

Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira



caliandra



ORGANIZADORES

Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Maria Carolina Villaça Gomes
Renato Fontes Guimarães
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes



CONSELHO EDITORIAL

Membros internos:

Prof. Dr. André Cabral Honor (HIS/UnB) - **Presidente**

Prof. Dr. Herivelto Pereira de Souza (FIL/UnB)

Prof^ª Dr^ª Maria Lucia Lopes da Silva (SER/UnB)

Prof. Dr. Rafael Sânzio Araújo dos Anjos (GEA/UnB)

Membros externos:

Prof^ª Dr^ª Ângela Santana do Amaral (UFPE)

Prof. Dr. Fernando Quiles García (Universidad Pablo de Olavide - Espanha)

Prof^ª Dr^ª Ilía Alvarado-Sizzo (UniversidadAutonoma de México)

Prof^ª Dr^ª Joana Maria Pedro (UFSC)

Prof^ª Dr^ª Marine Pereira (UFABC)

Prof^ª Dr^ª Paula Vidal Molina (Universidad de Chile)

Prof. Dr. Peter Dews (University of Essex - Reino Unido)

Prof. Dr. Ricardo Nogueira (UFAM)



A UnB quem faz
é a gente

Organizadores: Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Maria Carolina Villança Gomes
Renato Fontes Guimarães
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

Título: Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira

Volume: 1

Local: Brasília

Editor: Selo Caliandra

Ano: 2022

Parecerista: João Cândido André da Silva Neto

Capa: Luiz H S Cella



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília
Heloiza Faustino dos Santos - CRB 1/1913

R454 Revisões de literatura da geomorfologia brasileira [recurso eletrônico] / organizadores Osmar Abílio de Carvalho Júnior ... [et al.]. – Brasília : Universidade de Brasília, 2022.
1057 p. : il.

Inclui bibliografia.

Modo de acesso: World Wide Web:
<<http://caliandra.ich.unb.br/>>.
ISBN 978-65-86503-85-2.

1. Geomorfologia - Brasil. I. Carvalho Júnior, Osmar Abílio de.

CDU 551.4

Lista de autores

Abner Monteiro Nunes Cordeiro
Adão Osdayan Cândido de Castro
Alberto Oliva
Alex de Carvalho
Ana Camila Silva
André Augusto Rodrigues Salgado
André Luiz Carvalho da Silva
André Paulo Ferreira da Costa
Antônio Carlos de Barros Corrêa
Antonio José Teixeira Guerra
Antônio Pereira Magalhães Junior
Antonio Rodrigues Ximenes Neto
Archimedes Perez Filho
Beatriz Abreu Machado
Breno Ribeiro Marent
Bruno Venancio da Silva
Carlos de Oliveira Bispo
Carmélia Kerolly Ramos de Oliveira
César Augusto Chicarino Varajão
Claudia Rakel Pena Pereira
Cristiano da Silva Rocha
Cristina Helena Ribeiro Augustin
Daniel Françoso de Godoy
Daniel Peifer
Danielle Lopes de Sousa Lima
Danilo Vieira dos Santos
David Hélio Miranda de Medeiros
Delano Nogueira Amaral
Dirce Maria Antunes Suertegaray
Edison Fortes
Edivando Vitor do Couto
Eduardo Souza de Moraes
Edwilson Medeiros dos Santos
Éric Andrade Rezende
Fabiana Souza Ferreira
Fábio Perdigão Vasconcelos
Fabrizio de Luiz Rosito Listo
Fabrizio do Nascimento Garritano
Felipe Gomes Rubira
Flávio Rodrigues do Nascimento
Francisco Dourado
Francisco Edmar de Sousa Silva
Francisco Leandro de Almeida Santos
Frederico de Holanda Bastos
Gisele Barbosa dos Santos
Giselle Ferreira Borges
Guilherme Borges Fernandez
Hugo Alves Soares Loureiro
Idjarrury Gomes Firmino
Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia
Jáder Onofre de Moraes
Jémison Mattos dos Santos
João Paulo de Carvalho Araújo
José Fernando Rodrigues Bezerra
Juliana Sousa Pereira
Julio Cesar Paisani
Jurandyr L. Sanches Ross
Karine Bueno Vargas
Kleython de Araújo Monteiro
Laryssa Sheydder de Oliveira Lopes
Leonardo dos Santos Pereira
Leonardo José Cordeiro Santos
Letícia Augusta Faria de Oliveira
Lidriana de Souza Pinheiro,
Lígia Padilha Novak
Luiz Fernando de Paula Barros
Manoel do Couto Fernandes
Marcel Hideyuki Fumiya,
Marcelo Martins de Moura Fé
Marcos César Pereira Santos
Maria Bonfim Casemiro
Mariana Silva Figueiredo
Marli Carina Siqueira Ribeiro
Martim de Almeida Braga Moulton
Michael Vinicius de Sordi
Mônica dos Santos Marçal
Neiva Barbalho de Moraes
Nelson Ferreira Fernandes
Nelson Vicente Lovatto Gasparetto
Oswaldo Girão da Silva
Otávio Augusto de Oliveira Lima Barra
Otávio Cristiano Montanher
Paulo Cesar Rocha
Paulo de Tarso Amorim Castro
Paulo Roberto Silva Pessoa
Pedro Val
Peter Christian Hackspacher
Rafaela Soares Niemann
Raphael Nunes de Souza Lima
Roberto Marques Neto

Roberto Verdum
Rodrigo Vitor Barbosa Sousa
Rubson Pinheiro Maia
Sandra Baptista da Cunha
Sarah Lawall
Sérgio Cadena de Vasconcelos
Sérgio Murilo Santos de Araújo
Silvio Carlos Rodrigues
Silvio Roberto de Oliveira Filho
Simone Cardoso Ribeiro
Tania Cristina Gomes

Thais Baptista da Rocha
Thiago Gonçalves Pereira
Thiago Pereira Gonçalves
Thomaz Alvisi de Oliveira
Tulius Dias Nery
Úrsula de Azevedo Ruchkys
Vanda de Claudino-Sales
Vanessa Martins Lopes
Vinícius Borges Moreira
Vitor Hugo Rosa Biffi

PREFÁCIO

O presente livro consiste em um conjunto de revisões sobre os avanços teóricos e tecnológicos nos diversos temas da Geomorfologia. Concebido para estar em uma plataforma on-line com acesso gratuito, o livro destina-se aos cursos de graduação e pós-graduação que utilizam os conhecimentos geomorfológicos, incluindo Geografia, Geologia, Ecologia, Engenharia, Planejamento Territorial, entre outros. Para atender o escopo e o desafio imposto, a obra possui um total de 36 capítulos que congregam 111 pesquisadores das diversas regiões do Brasil, trazendo relatos relevantes de nossa paisagem e dos avanços alcançados pela Geomorfologia brasileira. Os capítulos do livro estão segmentados em contextos temáticos e geográficos de estudo, incluindo: dinâmica fluvial, ambientes costeiros, evolução de vertentes, micro relevo, ambientes cársticos, geomorfologia regional, geomorfologia estrutural; mapeamento geomorfológico, patrimônio natural, mitigação de riscos naturais; interações pedo-geomorfológicas, etnogeomorfologia, modelos numéricos, novas abordagens tecnológicas em geomorfologia. Além de abranger os conceitos e o estado da arte na análise dos processos e sistemas geomorfológicos, os capítulos realizam uma visão crítica dos diversos temas abordados.

Na última década, inúmeros avanços foram alcançados com o aumento da disponibilidade de dados de monitoramento da superfície terrestre, métodos computacionais e compartilhamento de experiências. A grande quantidade de dados e métodos resulta em novos desafios de análise e processamento na busca de respostas científicas dentro de uma apreciação crítica. A concepção desse livro integra revisões e discussões sobre essas novas abordagens teóricas, instrumentais e tecnológicas que passam a ter um fator primordial para estabelecer os novos rumos da ciência geomorfológica.

Dada a magnitude continental do nosso território, não é surpreendente que a paisagem brasileira seja evidenciada e detalhada em suas peculiaridades nos textos. Portanto, vários capítulos exploram e refletem a natureza distinta da paisagem e da biota brasileira, revelando os processos naturais e as perturbações antrópicas que alteram o meio ambiente e desencadeiam processos erosivos, movimento de massa, inundações, entre outros. Nesse contexto, as pesquisas aplicadas são extremamente oportunas devido à alta demanda para solução de problemas prementes e complexo de nossos ambientes e sociedade, necessitando continuamente de alternativas, novos conceitos, perspectivas tecnológicas e inovações metodológicas. Muitos capítulos abordam revisões sobre trabalhos aplicados na investigação geomorfológica e resolução de problemas, normalmente desencadeados por perturbações humanas com consequências variadas nos diferentes sistemas.

Os editores abnegaram a oportunidade de contribuir com capítulos para garantir a imparcialidade na seleção dos textos que compõe o livro. Por fim, os editores agradecem especialmente a União de Geomorfologia Brasileira e a todos os colaboradores que contribuíram com seus conhecimentos específicos para a elaboração dessa obra abrangente e de grande relevância para o conhecimento da Geomorfologia nacional.

Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Maria Carolina Villaça Gomes
Renato Fontes Guimarães
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

SUMARIO

1. CONSIDERAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS EM TORNO DA PESQUISA EM GEOMORFOLOGIA: DO PROJETO AO ARTIGO CIENTÍFICO

André Augusto Rodrigues Salgado
Alberto Oliva

----- 16

2. ARQUIVOS FLUVIAIS QUATERNÁRIOS NO INTERIOR CONTINENTAL: O CONTEXTO SERRANO DE MINAS GERAIS, BRASIL

Antônio Pereira Magalhães Junior
Luiz Fernando de Paula Barros
Alex de Carvalho
Letícia Augusta Faria de Oliveira

----- 39

3. PROCESSOS DE REORGANIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM NO BRASIL

Breno Ribeiro Marent
Éric Andrade Rezende
Michael Vinícius de Sordi
André Augusto Rodrigues Salgado

----- 76

4. AVALIAÇÃO INTEGRADA DE SISTEMAS FLUVIAIS: SUBSÍDIO PARA IDENTIFICAÇÃO DE VALORES PATRIMONIAIS

Carmélia Kerolly Ramos de Oliveira
Paulo de Tarso Amorim Castro
Úrsula de Azevedo Ruchkys

----- 98

5. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E GESTÃO DE RISCO DE INUNDAÇÕES

Claudia Rakel Pena Pereira
Sandra Baptista da Cunha

----- 124

6. AJUSTAMENTO FLUVIAL À AGROPECUÁRIA, URBANIZAÇÃO E RESERVATÓRIO E ANÁLISE CIENTOMÉTRICA DO IMPACTO DESSAS ATIVIDADES NOS RIOS BRASILEIROS	
Eduardo Souza de Morais Otávio Cristiano Montanher	
-----	143
7. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL DO BRASIL ASSOCIADA AO ATUAL CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL	
Giselle Ferreira Borges Neiva Barbalho de Morais Ana Camila Silva Leonardo dos Santos Pereira Sarah Lawall	
-----	176
8. CONTROLE TECTONO-ESTRUTURAL DOS SISTEMAS DE DRENAGEM: REVISÃO LITERÁRIA E PROPOSTAS METODOLÓGICAS	
Idjarrury Gomes Firmino Karine Bueno Vargas Edison Fortes	
-----	212
9. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E GESTÃO DOS RIOS NO BRASIL	
Mônica dos Santos Marçal Adão Osdayan Cândido de Castro Raphael Nunes de Souza Lima	
-----	240
10. INUNDAÇÕES E CONCEITOS CORRELATOS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ANÁLISE COMPARATIVA.	
Rodrigo Vitor Barbosa Sousa Paulo Cesar Rocha	
-----	265
11. SISTEMAS LACUSTRES INTERIORES: AVANÇOS E TÉCNICAS DE ESTUDO	
Gisele Barbosa dos Santos Paulo de Tarso Amorim Castro	
-----	278

12. EVOLUÇÃO MORFODINÂMICA DE PLANÍCIES COSTEIRAS:
DO QUATERNÁRIO AOS EVENTOS ATUAIS

Guilherme Borges Fernandez
Thais Baptista da Rocha
Silvio Roberto de Oliveira Filho
Sérgio Cadena de Vasconcelos
André Luiz Carvalho da Silva
Thiago Gonçalves Pereira
Martim de Almeida Braga Moulton

----- 308

13. MORFOLOGIA COSTEIRA EM LITORAIS URBANOS

Otávio Augusto de Oliveira Lima Barra
Fábio Perdigão Vasconcelos
Cristiano da Silva Rocha
Maria Bonfim Casemiro
Danilo Vieira dos Santos
Francisco Edmar de Sousa Silva
Delano Nogueira Amaral

----- 351

14. DELTAS DOMINADOS POR ONDAS: TRAJETÓRIA CONCEITUAL,
DINÂMICA E EVOLUÇÃO A PARTIR DE EXEMPLOS DO COMPLEXO
DELTAICO DO RIO PARAÍBA DO SUL

Thaís Baptista da Rocha
Sérgio Cadena de Vasconcelos
André Paulo Ferreira da Costa
Beatriz Abreu Machado
Mariana Silva Figueiredo
Lígia Padilha Novak
Thiago Pereira Gonçalves
Guilherme Borges Fernandez

----- 381

15. REGISTROS DAS VARIAÇÕES DO NÍVEL RELATIVO DO MAR NO
LITORAL BRASILEIRO E AS IMPLICAÇÕES
PERANTE A MORFOGÊNESE DE SUPERFÍCIES GEOMORFOLÓGI-
CAS EM AMBIENTES COSTEIROS

Felipe Gomes Rubira
Archimedes Perez Filho

----- 410

16. VALES INCISOS SUBMERSOS DA PLATAFORMA
CONTINENTAL SEMIÁRIDA DO BRASIL

Antonio Rodrigues Ximenes Neto
Lidriana de Souza Pinheiro
David Hélio Miranda de Medeiros
Paulo Roberto Silva Pessoa
Jáder Onofre de Moraes

----- 445

17. GEOMORFOLOGIA EÓLICA CONTINENTAL E OS
CAMPOS DE DUNAS HOLOCÊNICAS DO PAMPA NO RIO
GRANDE DO SUL, BRASIL

Tania Cristina Gomes
Roberto Verdum

----- 471

18. EROSÃO POR VOÇOROCAS: ESTADO DA ARTE

Juliana Sousa Pereira
Silvio Carlos Rodrigues

----- 499

19. MONITORAMENTO DA EROSÃO HÍDRICA NO BRASIL:
DOS MÉTODOS MANUAIS AOS DIGITAIS

Hugo Alves Soares Loureiro
Antonio José Teixeira Guerra
José Fernando Rodrigues Bezerra
Leonardo dos Santos Pereira
Fabrizio do Nascimento Garritano

----- 526

20. MOVIMENTOS DE MASSA: ESTADO DA ARTE,
ESCALAS DE ABORDAGEM, ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO
E DIFERENTES MODELOS DE PREVISÃO

Fabrizio de Luiz Rosito Listo
Tulius Dias Nery
Carlos de Oliveira Bispo
Fabiana Souza Ferreira
Edwilson Medeiros dos Santos

----- 560

21.	MORFOGÊNESE DE MICRORRELEVOS SIMILARES A MURUNDUS NA PAISAGEM	
	Vinícius Borges Moreira Archimedes Perez Filho	
	-----	593
22.	APLAINAMENTO NO NOROESTE DO PARANÁ: DE MODELOS POLICÍCLICO À MORFOTECTÔNICA QUATERNÁRIA	
	Marcel Hideyuki Fumiya Edivando Vitor do Couto Leonardo José Cordeiro Santos	
	-----	615
23.	GEOMORFOLOGIA DO QUATERNÁRIO E GEOARQUEOLOGIA: ASPECTOS CONCEITUAIS, METODOLÓGICOS E APLICAÇÕES NO SUL DO BRASIL	
	Vitor Hugo Rosa Biffi Marcos César Pereira Santos Julio Cesar Paisani Nelson Vicente Lovatto Gasparetto	
	-----	648
24.	TERMOCRONOLOGIA APLICADA À EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO NORDESTE SETENTRIONAL DO BRASIL: UMA BREVE REVISÃO	
	Francisco Leandro de Almeida Santos Flávio Rodrigues do Nascimento Peter Christian Hackspacher (In Memoriam) Marli Carina Siqueira Ribeiro Bruno Venancio da Silva & Daniel França de Godoy	
	-----	677
25.	A TAXONOMIA DO RELEVO E A CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA REGIONAL	
	Jurandyr L. Sanches Ross Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia	
	-----	701

26.	RELEVOS GRANÍTICOS DO NORDESTE BRASILEIRO: UMA PROPOSTA TAXONÔMICA	
	Frederico de Holanda Bastos Danielle Lopes de Sousa Lima Abner Monteiro Nunes Cordeiro Rubson Pinheiro Maia	
	-----	733
27.	REVISITANDO OS MODELOS CLÁSSICOS DE EVOLUÇÃO DO RELEVO	
	Daniel Peifer Cristina Helena Ribeiro Augustin	
	-----	759
28.	SUPERFÍCIES GEOMORFOLÓGICAS E MODELOS CLÁSSICOS DE EVOLUÇÃO DO RELEVO	
	Karine Bueno Vargas Idjarrury Firmino Michael Vinicius de Sordi	
	-----	793
29.	A GEOMORFOLOGIA NOS ESTUDOS INTEGRADOS DA PAISAGEM: ENFOQUE EVOLUTIVO E DINÂMICO NA INTERPRETAÇÃO DOS SISTEMAS GEOMORFOLÓGICOS	
	Roberto Marques Neto Thomaz Alvisi de Oliveira	
	-----	813
30.	ESTADO DA ARTE DOS ESTUDOS GEOMORFOLÓGICOS NO NORDESTE BRASILEIRO: UMA SÍNTESE (E VÁRIAS TESES)	
	Vanda de Claudino-Sales Antonio Carlos Barros Côrrea Kleython de Araújo Monteiro Rubson Pinheiro Maia	
	-----	845
31.	AS SUPERFÍCIES DE EROSÃO DO “BRASIL ORIENTAL”	
	César Augusto Chicarino Varajão	
	-----	875

32.	ETNOGEOMORFOLOGIA - RELAÇÕES ENTRE POPULAÇÕES TRADICIONAIS E A PAISAGEM FÍSICA	
	Simone Cardoso Ribeiro Vanessa Martins Lopes Osvaldo Girão da Silva Antônio Carlos de Barros Corrêa	
	-----	886
33.	DESAFIOS E PERSPECTIVAS DAS PESQUISAS SOBRE O PATRIMÔNIO GEOMORFOLÓGICO NO BRASIL	
	Vanda de Claudino-Sales Laryssa Sheydder de Oliveira Lopes	
	-----	910
34.	USO DO LIDAR NA GEOMORFOLOGIA: APLICAÇÕES E DESAFIOS FUTUROS	
	João Paulo de Carvalho Araújo Rafaela Soares Niemann Francisco Dourado Manoel do Couto Fernandes Nelson Ferreira Fernandes	
	-----	927
35.	MODELOS NUMÉRICOS DE EVOLUÇÃO DO RELEVO (LEMS) E SUA IMPORTÂNCIA PARA ESTUDOS DE EVOLUÇÃO DA PAISAGEM	
	Nelson F. Fernandes Daniel Peifer Pedro Val	
	-----	953
36.	SOLO HISTÓRICO DA DESERTIFICAÇÃO NO BRASIL	
	Jémison Mattos dos Santos Sérgio Murilo Santos de Araújo Dirce Maria Antunes Suertegaray	
	-----	1000

37. GEOMORFOLOGIA ESTRUTURAL:
REVISITANDO TEORIAS, MÉTODOS E ESTUDOS
DE CASO NO NORDESTE BRASILEIRO

Frederico de Holanda Bastos
Abner Monteiro Nunes Cordeiro
Marcelo Martins de Moura Fé

----- 1029



16. VALES INCISOS SUBMERSOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL SEMIÁRIDA DO BRASIL

Antonio Rodrigues Ximenes Neto¹, Lidriana de Souza Pinheiro², David Hélio Miranda de Medeiros³, Paulo Roberto Silva Pessoa⁴ & Jäder Onofre de Morais⁵

¹Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica, Universidade Estadual do Ceará; antonio.lgco@gmail.com

²Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará / LGCO (UECE); lidriana@ufc.br

³Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica, Universidade Estadual do Ceará; davidgeo.ambiental@yahoo.com.br

⁴Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica, Universidade Estadual do Ceará; paulorpessoa@gmail.com

⁵Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica, Universidade Estadual do Ceará; jader.morais@uece.br

Resumo: Os vales incisos afogados em plataformas continentais são depressões comumente alongadas que denotam processos de variação do nível de base conforme o deslocamento da linha de costa devido principalmente a fatores glacio-eustáticos. Os vales incisos são importantes armadilhas estratigráficas que possibilitam a compreensão do padrão de empilhamento sedimentar e do modelo de fácies. Além disso, a orientação destas feições pode ser utilizada para análise correlativa com a estrutura geológica local (e.g., herança estrutural, neotectônica). Dessa forma, foi realizada uma análise do estado da arte e mapeamento dos principais vales incisos na Plataforma Semiárida do Brasil a partir do uso de três ferramentas (imagem de satélite, batimetria e perfilagem sísmica de subsuperfície), que comumente são empregadas para a interpretação de vales afogados.

Palavras-Chave: Plataforma Continental; Estratigrafia de Sequência; Variação do Nível do Mar; Paleogeografia.

Abstract: The drowned incised valleys on continental shelves are commonly elongated and lowered features that show processes of base-level changes according to the coastline shift due mainly to glacial-eustatic factors. Incised valleys are important stratigraphic traps that favor the understanding of the sedimentary stacking pattern and the facies model. In addition, the orientation of these features can be used for correlative analysis with the local geological structure (e.g., structural inheritance, neotectonic). An analysis of the background studies and mapping of the main valleys in the Semi-Arid Shelf of Brazil was carried out using three tools (satellite image, bathymetry, and sub-bottom seismic profiling) that are commonly used for the interpretation of drowned valleys.

Keywords: Continental Shelf; Sequence Stratigraphy; Sea-Level Change; Paleogeography.

Tema: Geomorfologia Marinha

1. INTRODUÇÃO

Os vales incisos em ambientes de plataforma continental são importantes feições paleogeográficas que fornecem interpretações acerca de processos alogênicos e autogênicos (BLUM e TÖRNQVIST, 2000; HANEBUTH e STATTEGER 2004; BLUM et al., 2013). A associação entre o relevo erosional e o seu preenchimento é uma correlação comumente utilizada para compreender os ciclos regressivos-transgressivos (ZAITLIN et al., 1994; POSAMENTIER, 2001; VITAL et al., 2010; TESSON et al., 2015). Os vales incisos são fundamentais na compreensão do sistema de dispersão sedimentar (*source-to-sink*/da fonte a deposição) entre áreas continentais e marinhas (BENTLEY et al., 2016). Os estuários e os vales incisos são importantes ambientes deposicionais que apresentam significância histórica para habitação humana, construção de portos, além de conter reservas de hidrocarbonetos (BOYD et al., 2006).

A identificação e mapeamento de vales incisos em ambiente marinho (principalmente em plataformas continentais) avançaram nas últimas décadas principalmente devido ao uso crescente de sensores orbitais, geofísica e sondagens (VAIL et al., 1977; POSAMENTIER et al., 1988; VAN WAGONER et al., 1990; DALRYMPLE et al., 1992; FOYLE e OERTEL, 1997; POSAMENTIER, 2001; GREEN, 2009; GOMES et al., 2016; XIMENES NETO, 2018).

O objetivo deste capítulo é demonstrar os principais vales incisos submersos na plataforma semiárida brasileira (PSB) a partir do estado da arte e uso de ferramentas indiretas (batimetria, imagens de satélite e sísmica). A partir disto, destacar o uso do vale inciso como importante feição na interpretação paleogeográfica associada a fatores alogênicos e autogênicos.

A PSB é delimitada pelo setor entre o Cabo do Calcanhar, RN e a região do Delta do Parnaíba na divisa PI-MA, apresentando como base os limites do semiárido do Brasil (MORAIS et al., 2019; PINHEIRO et al., 2020). Molion e Bernardo (2002) apontam que o Nordeste Setentrional do Brasil apresenta características climáticas peculiares, únicas em ambientes semiáridos pelo mundo, tendo a proximidade com a Amazônia devido à criação sobre o Nordeste de centros de subsidência como uma hipótese para semiaridez local. Com isto, ressalta-se a baixa vazão sólida pelos rios (CAVALCANTE, 2018). A PSB é associada às bacias sedimentares do Ceará e Potiguar, apresentando larguras variando de ~20km em São Bento do Norte (Bacia Potiguar) a ~100km em Camocim (Bacia do Ceará) e profundidade de quebra (fim da plataforma continental e início do talude continental) em torno de 60-70m (NASCIMENTO SILVA et al., 2018; MORAIS et al., 2019) (Figura 1).

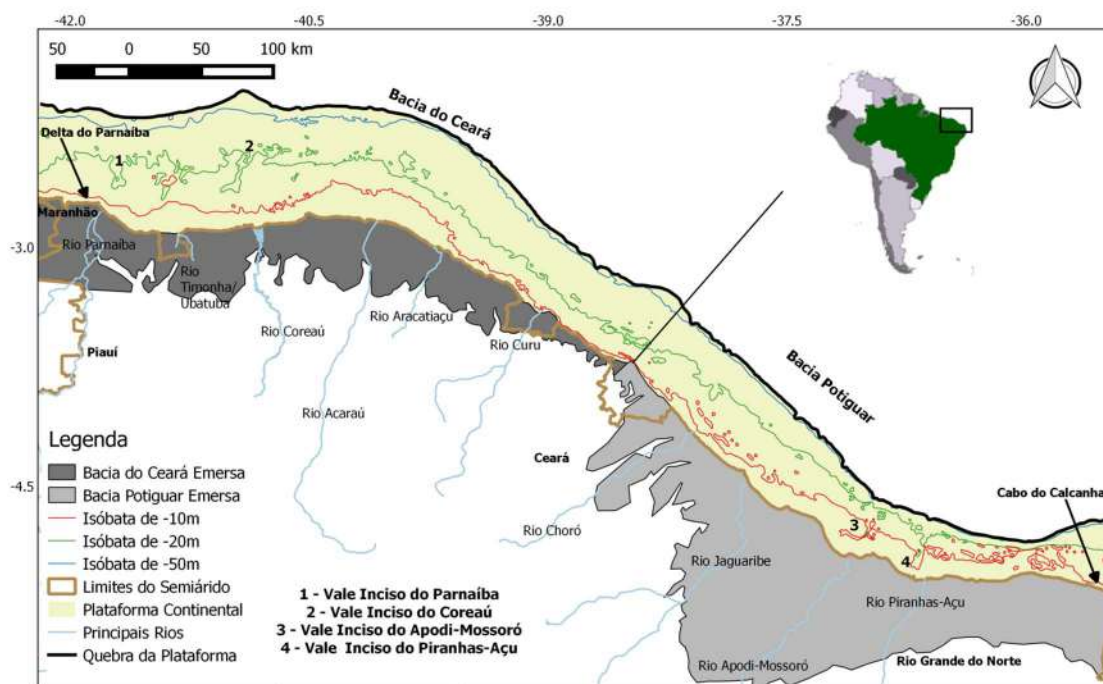


Figura 1. Delimitação da PSB e os principais vales incisos; 1 – Parnaíba, 2 – Coreaú, 3 – Apodi-Mossoró; 4 – Piranhas-Açu. Fonte: Morais Neto et al. (2003); CPRM (2003); DHN (2014); Souza (2015); ANA (2015); IBGE (2017).

1.1. Terminologias

Diversas terminologias comumente são empregadas como sinônimos para se referirem a antigas dissecações fluviais, sejam elas submersas ou continentais. Entre esses conceitos estão os paleocanais, as paleodrenagens, os paleoafuentes, os vales, os paleovales, os cânions/*canyons* e os vales incisos.

Em estudos na planície costeira ou ambiente marinho, principalmente, na perspectiva da estratigrafia de sequência, comumente se utilizam do termo *vales incisos* como feições (erosão e preenchimento) relacionadas à variação do nível do mar (FISK, 1944; VAN WAGONER et al., 1990; ALLEN e POSAMENTIER, 1993; GREEN, 2009; TJALLINGII et al., 2014).

Blum et al. (2013) sugerem o emprego dos termos sistemas de *paleovales* ou *vales*, pois o termo *vales incisos* pode não definir/explicar vales continentais. Os autores enfatizam também o emprego do termo canal, como feições terrestres que transportam água e sedimentos, e não são diretamente observáveis no registro estratigráfico.

Os *paleocanais* são feições geomórficas fluviais que representam córregos, rios e riachos de drenagem que fluíam efêmeros ou perenes durante o passado geológico e agora se encontra soterrado ou perdido ou deslocado devido a processos tectônicos, geomorfológicos, antropogênicos e/ou mudanças climáticas (KUMAR, 2011). O autor coloca paleocanal como sinônimo de paleorio, paleodrenagem, rio perdido, rio soterrado, canal soterrado ou vale soterrado. Jolivet et al. (2018) utiliza o termo *paleoafuente* para designar uma antiga conexão de drenagens para um rio principal de uma bacia

hidrográfica. Green (2009) usa o termo *paleodrenagem* para se referir a padrões de drenagens derivados de paleotalwegues de paleovales correspondentes.

Já o termo *canyons (submarinos)* se refere a um vale cortado no fundo do mar da plataforma continental que forma um entalhe na quebra da plataforma e se prolonga como um vale íngreme pelo talude continental (HAY, 2016).

1.2. Vales Incisos

Os vales incisos são “recipientes” que funcionam como significativas armadilhas estratigráficas, pois criam um espaço localizado no qual os sedimentos podem se acumular, geralmente em áreas onde o espaço pode ser incomum (como nas planícies costeiras de bacias de baixa acomodação). Os vales incisos devem ser considerados como um “sistema” no qual existem dois componentes, o vale e seu preenchimento. Esses componentes podem ou não estar relacionados no tempo ou no processo de formação (BOYD et al., 2006).

O vale inciso é um sistema comumente associado à erosão fluvial, topografia baixa e alongada, e é marcado por um deslocamento abrupto em direção ao mar de fácies deposicionais, cruzando um limite de sequência regionalmente mapeável em sua base (BOYD et al., 2006). Eles se formam quando a queda do nível de base expõe uma plataforma continental que tem um gradiente maior do que o perfil de equilíbrio do rio e quando a capacidade de transporte do rio excede o seu suprimento de sedimentos/baixa acomodação (VAN WAGONER et al., 1990; POSAMENTIER e JAMES, 1993; POSAMENTIER e ALLEN, 1999; BLUM e TÖRNQVIST, 2000). Os vales incisos variam de dezenas a milhares de metros de largura e de um a várias dezenas de metros de profundidades (POSAMENTIER, 2001; BOYD et al., 2006).

As incisões fluviais nas plataformas continentais podem não estar relacionadas apenas às mudanças eustáticas do nível do mar, mas também a fatores climáticos – aumento da descarga fluvial ou a movimentos tectônicos – soerguimento das áreas costeiras e marinhas em relação ao continente (área fonte dos rios) (BLUM e PRICE, 1998; POSAMENTIER, 2001). A partir disto, Blum e Törnqvist (2000) critica o uso do termo vale inciso de maneira generalizada, pois nem todos os vales são incisos e apresentam fatores locais para a sua formação (processos autogênicos). Posamentier (2001) afirma que os vales não incisos e o *bypass* sedimentar durante períodos do nível do mar caindo pode ser mais comum do que o desenvolvimento de vales incisos. Zaitlin et al. (1994) enfatizam que os vales incisos devem ter limites de sequência em sua base e preenchidos por sucessões de fácies fluvial e estuarina devido a subida do nível do mar, sendo que este preenchimento pode ser completo ou parcial.

Summerfield (1985) destaca que o perfil de equilíbrio fluvial fica abaixo do nível da superfície terrestre, a incisão iniciada neste local se propaga em direção a cabeceira para criar o vale. Em áreas com uma plataforma continental de gradiente relativamente baixo e uma quebra plataforma-talude distinta e exposta, um *knickpoint* geralmente coincide com a borda da plataforma (BOYD, 2006), figura 2A. No entanto, em plataformas sem uma nítida quebra da plataforma ou onde a borda da plataforma fica abaixo da elevação de mar baixo (*lowstand*), as incisões podem não se estenderem para a borda da plataforma, figura 2B. Além disso, alguns trabalhos demonstram que em

muitas plataformas a incisão começa na quebra da declividade associada a uma linha de costa inicial de mar baixo (*lowstand*) e/ou a linha de costa de mar alto imediatamente anterior (*highstand*) (POSAMENTIER, 2001; WELLNER e BARTEK, 2003; BOYD, 2006). O controle fluvial da incisão no interior do continente (a montante) sob influência da variação do nível do mar não é claramente definida, em alguns casos o controle pode ocorrer até uma distância de 1000km de distância da linha de costa (Fisk, 1944). Já Blum e Törnqvist (2000) sugerem uma variação entre dezenas a centenas de km.

Boyd et al. (2006) destaca que os vales incisos podem ser formados em planícies costeiras ou em *piedmont* e apresentar um preenchimento simples (durante um único ciclo transgressão-regressão) ou composto (múltiplos ciclos incisão-deposição devido a flutuações do nível de base). No caso de vales em áreas costeiras, a deposição começa na desembocadura do sistema vale inciso quando o nível do mar está em seu ponto mais baixo e expande progressivamente mais a cima do vale com o desenvolvimento da transgressão produzindo *onlap* deposicionais no vale (BOYD et al., 2006). A tabela 1 listam 16 critérios que podem ser utilizados para o reconhecimento de sistemas estuarinos e vales incisos.

A arquitetura estratigráfica de vales incisos segue uma zonação longitudinal em três segmentos (DALRYMPLE et al., 1992; ZAITLIN et al., 1994; BOYD et al., 2006), figura 2C. O primeiro segmento (exterior) ocorre entre a extensão mais em direção ao mar do vale inciso até o ponto onde a linha de costa se estabiliza no início da progradação, sendo caracterizado pela deposição de fácies marinha, barreiras costeiras e *inlets* no vale. O segundo segmento (intermediário) se situa entre a extremidade interior do segmento 1 e o limite em direção ao continente de influência da maré no período de inundação máxima. Sendo assim, representado pela área ocupada pelo estuário do vale inciso afogado no final da transgressão. As fácies de bacia central (planícies lamosas) e delta de cabeceira são características deste segmento. O terceiro segmento (interno) é o setor mais interior e se situa a partir do limite transgressivo marinho-estuarino. Porém, ressalta-se que este segmento ainda é influenciado pelas oscilações no nível de base associadas à mudança do nível relativo do mar. O preenchimento sedimentar é inteiramente fluvial. O tipo de canal fluvial dependerá do suprimento sedimentar, gradiente, descarga e granulometria (entrelaçado, meandrante, anastomosado e/ou retilíneo).

Neste capítulo, o emprego do termo *vale inciso* será utilizado apenas para vales em que seja possível verificar limites de sequência em sua base (esta definição será explanada no tópico 4). Para feições erosionais rebaixadas em que não é identificável o seu limite de sequência (seja pela técnica adotada ou pela não presença deste limite) é sugerido o uso de dois termos: *paleovale*, pois é uma nomenclatura abrangente conforme Blum et al. (2013) ou *paleocanal*, pois nos estudos de geociências marinha no Brasil tradicionalmente é comum o emprego desta nomenclatura como visto em Abreu e Calliari (2005); Melo (2017).

Tabela 1. Principais características identificadas em um vale inciso e estuário. Fonte: modificado de Boyd et al. (2006) a partir de interpretações de Weschenfelder et al. (2016); Aquino da Silva et al. (2016); Ximenes Neto (2018).

<i>Crêterios</i>	<i>Características</i>
1�	Fei�o paleotopogr�fica erosional, em que a sua base trunca os estratos subjacentes, incluindo alguns marcadores regionais (superfícies sísmicas, bentonitas, carvão ou superfícies de inunda�o)
2�	Base e muros do sistema vale inciso representam um limite de sequência que se correlacionam com uma superfície erosiva (hiato) fora do vale (interflúvio), superfície mista (<i>flooding surface + sequence boundary</i>)
3�	Como o rio erode abaixo do nível dos interflúvios quando cria o vale, a água drena em dire�o ao vale, como resultado, o rio principal pode ser alimentado por vales incisos tributários menores
4�	Deslocamento de fácies em dire�o � bacia cruzando uma discordância regional na base do vale (a base do vale inciso preenchido exibe uma justaposi�o erosiva de fácies mais proximais (terrestres) sobre depósitos mais distais (em dire�o ao mar)) e, subseqüentemente, o preenchimento parcial ou total ocorre durante a subida do nível do mar
5�	Como um resultado do preenchimento do vale inciso em resposta ao aumento do nível de base � verificado depósitos com termina�o <i>onlap</i> nos muros e base dos vales
6�	As principais superfícies estratigráficas de sequência são: <i>limite de sequência</i> (base), <i>superfície transgressiva</i> (dentro do preenchimento), <i>superfície de inunda�o máxima</i> (acima – segmento 1; dentro dos depósitos estuarinos – segmento 2 e abaixo de depósitos fluviais no segmento 3) e as <i>superfícies de ravinamento de onda e maré</i> (entre as superfícies limite de sequência e inunda�o máxima)
7�	Canais contidos no vale devem ser substancialmente menores do que o próprio vale principal
8�	Estuários são ambientes transgressivos e de influência de maré que constituem um componente importante e distintivo de vales incisos nas suas partes marítimas (DALRYMPLE et al., 1992). Indicadores de maré podem ser identificados nos vales preenchidos – ritimitos de maré e <i>tidal bundle</i>
9�	Aspectos de <i>input</i> de água e sedimentos dos ambientes marinho e terrestre são fundamentais em estuários; microfauna e macrofauna podem ser identificados – e.g., foraminíferos, moluscos, além de icnof�cies
10�	Vales incisos estuarinos apresentam uma característica mista de fácies sedimentares. Estes incluem fácies terrestres, estuarinas e marinhas - fluvial, canal fluvial de maré, delta de cabeceira, bacia central, barreiras costeiras e <i>bedforms</i> de maré
11�	Zona central de vales incisos estuarinos � ocupada por regiões de baixa energia (bacia central de grãos finos de estuários dominados por onda ou alcance meandrante de grãos finos de estuários dominados por maré)
12�	No caso da incisi�o do vale durante a regressão e queda de nível relativo do mar, devido ao aumento do perfil fluvial como resultado da extensão do rio, o gradiente marinho regional � maior do que o gradiente terrestre do vale do rio
13�	Depósitos de vales incisos estuarinos ocupam corredores de drenagem fluvial que frequentemente são controlados por tendências estruturais e paleotopogr�ficas subjacentes
14�	Migra�o lateral de canais/barras em pontais com presença de termina�o do tipo <i>downlap</i> e estruturas sedimentares do tipo <i>epsilon cross bedding</i> e <i>inclined heterolithic stratification</i>
15�	Fácies sísmicas de refletores plano-paralelos que denotam acre�o vertical de depósitos estuarinos (e.g., por�oes centrais de bacias estuarinas)
16�	Fei�o associadas a presença de gás no preenchimento dos vales incisos, tais como coluna, turbidez, cortinas, plumas, <i>pockmarks</i> , pináculos, sombras

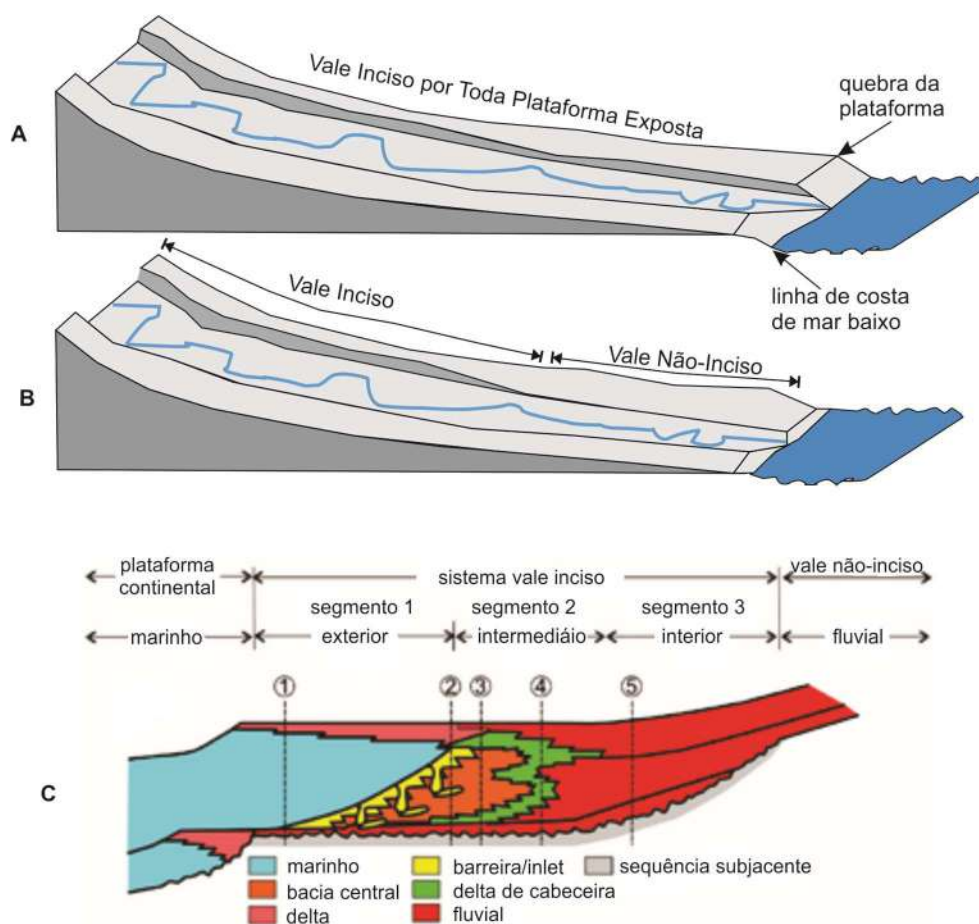


Figura 2. Formação de incisões em resposta a queda do nível do mar em duas situações: A – incisão por toda plataforma exposta e B – incisão apenas em alguns setores. Além da arquitetura estratigráfica longitudinal em três segmentos de um vale inciso - C. Fonte: Modificado de Posamentier e James (1993); Posamentier e Allen (1999); Boyd et al. (2006); Ximenes Neto (2018).

1.2.1 Princípio Source-to-Sink (da fonte a deposição)

O princípio *source-to-sink* (da fonte a deposição) é uma abordagem que conecta áreas de produção sedimentar com locais de transferência e armazenamento através da quantificação dos processos terrestres, sendo possível analisar o sistema de dispersão sedimentar fluvial a marinho (BENTLEY et al., 2016; WALSH et al., 2016; BHATTACHARYA et al., 2016; MAZUMDER, 2017).

Blum et al. (2013) demonstra que os sistemas de antigas drenagens apresentam um importante papel para o entendimento das rotas dos sedimentos *source-to-sink*. Os autores apontam que existe uma dinâmica complexa entre incisão, deposição e exportação de sedimentos a partir de um vale: períodos de incisão correspondem com exportação sedimentar mínima, no entanto, nos períodos de migração lateral e construção de cinturões de canais resulta em um aumento de fluxo para a desembocadura fluvial. A exportação de sedimentos envolvendo vales e a coalescência (*merging*) de drenagens na plataforma exposta apresenta um importante papel na transferência sedimentar para a margem da plataforma e para os sistemas talude-bacia oceânica, figura 3. Ressalta-se que a conexão entre a desembocadura fluvial e a margem da plataforma provavelmente ocorre

por períodos de tempo diferentes dependendo do gradiente do rio e plataforma, além da amplitude das oscilações do nível do mar.

Blum e Törnqvist (2000) apontam a existência de dois modelos de suprimento de sedimentos para as bacias marginais: *vacuum cleaner* e *conveyor belt*, figura 3. O primeiro se refere à incisão e *bypass* sedimentar completo, já o segundo destaca que os sedimentos são continuamente distribuídos para a desembocadura do rio a partir de uma grande bacia de drenagem e não requer incisões profundas com completo *bypass* sedimentar durante a queda do nível do mar. Syvitski e Milliman (2007) destacam que o relevo e a área de drenagem contribuinte são controles de primeira ordem no suprimento sedimentar e os climáticos seriam de segunda ordem.

No sistema *source-to-sink* quatro tipos de vales ocorrem entre o alto curso fluvial até a margem continental: rochoso; misto (rochoso-aluvial), planície costeira e plataformal (BLUM et al., 2013). Os vales de substrato rochoso e misto (rochoso-aluvial) ocorrem no continente. Os de substrato rochoso entalham rochas de idade muito antigas e apresenta arquitetura degradacional, já os vales de substrato misto possuem variabilidade espaço-temporal devido a exposição do embasamento rochoso. Os vales de planície costeira estendem da linha de costa de mar alto (*highstand*) até os limites a montante da influência do nível do mar, alguns destes vales estão modernamente afogados e contém estuários (vales incisos estuarinos afogados), podendo também estar preenchidos por sedimentos holocênicos alúvios-deltaicos. Os paleovales plataformais ocorrem entre a linha de costa de mar alto (*highstand*) e a borda da plataforma continental e possui depósitos variados, tais como fácies deltaica, estuarina, fluvial e marinho-rasa, figura 3.

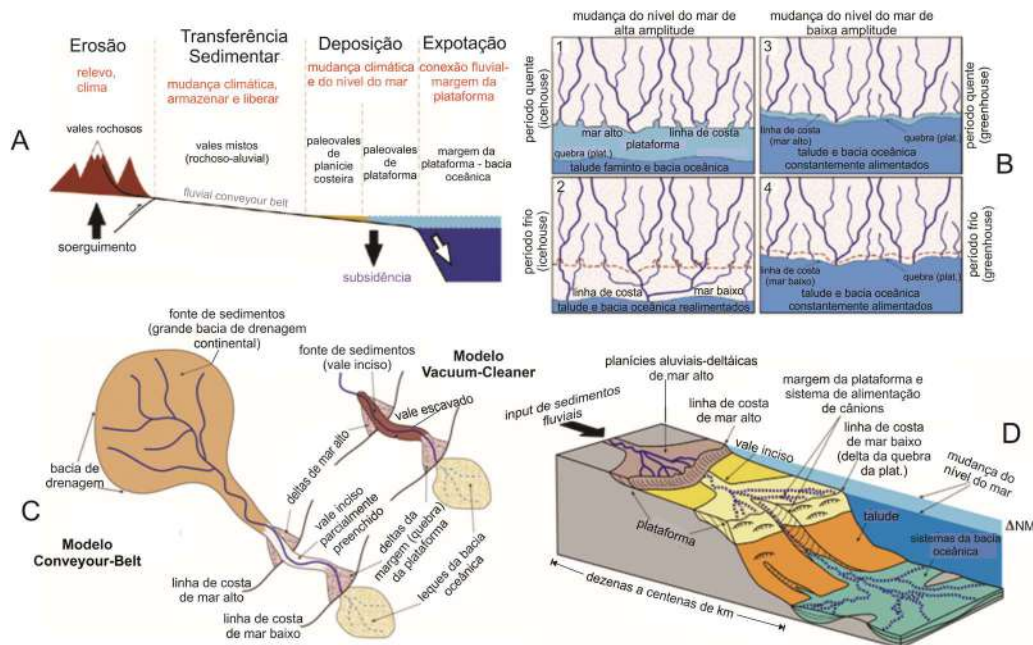


Figura 3. A - Representação espacial e principais características do princípio *Source-to-Sink*; B - Relação entre a distribuição de drenagens com a mudança do nível do mar e períodos frios (2 e 4) e quentes (1 e 3); C - Funcionamento do princípio *Source-to-Sink* conforme dois modelos; D - Características fisiográficas de uma margem continental demonstrando a conectividade entre os sistemas terrígenos e marinhos. Fonte: Blum e Törnqvist (2000); Blum e Womack (2009); Blum et al. (2013).

2. ESTADO DA ARTE NA PLATAFORMA SEMIÁRIDA DO BRASIL

Os primeiros trabalhos que evidenciaram menções aos vales incisos e/ou paleocanais remontam a década de 1980 com a identificação dos paleocanais do Curu e Jaguaribe (FREIRE, 1985) e possivelmente o sistema de paleocanais entre Camocim e o Delta do Parnaíba (ZALAN et al., 1985). Sendo que os primeiros foram estudados por meio de batimetria e o segundo via perfilagem sísmica de subsuperfície e poços.

Maia (1993; 1998) identifica a existência de paleocanais (através de sondagens e sensores orbitais) associados ao baixo curso do Rio Jaguaribe e a tendência de migração para Oeste do atual canal. Desta forma, evidencia-se a identificação de paleocanais na zona costeira e plataforma continental, Almeida et al. (2016) através de sensoriamento remoto destacam a presença de paleocanal afogado na plataforma continental *offshore* a foz do Jaguaribe, assim como em Freire (1985).

Silva filho (2004) através de informações batimétricas reconstituiu a rede de paleocanais da plataforma continental do Ceará, sendo que os principais paleocanais que se destacaram neste modelo foram associados ao Coreau e Curu, além de ter apontado a existência do paleocanal do Apodi-Mossoró. Monteiro (2011) também reconstituiu as antigas redes de drenagens a partir da compilação de dados topográficos e batimétricos, criando um modelo topo-batimétrico. O autor identificou os paleocanais do Coreau, Acaraú, Aracatiaçu, Curu e Jaguaribe.

Silva (2015) e Silva e Morais (2013) utilizando de sensoriamento remoto e informações batimétricas estudaram os aspectos morfológicos do paleocanal do Coreau. Este mesmo paleocanal foi analisado por Farrapeira Neto (2013) a partir de informações sedimentares e batimetria. O autor destaca que este paleocanal afogado na plataforma interna possui profundidade de até ~45m e apresenta uma cobertura sedimentar recente predominantemente de origem bioclástica. Ximenes Neto (2018) também analisando este paleocanal, a partir de informações batimétricas, imagens de satélite e geofísica identificou que a principal incisão possui orientação (SSW-NNE) similar ao *trend* de falhas do domínio Médio-Coreau. Além disto, verifica-se que o preenchimento sedimentar associado ao afogamento da plataforma no estágio isotópico marinho I possui até 20 m de espessura.

Aquino da Silva et al., (2016) estudando os paleocanais afogados na plataforma adjacente ao Delta do Parnaíba através de sísmica rasa identificaram dois tipos de formas de canais (em U e em V) e na análise das fácies e refletores sísmicos foi possível distinguirem depósitos de ambientes fluviais e marinhos. Zalan et al., (1985) destaca a ocorrência no topo da sequência drift na região da sub-bacia de Piauí-Camocim (Bacia do Ceará) de grandes cânions preenchidos, além da presença de uma nítida discordância erosiva no Terciário.

Morais Neto et al. (2003) aponta que no talude continental da Bacia do Ceará diversos cânions se formaram em fases de rebaixamento do nível do mar, tais como o cânion de Curimã (sub-bacia de Mundaú). Almeida (2018) por meio de informações sísmicas e de poços destaca que os cânions nesta sub-bacia apresentam conectividade com a plataforma continental, ou seja, formaram antigos vales incisos que em períodos

de mar baixo funcionavam como importantes áreas de dispersão sedimentar da fonte a deposição (*source-to-sink*).

Através de dados sísmicos e de poços, Pessoa Neto (2003) destaca que os rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu se implantaram em suas posições atuais pelo menos desde o Mioceno Médio, sendo que durante períodos de queda do nível do mar vales incisos associados a estes rios se formam na plataforma continental adjacente.

Vital et al. (2010) analisando a arquitetura sismoestratigráfica do vale inciso do Apodi-Mossoró verificaram entre 4 a 6 unidades sísmicas e um horizonte principal. Sendo que este horizonte se refere a uma inconformidade erosiva que separa estratos pleistocênicos (abaixo) e holocênicos (acima), desta forma evidencia-se que as unidades acima deste horizonte se referem ao preenchimento do vale inciso durante a Transgressão Holocênica (afogamento da plataforma).

Schwarzer et al. (2006); Gomes e Vital (2010); Gomes (2012); Gomes et al. (2014) utilizando dados batimétricos, de sensores orbitais, gravimétricos e de sísmica rasa possibilitaram verificar a influência da herança estrutural nas principais dissecações da Bacia Potiguar – vales incisos do Piranhas-Açu e Apodi-Mossoró. O primeiro é oblíquo as principais falhas e aos grabéns e horsts da Bacia Potiguar. Já o segundo tem associação com o grabén de Grossos, o qual é uma área rebaixada na plataforma interna; o eixo NW-SE está alinhado com uma depressão alongada a leste, exibindo a extensão longitudinal das falhas costeiras do sistema de falhas Afonso Bezerra.

Almeida et al. (2015) identificaram através de batimetria multifeixe a presença de vários cânions submarinos (profundidades de ~250m de incisões e larguras de ~1700 km) no talude continental da Bacia Potiguar associados a continuação de vales incisos da plataforma. Dentre estes se destacam os cânions Areia Branca, Mossoró, Ponta do Mel, Porto do Manguê, Macau e Açu.

3. PRINCIPAIS TÉCNICAS

Destaca-se que será demonstrado o emprego apenas de técnicas indiretas (imagem de satélite, informação batimétrica e perfilagem sísmica) para a identificação de vales incisos ou paleocanais afogados. O uso de sondagens/testemunhos no piso marinho (técnica direta) propicia a compreensão do padrão de empilhamento sedimentar e arranjo de fácies, desta forma, o uso combinado de técnicas indiretas e diretas fornecem importantes dados para o entendimento da evolução dos processos denudacionais e deposicionais associados à feição que hoje se encontra em ambiente marinho.

3.1. Imagens de Satélite

O emprego de imagens de satélite para a identificação de vales incisos afogados ou qualquer padrão de forma submersa-rasa fornece a base para orientar estudos de campo. Na identificação de vales incisos ou paleocanais submersos na PSB, o principal satélite utilizado é o Landsat (5, 7 e 8), comumente utilizando das bandas do visível, azul/ultra azul e infravermelho (TABOSA et al. 2007; GOMES e VITAL, 2010; MONTEIRO, 2011; GOMES, 2012; SILVA, 2015; XIMENES NETO, 2018). O uso da banda 1 do Landsat 5 e 7 (0,45- 0,52 μ m) e das bandas 1 e 2 do Landsat 8 (0,43-0,51 μ m) são indicados para a visualização do piso marinho, pois esta faixa espectral do azul-ultra

azul permite penetração na coluna d'água (MONTEIRO, 2011; SILVA, 2015; XIMENES NETO, 2018).

A figura 4 demonstra o emprego da Landsat 8 na identificação de vales incisos afogados na plataforma continental. O fluxo de processamento nas bandas se deu a partir do realce de contraste, com posterior aplicação de filtros direcionais para compensação da intensidade nos histogramas de níveis de cinza em cada uma das cenas.

A partir disto, foi possível evidenciar duas principais incisões na Bacia Potiguar associadas aos vales do Apodi-Mossoró (Figura 4C) e Piranhas-Açu (Figura 4D). Já na Bacia do Ceará, evidenciou-se nitidamente o vale do Coreaú (Figura 4B) e uma incisão defronte a foz do Timonha-Ubatuba (Figura 4A). Porém, a incisão principal associada ao Parnaíba como pode ser verificado nos perfis e modelo batimétrico da figura 5 não foi identificada na imagem de satélite, possivelmente devido à maior presença de materiais em suspensão na coluna d'água, pois isto dificulta a penetração do espectro azul até o piso marinho.

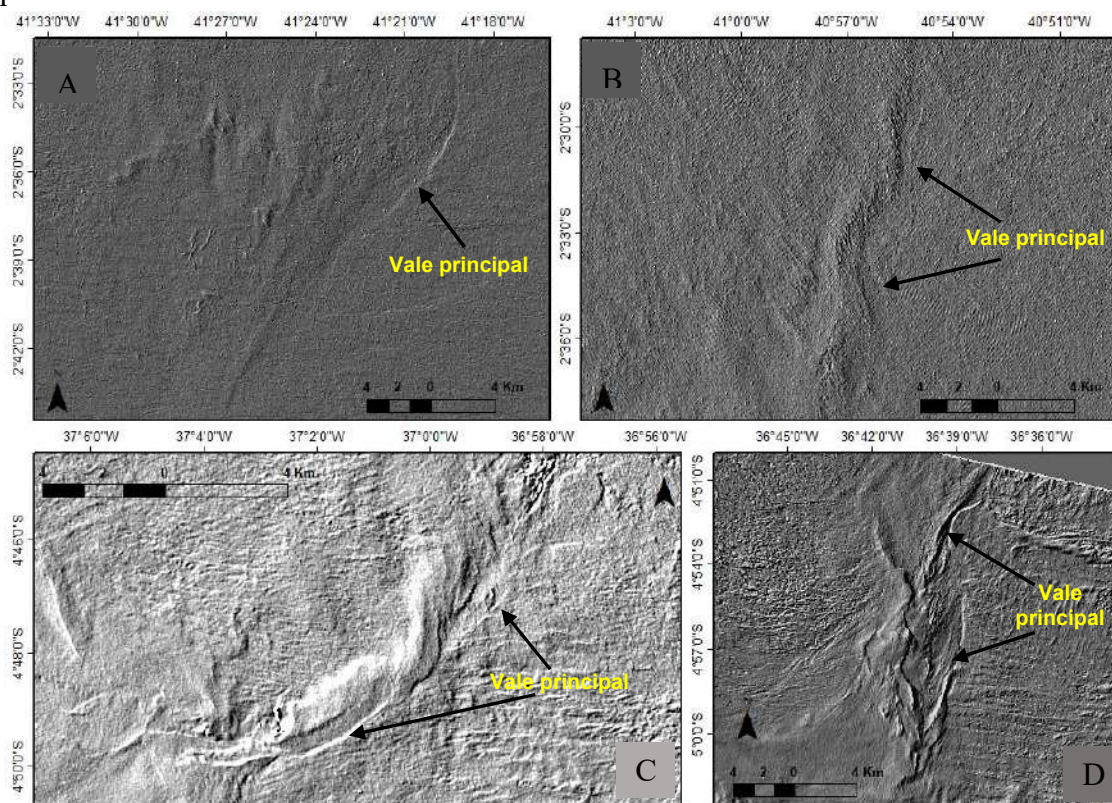


Figura 4. Uso de imagens orbitais Landsat 8 para identificação de vales incisos afogados na plataforma continental. A – Vale localizado entre o Coreaú e Parnaíba, de imageamento realizado em 11/08/2017. B – Vale Coreaú, com imageamento realizado em 05/09/2017. C – Vale Apodi- Mossoró, com imageamento em 16/06/2016. D – Vale Piranhas-Açu, de imageamento realizado em 25/06/2016.

3.2. Informações Batimétricas

A batimetria consiste na obtenção da espessura da coluna d'água/profundidade do piso marinho, é o método sísmico mais tradicional, porém por meio de radar e satélites também se pode obter a batimetria. A técnica básica utilizando um transdutor acústico consiste em emitir um único pulso (batimetria monofeixe) ou múltiplos pulsos (batimetria multifeixe) de som e medir o tempo decorrido até que ele seja refletido no piso marinho

e detectado por um hidrofone a bordo. A metade do tempo de viagem de ida e volta multiplicado pela velocidade do som na água do mar (~1.500 m/s) é igual à profundidade em um determinado ponto (DIERSSEN e THEBERGE Jr, 2014).

A batimetria pode ser obtida via coleta de dado em campo através de um transdutor acústico, via sensores remotos (satélite e radar) e/ou através de cartas náuticas (como disponibilizadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN). A partir disto, podem-se criar, por exemplo, perfis batimétricos e modelos digitais batimétricos (MDB), pois estes serão fundamentais na identificação de vales incisos.

Com o auxílio das Cartas Náuticas (CN) 21700, 21900 e Folhas de Bordo (FB) 600, 700 da DHN foi possível a identificação de feições que podem estar associada a paleocanais e/ou vales incisos a partir do uso das isóbatas (linhas de mesma profundidade) e MDB. Destaca-se que na figura 5 é demonstrado dois exemplos da Bacia do Ceará e na figura 6 dois exemplos na Bacia Potiguar.

Na figura 5A é possível evidenciar que as principais características associadas a um paleocanal a partir do emprego de uma carta náutica são: inflexão de isóbatas (neste caso de -20m) em direção a costa e/ou setores mais rasos e a nítida presença de setor canalizado (relativamente confinado) que apresenta maiores profundidades. Notar que estas características são facilmente visualizadas no caso do Coreaú (perfil A-A') e Parnaíba (perfil C-C'). Destaca-se que entre estes dois ocorrem áreas rebaixadas delimitadas pela isóbata de -20m que podem se associar a paleocanais, além de um alto batimétrico delimitado pela isóbata de -10m. Essa incisão entre o Parnaíba e o Coreaú é nitidamente verificada na Landsat 8, ver figura 4A.

Ressalta-se que foi realizado um MDB a partir de FB como pode ser visto figura 5C, aonde é possível verificar que os “prováveis paleocanais” do perfil B-B' aparecem com as duas características acima destacada para a identificação de um típico paleocanal, sendo que o emprego de um método direto (como uma sondagem) ou outro método indireto (*e.g.*, sísmica rasa) poderia validar que se trata realmente de um paleocanal (B-B'). Desta forma, evidencia-se que as folhas de bordo apresentam uma maior resolução do que a carta náutica; observar no MDB (figura 5B – para o vale do Parnaíba) aonde foi empregado apenas informações da CN e no MDB (figura 5C – vale do Coreaú) com o uso da FB.

Desta forma, evidencia-se que o emprego de informações batimétricas secundárias (dados pré-existent) é uma ferramenta importante para a identificação de macro-feições, sendo que dois grandes vales foram verificados e uma terceira situação em que o relevo rebaixado e canalizado pode estar associado à paleocanais.

Na figura 6 é possível verificar os dois principais vales incisos da Bacia Potiguar, o Apodi-Mossoró e o Piranhas-Açu. Estas feições foram identificadas a partir do uso de CN. A isóbata de -10m é a principal delimitadora das duas grandes incisões na plataforma interna, sendo que a isóbata de -20m também ocorre no setor confinado principal da incisão, como são verificados nos perfis D-D' e E-E' (Figura 6A). Esta isóbata apresenta uma inflexão em direção a costa associada ao Piranhas-Açu, o que denota a continuação da incisão pela plataforma média. Defronte a incisão principal do Apodi-Mossoró algumas incisões associadas à isóbata de -20m ocorre, porém sem definir bem um relevo

canalizado. No entanto, analisando o MDB é possível verificar a conexão destas incisões com a incisão principal (Figura 6B).

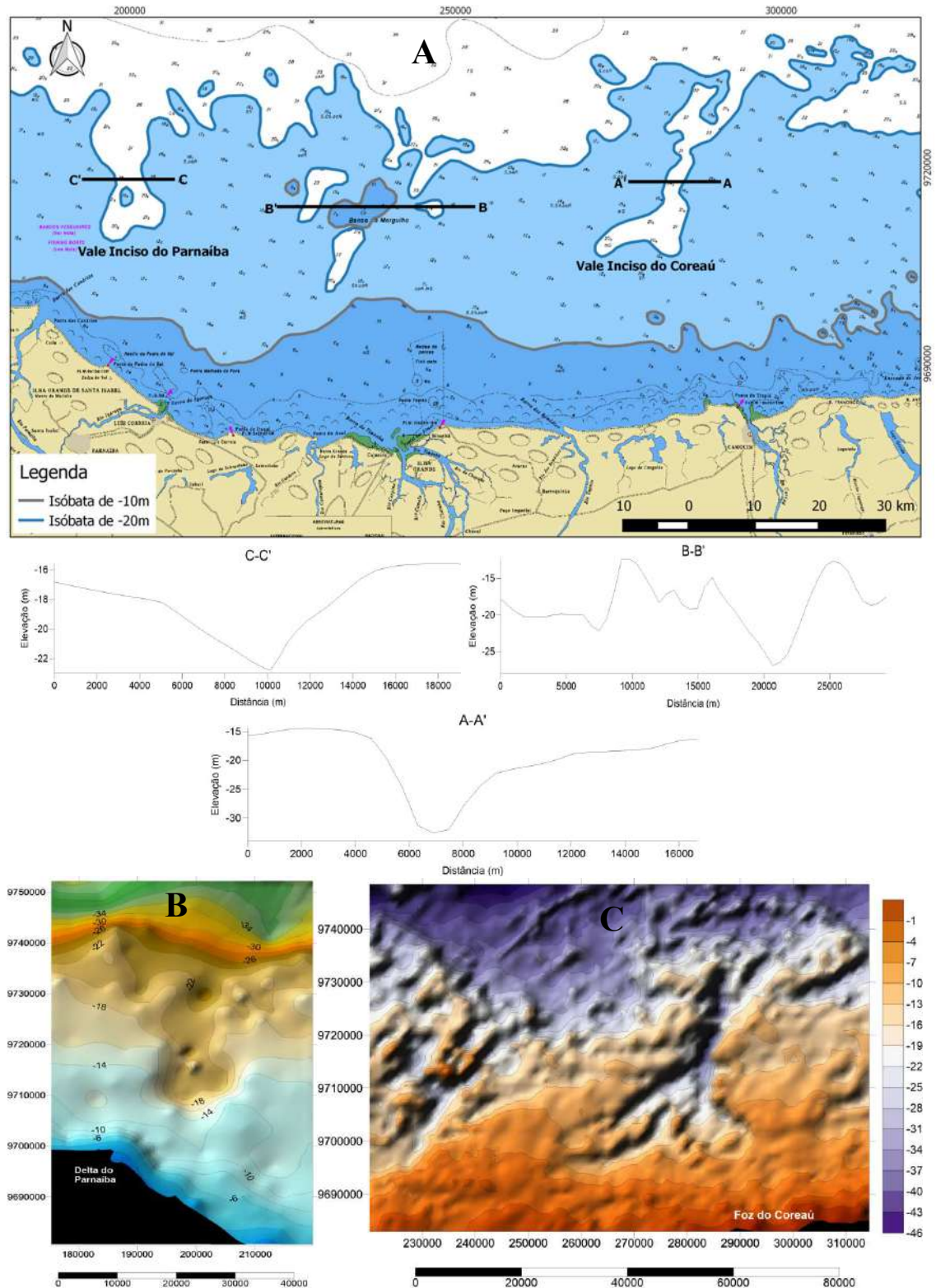


Figura 5. A - Exemplo do emprego de uma Carta Náutica (CN) para a identificação de vales incisos afogados em plataforma continental na Bacia do Ceará, além de perfis batimétricos que validam a ocorrência desta feição. B – MDB associado ao Parnaíba (baixa resolução - CN). C – MDB associado ao Coreaú (maior resolução – Folha de Bordo, FB). Fonte: DHN.

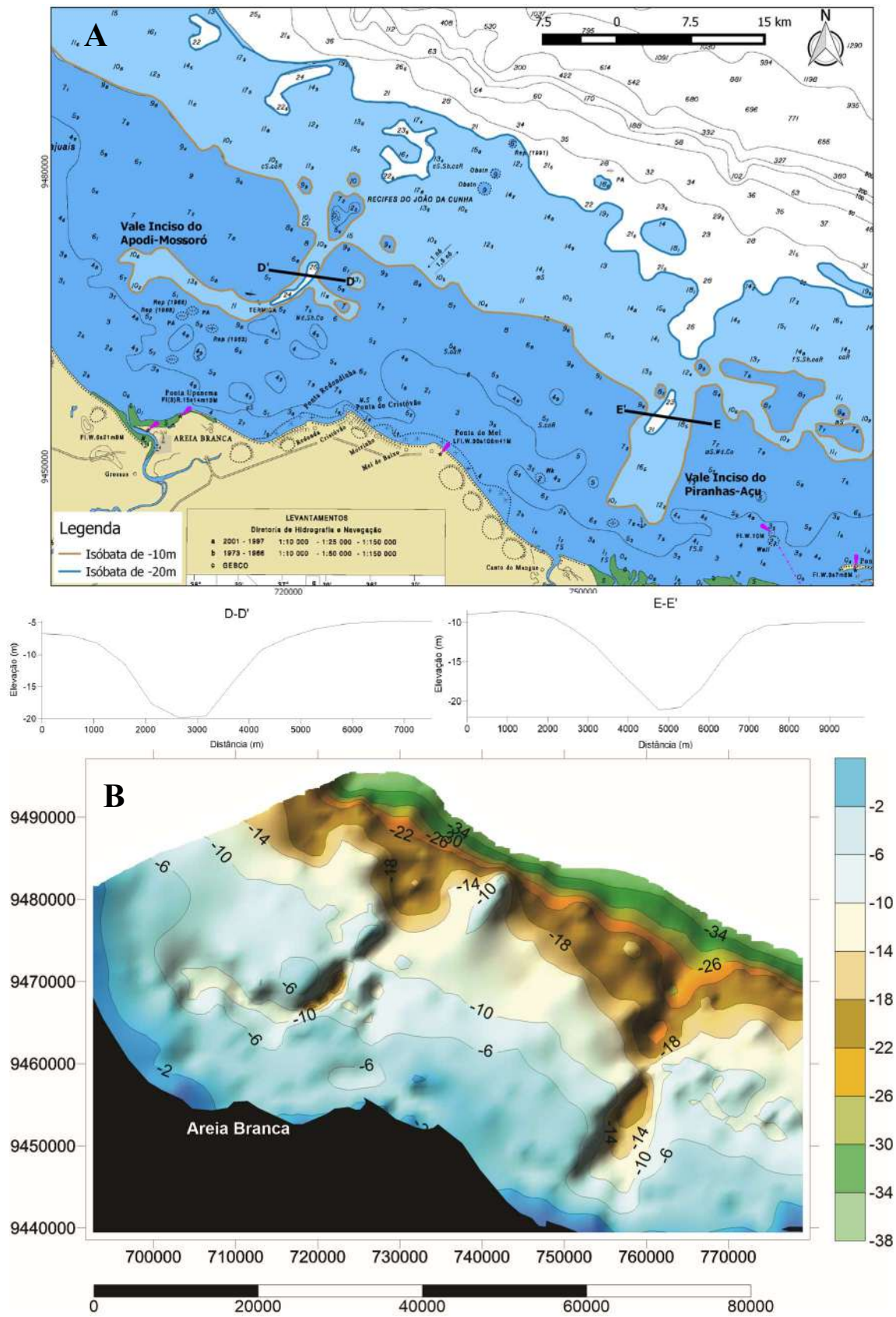


Figura 6. A - Exemplo do emprego de uma Carta Náutica (CN) para a identificação de vales incisos afogados em plataforma continental na Bacia Potiguar, além de perfis batimétricos que validam a ocorrência desta feição. B - MDB associado aos vales do Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu. Fonte: DHN.

A principal diferença entre os vales incisos da Bacia Potiguar para os vales incisos da Bacia do Ceará é a ocorrência de incisões em setores na plataforma interna mais proximal da costa (Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu).

3.3. Perfilagem Sísmica de Subsuperfície

A perfilagem sísmica de subsuperfície se refere ao emprego de fontes sísmicas que possibilitam a penetração no piso marinho. Souza (2006) enquadra dois sistemas: (a) baixa frequência e alta energia e (b) alta frequência e baixa energia. O primeiro sistema é empregado para investigação profunda (*e.g.*, prospecção de petróleo). Já o segundo sistema se refere à investigação rasa (*e.g.*, engenharia costeira). Destaca-se que o segundo sistema é o mais aplicado na PSB para a identificação de vales incisos na plataforma.

Para o vale inciso do Parnaíba, Aquino da Silva et al. (2016) utilizaram o sub-bottom profiler (SES 2000) em dupla frequência (baixa frequência 4-8 kHz e alta frequência 100 kHz). A partir disto, foi possível evidenciar vales incisos em subsuperfície na morfologia em U e V com estruturas internas de preenchimento em dois padrões: acreção vertical e migração lateral de barras em pontal. Os vales incisos apresentam preenchimento de até ~10m.

Para o vale inciso do Coreaú, Ximenes Neto (2018) utilizou o sub-bottom profiler (SB-216S) no espectro de frequência de 2-12 kHz. Foi possível verificar que este vale inciso está parcialmente preenchido, com até ~20m de pacote sedimentar. Sendo que o preenchimento foi nitidamente influenciado pela paleotopografia, aonde é possível verificar depocentros relacionados a calhas fluviais.

No vale inciso do Apodi-Mossoró, Vital et al. (2010) utilizaram o emprego do sub-bottom profiler (X-Star 3200-XS) no espectro de frequência de 0,5-6 kHz. Verificase que este vale apresenta até ~40m de espessura sedimentar que preenche o vale inciso. Sendo que algumas feições foram evidenciadas como formas tabulares que podem estar associadas a substratos consolidados, apresentando assim, um importante papel da topografia antecedente.

Já no vale inciso do Piranhas-Açu, Gomes (2012) a partir do sub-bottom profiler (X-Star 3200-XS) no espectro de frequência de 0,5-8 kHz verificou um preenchimento do vale inciso em ~40m. Algumas feições foram identificadas, tais como clinofomas progradantes, bioconstruções recifais e antigos terraços.

Algumas seções sísmicas interpretadas destes vales podem ser visualizadas no próximo tópico, na figura 8.

4. ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIA DE VALES INCISOS

As principais abordagens metodológicas comumente utilizadas para a compreensão do sistema de vales incisos (erosão e preenchimento) são o modelo de fácies e a estratigrafia de sequência. O modelo de fácies foi brevemente exposto nos tópicos 1.2 e 1.2.1, ver a figura 2 e tabela 1. Desta forma, será explanada aqui apenas a estratigrafia de sequências, principalmente a estratigrafia sísmica por meio de exemplos da PSB apontados no item 3.3.

A estrutura da estratigrafia de sequência é baseada na compreensão da interação de controles locais e globais na acomodação e sedimentação que gera registros cíclicos de múltiplas escalas. Em diferentes escalas podem ser definidas as sequências, os tratos de sistemas e os sistemas deposicionais. Destaca-se que os padrões de empilhamento estratigráficos fornecem a base para a definição de todas as unidades e superfícies da estratigrafia de sequência (CATUNEANU, 2017). Para a compreensão integral desta metodologia, ver Catuneanu et al. (2011) e Catuneanu (2019).

Apresentar-se-á apenas alguns conceitos fundamentais da estratigrafia de sequência aplicada no estudo dos vales incisos, conforme abordagem de Zaitlin et al. (1994) e Boyd et al. (2006). As principais superfícies estratigráficas de sequência identificadas em vales incisos são: limite de sequência (*sequence boundary* - SB), superfície transgressiva (ST), superfície de inundação máxima (SIM), superfície de ravinamento por onda (SRO) e superfície de ravinamento por maré (SRM), tabela 1. Além destas, também se verifica a diastema de cabeceira de baía (DCB). Entre estas superfícies ocorrem os tratos de sistemas, os principais identificados em vales incisos com preenchimento sedimentar são: Trato de Sistema de Mar Baixo (TSMB), Trato de Sistema de Mar Alto (TSMA) e Trato de Sistema Transgressivo (TST). A figura 7 demonstra o posicionamento destas superfícies e tratos de sistemas no Sistema Vales Incisos.

Dentre as superfícies apresentadas, a principal é a SB, pois esta caracteriza a base do vale inciso e justifica o uso deste termo. Sendo assim, um SB é definido como inconformidades erosivas e suas conformidades correlativas que são produto de uma queda do nível do mar que erode a superfície subaérea exposta (CATUNEANU, 2002). O TSMB (material fluvial) se forma entre o SB e a ST.

Com a posterior subida do nível do mar este vale inciso é afogado e as demais superfícies estratigráficas são formadas. Allen e Posamentier (1993) destacam que a ST se forma na base do TST e com a contínua transgressão, areias e lamas estuarinas são sobrepostas por areias de *inlets* de maré provenientes do fim do estuário (*seaward*). A superfície originada entre estas duas associações de fácies é a SRM. Já o recuo da antepaia (*shoreface*) devido à erosão das ondas produz a SRO que pode truncar os depósitos estuarinos subjacentes e acima desta superfície ocorre a deposição de sedimentos marinhos (BOYD et al., 2006). Desta forma, verifica-se que a transgressão marinha no vale inciso proporciona uma migração/avanço da sedimentação costeira/marinho-raso em direção ao continente. No fim da subida do nível do mar é observada uma tendência de mudança de transgressão para regressão, sendo que isto proporciona processos progradacionais, como visto nos deltas de cabeceira de baía (ALLEN e POSAMENTIER, 1993). Nesta fase de mudança (transgressão para regressão) a principal superfície que marca a transição de retrogradação para progradação é a SIM (BOYD et al., 2006). Acima desta superfície ocorre o TSMA, ou seja, isso proporciona uma migração/avanço da sedimentação fluvial/costeira em direção ao mar.

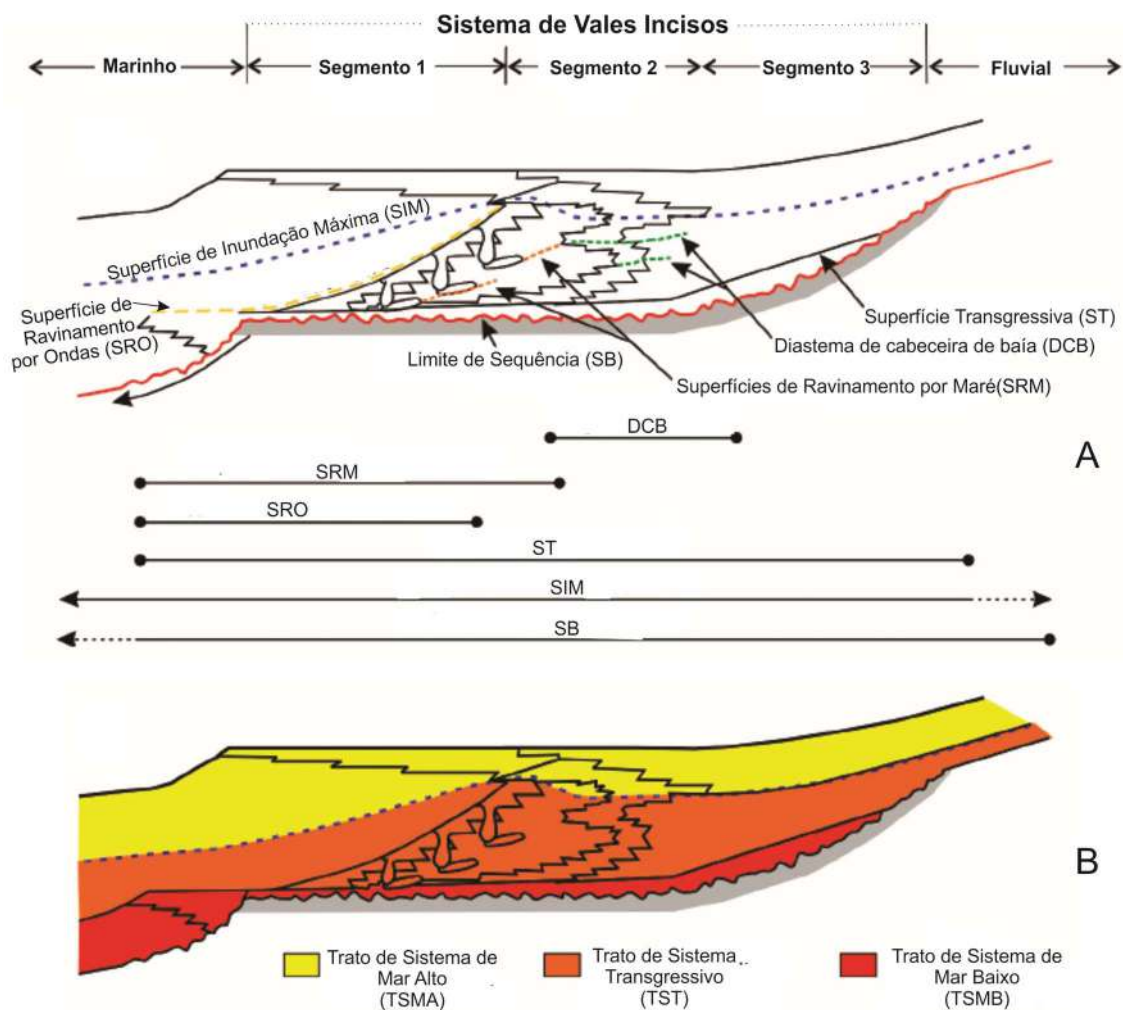


Figura 7. Superfícies estratigráficas (A) e Tratos de Sistemas (B) que se desenvolvem no Sistema de Vales Incisos. Fonte: Boyd et al. (2006).

Dalrymple et al. (1994) destacam que na interpretação estratigráfica de sequência de vale inciso é importante identificar os fatores ambientais locais que controlam a natureza das fácies e superfícies. Estas superfícies podem apresentar origens complexas (podem estar amalgamadas). Além disto, a topografia antecedente pode interferir na amplitude da maré.

Os quatro grandes vales incisos da PSB destacados acima apresentam interpretações sobre a estratigrafia sísmica. A figura 8 demonstra as principais características sismoestratigráficas destes vales.

Analisando as interpretações dos vales incisos da PSB a partir da estratigrafia sísmica é destacada a nítida presença de uma superfície basal principal que representa o limite de sequência (SB). A SB foi originada em período de mar baixo e representa uma inconformidade erosiva de materiais pré-Holocênicos (como a Formação Tibau). Já em relação ao preenchimento sedimentar associado à subida do nível do mar na Transgressão Holocênica, verifica-se os padrões de empilhamento sedimentar representados por TSMB, TST e TSMA, a exceção foi o Apodi-Mossoró, pois a seção que representa o vale inciso só apresenta o TST (no trabalho de VITAL et al., (2010) em demais seções é

possível evidenciar outros padrões de empilhamento). O arranjo distinto dos três Tratos de Sistemas denota a importância de fatores locais na influência do arranjo deposicional, tais como a paleotopografia e processos autogênicos.

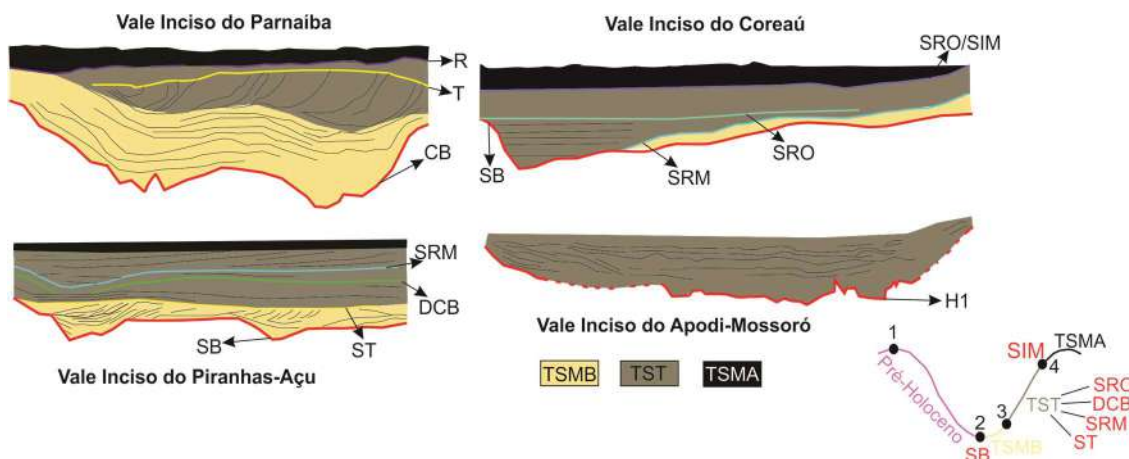


Figura 8. Principais características dos quatro grandes vales incisos da PSB conforme as interpretações da estratigrafia de sequência (Tratos de Sistemas e Superfícies) aplicada a estas feições por meio da estratigrafia sísmica. Notar o uso de termos distintos para se referir as principais superfícies-chave. Destaca-se a curva de eventos conforme a variação do nível do mar (1 – início da queda do nível relativo do mar; 2 - fim da queda do nível relativo do mar; 3 – fim da regressão; 4 – fim da transgressão). Ressalta-se que o TSMA do Piranhas-Açu foi adicionado de maneira demonstrativa da sedimentação moderna. Fonte: adaptado de Vital et al. (2010) - Apodi-Mossoró; Catuneanu et al. (2011) e Boyd et al. (2006) - curva de eventos; Gomes (2012) - Piranhas-Açu; Aquino da Silva et al. (2016) - Parnaíba; Ximenes Neto (2018) - Coreaú.

Destaca-se que nos vales inciso do Coreaú (XIMENES NETO, 2018) e Piranhas-Açu (GOMES, 2012) as superfícies-chave empregadas seguem a denominação de Zaitlin et al. (1994) e Boyd et al. (2006). No vale inciso do Parnaíba (AQUINO DA SILVA et al., 2016) os termos base de canal (CB), horizonte regional (R) e superfície transgressiva (T) se referem respectivamente a SB, SIM e ST. Já no vale inciso do Apodi-Mossoró (VITAL et al., 2010) o termo Horizonte 1 (H1) se refere a SB.

Acima da SB verifica-se a deposição do TSMB que nos vales incisos do Parnaíba, Coreaú e Piranhas-Açu é interpretada como depósitos fluviais. No topo deste trato de sistema é evidenciada uma ST, no Piranhas-Açu que foi interpretada como o limite em direção ao continente de depósitos estuarinos transgressivos (GOMES, 2012). No Coreaú o topo do TSMB é marcado pela SRM que é associada às primeiras incursões marinhas dentro do vale (XIMENES NETO, 2018), esta superfície pode ser a superfície transgressiva destacada por Boyd et al. (2006). Já no caso do Parnaíba, os autores não destacaram a presença de uma superfície chave (AQUINO DA SILVA et al., 2016).

O TST apresenta como superfícies-chave em sua base a SB (Coreaú, Apodi-Mossoró, Piranhas-Açu e Parnaíba), SRM (Coreaú) e ST (Piranhas-Açu). A principal característica do TST é a presença de refletores plano-paralelos e terminações *onlap* nos muros do vale como verificado nos vales do Coreaú e Apodi-Mossoró (VITAL et al., 2010; XIMENES NETO, 2018) e de refletores oblíquos/inclinados com terminações *downlap* como verificado no Apodi-Mossoró, Piranhas-Açu, Coreaú e Parnaíba (VITAL

et al., 2010; GOMES, 2012; AQUINO DA SILVA et al., 2016; XIMENES NETO, 2018). Outras superfícies-chave que ocorrem no TST são a SRM e DCB no Piranhas-Açu (GOMES, 2012), a SRO no Coreaú (XIMENES NETO, 2018) e a ST no Parnaíba (denominada por T – AQUINO DA SILVA et al., 2016).

Nos vales do Piranhas-Açu, Parnaíba e Coreaú são verificados a ocorrência de gás que se associam a depósitos estuarinos. Weschenfelder et al. (2016) destacam que a acumulação de gás apresentam uma forte relação com a paleotopografia de sistemas de vales incisos, sendo que a sua formação se dá a partir da degradação da matéria orgânica e consequente formação nos interstícios granulares.

O topo do TST e consequente base do TSMA é marcado pela SIM como verificado no Parnaíba e Coreaú ou o piso marinho como visto no Coreaú, Piranhas-Açu e Apodi-Mossoró (VITAL et al., 2010; GOMES, 2012; AQUINO DA SILVA et al., 2016; XIMENES NETO, 2018). Sendo que no Coreaú, a ocorrência da SIM é pontual, aonde uma associação com a SRO pode ocorrer. O TSMA do Piranhas-Açu foi adicionado de forma representativa para demonstrar que este trato de sistema é representado pela deposição moderna de lama marinha.

5. IMPORTÂNCIA DA HERANÇA ESTRUTURAL

Os quatro principais vales incisos destacados na PSB apresentam uma nítida associação com o arranjo dos principais falhamentos das bacias marginais, figura 9. Sendo que as suas incisões principais ocorrem nos setores mais rasos da PSB, aonde Silva Filho (2004) destaca a influência do embasamento cristalino mais raso (como na plataforma Parnaíba) e Castro et al. (2012) demonstram a continuação de falhas/zonas de cisalhamento continentais para o ambiente marinho (como na Bacia Potiguar). Denotando assim, a importância da herança estrutural pré-Cambriana. Castro et al. (2012) enfatizam que durante o Cretáceo, a extensão NW-SE favoreceu o desenvolvimento de uma série de *rift* em bacias intracratônicas dentro da Província Borborema, preferencialmente reativando preexistentes zonas de cisalhamento de *trend* NE-SW.

Os vales incisos do Parnaíba e Coreaú na Bacia do Ceará apresentam as suas incisões principais bem delimitadas pela isóbata de -20m, aonde é possível identificar a nítida influência morfoestrutural associada à Plataforma Parnaíba (PP) e a Falha de Camocim (FC), figura 9B. Esta falha está disposta no controle da incisão principal do Parnaíba e do Coreaú. Sendo que neste, a FC delimita o início de um setor confinado na parte central do vale inciso (XIMENES NETO, 2018).

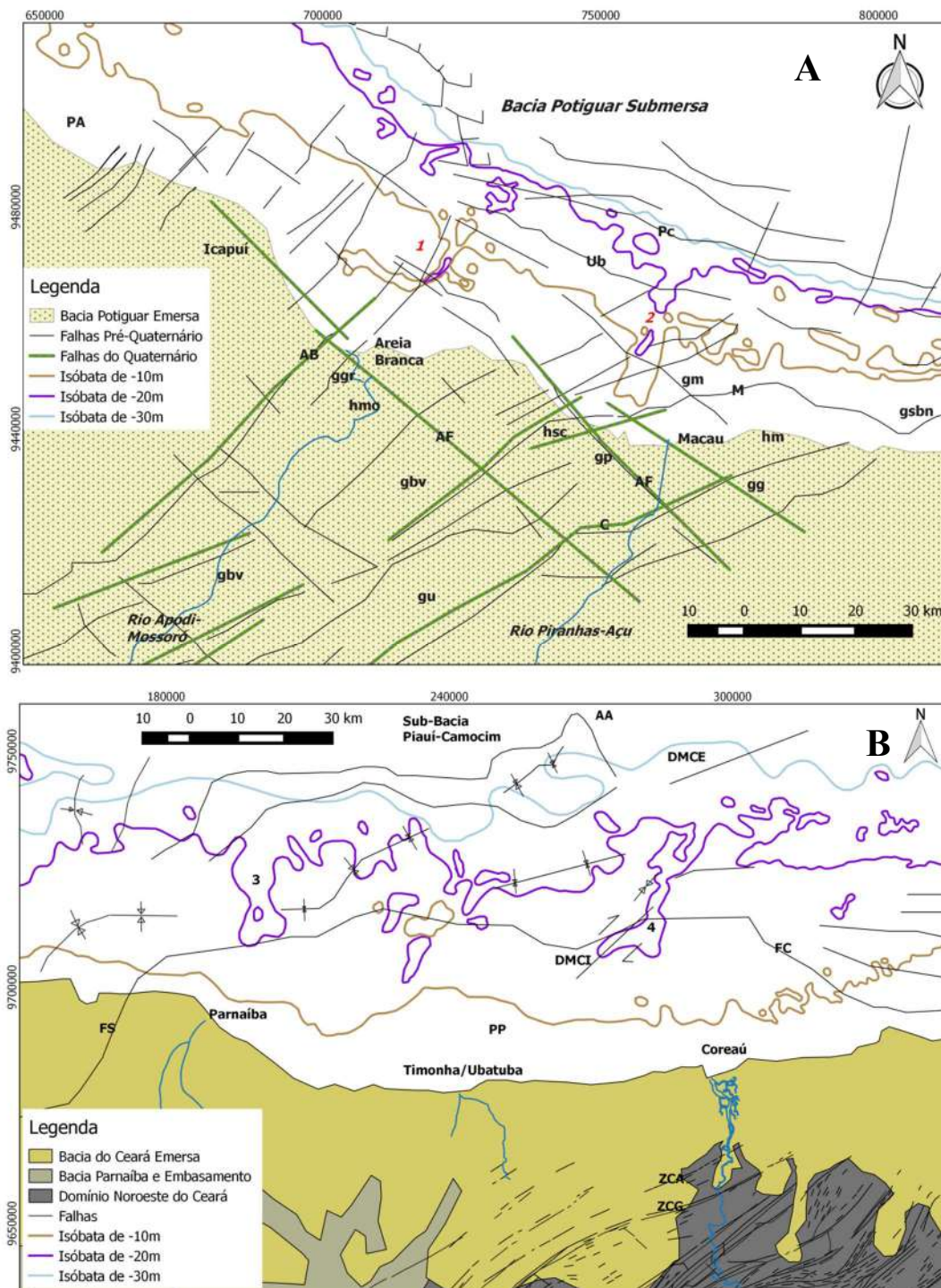


Figura 9. Arcabouço estrutural associado às Bacias Potiguar e do Ceará nos trechos relacionados aos vales incisos do Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu (A – 1 e 2) e Parnaíba e Coreaú (B – 3 e 4). Siglas Bacia Potiguar: Falhas – Afonso Bezerra (AF), Carnaubais (C), Macaú (M), Ubarana (Ub), Pescada (Pc), Areia Branca (AB); Grabéns – São Bento do Norte (gsbn), Guamaré (gg), Umbuzeiro (gu); Boa Vista (gbv); Pendências (gp), Macaú (gm), Grossos (ggr); Horsts – Mossoró (hmo), Serra do Carmo (hsc), Macaú (hm); e Plataforma Aracati (PA). Siglas Bacia do Ceará: Plataforma Parnaíba (PP); Falha de Sobradinho (FS); Falha de Camocim (FC); Alto Atlântico (AA); Domínio Morfoestrutural Camocim Interior (DMCI); Domínio Morfoestrutural Camocim Exterior (DMCE); Zona de Cisalhamento de Adrianópolis (ZCA) e Zona de Cisalhamento de Granja (ZCG). Fonte: CPRM (2003); Morais Neto et al. (2003); Silva Filho (2004); Gomes et al. (2014); Souza (2015).

A sub-bacia de Piauí-Camocim possui dois domínios morfoestruturais segundo Silva Filho (2004), o Camocim Interior (DMCI) e o Camocim Exterior (DMCE). O DMCI ocorre na plataforma interna (<20m) apresenta descontinuidades e quebras de declives NE-SW e secundariamente feições NW-SE, além de possuir a PP que apresenta o embasamento raso. O DMCE ocorre acima da isóbata de -20m e apresenta feições alinhadas preferencialmente E-W e NE-SW. Silva Filho (2004) enfatiza que o DMCI apresenta influência da herança estrutural pré-Cambriana devido a continuação em sub-superfície do Domínio Noroeste do Ceará (zonas de cisalhamento NE-SW) associado a PP; já o DMCE demonstra a influência da herança estrutural cretácea associada ao cisalhamento principal (E-W) que ocorre nas proximidades da isóbata de -20m e os cisalhamentos antitéticos (NW-SE) que controlam os *grabéns e horsts*.

Destaca-se também que a falha de Camocim é o prolongamento da falha de Sobradinho (FS). A FS ocorre na Bacia de Barreirinhas (setor emerso) apresentando 1000m de rejeito, esta falha é o limite norte da plataforma de sobradinho, aonde é possível verificar paleoaltos Paleozóicos, altos Cretáceos, sub-bacias Paleozóicas e pequenas estruturas dômicas alinhadas a FS (OJEDA, 1983).

Os vales incisos do Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu apresentam a sua configuração nitidamente influenciada pelas estruturas da Bacia Potiguar, destaca-se que a isóbata de -10m delimita as incisões principais dos dois vales, sendo que no Piranhas-Açu a isóbata de -20m demonstra o prolongamento da incisão *offshore*, figura 9A. Assim, como nos vales da Bacia do Ceará, existe um link *onshore-offshore* de falhas, como visto na extensão das falhas Afonso Bezerra - AF (eixo WNW) e Areia Branca - AB (eixo NNE) na conformação do vale inciso do Apodi-Mossoró (GOMES et al., 2014). Este vale em forma de “J” (VITAL et al., 2010) ocorre em um setor côncavo que se associa ao grabén de Grossos (ggr).

Gomes et al. (2014) destacam que o padrão morfológico do vale inciso do Piranhas-Açu é nitidamente influenciado com as falhas de *trend* WNW e NE. Estas falhas e os grabéns de Ubarana (gu) e Boa Vista (gbv) se relacionam com a orientação do canal e quebras de relevo na plataforma continental. Desta forma, destaca-se a importância da herança estrutural pré-Cambriana, Cretácea e atividades de neotectônica na influência geomórfica pré-Holocênica na plataforma continental.

6. CONCLUSÃO

Os estudos de vales incisos submersos na PSB datam pelo menos desde a década de 1980, sendo que as principais ferramentas empregadas para a identificação de vales incisos foram técnicas indiretas – batimetria, imagem de satélite e perfilagem sísmica de subsuperfície. Ressalta-se que a década de 2010 apresenta a maior quantidade de estudos, com destaque para o avanço do emprego de perfilagem sísmica e uso da estratigrafia de sequência para compreender o preenchimento sedimentar dos vales incisos. Nestas quatro décadas, oito paleocanais afogados na PSB foram identificados – Acaraú, Apodi-Mossoró, Aracatiaçu, Coreaú, Curu, Jaguaribe, Parnaíba e Piranhas-Açu. No entanto, apenas na metade destes (Apodi-Mossoró, Coreaú, Parnaíba e Piranhas-Açu) os estudos apresentavam informações da subsuperfície e conseqüente interpretações dos processos denudacionais em períodos de exposição da plataforma e preenchimento sedimentar

durante o afogamento da plataforma. A principal lacuna existente é a ausência de informações sedimentares do preenchimento destes vales incisos a partir de testemunhos. Esta técnica juntamente com a estratigrafia sísmica auxiliária interpretações mais robustas da estratigrafia de sequência e modelo de fácies.

Referências Bibliográficas

ABREU, J. G. N; CALLIARI, L. J. Paleocanais na plataforma continental interna do Rio Grande do Sul: evidências de uma drenagem fluvial pretérita. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.23(2), p. 123-132. 2005.

ALLEN, G. P; POSAMENTIER, H. W. Sequence stratigraphy and facies model of an incised-valley fill: The Gironde estuary, France: **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 63, p. 378–391, 1993.

ALMEIDA, N.M; VITAL, H; GOMES, M.P. Morphology of submarine canyons along the continental margin of the Potiguar Basin, NE Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, v. 68, p. 307-324, 2015

ALMEIDA, N.M; FREIRE, G.S.S; SOUTO, M.V.A; NORMANDO, M.N. Mapeamento de estruturas submersas e sedimentologia utilizando dados SRTM Plus e Landsat 8: Região adjacente ao Rio Jaguaribe, Plataforma Leste do Ceará. **Revista de Geologia**, v. 29, p. 133-146, 2016.

ALMEIDA, N.M. **Evolução tectono-sedimentar e sistema petrolífero de uma nova fronteira exploratória na Margem Equatorial Brasileira**. Tese de doutorado em Geologia, UFC. 143p. 2018.

AQUINO da SILVA, A. G; STATTEGGER, K; SCHWARZER, K; VITAL, H. Seismic stratigraphy as indicator of late Pleistocene and Holocene sea level changes on the NE Brazilian continental shelf. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 70, p. 188-197, 2016.

BHATTACHARYA, J.P; COPELAND, P; LAWTON, T.F; HOLBROOK, J. Estimation of source area, river paleo-discharge, paleoslope, and sediment budgets of linked deep-time depositional systems and implications for hydrocarbon potential. **Earth Science Reviews**, v. 153, p. 77-110, 2016.

BENTLEY SR, S.J; BLUM, M.D; MALONEY, J; POND, L; PAULSELL, R. The Mississippi River source-to-sink system: Perspectives on tectonic, climatic, and anthropogenic influences, Miocene to Anthropocene. **Earth-Science Reviews**, v. 153, p. 139-174, 2016.

BLUM, M. D; PRICE, D. M. Quaternary alluvial plain construction in response to interacting glacio-eustatic and climatic controls, Texas Gulf Coastal Plain. In: Shanley; McCabe. **Relative role of eustasy, climate and tectonism in continental rock [S.]**: Soc. Econ. Paleont. Miner. v. 59, p. 31-48, 1998.

BLUM, M. D; TÖRNQVIST, T. E. Fluvial responses to climate and sea level change: a review and look forward: **Sedimentology**, v. 47, p. 2–48, 2000.

BLUM, M. D; MARTIN, J; MILLIKEN, K; GARVIN, M. Paleovalley systems: Insights from Quaternary analogs and experiments. **Earth-Science Reviews**, v. 116, p. 128–169, 2013.

- BOYD, R; DALRYMPLE, R. W; ZAITLIN, B. A. **Estuarine and incised-valley facies models**. [S.l.]: Society for Sedimentary Geology, p. 171–235, 2006.
- CASTRO, D.L; BEZERRA, F.H.R; SOUSA, M.O.L; FUCK, R.A. Influence of Neoproterozoic tectonic fabric on the origin of the Potiguar Basin, northeastern Brazil and its links with West Africa based on gravity and magnetic data. **Journal of Geodynamics**, v. 54, p. 29– 42, 2012.
- CATUNEANU, O. Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls. **Journal of African Earth Sciences**, v. 35 (1), p. 1-43, 2002.
- CATUNEANU, O; GALLOWAY, W.E; KENDALL, C.G.ST.C; MIAL, A.D; POSAMENTIER, H.W; STRASSER, A; TUCKER, M.E. "sequence stratigraphy: Methodology and Nomenclature". **Newsletters on stratigraphy**, v. 44/3, p. 173–245. 2011.
- CATUNEANU, O. Sequence stratigraphy: guidelines for a standard methodology. In: Montenari, M. (Ed.), **Stratigraphy and Timescales**, v.2, p. 1–57. 2017.
- CATUNEANU, O. Model-independent sequence stratigraphy. **Earth-Science Reviews**, v. 188, p. 312–388, 2019.
- CAVALCANTE, A. A. Geomorfologia fluvial no semiárido brasileiro. **Revista de Geografia**, v. 35(4), p. 254–268. 2018.
- DALRYMPLE, R. W; ZAITLIN, B. A; BOYD, R. A conceptual model of estuarine sedimentation. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 62, p. 1030–1146, 1992.
- DALRYMPLE, R.W; BOYD, R; ZAITLIN, B.A. **Incised-Valley Systems: Origin and Sedimentary Sequences**, SEPM, Special Publication, v. 51, 391 p. 1994.
- DIERSSEN, H. M; THEBERGE Jr, A. E. Bathymetry: Assessing Methods. In: Wang, Y. **Encyclopedia of Natural Resources**, DOI: 10.1081/E-ENRW-120048588, 2014.
- FARRAPEIRA NETO, C. A. **Evolução paleogeográfica do baixo vale do Rio Coreau e plataforma continental, Ceará, Brasil**. Dissertação de Mestrado em Geografia – Universidade Estadual do Ceará, 150p, 2013.
- FISK, H. N. **Geological Investigation of the Alluvial Valley of the Lower Mississippi River**. Mississippi River Commission, Vicksburg: [s.n], 1944.
- FOYLE, A.M; OERTEL, G.F. Transgressive systems tract development and incised valley fills within a Quaternary estuary-shelf system: Virginia inner shelf, USA. **Marine Geology**, v. 137, p. 227–249, 1997.
- FREIRE, G. S. S. **Geologia Marinha da Plataforma Continental do Estado do Ceará**. 1985. Dissertação de Mestrado em Geologia - Universidade Federal de Pernambuco, 168p, 1985.
- GOMES, M.P; VITAL, H. Revisão da compartimentação geomorfológica da Plataforma Continental Norte do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40 (3), 321-329. 2010.
- GOMES, M.P. **Geomorfologia e arquitetura interna do vale inciso do Rio Açu na Bacia Potiguar imersa (NE BRASIL)**. Tese de Doutorado em Geodinâmica e Geofísica, UFRN, 183p, 2012.

- GOMES, M. P; VITAL, H; BEZERRA, F. H. R; CASTRO, D. L; MACEDO, J. W. P. The interplay between structural inheritance and morphology in the Equatorial Continental Shelf of Brazil. **Marine Geology**, v. 355, p. 150–161, 2014.
- GOMES, M. P; VITAL, H; STATTEGGER, K; SCHWARZER, K. Bedrock control on the Assu Incised Valley morphology and sedimentation in the Brazilian Equatorial Shelf. **International Journal of Sediment Research**, v. 31, p. 181–193, 2016.
- GREEN, A. N. Palaeo-drainage, incised valley fills and transgressive systems tract sedimentation of the northern KwaZulu-Natal continental shelf, South Africa, SW Indian Ocean. **Marine Geology**, v. 263, p. 46–63. 2009.
- HAY, W.W. Submarine Canyons. In: HARFF, J; MESCHÉDE, M; PETERSEN, S; THIEDE, J. **Encyclopedia of Marine Geosciences**. Springer, 2016.
- HANEBUTH, T. J. J; STATTEGGER, K. Depositional sequences on a late Pleistocene–Holocene tropical siliciclastic shelf (Sunda Shelf, southeast Asia). **Journal of Asian Earth Sciences**, v. 23, p. 113–126, 2004.
- JOLIVET, M; BARRIER, L; DAUTEUIL, O; LABORDE, A; LI, Q; REICHENBACHER, B; POPESCU, S-M; SHA, J; GUO, Z. Late Cretaceous–Palaeogene topography of the Chinese Tian Shan: New insights from geomorphology and sedimentology. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 499, p. 95–106, 2018.
- KUMAR, V. Palaeo-Channel. In: VIJAY P. SINGH; PRATAP SINGH; UMESH K. HARITASHYA. **Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers**. Springer. 2011.
- MAIA, L.P. **Controle tectônico e evolução geológica/sedimentar da região da desembocadura do Rio Jaguaribe**. Dissertação de Mestrado em Geologia, UFPE, 144p. 1993.
- MAIA, L.P. **Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-BRASIL): implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral**. Tese de Doutorado em Geologia - Universidade de Barcelona, 269p, 1998.
- MAZUMDER, R. **Sediment provenance: influences on compositional change from Source to Sink**. Elsevier, 595p, 2017.
- MELO, B.F. **Estudo do sistema de drenagem quaternário da plataforma continental na porção Norte da Bacia de Pelotas**. Monografia de Graduação em Oceanologia, 43p, 2017.
- MOLION, L.C.B; BERNARDO, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, p. 1–10, 2002.
- MONTEIRO, L. H. U. **Feições superficiais da plataforma continental cearense entre o litoral de Fortaleza e Icapuí**. Tese de Doutorado em Oceanografia - Universidade Federal de Pernambuco, 181p, 2011.
- MORAIS, J.O; XIMENES NETO, A.R; PESSOA, P.R.S; PINHEIRO, L.S. Morphological and sedimentary patterns of a semi-arid shelf, Northeast Brazil. **Geo-Marine Letters**. <https://doi.org/10.1007/s00367-019-00587-x>. 2019.
- MORAIS NETO, J. M; PESSOA NETO, O. C; LANA, C. C; ZALÁN, P. V. **Bacias Sedimentares Brasileiras: Bacia do Ceará**. **Phoenix**. 2003.
- NASCIMENTO SILVA, L.L; GOMES, M.P; VITAL, H. The Açú Reef morphology, distribution, and inter reef sedimentation on the outer shelf of the NE Brazil equatorial margin. **Continental Shelf Research**, v. 160, p. 10–22, 2018.

- OJEDA, H. A. O. Estrutura e Evolução das Bacias Mesozóicas Emersas da Margem Continental Brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 13(2), p. 71-83, 1983.
- PESSOA NETO, O.C. Estratigrafia de seqüências da plataforma mista neogênica na Bacia Potiguar, Margem Equatorial Brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, 33 (3), p. 263-278, 2003.
- PINHEIRO, L.S; XIMENES NETO, A.R; MEDEIROS, D.H.M; PESSOA, P.R.S; MORAIS, J.O. A Plataforma Continental Semiárida do Brasil. In: Muehe, D; Lins-de-Barros, F; Pinheiro, L.S. **Geografia Marinha: Oceanos e Costas na Perspectiva de Geógrafos**. 2020.
- POSAMENTIER, H. W; JERVEY, M. T; VAIL, P. R. Eustatic controls on clastic deposition I - conceptual framework. In: WILGUS, C. K., HASTINGS, B. S., KENDALL, C. G. St. C., POSAMENTIER, H. W., ROSS, C. A., VAN WAGONER, J. C (Orgs.). **Sea Level Changes: An Integrated Approach**. [S.l]: SEPM, Special Publication, 412p, 1988.
- POSAMENTIER, H. W; JAMES, D. P. Sequence stratigraphy – uses and abuses. In: **Sequence Stratigraphy and Facies Associations** (H. W. Posamentier, C. P. Summerhayes, B. U. Haq and G. P. Allen, Eds.). International Association of Sedimentologists Special Publication, v. 18, p. 3–18. 1993.
- POSAMENTIER, H. W; ALLEN, G. P. **Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications**. SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology v. 7, 210p, 1999.
- POSAMENTIER, H. W. Lowstand alluvial bypass systems: Incised vs. unincised: **AAPG Bulletin**, v. 85, n. 10, p. 1771–1793, 2001.
- SILVA, M. V. C; MORAIS, J. O. Morfologia de fundo do litoral do Camocim Estado do Ceará. **Anais: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.
- SILVA, M. V. C. **Análise Ambiental da Plataforma Continental do Ceará – Nordeste do Brasil**. Tese de Doutorado em Geografia - Universidade Estadual do Ceará, 158p, 2015.
- SILVA FILHO, W. F. **Domínios morfoestruturais da plataforma continental do Estado do Ceará**. Tese de Doutorado em Geologia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 288p, 2004.
- SCHWARZER, K; STATTEGGER, K; VITAL, H., BECKER, M. Holocene coastal evolution of the Rio Açu area (Rio Grande do Norte, Brazil). **Journal of Coastal Research** Special Issue, v. 39, p. 141–145, 2006.
- SOUZA, L. A. P. **Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas**. Tese de Doutorado em Oceanografia - Universidade de São Paulo, 311p, 2006.
- SUMMERFIELD, M. A. Plate tectonics and landscape development on the African continent. In **Tectonic Geomorphology** (M. Morisawa and J. Hack, Eds.), p. 27–51. Allen and Unwin, Boston, 1985.
- SYVITSKI, J.P.M; MILLIMAN, J.D, Geology, geography, and humans battle for dominance over the delivery of fluvial sediment to the coastal ocean. **Journal of Geology**, v. 115/1, p. 1-19, 2007.

TABOSA, W. F; AMARO, V. E; VITAL, H. Análise do ambiente costeiro e marinho, a partir de produtos de sensoriamento remoto na região de São Bento do Norte, NE Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.25 (1), 2007.

TESSON, M; POSAMENTIER, H; GENSOUS, B. Compound incised-valley characterization by high-resolution seismics in a wave-dominated setting: Example of the Aude and Orb rivers, Languedoc inner shelf, Gulf of Lion, France. **Marine Geology**, v. 367, p.1–21, 2015.

TJALLINGII, R; STATTEGGER, K; STOCCHI, P; SAITO, Y; WETZEL, A. Rapid flooding of the southern Vietnam shelf during the early to mid-Holocene. **Journal of Quaternary Science**, v. 29(6), p. 581–588, 2014.

VAIL, P. R; MITCHUM, R. M. Jr; THOMPSON, S. III. Seismic stratigraphy and global changes of sea level; Part 3, Relative changes of sea level from coastal onlap. **AAPG Memoir**, v. 26, p. 63-81, 1977.

VAN WAGONER, J. C; MITCHUM, R. M. Jr; CAMPION, K. M; RAHMANIAN, V. D. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, core, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. **American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series**, v. 7, p. 55, 1990.

VITAL, H; FURTADO, S. F. L; GOMES, M. P. Response of the Apodi-Mossoró estuary-incised valley system (NE Brazil) to sea-level fluctuations. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, p. 13-24, 2010.

XIMENES, NETO, A.R. **Evolução do Sistema de Paleocanais na Plataforma Continental Rasa de Camocim, CE-Brasil, durante o Quaternário Superior**. Dissertação de Mestrado em Geografia – UECE, 2018. 134p.

WALSH, J.P; WIBERG, P.L; AALTO, R; KUEHL, S. Source-to-Sink Research: Economy of the Earth's Surface and its Strata. **Earth-Science Reviews**, v. 153, p. 1-6, 2016.

WELLNER, R. W; BARTEK, L. R. The effect of sea level, climate, and shelf physiography on the development of incised-valley complexes: a modern example from the east China sea. **Journal of Sedimentary Research**, v. 73 (6), p. 926–940, 2003.

WESCHENFELDER, J; KLEIN, A. H. F; GREEN, A. N; ALIOTTA, S; MAHIQUES, M. M; AYRES NETO, A; TERRA, L. C CORRÊA, I. C. S; CALLIARI, L. J; MONTOYA, I; GINSBERG, S. S; GRIEP, G. H. The control of palaeo-topography in the preservation of shallow gas accumulation: Examples from Brazil, Argentina and South Africa. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 172, p. 93-107, 2016.

ZAITLIN, B. A; DALRYMPLE, R. W; BOYD, R. The stratigraphic organisation of incised valley systems associated with relative sea-level change. In: DALRYMPLE, R.W., BOYD, R.J., ZAITLIN, B.A. (Orgs.). **Incised Valley Systems: Origin and Sedimentary Sequences**. [S.l]: Society of economic paleontologists and mineralogists., 1994. 380p.

ZALAN, P. V; NELSON, E. P; WARME, J. E; DAVIS, T. L. The Piauí Basin: Rifting and Wrenching in an Equatorial Atlantic Transform Basin. **The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists**, p. 177-192, 1985.