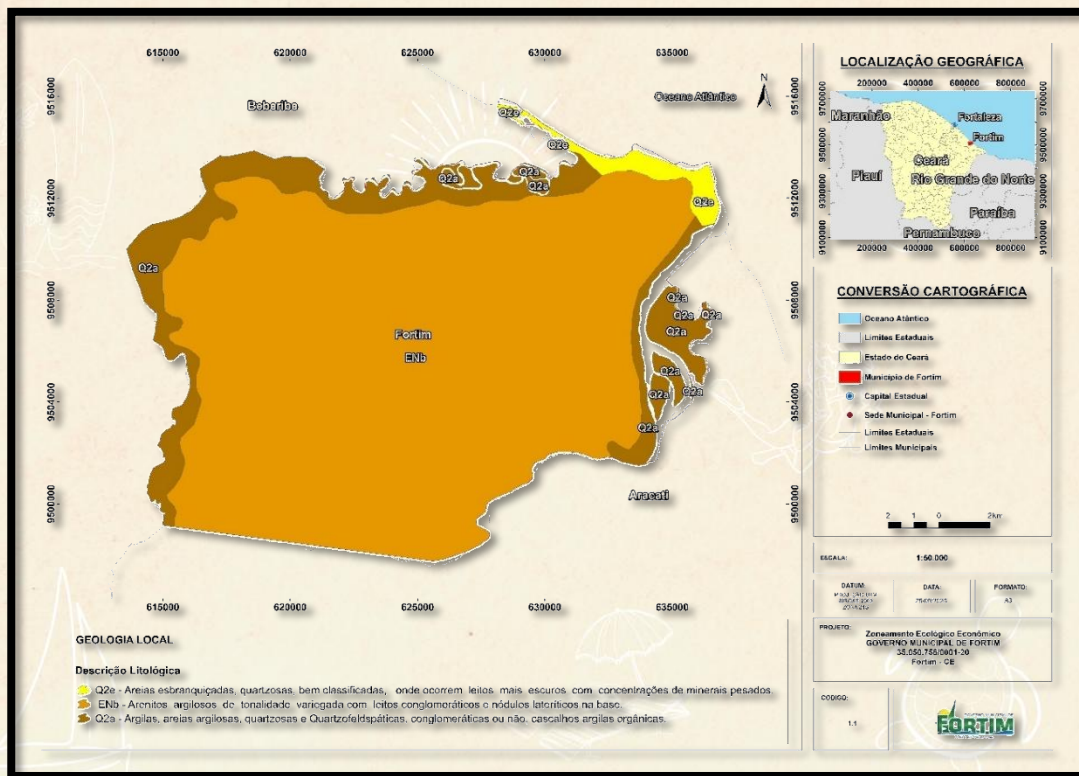
onde o lagoa e o mar, sempre e juntos em harmonia



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.biotecconsultoria.com.br

Figura 27: Geologia Local.



Fonte: Biotec Consultoria Ambiental, 2025.

3.5 Hidrografia

3.5.1 Hidrografia Regional

O rio Jaguaribe constitui o principal sistema fluvial do Ceará, organizando a drenagem de extensas áreas do semiárido sob forte controle climático. As precipitações concentram-se entre os meses de fevereiro e maio, enquanto a evapotranspiração potencial mantém-se elevada ao longo de todo o ano, resultando em hidrogramas naturalmente irregulares, caracterizados por cheias rápidas seguidas por longos períodos de estiagem (FUNCEME, 2023; ANA, 2022). Essa dinâmica natural foi substancialmente modificada pela construção de grandes reservatórios durante o século XX e início do XXI, que alteraram o padrão de cheias e a disponibilidade hídrica (CAMPOS; STUDART, 2008; COGERH, 2021) (Figura 28).

No Alto Jaguaribe, região que compreende as cabeceiras e trechos montanhosos do sertão central, predominam cursos intermitentes, sazonalmente perenizados, com escoamentos de resposta rápida às chuvas e contribuição de aquíferos arenosos em terraços



ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC

Fortim - CE - Brasil

- Diagnóstico Meio Físico -



e aluviões. Nesse setor, o Açude Orós desempenha papel estratégico como regulador, atenuando os picos de cheia e sustentando vazões mínimas durante a estação seca (CAMPOS; STUDART, 2008; COGERH, 2021).

O Médio Jaguaribe, situado entre o Açude Orós e o sistema Castanhão/Peixe Gordo, caracteriza-se por escoamentos mais estabilizados, com maior permanência de vazões mínimas e predomínio de afluentes fortemente sazonais. Essa área concentra polos de irrigação e captações urbanas, onde demandas concorrentes durante anos de seca exigem operação integrada de reservatórios, canais e adutoras (ANA, 2022; COGERH, 2021).

No Baixo Jaguaribe, entre a barragem do Castanhão e a foz no Atlântico, os fluxos fluviais interagem com a maré semidiurna e com processos estuarinos. Em estiagens severas e sob descargas reduzidas, observa-se a intrusão salina rio acima, acompanhada de alterações na biogeoquímica estuarina (MOLISANI et al., 2010). Já em anos chuvosos, a maior descarga desloca a cunha salina para jusante, elevando a turbidez e redistribuindo sedimentos finos. Essa região abriga áreas de fruticultura irrigada, carcinicultura e usos urbanos, com destaque para municípios como Limoeiro do Norte, Russas, Quixeré, Aracati e Fortim (COGERH, 2021).

Regionalmente, a bacia hidrográfica do Jaguaribe ocupa grande parte do estado do Ceará, limitando-se ao norte com as bacias do Acaraú e Coreaú; ao leste com sistemas litorâneos independentes; ao oeste com a bacia do Parnaíba; e ao sul com afluentes do rio São Francisco. Suas nascentes situam-se no sertão central, em áreas serranas próximas a Pedra Branca, e a desembocadura ocorre no Atlântico, por um estuário de mesomaré que influencia a dinâmica costeira do litoral oriental (FUNCEME, 2023; ANA, 2022; MOLISANI et al., 2010).

A regulação promovida por reservatórios estratégicos, como Castanhão, Orós e Banabuiú, modificou significativamente o regime natural do rio, reduzindo a magnitude das

Outro o Jaguaribe conecta o mar, natureza e tradição em harmonia



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.biotecconsultoria.com.br

cheias e garantindo maior permanência de vazões mínimas, ainda que sem eliminar a vulnerabilidade sistêmica às secas plurianuais (CAMPOS; STUDART, 2008; COGERH, 2021). Em termos sedimentológicos, a retenção de carga em suspensão ao longo dessa cascata de barragens reduziu o aporte fluvial a jusante, afetando a morfodinâmica dos canais, das planícies de inundação e do estuário, favorecendo a intrusão salina em períodos de baixa descarga (NÓBREGA; SOUZA; ARAÚJO, 2015; MOLISANI et al., 2010).

Do ponto de vista da gestão, prevalece a prioridade legal do abastecimento humano, seguida por usos produtivos e ambientais. A governança é exercida pela COGERH/SEMA-CE em articulação com comitês de bacia e instrumentos como planos de recursos hídricos, enquadramento e outorga (ANA, 2022; COGERH, 2021). Para o Baixo Jaguaribe, recomenda-se o estabelecimento de faixas sazonais de vazão ecológica, vinculadas à operação do Castanhão e acompanhadas por monitoramento sistemático de salinidade, níveis hidrométricos e qualidade da água (MOLISANI et al., 2010).

A Região Hidrográfica Metropolitana, que abrange bacias costeiras independentes como as dos rios Choró, Pacoti, São Gonçalo, Pirangi, Ceará e Cocó, sustenta o abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). O sistema produtor metropolitano é integrado pelos açudes Pacoti, Riachão, Gavião e Pacajus, interligados por canais, túneis e estações de bombeamento que conduzem água à ETA Gavião/CAGECE. Em anos chuvosos, esses reservatórios operam em sua capacidade máxima, garantindo autonomia; em anos secos, recebem reforço de mananciais estratégicos como Castanhão e Orós, através dos eixos de integração estadual (COGERH, 2021).

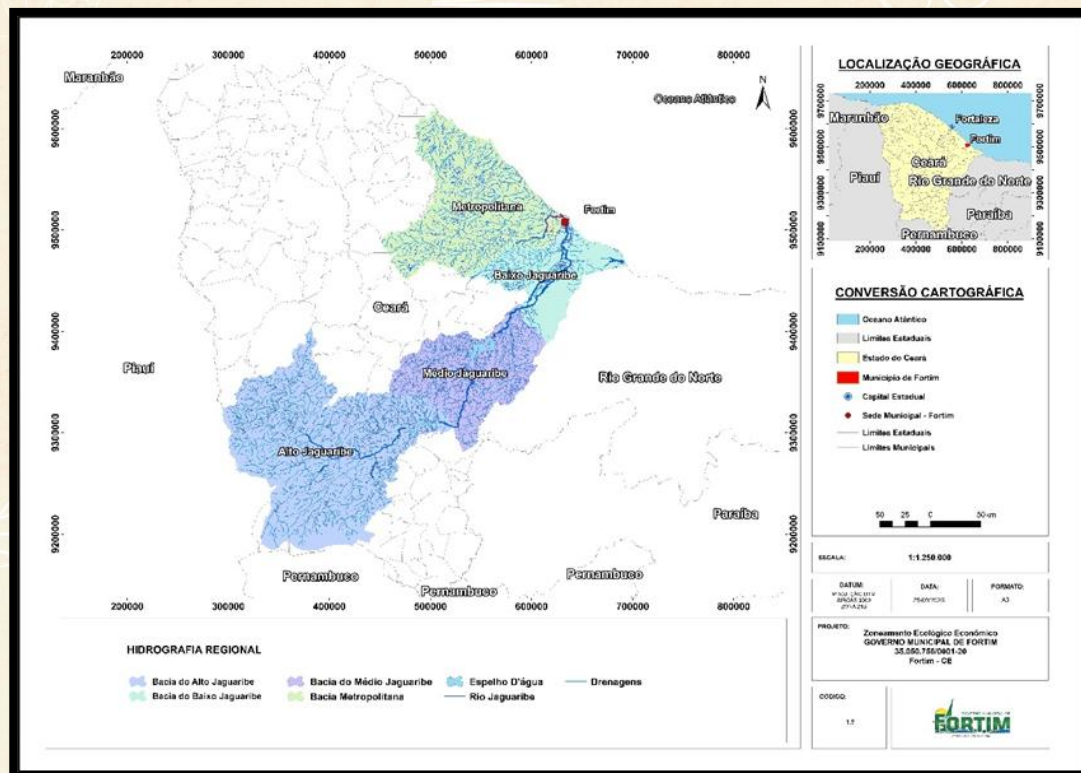
Os Planos de Recursos Hídricos da RH Metropolitana têm priorizado a segurança hídrica urbana por meio da redução de perdas, ampliação de adutoras, diversificação de fontes, governança integrada dos reservatórios e gestão de riscos climáticos, com foco tanto em secas plurianuais quanto em eventos extremos de chuva (ANA, 2022; COGERH, 2021).

Outro o Jaguaribe vacante o mar, sobressa e finda em harmonia



Em síntese, a hidrografia regional do Jaguaribe e da Região Metropolitana resulta de uma interação complexa entre variabilidade climática, infraestrutura de regulação hídrica e dinâmica estuarina, exigindo gestão adaptativa e de longo prazo, capaz de conciliar segurança hídrica, proteção ambiental e resiliência socioeconômica.

Figura 28: Hidrografia Regional.

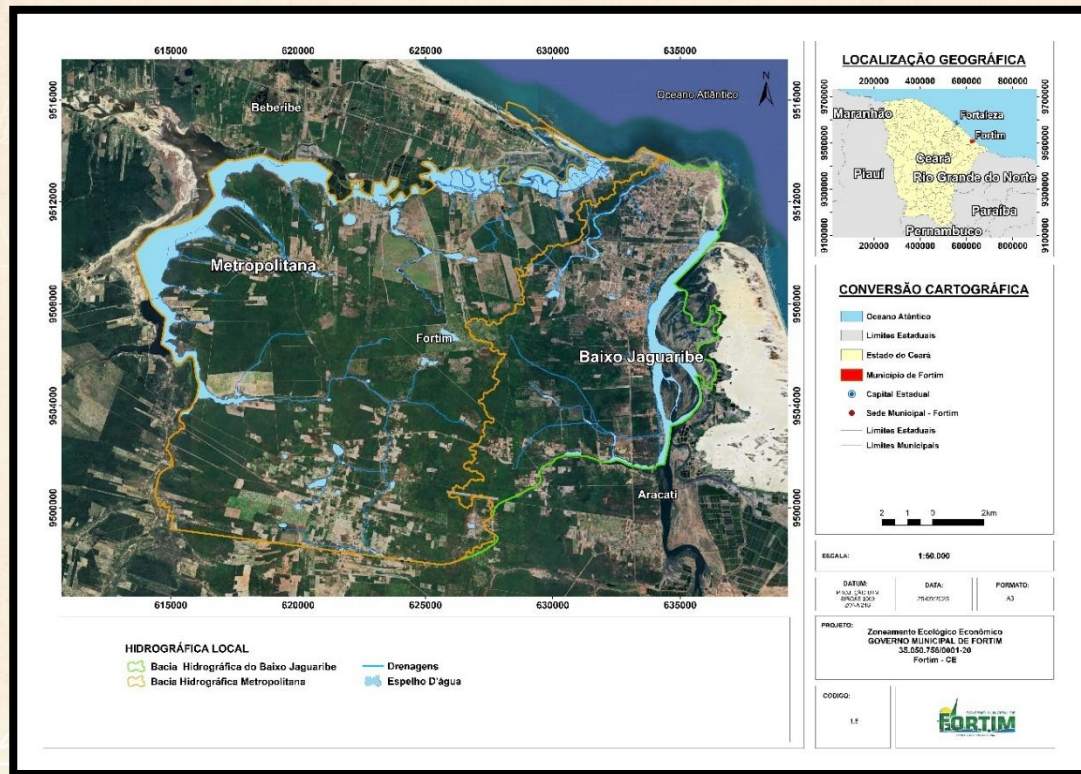


Fonte: Biotec Consultoria Ambiental, 2025.

3.5.2 Hidrografia Local

A organização hidrográfica do município de Fortim resulta da convergência entre um grande sistema fluvial semiárido regulado—o Baixo Jaguaribe—e um conjunto de drenagens costeiras curtas que deságuam diretamente no Oceano Atlântico, vinculadas à Região Hidrográfica das Bacias Metropolitanas. Diagnósticos oficiais e produtos cartográficos do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) confirmam essa dupla inserção hidrográfica, na qual o rio Jaguaribe constitui a drenagem principal, tendo o estuário local como elemento-chave da dinâmica físico-ambiental (Figura 29).

Figura 29: Hidrografia Local.



Fonte: Biotec Consultoria Ambiental. 2025.

No Baixo Jaguaribe, a hidrologia encontra-se fortemente modulada pela operação dos reservatórios Orós e Castanhão, situados a montante, que desempenham função reguladora ao amortecer cheias e sustentar vazões mínimas durante a estação seca. Entretanto, tais intervenções reduziram significativamente o aporte sedimentar ao trecho inferior, com efeitos diretos sobre a morfodinâmica estuarina. O Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Baixo Jaguaribe (COGERH/UFC) documenta as características físicas, os principais usos e os conflitos sazonais de demanda, destacando a importância de uma operação integrada em anos de estiagem, diante da concorrência entre abastecimento humano, irrigação e aquicultura (CAMPOS; STUDART, 2008; COGERH, 2021).

No estuário Jaguaribe-Fortim, a circulação e os níveis são regulados pelo regime de maré semidiurna mesomaré. Em 2016, sob condições de descarga fluvial reduzida e forte controle hidrológico por barragens, registraram-se episódios de hipersalinidade, evidenciando a elevada sensibilidade do sistema à variabilidade climática e ao regime de operação dos reservatórios (MOLISANI et al., 2010; CAVALCANTE, 2019). Em escala costeira, séries multitemporais de imagens de sensoriamento remoto indicam alternância de

Outro o Jaguaribe encontra o mar, sob a força e influência da harmonia

processos de erosão e acreção no litoral leste do Ceará, notadamente no setor Fortim-Parajuru, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo da morfodinâmica na interface rio-mar (SOUZA et al., 2020; ALVES et al., 2019).

As Bacias Metropolitanas no território de Fortim correspondem a pequenas drenagens costeiras independentes, compostas por riachos intermitentes e lagoas litorâneas que escoam diretamente ao oceano. Esses sistemas apresentam regime sazonal marcado, com forte resposta a eventos de chuva associados à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no primeiro semestre, além de intensa evapotranspiração ao longo do ano (FUNCEME, 2023). Os planos setoriais e os instrumentos de segurança hídrica do estado do Ceará destacam a relevância da gestão integrada dessas pequenas bacias, com foco em qualidade da água, mitigação do assoreamento, drenagem urbana e compatibilização com usos turísticos e aquícolas, princípios igualmente aplicáveis às drenagens curtas de Fortim (ANA, 2022; COGERH, 2021).

O Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Fortim sintetiza o quadro local ao registrar a inserção do município na RH Baixo Jaguaribe e nas Bacias Metropolitanas, o padrão pluviométrico concentrado entre fevereiro e maio, a importância de poços e captações superficiais e a governança compartilhada entre diferentes esferas institucionais (COGERH, Comitê de Bacia, DNOCS e administração municipal). Essas bases constituem diretrizes fundamentais para o planejamento da infraestrutura hídrica, a expansão de redes de abastecimento e a prevenção de riscos relacionados a inundações estuarinas de sizígia, salinização de aquíferos e erosão de margens.

Em síntese, Fortim apresenta uma configuração bi-ancorada: de um lado, inserido no sistema fluvial-estuarino do Baixo Jaguaribe; de outro, conectado a bacias costeiras de pequena escala vinculadas à RH Metropolitana. A robustez do planejamento territorial local dependerá de quatro eixos fundamentais: (i) operação coordenada dos reservatórios a montante, com estabelecimento de faixas de vazão ecológica para o estuário; (ii) monitoramento contínuo de nível, salinidade e sedimentos, associado a batimetrias periódicas na foz; (iii) gestão da orla e das drenagens costeiras com foco na qualidade da água, no controle do assoreamento e na ocupação segura; e (iv) integração efetiva entre os planos existentes—PRH do Baixo Jaguaribe, Plano de Segurança Hídrica das bacias litorâneas e PMSB municipal—como base para estratégias de gestão adaptativa.

Orla e Jaguaribe conectam o mar, segurança e tradição em harmonia

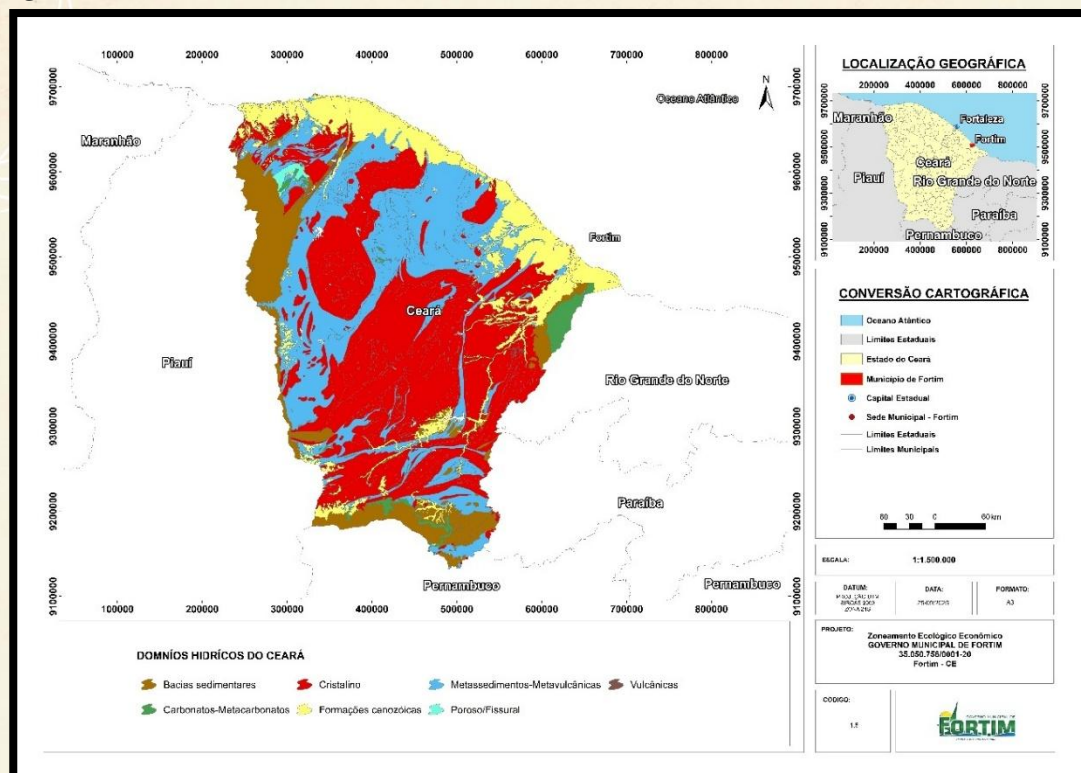


3.6 Hidrologia

3.6.1 Hidrologia Regional

A hidrodinâmica subterrânea do Ceará resulta da interação entre dois grandes compartimentos hidrogeológicos: o meio fissural cristalino, representado pelo embasamento da Província Borborema, e os sistemas sedimentares costeiros e intracratônicos, que incluem depósitos das formações Dunas-Barreiras, aluviões litorâneos e fluviais, além das bacias sedimentares do Potiguar e do Araripe. Essa configuração compõe um mosaico hidrogeológico complexo, no qual as condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas variam de acordo com a litologia, o grau de fraturamento e a natureza dos depósitos sedimentares.

Figura 30: Domínios Hídricos do Ceará.



Fonte: Biotec Consultoria Ambiental. 2025.

Em escala estadual, o Mapa Hidrogeológico do Ceará na escala 1:500.000 (SGB-CPRM) constitui a principal base técnica de referência, discriminando classes de produtividade dos aquíferos, características hidroquímicas predominantes e diferentes níveis de vulnerabilidade à contaminação. Esse produto cartográfico é amplamente utilizado no

planejamento setorial e no zoneamento de uso das águas subterrâneas, subsidiando decisões estratégicas sobre perfuração e operação de poços, proteção de mananciais e processos de outorga (SOUZA; AGUIAR; PAULA, 2022). A Figura 30 ilustra a distribuição espacial dos sistemas aquíferos, evidenciando os contrastes entre os domínios cristalinos de baixa produtividade e os depósitos sedimentares de maior potencial hídrico.

3.6.2 Poços Cadastrados e Tipologia (Artesianos/Semiartesianos)

O histórico de perfuração de poços no Ceará revela a expressiva dependência do estado em relação às águas subterrâneas, tanto em domínios cristalinos quanto sedimentares. Compilações institucionais realizadas por FUNCEME, SOHIDRA e COGERH apontam a existência de aproximadamente 32 mil poços cadastrados no estado até meados dos anos 2000, distribuídos entre aquíferos fissurais ($\approx 54\%$) e sedimentares ($\approx 46\%$) (SILVA, 2008; CEARÁ, 2008 – Pacto das Águas).

Nos aquíferos fissurais — dominantes na Província Borborema — os poços apresentam, em média, 60 m de profundidade e vazões modestas em torno de $2 \text{ m}^3/\text{h}$, refletindo a baixa capacidade de armazenamento e a elevada heterogeneidade hidráulica desse meio. A qualidade da água, frequentemente, apresenta sólidos totais dissolvidos (STD) superiores a 500 mg/L , com variações locais determinadas pela densidade de fraturamento e pelo grau de conectividade das discontinuidades (XXII CABAS, 2022).

Por outro lado, os aquíferos sedimentares — incluindo sistemas de Dunas, Barreiras, aluviões e formações cretáceas (ex.: Jandaíra e Açú, na Bacia Potiguar) — tendem a apresentar vazões superiores e melhor qualidade natural da água, em função de sua maior porosidade e permeabilidade. Estudos realizados por IPECE/COGERH (2011) e pesquisas acadêmicas vinculadas à UFC (2011; 2017) reforçam a maior eficiência hídrica desses sistemas, que constituem as principais reservas estratégicas para o abastecimento urbano e agrícola em zonas costeiras e bacias sedimentares.

A tipologia de poços perfurados no estado contempla diferentes condições de confinamento:

- Poços artesianos: caracterizam-se pelo escoamento espontâneo, sem necessidade de bombeamento, situação observada quando a carga piezométrica supera a superfície do terreno. Esse fenômeno ocorre, em especial, em setores da

Outro o Jaguaribe vacante e mar, sapanga e fiação em harmonia



formação Jandaíra-Açu (Bacia Potiguar), mas também pode manifestar-se localmente em aquíferos de barreiras, dunas e aluviões costeiros.

- Poços semiartesianos: são aqueles em que a carga piezométrica está acima do nível estático da água, mas não atinge a superfície, exigindo bombeamento suave para extração. Essa condição é relativamente comum no estado, sobretudo em aluviões fluviais e em trechos parcialmente confinados dos depósitos quaternários (COGERH; SGB; IBGE).

A caracterização espacial e tipológica desses poços constitui um insumo estratégico para o planejamento hídrico estadual, especialmente no contexto de vulnerabilidade climática do semiárido cearense, onde a dependência de aquíferos sedimentares de maior potencial se intensifica em períodos de estiagem prolongada.

3.6.3 Principais Sistemas Aquíferos e Regiões

3.6.3.1 Meio Fissural Cristalino (Província Borborema)

O aquífero do meio fissural cristalino, associado ao embasamento da Província Borborema, caracteriza-se por elevada heterogeneidade e anisotropia, com armazenamento hídrico restrito às fraturas e zonas de alteração. As vazões unitárias médias tendem a ser reduzidas, em torno de 1–3 m³/h, com grande dispersão em função da conectividade estrutural. A qualidade da água é frequentemente marcada pela salinização, resultado da evapoconcentração e do longo tempo de residência subterrânea. A gestão mais adequada exige captação dispersa, uso de poços de menor diâmetro, realização de testes de bombeamento criteriosos e implantação de medidas de proteção sanitária (XXII CABAS, 2022; IPECE, 2011).

3.6.3.2 Sistema Dunas–Barreiras (Litoral Metropolitano e Leste)

O sistema Dunas–Barreiras, que se estende pela faixa litorânea do Ceará, apresenta aquíferos porosos livres a semiconfinados, com recarga direta pela infiltração meteórica. Nas áreas de dunas, a condutividade hidráulica é elevada, enquanto na Formação Barreiras as transmissividades se mantêm moderadas. Pesquisas da COGERH, da UECE e da UFC documentam seu amplo uso no abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza, com milhares de poços em operação. Em termos hidroquímicos, as águas do Barreiras frequentemente apresentam concentrações de ferro, manganês e variações de pH, ao passo

Outro o Jaguaribe encontra o mar, sobressa e finda-se em harmonia



que as águas do Dunas tendem a ser bicarbonatadas cálcicas ou sódicas, de boa potabilidade, mas vulneráveis à intrusão salina nas zonas costeiras (IPECE/COGERH, 2011; MORAIS, 2011; UFC, 2017).

3.6.3.3 Aluviões (Jaguaribe, Cocó, Ceará e outros)

Os aquíferos aluvionares, presentes em grandes rios como o Jaguaribe e também em cursos menores como o Cocó e o Ceará, consistem em sistemas livres e rasos, de pequena a média espessura, com nível freático geralmente inferior a 3 m. Essa condição garante fácil acesso à água, mas também acarreta elevada vulnerabilidade à contaminação difusa, sobretudo em áreas urbanizadas, e risco de intrusão salina em setores estuarinos. São utilizados principalmente como complemento de oferta hídrica em comunidades locais, embora sujeitos à superexploração em períodos de seca prolongada (IBGE, 2020; FUNCEME – CT-Hidro).

3.6.3.4 Bacia Potiguar (Chapada do Apodi e Faixa Litorânea Nordeste)

Na porção nordeste do estado, destacam-se os aquíferos Jandaíra, formado por calcários, e Açu, constituído por arenitos, ambos integrando a Bacia Potiguar. Essa região abriga a segunda maior reserva subterrânea do Ceará, sustentando vastas áreas de fruticultura irrigada na Chapada do Apodi. Os poços instalados nesse sistema registram vazões médias a elevadas, frequentemente da ordem de dezenas de m³/h, em função das fácies litológicas e do grau de diaclasamento. Entretanto, o uso intensivo para irrigação e pecuária tem provocado problemas recorrentes de contaminação por nitrato e salinização, o que demanda monitoramento contínuo e gestão participativa de caráter preventivo (VASCONCELOS et al., 2012; COGERH, 2010).

3.6.3.5 Bacia do Araripe (Sul do Ceará)

O sistema aquífero Exu-Arajara, localizado na Chapada do Araripe, é constituído por arenitos cretáceos, apresentando condutividades hidráulicas publicadas em estudos técnicos: aproximadamente 3×10^{-5} m/s no Exu e 1×10^{-6} m/s no Arajara. Evidências isotópicas, com base em análises de trítio e $\delta^{18}\text{O}$, confirmam a existência de recarga atual, ainda que com longos tempos de residência. Os poços e fontes revelam vazões médias de dezenas de m³/h em setores mais favoráveis, configurando esse sistema como essencial ao abastecimento urbano-rural e aos polos agroindustriais do Cariri. Suas vulnerabilidades

Outro o Jaguaribe conecta o mar, a floresta e a tradição em harmonia



incluem a contaminação difusa em áreas de recarga aflorante e o abatimento piezométrico em locais de bombeamento concentrado, exigindo atenção especial em termos de gestão integrada (FRISCHKORN et al., 2018; ABAS, 2018; COGERH, 2018).

3.6.4 Hidrologia Local

O município de Fortim assenta-se em uma posição de transição hidrogeológica singular, marcada pelo contato entre a planície costeiro-estuarina do baixo Jaguaribe e os tabuleiros neógeno-quaternários do litoral oriental cearense. Nesse enquadramento, reconhecem-se quatro domínios aquíferos principais de comportamento hidrodinâmico contrastante: (i) dunas costeiras, que constituem aquífero poroso livre de alta permeabilidade; (ii) Formação Barreiras, de caráter poroso livre a semiconfinado e permeabilidade média; (iii) depósitos quaternários aluviais e estuarinos do Jaguaribe, configurando aquífero raso de elevada vulnerabilidade; e (iv) cristalino fissural da Província Borborema, que armazena água em fraturas e no manto de alteração (Figura 31).

As dunas costeiras representam o principal sistema poroso de elevada conectividade hidráulica, com nível freático raso, forte recarga direta durante a quadra chuvosa e transmissividades elevadas. A qualidade natural da água é, em geral, satisfatória, caracterizando-se como bicarbonatada e de baixa mineralização (FUNCME, 2020; COGERH, 2021). Todavia, a interface água doce-sal em setores litorâneos mostra-se extremamente sensível ao sobrebombeamento e às oscilações mareais do estuário. Por essa razão, a exploração por poços tubulares deve ser realizada sob rígido controle de rebaixamento, com testes de bombeamento bem instrumentados e monitoramento contínuo de condutividade elétrica e cloretos, de modo a prevenir a intrusão salina. As zonas de recarga, especialmente em interdunas e cristas eólicas, demandam proteção quanto ao uso e à cobertura, a fim de preservar sua função hidrológica.

A Formação Barreiras, constituída por arenitos, siltitos e argilitos neógenos, configura aquífero poroso de comportamento variável, livre a semiconfinado, em razão da heterogeneidade vertical de suas litofácies. As vazões situam-se, em geral, em faixas médias, variando de poucas unidades a algumas dezenas de metros cúbicos por hora. A recarga ocorre de forma difusa e a hidroquímica é frequentemente marcada por teores elevados de ferro e manganês, além de pH levemente ácido (Moraes, 2011; Nascimento et al., 2015). Em setores

onde o Jaguaribe encontra o mar, sobressai a tradição em harmonia



deprimidos, sobretudo próximos ao estuário, observam-se poços semiartesianos e, pontualmente, artesianos, quando a carga piezométrica excede a cota topográfica. Recomenda-se, nesses casos, o uso de revestimento integral, cimentação adequada e técnicas de tratamento para remoção de Fe/Mn por processos de aeração e filtração.

Os depósitos aluviais e estuarinos quaternários do Jaguaribe originam aquíferos rasos, livres, compostos por areias e lamias, com nível d'água geralmente inferior a 5–8 metros. Estes reservatórios são estratégicos para usos locais, como pequenas irrigações e apoio domiciliar, mas apresentam elevada vulnerabilidade à contaminação microbiológica e química, relacionada tanto ao escoamento urbano quanto às atividades agropecuárias. Além disso, são suscetíveis à salinização em períodos de estiagem prolongada e de baixa descarga fluvial (Molisani et al., 2010; Nóbrega; Souza; Araújo, 2015). A utilização de cacimbas somente deve ser admitida sob condições rigorosas de proteção sanitária, incluindo coroamento impermeável, tampa selada e desinfecção periódica, sendo preferíveis os poços tubulares rasos devidamente construídos.

O aquífero cristalino fissural da Província Borborema, aflorante a oeste e sudoeste do município, apresenta produtividade média baixa e grande variabilidade espacial. A disponibilidade hídrica está diretamente condicionada à densidade e à conectividade das fraturas, bem como à espessura do regolito. Vazões típicas variam de frações a poucos metros cúbicos por hora, e a qualidade da água é frequentemente mais mineralizada em comparação aos aquíferos porosos costeiros (XXII CABAS, 2022). Os projetos de captação nesse domínio devem priorizar a perfuração em interseções de lineamentos estruturais, utilizar diâmetros contidos, realizar testes de bombeamento prolongados e adotar limites de exploração conservadores, sobretudo em anos de seca, quando a confiabilidade tende a ser reduzida.

A captação superficial no rio Jaguaribe e seu acoplamento ao estuário são fortemente influenciados pelo regime de maré semidiurna (mesomaré). Em condições de baixa descarga a jusante da barragem do Castanhão, a cunha salina tende a avançar rio acima, elevando os valores de condutividade elétrica e cloretos em pontos de captação superficial e em poços marginais. Para minimizar esse risco, recomenda-se a adoção de janelas operativas baseadas em limites de salinidade, o emprego de sistemas de pré-sedimentação e filtração de sólidos em suspensão, e o monitoramento de eventos de sizígia ou ventos de leste-sudeste, que

Outro o Jaguaribe encontra o mar, sobressa e finda em harmonia



favorecem a ressuspensão de sedimentos finos. O manejo integrado das águas superficiais e subterrâneas deve priorizar a redução do bombeamento costeiro em situações de intrusão salina, e vice-versa, promovendo equilíbrio entre disponibilidade hídrica e qualidade da água (Nóbrega; Souza; Araújo, 2015).

3.6.4.1 Poços artesianos, Semiartesianos e Cacimbas (Boas Práticas):

A exploração de águas subterrâneas ocorre por meio de poços artesianos, semiartesianos e cacimbas, cada qual exigindo práticas específicas de manejo e proteção sanitária. Os poços artesianos e semiartesianos tendem a ocorrer preferencialmente em setores de baixa cota da Formação Barreiras e dos aluviões associados ao Jaguaribe. Esses sistemas requerem construção criteriosa, com revestimento (casing) integral, cimentação de alta qualidade, uso de packers quando necessário e proteção contra refluxo de contaminantes. A medição sistemática de níveis freáticos e parâmetros hidroquímicos, como condutividade elétrica (CE), é indispensável para prevenir desequilíbrios de exploração e antecipar sinais de intrusão salina (Morais, 2011; IPECE, 2011).

As cacimbas, ainda presentes em comunidades rurais e periurbanas, constituem aquíferos rasos de elevada vulnerabilidade. Para que se mantenham seguras, devem observar afastamento mínimo de 50 metros de potenciais fontes de contaminação, possuir drenos para desvio de enxurradas, coroamento e tampa impermeável, além de protocolos rotineiros de desinfecção. Seu uso para consumo humano direto deve estar sempre condicionado a tratamento prévio, preferencialmente por cloração ou radiação ultravioleta (IBGE, 2015; FUNCEME, 2020).

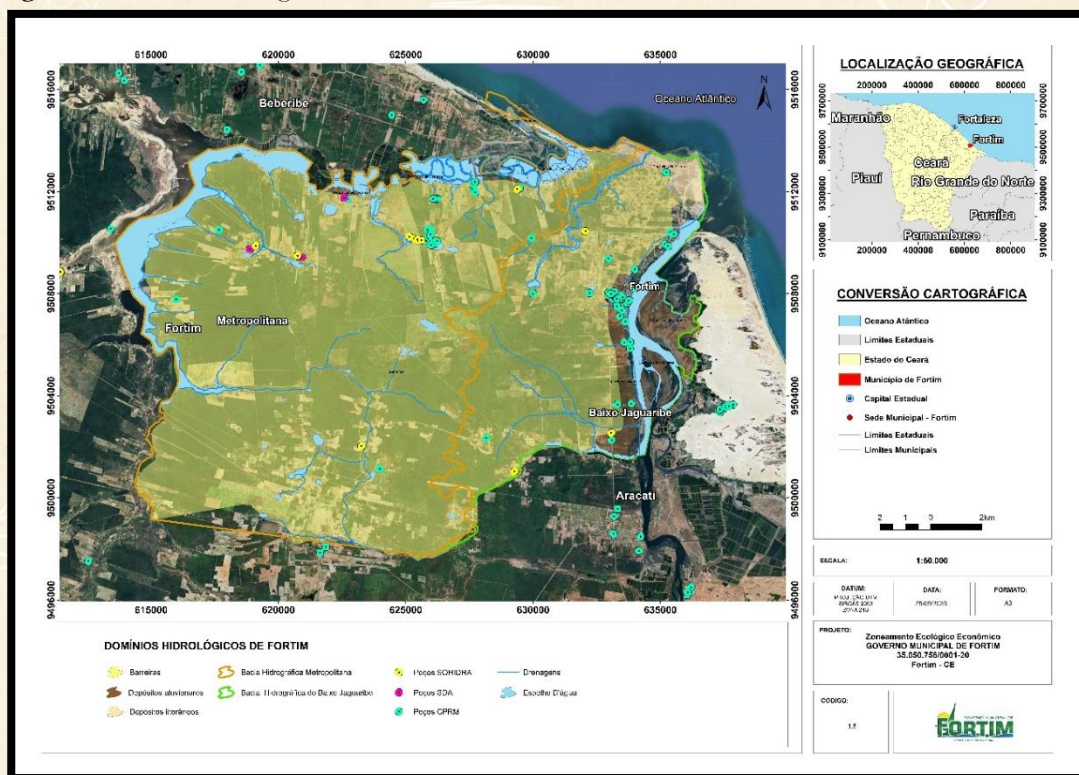
Do ponto de vista da qualidade da água, quatro riscos principais se destacam na escala municipal. O primeiro corresponde à intrusão salina na borda costeira e no estuário do Jaguaribe, sobretudo em períodos de estiagem severa e sob sobrebombeamento, identificável pelo aumento de condutividade elétrica e de cloretos, associado à inversão do gradiente hidráulico em direção ao mar (Molisani et al., 2010; Nóbrega; Souza; Araújo, 2015). O segundo risco refere-se ao nitrato em áreas urbanas e periurbanas, relacionado a deficiências no saneamento básico e à pressão agropecuária intensiva. O terceiro risco é representado pelos elevados teores de ferro e manganês característicos do aquífero Barreiras, exigindo tratamento por aeração e filtração. Por fim, a contaminação microbiológica constitui ameaça

Outro o Jaguaribe conecta o mar, a floresta e a tradição em harmonia



recorrente em cacimbas e captações superficiais, particularmente em áreas de ocupação difusa ou em situações de cheias rápidas. A análise integrada desses fatores demanda a elaboração de uma matriz de risco que delimite zonas de restrição e protocolos de tratamento adequados.

Figura 31: Domínios Hidrológicos de Fortim.



Fonte: Biotec Consultoria Ambiental, 2025.

3.6.4.2 Gestão e Monitoramento Recomendados (Nível Municipal)

A gestão hidrogeológica em escala municipal deve estruturar-se em cinco eixos principais. O primeiro consiste na implantação de uma rede piezométrica de poços-sentinel, instalada em Dunas e Barreiras, disposta em transectos perpendiculares ao estuário e equipada para medição sistemática de nível, CE, cloretos e nitrato, em frequência mensal, ou quinzenal na faixa costeira. O segundo eixo corresponde à realização de ensaios de bombeamento padronizados para fins de outorga, com reavaliação periódica a cada três a cinco anos, estabelecendo limites de exploração baseados no rebaixamento admissível e na recarga efetiva. O terceiro eixo volta-se à proteção das zonas de recarga, o que implica disciplinar a extração de areia, limitar a impermeabilização de cristas dunares, recompor a

ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO COSTEIRO - ZEEC

Fortim - CE - Brasil

- Diagnóstico Meio Físico -



82

vegetação ciliar em Áreas de Preservação Permanente e estabilizar taludes dos tabuleiros. O quarto eixo demanda a integração entre a gestão das águas subterrâneas e a operação do rio Jaguaribe, de modo a articular captações subterrâneas e superficiais às descargas controladas a jusante do Castanhão, assegurando vazões ecológicas mínimas no estuário. Finalmente, o quinto eixo compreende um plano de contingência para períodos de seca, priorizando o uso de poços em zonas mais internas com maior espessura da cunha de água doce, reduzindo bombeamentos na faixa costeira, escalonando usos e ampliando o armazenamento em reservatórios off-stream (COGERH, 2021; ANA, 2022).

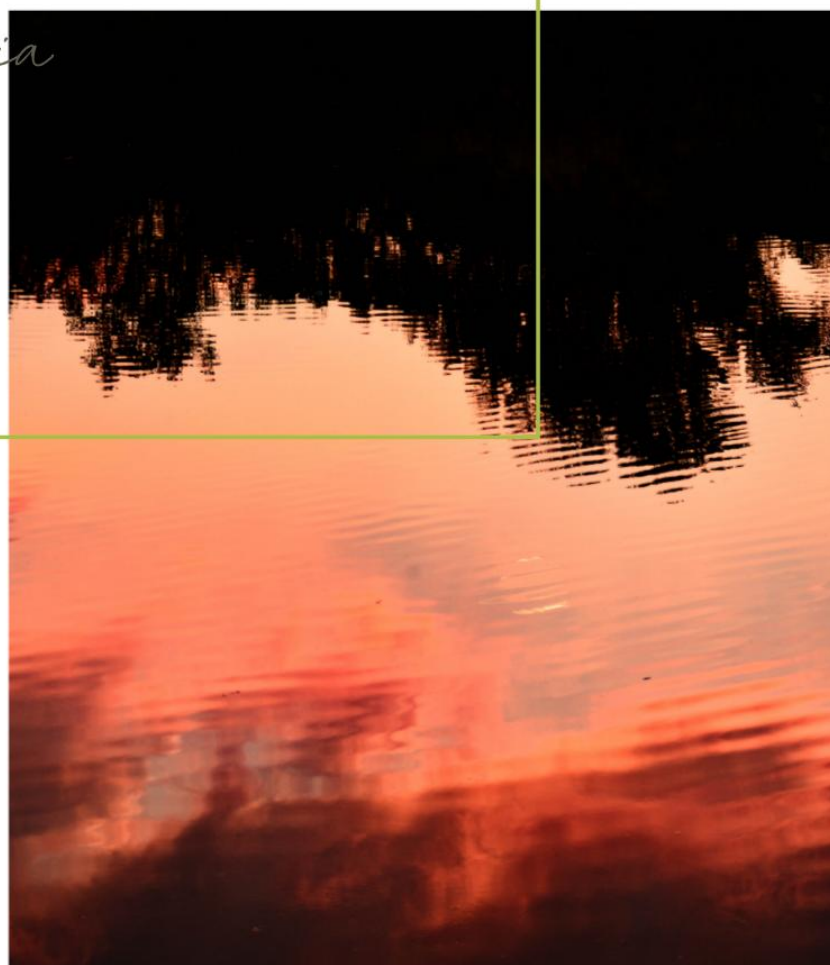
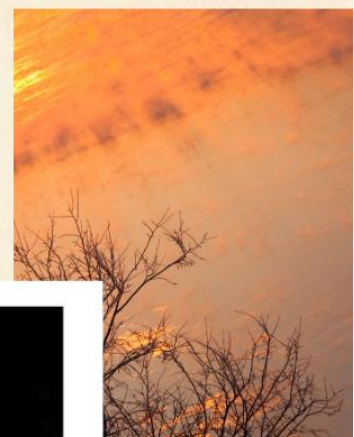
Unir o Jaguaribe ao rio e ao mar, salvando a tradição em harmonia



Biotec
CONSULTORIA AMBIENTAL

www.biotecconsultoria.com.br

Onde o
Jaguaribe
encontra o mar,
natureza e
tradição em
harmonia



4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONGI, D. M. Carbon cycling and storage in mangrove forests. Annual Review of Marine Science, v. 6, p. 195–219, 2015.

BARROS, D. F. et al. Impactos da coleta de caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) sobre a estrutura do manguezal. Biota Neotropica, v. 12, n. 4, p. 123–131, 2012.

BERKES, F. Sacred ecology. 3. ed. New York: Routledge, 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Brasília: MMA, 2008.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Atlas Brasil: abastecimento urbano de água. Brasília: ANA, 2021.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. Relatório técnico sobre aquíferos do Ceará. Fortaleza: COGERH, 2011.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa hidrogeológico do Brasil. Brasília: CPRM, 2017.

DAHDOUH-GUEBAS, F. et al. Human-impacted mangroves in the Indian Ocean. Marine Ecology Progress Series, v. 315, p. 233–246, 2006.

DIEGUES, A. C. O mito moderno da natureza intocada. 6. ed. São Paulo: Hucitec, 2000.

DONATO, D. C. et al. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. Nature Geoscience, v. 4, p. 293–297, 2011.

FAO – Food and Agriculture Organization. The state of the world's forests. Rome: FAO, 2022.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Recursos hídricos do Ceará. Fortaleza: FUNCEME, 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Plano de manejo das RESEX marinhas do nordeste. Brasília: ICMBio, 2020.

Dele o Jaguaribe encontra o mar, natureza e tradição em harmonia



IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil Básico Municipal de Fortim. Fortaleza: IPECE, 2011.

KJERFVE, B. et al. Hydrological and geomorphological characteristics of mangrove swamps. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 74, p. 1–13, 2012.

LACERDA, L. D. Mangroves of Brazil. In: LACERDA, L. D. (ed.). *Mangrove ecosystems: functions and management*. Berlin: Springer, 2002.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

OSTROM, E. *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

PACTO DAS ÁGUAS. Relatório síntese dos recursos hídricos do Ceará. Fortaleza: Governo do Estado, 2003.

PRIMAVERA, J. H. Mangroves, fishponds, and the quest for sustainability. *Science*, v. 310, p. 57–59, 2005.

RIBEIRO, R. C. C.; ALMEIDA, J. R. S. Gestão compartilhada de recursos hídricos no semiárido. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, n. 2, p. 301–312, 2015.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. A conceptual hierarchical framework for marine coastal management and conservation. *Journal of Coastal Research*, v. 32, p. 126–134, 2000.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. Climate changes and mangroves in South America. *Hydrobiologia*, v. 803, n. 1, p. 1–12, 2016.

SCHMITT, C. J. Desenvolvimento territorial sustentável: perspectivas e desafios. *Revista NERA*, v. 22, n. 45, p. 14–36, 2019.

SILVA, C. N. Recursos hídricos subterrâneos no Ceará: disponibilidade e desafios. *Revista de Geologia, Fortaleza*, v. 21, p. 45–61, 2008.

SILVA, J. B. Climatologia aplicada ao planejamento territorial no Ceará. *Revista de Geografia UFC*, v. 31, p. 133–150, 2012.

Que o lagoa e o mar, sempre e juntos em harmonia



SGB – Serviço Geológico do Brasil. Hidrogeologia do Nordeste. Recife: SGB, 2019.

SOHIDRA – Superintendência de Obras Hidráulicas. Relatório de poços tubulares do Ceará. Fortaleza: SOHIDRA, 2007.

UFC – Universidade Federal do Ceará. Hidrogeologia da Formação Barreiras no litoral leste cearense. Fortaleza: UFC, 2011.

UFC – Universidade Federal do Ceará. Relatório hidrogeológico da planície costeira de Fortim. Fortaleza: UFC, 2017.

UNESCO. Groundwater resources sustainability indicators. Paris: UNESCO, 2003.

UNESCO. The United Nations World Water Development Report. Paris: UNESCO, 2020.

USGS – United States Geological Survey. Groundwater and surface water: a single resource. Denver: USGS, 1998.

VARNIER, C.; HIRATA, R. Água subterrânea no Brasil: disponibilidade e usos. *Águas Subterrâneas*, v. 33, p. 25–40, 2019.

VARNIER, C.; HIRATA, R. Vulnerabilidade dos aquíferos costeiros à intrusão salina. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 25, e2, 2020.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

WHO – World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality. Geneva: WHO, 2017.

XAVIER, L. S. et al. Modelagem hidrogeológica aplicada à gestão de aquíferos costeiros. *Revista Águas Subterrâneas*, v. 29, n. 1, p. 15–28, 2015.

XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (CBAS). Anais... Belo Horizonte: ABAS, 2022.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe anual 2021. Brasília: ANA, 2021.

ANA; IBGE. Indicadores de sustentabilidade hídrica municipal. Brasília: ANA, 2020.

Outro o Sagarinho encontra o mar, sobressa e finda-se em harmonia



Onde o Jaguaribe encontra
o mar, natureza e tradição em
harmonia



5. ANEXOS

