

**Thiago Denck**

**GEARQUITETURA DEPOSICIONAL E CORRELAÇÃO  
ESTRATIGRÁFICA DE CORPOS DE ARENITO DA FORMAÇÃO  
PIMENTEIRA (DEVONIANO) NA BORDA LESTE DA BACIA DO  
PARNAÍBA**

Trabalho Final de Curso  
(Graduação em Geologia)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2009



UFRJ

**Thiago Denck**

**GEARQUITETURA DEPOSICIONAL E CORRELAÇÃO ESTRATIGRÁFICA DE  
CORPOS DE ARENITO DA FORMAÇÃO PIMENTEIRA (DEVONIANO) NA BORDA  
LESTE DA BACIA DO PARNAÍBA**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Leonardo Borghi (UFRJ)

Charles G. K. Young (BG E&P Brasil)

Rio de Janeiro  
Janeiro de 2009

Denck, Thiago

**Gearquitectura deposicional e correlação estratigráfica de corpos de arenito da Formação Pimenteira (Devoniano) na borda Leste da bacia do Parnaíba / Thiago Denck - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2009.**

xi, 36 p.: il., apênd; 30cm

Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2009.

Orientador: Leonardo Borghi

1. Geologia. 2. Paleontologia e Estratigrafia – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Borghi, Leonardo. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia. III. Título.

Thiago Denck

**GEARQUITETURA DEPOSICIONAL E CORRELAÇÃO ESTRATIGRÁFICA DE  
CORPOS DE ARENITO DA FORMAÇÃO PIMENTEIRA (DEVONIANO) NA BORDA  
LESTE DA BACIA DO PARNAÍBA**

Trabalho Final de Curso de Graduação em  
Geologia do Instituto de Geociências,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro –  
UFRJ, apresentado como requisito  
necessário para obtenção do grau de  
Geólogo.

Orientadores:

Leonardo Borghi (UFRJ)  
Charles G. K. Young (BG E&P Brasil)

Aprovada em: 6 Jan. 2009

Por:

---

Orientador: Leonardo Borghi (UFRJ)

---

Carlos Jorge de Abreu (UFRJ)

---

Charles G. K. Young (BG E&P Brasil)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2009

## **Agradecimentos**

Ao Programa de Capacitação de Recursos Humanos em Geologia do Petróleo (conv. UFRJ/PRH-ANP/MCT N° 18), pela concessão da bolsa de graduação e pelo financiamento do trabalho de campo realizado.

A Gerência de Sedimentologia e Petrologia (GSEP) da Petrobrás pelas análises de permeabilidade.

Aos integrantes do LAGESED pelos anos de amizade e companherismo.

Finalmente a todos que, de alguma maneira, me ajudaram durante todos esses anos.

## Resumo

Denck, Thiago. **Gearquitectura deposicional e correlação estratigráfica de corpos de arenito da Formação Pimenteira (Devoniano) na borda Leste da bacia do Parnaíba**. Rio de Janeiro, 2009. xi, 36 f. Trabalho Final de Curso (Graduação em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O estudo tem como objetivos a análise gearquitectural de corpos isolados de arenito da Formação Pimenteira em afloramentos na borda Leste da bacia do Parnaíba, através da caracterização de fácies e suas sucessões segundo escala e geometria estratal, e sua inserção em um contexto estratigráfico, pela correlação com sequências deposicionais propostas em estudos anteriores em poços de sondagem efetuados na área. Foram caracterizadas 7 litofácies, organizadas em 7 sucessões de fácies (SF1 a SF7), dentre as quais três delas (SF1, SF2 e SF3) foram organizadas em quatro elementos gearquitecturais, devido à sua ocorrência em afloramentos com boas exposições. Os elementos gearquitecturais/sucessões de fácies identificados representam essencialmente sedimentação em paleoambiente marinho raso dominado por ondas e correntes de tempestades, ora em porções mais distais (AVA-c/SF4), ora mais proximais (AVA-a, AVA-b/CAN), com influência deltaica (SF5 e SF6) e de marés (SF7), em uma bacia marinha de interior cratônico do tipo rampa. As superfícies limitantes dos elementos gearquitecturais são correlacionáveis a superfícies estratigráficas regressivas, transgressivas e de inundação. Seu empilhamento, gerado por flutuações do nível do mar de magnitudes variadas (4<sup>a</sup>/5<sup>a</sup> e 6<sup>a</sup>/7<sup>a</sup> ordens), pode ser correlacionado aos tratos de sistemas das sequências deposicionais de 4<sup>a</sup>/5<sup>a</sup> ordem da literatura.

Palavras-chave: Formação Pimenteira, gearquitectura deposicional, tempestitos.

## Abstract

Denck, Thiago. **Depositional gearchitecture and stratigraphic correlation of Pimenteira Formation sandstone bodies (Devonian) at the Eastern border of Parnaíba basin.** Rio de Janeiro, 2009. xi, 36 f. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The objectives of this study is a gearchitectural analysis of isolated sandstone bodies in the Pimenteira Formation outcropping at the Eastern border of the Parnaíba Basin, through a faciological study regarding scale and geometry strata. Stratigraphically outcrops were correlated with well data where previous studies defined 4<sup>th</sup>/5<sup>th</sup> order depositional sequences. It was characterized seven litofacies, organized in seven facies successions (SF1 to SF7), amongst which three of it (SF1, SF2 and SF3) permitted the recognition of four gearchitectural elements, in outcrops with very good expositures. Gearchitectural elements and facies successions identified essentially represents sedimentation in a storm dominated shallow marine paleoenvironment, sometimes in more distal conditions (AVA-c/SF4), sometimes more proximal (AVA-a, AVA-b and CAN), with deltaic (SF5 e SF6) and tidal (SF7) influence, within a cratonic interior marine ramp-style basin. The gearchitectural elements limiting surfaces were correlated with regressive, transgressive and flooding sequence stratigraphic surfaces. Their stacking patterns, generated by sea-level changes of varied magnitude (4<sup>th</sup>/5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup>/7<sup>th</sup> orders), can be correlated with the system tracts of 4<sup>th</sup>/5<sup>th</sup> order depositional sequences.

Key-Words: Pimenteira Formation, depositional gearchitecture, tempestites.

## Lista de figuras

- Figura 1** – Diagrama estratigráfico esquemático da bacia do Parnaíba (modificado de Vaz *et al.*, 2007) p. 2
- Figura 2** – Mapa de localização dos afloramentos estudados (pontos azuis) e poços correlacionados (pontos vermelhos). A cor verde, em destaque, representa a Fm Pimenteira, amarela a Fm Cabeças enquanto que a bege as demais formações da bacia (localização detalhada dos afloramentos e poços na Tabela 1). p. 4
- Figura 3** – Perfis estratigráficos dos afloramentos P-3, P-4 e P-7 mostrando fácies e suas sucessões. p.12
- Figura 4** – Detalhe do painel e perfil estratigráfico esquemático do afloramento P-4 mostrando os elementos gearquiteturais AVA-a, AVA-b e AVA-c. O AVA-b do topo do perfil só ocorre mais a NW dessa exposição. p. 18
- Figura 5** – Detalhe do painel e perfil estratigráfico esquemático do afloramento P-6 mostrando os elementos gearquiteturais AVA-a, AVA-b, AVA-c e CAN. Notar que nessa escala de observação só são visíveis às superfícies de ordem 1 e 2. As de ordem 3 são observáveis na escala de fácies (Apêndice B, Estampas I e II). p. 21
- Figura 6** – Perfil síntese mostrando as sucessões de fácies, superfícies estratigráficas e sequências deposicionais, identificadas por Young (2006). p. 23
- Figura 7** – Correlação estratigráfica dos afloramentos P-4 e P-5 com os poços 1-VL-03-PI e 1-CT-02-PI mostrando sucessões de fácies, superfícies estratigráficas, tratos de sistemas e sequências deposicionais. p. 25
- Figura 8** – Correlação estratigráfica do afloramento P-3 com o poço 1-PM-10-PI, mostrando sucessões de fácies, superfícies estratigráficas, tratos de sistemas e sequências deposicionais. p. 27
- Figura 9** – Correlação estratigráfica dos afloramentos P-1, P-2, P-6 e P-7 com os poços. 1-ST-12-PI e 1-ST-15-PI, mostrando sucessões de fácies, superfícies estratigráficas, tratos de sistemas e sequências deposicionais. p. 30

## Lista de quadros

- Quadro 1** - Síntese das fácies (caracterização completa no apêndice A ). p.  
10
- Quadro 2** - Síntese das sucessões de fácies (caracterização completa no Apêndice C). p.  
11
- Quadro 3** - Síntese dos elementos gearquiteturais. p. 13

## Lista de tabelas

**Tabela 1** - Localização dos afloramentos e poços.

p. 5

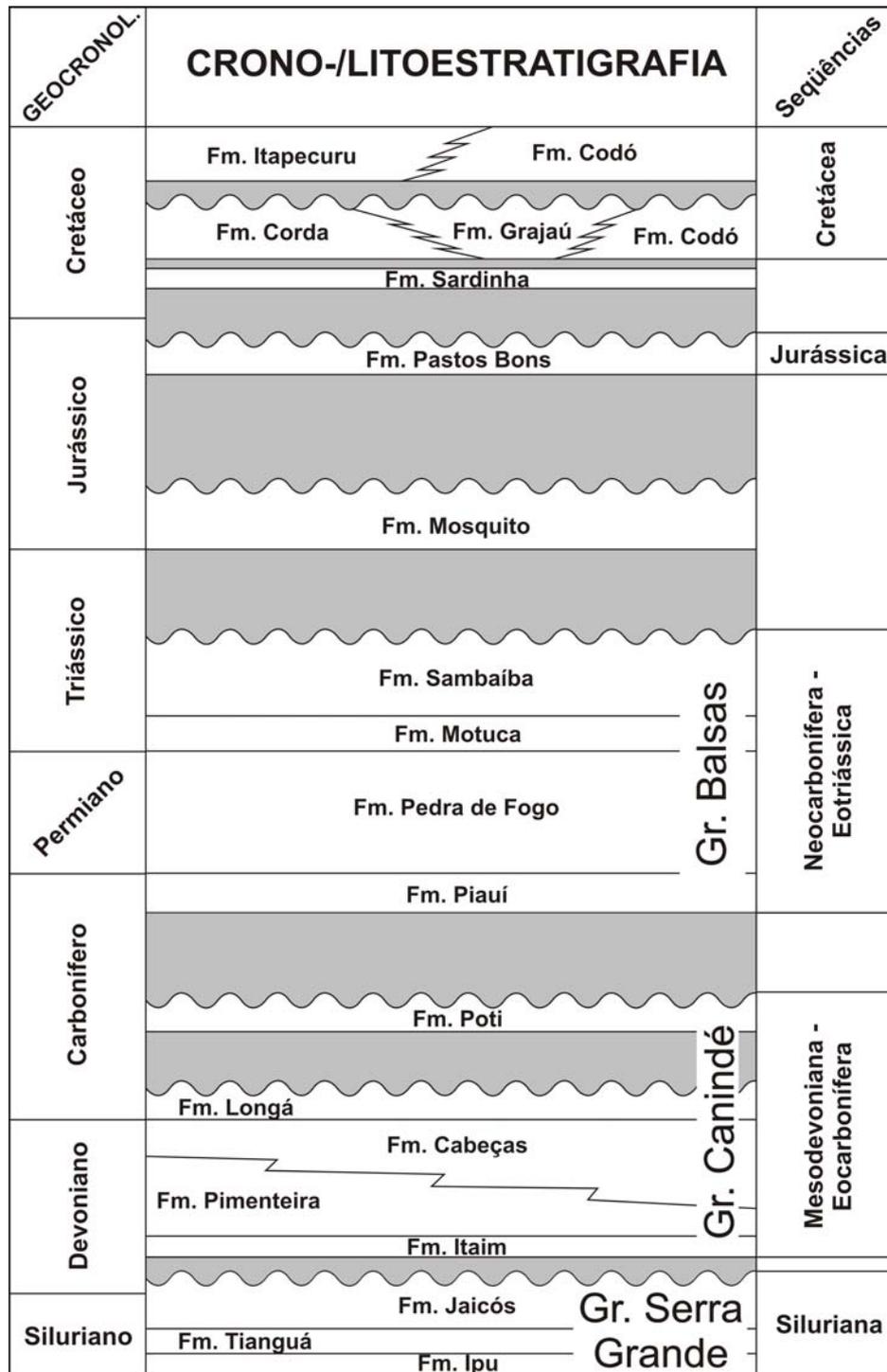
## Sumário

Agradecimentos .....	v
Resumo .....	vi
<i>Abstract</i> .....	vii
Lista de figuras .....	viii
Lista de quadros.....	ix
Lista de tabelas.....	x
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 MATERIAL E MÉTODO.....	4
3 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	7
3.1 Formação Pimenteira.....	7
3.2 Tempestitos.....	8
4 GEARQUITETURA DEPOSICIONAL.....	10
4.1 Fácies e sucessões de fácies.....	10
4.2 Elementos gearquiteturais.....	13
4.2.1 Elemento de acreção vertical em arenitos (AVA).....	14
4.2.2 Elemento em canal com arenitos (CAN).....	19
5 CORRELAÇÃO ESTRATIGRÁFICA.....	22
5.1 Sequências C e D.....	24
5.2 Sequências D, E e F.....	26
5.3 Sequência G.....	28
5.4 Sequências H e I.....	28
6 CONCLUSÕES .....	31
Referências bibliográficas.....	33
Apêndice A – Caracterização das fácies sedimentares	
Apêndice B – Estampas das fácies sedimentares	
Apêndice C – Caracterização das sucessões de fácies	

## 1 INTRODUÇÃO

A bacia do Parnaíba, considerada de fronteira exploratória, é uma das maiores bacias sedimentares brasileiras (cerca de 600.000 km<sup>2</sup>); entretanto é uma das bacias menos conhecidas do ponto de vista geológico. Isso ocorre devido à sua grande extensão areal, seu afastamento dos grandes centros de pesquisa e às fracas perspectivas históricas para exploração de petróleo. A bacia é preenchida por cinco sequências deposicionais (Figura 1) separadas por discordâncias regionais, atribuídas a eventos erosivos relacionados a tectonismos e variações de nível do mar (Vaz *et al.*, 2007): Siluriana (Grupo Serra Grande), Mesodevoniana—Eocarbonífera (Grupo Canindé), Neocarbonífera—Eotriássica (Grupo Balsas), Jurássica (Formação Pastos Bons) e Cretácea (formações Codó, Corda, Grajaú e Itapecuru).

Os esforços exploratórios na bacia concentraram-se nas décadas de 1960 a 1980 (Góes *et al.*, 1990), dos quais resultou a maior parte do conhecimento geológico disponível sobre a bacia. Atenta à falta de dados para avaliar o potencial petrolífero da bacia, a Agência Nacional do Petróleo, Gas Natural e Biocombustíveis (ANP) vem financiando estudos e levantamento de dados, como a aquisição de dados aerogeofísicos (aeromagnetometria e gravimetria), além da oferta sistemática de blocos nas rodadas de licitações. Destaca-se a recente oferta e aquisição de 10 blocos durante a IX Rodada de Licitações da ANP em 2007, sendo esse fato considerado como um marco na revitalização da pesquisa petrolífera nas bacias paleozóicas brasileiras.



**Figura 1** – Diagrama estratigráfico esquemático da bacia do Parnaíba (modificado de Vaz *et al.*, 2007).

Os arenitos da seqüência Mesodevoniana—Eocarbonífera são considerados como os de maior potencial para reservatórios petrolíferos (Milani & Zalán, 1998). Como principal gerador, destacam-se os folhelhos da Formação Pimenteira (Rodrigues, 1995), desta mesma

sequência, sendo que alguns autores consideram que os corpos de arenito dessa formação possam atuar também como reservatório (Góes *et al.*, 1990).

Nesse sentido, um novo modelo estratigráfico baseado em regressões forçadas, que propõe a acumulação de corpos de arenitos isolados intercalados com os folhelhos da Formação Pimenteira (Young, 2006; Young & Borghi, 2006), abre novas perspectivas para um sistema petrolífero Pimenteira—Pimenteira(?)\*. Tal modelo foi obtido através da análise estratigráfica de alta resolução em testemunhos de sondagem na borda Leste da bacia, o que não permitiu a observação de atributos gearquiteturais próprios (geometria, extensão e variação lateral de fácies) desses arenitos, observáveis em afloramentos, para uma melhor compreensão das heterogeneidades macro- e mesoscópicas relacionadas às potenciais rochas reservatório.

A disponibilidade de afloramentos na borda Leste da bacia, e a possibilidade de correlação com dados de subsuperfície são fatores motivadores desse estudo. Deste modo, objetiva-se caracterizar em afloramentos litofácies e suas sucessões, segundo escala e geometria estratal, em termos de gearquitetura deposicional, a fim de avaliarem-se as heterogeneidades faciológicas em macro- e mesoescala desses arenitos como reservatórios, inserindo-os em um contexto estratigráfico, pela correlação com as sequências propostas por Young (2006) e Young & Borghi (2006).

---

(?) Notação de sistemas petrolíferos indicativa de sistema especulativo Magoon & Dow (1994)



**Tabela 1** – Localização dos afloramentos e poços

Poços/Afloramentos	Localização	Longitude (°)	Latitude (°)	UTM_E	UTM_N	DATUM
1-CT-02-PI		-41,34458761	-5,265625	240127	9411416	SAD 69
1-PM-10-PI		-41,45536427	-6,206592	228288	9313326	
1-VL-03-PI		-41,39657615	-6,419948	234905	9289750	
1-ST-12-PI		-41,46994259	-5,929248	226533	9344005	
1-ST-15-PI		-41,42910431	-6,098145	231141	9325338	
P-1	BR-316 (Km 307)			225591	9216932	WGS 84
P-2	Prox. ao P-1			225682	9216468	
P-3	BR-316 (Km 311)			229737	9216640	
P-4	BR-316 (Km 317)			235002	9215778	
P-5	BR-316 (Km 323)			240848	9214718	
P-6	PI-120 (Km 32)			226696	9305382	
P-7	PI-120 (Km 32,3)			226855	9305682	

O método consistiu na descrição sedimentológica, através de perfis estratigráficos e de painéis fotográficos (seções) nos afloramentos, bem como a caracterização litofaciológica e petrográfica, obtenção de dados petrofísicos (permeabilidade) e, por fim, a caracterização de elementos gearquitecturais nesses afloramentos e sua correlação estratigráfica com dados de subsuperfície (poços).

Os perfis estratigráficos foram levantados na escala de detalhe 1:40, onde se buscou coletar informações texturais (granulometria e seleção), estruturas sedimentares e, quando possível, direcionais e fósseis/icnofósseis. Baseado na observação dos dados texturais e estruturas sedimentares obtidos nos perfis, litofácies sedimentares foram caracterizadas. Através de padrões de empilhamento das litofácies foram identificadas as sucessões de fácies.

Elementos gearquitecturais foram caracterizados com base na interpretação dos painéis fotográficos, onde se adotaram os procedimentos de hierarquização de superfícies de acamamento propostos por Borghi (2000). Define-se um elemento gearquitectural como *uma massa de sedimento ou rocha sedimentar caracterizada e distingüida das demais por escala,*

*superfícies de acamamento limitantes, geometria, arranjo tridimensional dos estratos e fácies* (Borghi, 2000). A escala de observação restringe-se à estratal (megaescala), através da qual superfícies de acamamento foram hierarquizadas em três ordens de magnitude (ordem 1, 2 e 3), onde as superfícies de maior ordem (ordem 1) são as que definem o elemento arquitetural. As fácies foram organizadas segundo *Postulado de Relação de Fácies* de Borghi (1997 *apud* Borghi, 2000).

Na análise petrográfica, realizada em microscópio petrográfico (ZEISS Axioskop 40) buscou-se caracterizar aspectos texturais (granulometria, seleção, arredondamento e porosidade), composicionais e diagenéticos, com o objetivo de complementar a caracterização de litofácies, além de compreender o comportamento petrofísico da permeabilidade. Os dados de permeabilidade (Kh) foram obtidos através de ensaios em 7 amostras utilizando um minipermeâmetro de bancada a nitrogênio Steady State Probe Permeameter (OMNI/WEATHERFORD SSPK-1000).

Por fim, foi feita uma correlação estratigráfica tentativa dos afloramentos com dados de subsuperfície (testemunhos), utilizando os poços 1-PM-10-PI, 1-VL-03-PI, 1-CT-02-PI, 1-ST-12-PI e 1-ST-15-PI do Projeto Fosfato de São Miguel do Tapuio (Figura 2), descritos por Young (2006). Para a correlação com as sequências propostas por Young (2006), utilizam-se os conceitos de sequências e regressões forçadas de Posamentier *et al.*, (1988, 1992), e de “Trato de Sistemas de Fase de Queda” (*FSST- Falling-Stage System Tract*), proposto por Catuneanu (2002).

### 3 CONTEXTO GEOLÓGICO

#### 3.1 Formação Pimenteira

A Formação Pimenteira, alvo deste estudo, definida formalmente por Carozzi *et al.* (1975), inserida na sequência Mesodevoniana—Eocarbonífera, é constituída por folhelhos cinza escuros a pretos, esverdeados, em parte bioturbados, intercalados com delgadas camadas de siltitos e arenitos.

Seus contatos inferior e superior respectivamente, com as formações Itaim e Cabeças, são considerados concordantes e gradacionais (Caputo, 1984; Carvalho, 1995; Lima & Leite, 1978). Entretanto, Lima & Leite (1978) e Oliveira & Barros (1976) notaram que o contato entre as formações Pimenteira e Cabeças pode ser localmente discordante.

Suas maiores espessuras (423m e 526m) encontram-se ao longo de dois eixos deposicionais (*cf.* Cunha, 1986), relacionados respectivamente aos lineamentos Transbrasiliano (NE—SW) e Picos—Santa Inês (NW—SE). Em direção à borda Leste da bacia, a formação possui espessura aproximada de 135m (Young, 2006).

Possui idade estimada de meados do Eifeliano ao fim do Frasniano, atribuída por Grahn *et al.*, (2001, *apud* Young, 2006), através de um zoneamento bioestratigráfico baseado em acritarcas, miósporos e quitinozoários. Na área de estudo possui idade Givetiano, determinada por Grahn *et al.*, (2008) através de um zoneamento bioestratigráfico baseado em quitinozoários.

Seu paleoambiente de sedimentação, de modo geral, é atribuído ao marinho raso “plataformal” dominado por tempestades (Della Fávera, 1982, 1990; Vaz *et al.*, 2007). Della Fávera (1990), através da identificação de sedimentos arenosos reelaborados por tempestades,

foi o primeiro a mostrar a influência de tempestades na formação. Não obstante, Della Fávera (2001) e Della Fávera *et al.*, (2003) propuseram que os arenitos da Formação Pimenteira seriam prodeltas, enquanto que os arenitos da Formação Cabeças seriam frentes deltaicas sob ação de inundações fluviais. Young (2006) apontou influência de paleoambientes deltaicos dominados por ondas de tempestades. Mabesoone (1994), com base em litologias e estruturas sedimentares, e Agostinho (2005), baseada em icnologia, ainda apontaram a deposição em paleoambiente de planície de maré. Borghi & Young (2003) sugeriram depósitos de tsunamis, em um afloramento próximo à cidade de Picos, no Estado do Piauí (afloramento P-5), pela presença de matacões de arenito sob uma superfície extremamente erosiva.

No contexto estratigráfico de sequências, Young (2006) percebeu que os intervalos mais expressivos de arenitos da formação, bem como seu contato superior com a Formação Cabeças, resultam de eventos de regressões forçadas de diferentes magnitudes. A partir daí, o autor identificou 6 sequências deposicionais (C, D, E, F, G, H) de 4ª e 5ª ordem, pertencentes à formação.

### 3.2 Tempestitos

Tempestitos são depósitos formados durante eventos de tempestade (Kelling, 1974 *apud* Borghi, 2002). Seu reconhecimento tornou-se comum através da identificação da estrutura mais diagnóstica, a estratificação cruzada monticulada (*hummocky cross-stratification—HCS*) e, secundariamente, da estratificação cruzada catenária (*swaley cross-stratification—SCS*).

Os tempestitos são reconhecidos do Pré-cambriano ao Recente, em paleoambientes principalmente plataformais e marinhos raso. Podem ainda apresentar uma gama de outras estruturas (maciça, laminação plano paralela, estratificação cruzada de ângulo baixo,

estratificações cruzadas, marcas de ondulação e laminação cruzada por onda, marcas de megaondulações e gradação normal) e litologias (Borghi, 2002).

Quanto à sua gênese, ondas de tempestades e correntes (retorno, geostrófica, maré e turbidez), combinadas ou não, já foram apontadas para o transporte e deposição de sedimentos que lhe dão origem (Borghi, 2002). Destacam-se duas hipóteses: uma, baseada em observações oceanográficas atuais (hipótese oceanográfica), e a outra baseada no registro geológico (hipótese geológica).

Na hipótese oceanográfica, defendida por Swift *et al.*, (1983), Duke, (1985) e Swift & Nummedal (1987), o transporte de areias em mares rasos seria realizado por correntes de retorno e geostróficas que, combinadas com ondas, seriam responsáveis pela deposição dos tempestitos. Correntes de retorno são induzidas por uma sobrelevação costeira, gerada por ventos soprados em direção a costa durante eventos de tempestades, que produzem uma diferença de pressão hidrostática entre a costa e a região de costa-afora. Esta corrente, fluindo em direção a costa-afora, sofre efeito da força de Coriolis e é defletida, passando a fluir paralelamente às isóbatas; a partir de então passa a ser chamada de corrente geostrófica.

Os autores que defendem a hipótese geológica (Walker, 1984; Hamblim & Walker, 1979) dizem que o transporte de areias em antigas plataformas poderia dar-se por correntes de turbidez, as quais, se depositadas acima do nível base de ação de ondas de tempestade, apresentariam características de um tempestito e, se depositadas abaixo, apresentariam características de um turbidito.

Borghi (2002), à luz da literatura e observações de campo, admitiu três hipóteses (corrente oscilatória combinada com corrente unidirecional, oscilação pura e corrente de turbidez) na elaboração de um modelo de fácies de tempestitos, denominado “Plexo tempestítico”.

## 4 GEARQUITETURA DEPOSICIONAL

### 4.1 Fácies e sucessões de fácies

Foram identificadas 7 litofácies (4 areníticas, 2 heterolíticas e 1 lutítica) (Quadro 1), e 7 sucessões de fácies (Quadro 2, Figura 3). As sucessões identificadas representam essencialmente sedimentação tempestítica em paleoambiente marinho raso, ora em porções mais distais ora mais proximais, com influência deltaica e de marés, em uma bacia marinha de interior cratônico do tipo rampa.

**Quadro 1** – Síntese das fácies (caracterização completa no Apêndice A ).

<b>Código</b>	<b>Diagnose</b>	<b>Interpretação</b>
Ah	Arenitos muito finos com estratificação cruzada monticulada.	Ação de correntes oscilatórias de alta energia, combinadas com fracas correntes unidirecionais (retorno/geostróficas).
Ao	Arenitos muito finos com laminação cruzada.	Ação de correntes oscilatórias (batimento de ondas normais ou ondas de tempestade amainantes), combinadas com fracas correntes unidirecionais (retorno/geostróficas).
Ap	Arenitos muito finos com laminação plano-paralela.	Ação de correntes oscilatórias de alta energia combinadas com correntes unidirecionais.
As	Arenitos muito finos com estratificação cruzada catenária.	Ação de correntes oscilatórias de alta energia, combinadas com fracas correntes unidirecionais (retorno/geostróficas).
Hf	Siltitos e/ou arenitos muito finos com acamamento heterolítico fláser apresentando laminações cruzadas.	Decantação associada à tração por corrente oscilatória combinada com unidirecional.
Hw	Siltitos e ou arenitos muito finos em acamamento heterolítico ondulado apresentando laminações cruzadas.	Decantação associada à tração por corrente oscilatória combinada com unidirecional.
F	Siltito argiloso	Decantação de finos.

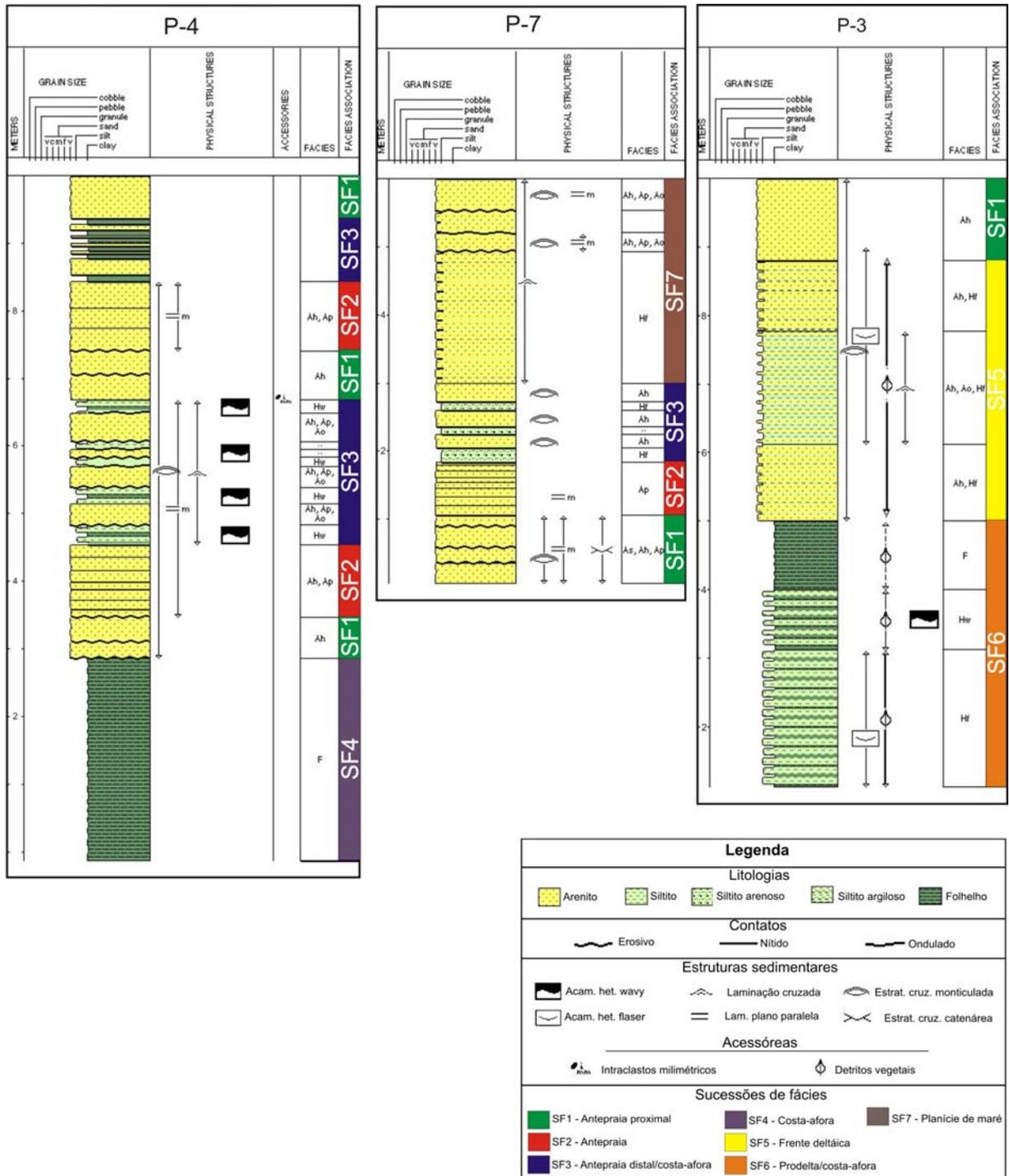
**Quadro 2** – Síntese das sucessões de fácies (caracterização completa no Apêndice C).

<b>Código</b>	<b>Diagnose</b>	<b>Interpretação</b>
SF1	Ap, As e Ah	Antepraia proximal sob ação de ondas e correntes (retorno/geostrófica) geradas durante eventos de tempestade; agradacional.
SF2	Ap, Ah e Hf	Antepraia intensamente reelaborada por ondas e/ou correntes (retorno/geostrófica) de alta energia, geradas durante eventos de tempestade, em contexto transgressivo.
SF3	Ap, Ah, Ao, Hf, Hw e F	Paleoambiente marinho raso transicional entre costa-afora e antepraia distal, sob ação de ondas e correntes de tempestade: agradacional.
SF4	F	Paleoambiente marinho raso de costa afora.
SF5	Ah e Hf	Frente deltaica reelaborada por ondas de tempestade, regressiva.
SF6	Hf, Hw e F	Prodelta dominado por ondas transicionando para costa-afora, em contexto transgressivo.
SF7	Hf e Ah	Planície de maré (intermaré), sofrendo reelaboração episódica por ondas de tempestades.

Para as fácies areníticas, foi observado na análise de lâminas petrográficas (Apêndice B, Estampa III) que a granulometria varia de areia muito fina inferior a superior; a seleção, de boa a muito boa; e os grãos, de subangulosos a subarredondados. Em termos composicionais, tratam-se de subarcósios e quartzo-arenitos. Foi também observado que as laminações são marcadas pela orientação de micas e, em alguns casos, por pequenos intraclastos de argila esmagados.

Diageneticamente, observou-se cimentação por caulinita (Apêndice B, Estampa III, Figura B), siderita e óxido de ferro (Apêndice B, Estampa III, Figura A). O cimento caulínico é oriundo da dissolução de muscovitas e feldspatos; já o siderítico, substitui intraclastos de argila, que, por sua vez, são substituídos por óxido de ferro. Não foi possível estabelecer a relação do cimento caulínico com o siderítico, pois eles não ocorrem juntos em uma mesma amostra.

Os arenitos possuem porosidade primária e secundária, que varia de 2% a 21% (porosidade visual obtida em lâmina delgada) e permeabilidade de 3 a 335 mD (Apêndice B, Estampa III, Figura A, B e C).



**Figura 3** – Perfis estratigráficos dos afloramentos P-3, P-4 e P-7 mostrando fácies e suas sucessões.

## 4.2 Elementos gearquiteturais

Foram identificados 3 elementos de acreção vertical em arenitos e um em forma de canal (Quadro 3). Tais elementos representam unidades geomórficas oriundas de sedimentação tempestítica em paleoambiente marinho raso ora em condições mais proximais (CAN, AVA-a e AVA-b) ora mais distais (AVA-c). Todos os elementos identificados foram observados em seções com extensões médias de 200m (100 a 300m) e alturas médias de 7m (4 a 10m), aproximadamente paralelas a direção de caimento (*Dip*) da Formação Pimenteira (afloramentos P-4, P-5 e P-6). Quatro das sucessões de fácies (SF4, SF5, SF6 e SF7) não foram tratadas na caracterização dos elementos gearquiteturais devido à dificuldade de se estabelecerem relações geométricas e escala, por ocorrerem em seções com pouca representatividade lateral.

**Quadro 3** – Síntese dos elementos gearquiteturais.

<b>Elemento</b>	<b>Características</b>	<b>Interpretação</b>
CAN	<i>Geometria:</i> canal <i>Espessura:</i> 50cm <i>Extensão:</i> 6m <i>Sucessão de fácies:</i> SF2	Canais escavados na praia/antepraia por correntes de retorno durante tempestades.
AVA-a	<i>Geometria:</i> Tabular <i>Espessura:</i> Métrica <i>Extensão:</i> Hectométrica <i>Sucessão de fácies:</i> SF1	Sedimentação tempestítica em ambiente de antepraia proximal.
AVA-b	<i>Geometria:</i> Tabular <i>Espessura:</i> Métrica <i>Extensão:</i> Hectométrica <i>Sucessão de fácies:</i> SF2	Sedimentação tempestítica em ambiente de antepraia.
AVA-c	<i>Geometria:</i> Tabular <i>Espessura:</i> Métrica <i>Extensão:</i> Hectométrica <i>Sucessão de fácies:</i> SF3	Sedimentação tempestítica em ambiente de costa-afora/antepraia distal.

#### 4.2.1 Elemento de acreção vertical em arenito (AVA)

*Descrição* — O elemento AVA (Figura 4 e 5) caracteriza-se por possuir geometria aparentemente tabular (lenticular muito extensa), sendo possível sua identificação em alguns poucos casos. Suas superfícies envoltórias (ordem 1) apresentam base erosiva, enquanto que a superfície de topo apresenta-se, na sua maioria, erosiva; e em alguns casos plana. O elemento possui extensão de mais de uma centena de metros (variando de 80 a 200m) e espessuras que variam de 1 a 3,5m. Esse elemento gearquitetural apresenta três variações, conforme suas diferentes sucessões de fácies e padrão de acamamento, sendo elas: AVA-a, AVA-b e AVA-c. Não se observou clinofomas em nenhuma das seções, indicando um comportamento agradacional para esses elementos.

O **AVA-a** é preenchido pela associação de fácies SF1, possui em média 95% de arenitos em relação a finos, sendo preenchido principalmente pelas fácies Ap e As. Este se diferencia dos demais por ser constituído por um pacote de camadas amalgamadas de arenito. As superfícies de ordem 1 podem ser planas ou onduladas, são de fácil identificação e possuem caráter essencialmente erosivo. As superfícies de ordem 2 normalmente possuem pequena continuidade, são muito erosivas, em forma de amplos canais ou onduladas, não sendo facilmente identificadas pois se amalgamam lateralmente. As superfícies de ordem 3 são facilmente identificáveis e representam o acamamento interno das camadas constituintes do elemento arquitetural. Em um dos afloramentos estudados, o AVA-b possui seu topo truncado pelo elemento CAN (Figura 5). Esse elemento ocorre em todas seções estudadas (afloramentos P-4, P-5 e P-6), sendo típico no afloramento P-6. Ocorre em menor abundância que o AVA-c.

O **AVA-b** é composto pela sucessão de fácies SF2 e possui, em média, 85% de arenitos em relação a finos, sendo preenchido principalmente pelas fácies Ap (80%) e Ah

(5%). As superfícies de ordem 1 são essencialmente erosivas, na base, e levemente onduladas, no topo. As superfícies de ordem 2 e 3 são bem marcadas, porém de difícil distinção devido à ausência de folhelhos. Ocorre nos afloramentos P-4 e P-6. Este elemento pode ser truncado pelo elemento CAN (afloramento P-6) e é expressivo nos painéis interpretados.

O **AVA-c** é composto pela associação de fácies SF3 e possui, em média, 60% de arenitos em relação a finos, sendo Ap e Ah as fácies areníticas principais e Hf e Hw as lutíticas. Neste elemento, as camadas de arenito, apesar de possuírem padrão lenticular, apresentam grande extensão lateral; em alguns casos são amalgamadas e, na sua maioria, estão intercaladas com camadas de folhelho e intervalos com acamamento heterolítico. As superfícies que definem o elemento (ordem 1) são planas ou onduladas, possuindo caráter essencialmente erosivo quando topo do elemento. As superfícies de acamamento de ordem 2, que delimitam as camadas de arenito, quando constituem base de camada, são essencialmente erosivas, enquanto que, no topo de camada são caracterizadas por amplas ondulações, podendo possuir também caráter erosivo. As superfícies de acamamento interno de ordem 3 são de fácil identificação; porém em alguns poucos casos podem ser confundidas com superfícies de ordem 2 devido à amalgamação de camadas. Esse elemento é o mais abundante de todos, está presente em todas as seções estudadas (afloramentos P-4, P-5 e P-6), sendo típico no afloramento P-4.

*Interpretação* — São camadas tempestíticas intercaladas com camadas de sedimentação de tempo bom que se acrecionam verticalmente em ambiente marinho raso. Nos casos do AVA-a e AVA-b em condições mais proximais (antepraia proximal e antepraia), enquanto que no caso do AVA-c em condições mais distais (antepraia distal / costa-afora). As camadas tempestíticas são depositadas por correntes oscilatórias, sendo essas combinadas com correntes unidirecionais muito fracas.

*Discussão* — Este elemento possui características similares as fácies de Brenchley *et al.*, (1993), “lenticular sandstone facies” e “thick bedded lenticular sandstone”, atribuídas por Borghi (2002) como verdadeiros elementos gearquiteturais. O “lenticular sandstone fácies” se assemelha ao AVA-c devido à intercalação de camadas de tempestitos (sucessão de laminação plano-paralela passando para estratificação cruzada monticulada) com finos. O “thick bedded lenticular sandstone” e o AVA-a possuem similaridade por ambos possuírem camadas de arenito amalgamadas e poucas camadas delgadas e descontínuas de folhelho.

Borghi (1993, 2002), estudando a Formação Furnas (Devoniano, bacia do Paraná), identificou duas variações do elemento AVA: uma mais característica da borda Leste e outra da borda Noroeste. O AVA da borda Leste distingue-se do da borda Noroeste principalmente pela presença das fácies B2 (arenitos de granulometria grossa com estratificação cruzada de alto ângulo) e C2 (arenitos finos a muito finos com HCS-anisotrópica). Além disso, o AVA da borda Noroeste apresenta uma extensão bem maior (quilométrica) em relação ao da borda Leste (centenas de metros).

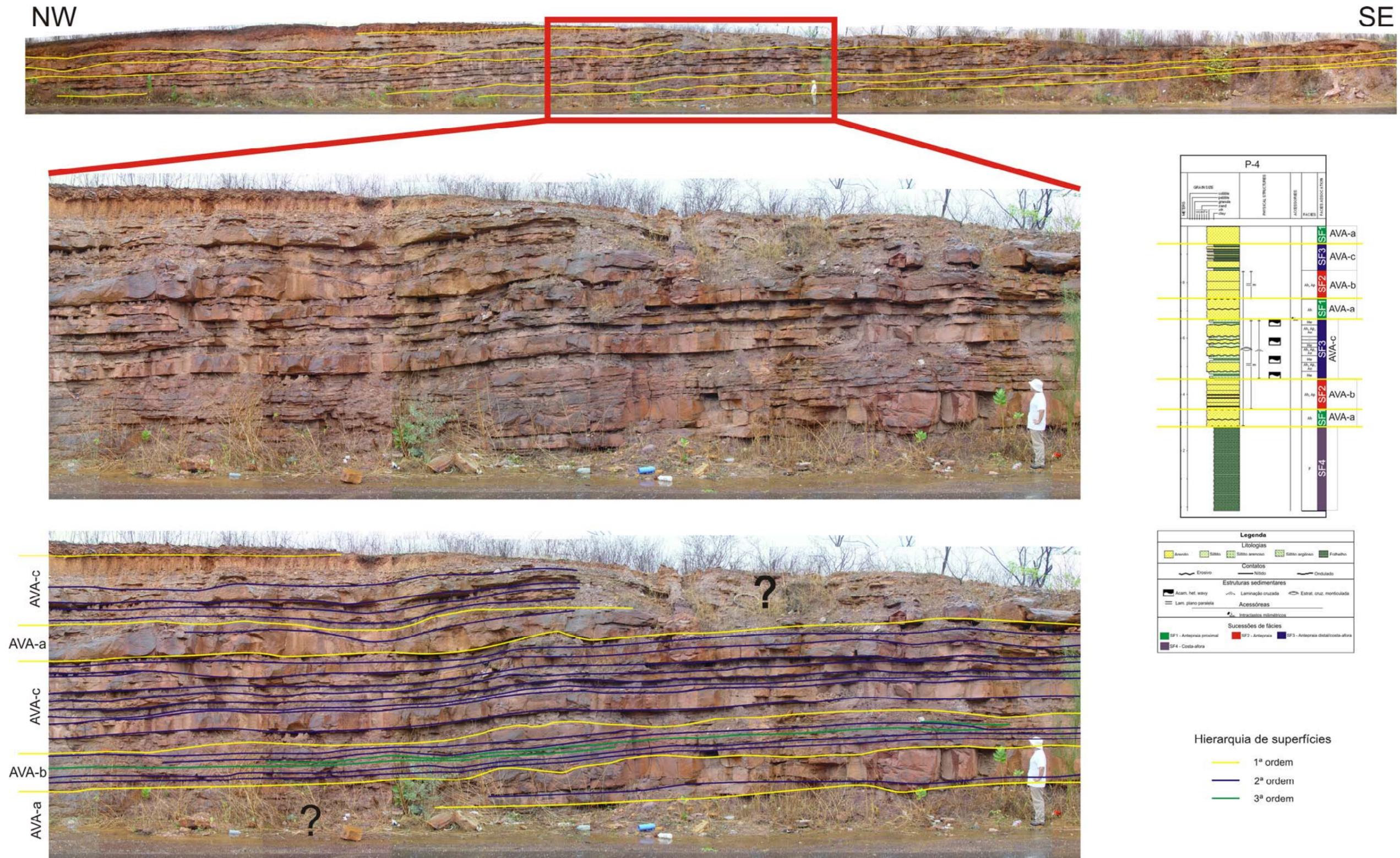
O AVA descrito neste trabalho é semelhante em termos de escala (espessura e extensão) e geometria (lenticular muito extensa) porém não em granulometria ao AVA da borda Leste de Borghi (2002). Considerando as fácies, tanto o AVA da borda leste, quanto o da borda noroeste são distintos do descrito nesse trabalho, sendo apenas as fácies C1 e C2 (corresponde a sucessão das fácies Ap, Ah, Ao) correlacionáveis. Em relação à interpretação genética, o AVA deste difere, pois não há a influência de correntes de direções variáveis e correntes turbidíticas, identificada pela ausência das fácies B2 e C (arenitos finos a muito finos maciços).

Em termos genéticos o comportamento tipicamente agradacional desses elementos (AVA-a, AVA-b e AVA-c), pelo menos nessa região, não corrobora com a hipótese de Della Fávera (2001) e Della Fávera *et al.*, (2003) de que os arenitos da Formação Pimenteira seriam

prodeltas, enquanto que os arenitos da Formação Cabeças seriam frentes deltaicas sob ação de inundações fluviais. Deste modo esse comportamento é indicativo de sedimentação marinha ou até deltaica totalmente retrabalhada por ondas de tempestade.

Em relação à Estratigrafia de Sequências, as superfícies de ordem 1 de topo do AVA-c e base do AVA-a representam superfícies regressivas equivalentes a superfície basal de regressão forçada de Catuneanu (2002); as da base do AVA-b e topo do AVA-a, a superfícies transgressivas equivalentes à “superfície de regressão máxima” de Catuneanu (2002); enquanto que as superfícies de topo do AVA-b e base do AVA-c, na sua maioria, a superfícies de inundação (apesar de poderem representar também superfícies transgressivas).

As superfícies de ordem 2 são correlacionáveis com as de ordem 1 do “turbidito-HCS” de Walker *et al.* (1983) e a “Camada Hummocky” idealizada por Dott & Bougeois (1982). Sendo assim, delimitam camadas de evento de tempestade.



**Figura 4** – Detalhe do painel e perfil estratigráfico esquemático do afloramento P-4 mostrando os elementos gearquitecturais AVA-a, AVA-b e AVA-c. O AVA-b do topo do perfil só ocorre mais a NW dessa exposição. Escala = 1,60m

#### 4.2.2 Elemento em canal com arenitos (CAN)

*Descrição* — O elemento CAN (Figura 5) caracteriza-se pela geometria plano-côncava (canal), foi identificado apenas no afloramento P-6, em cortes aparentemente transversais ao eixo do canal, por apresentar uma margem nitidamente mais erosiva do que a outra. Possui espessura de aproximadamente 0,5m (0,4–0,7m) e extensão média de 6m (4–8m). É preenchido exclusivamente pela sucessão de fácies SF2, ocorrendo apenas à fácies Ap.

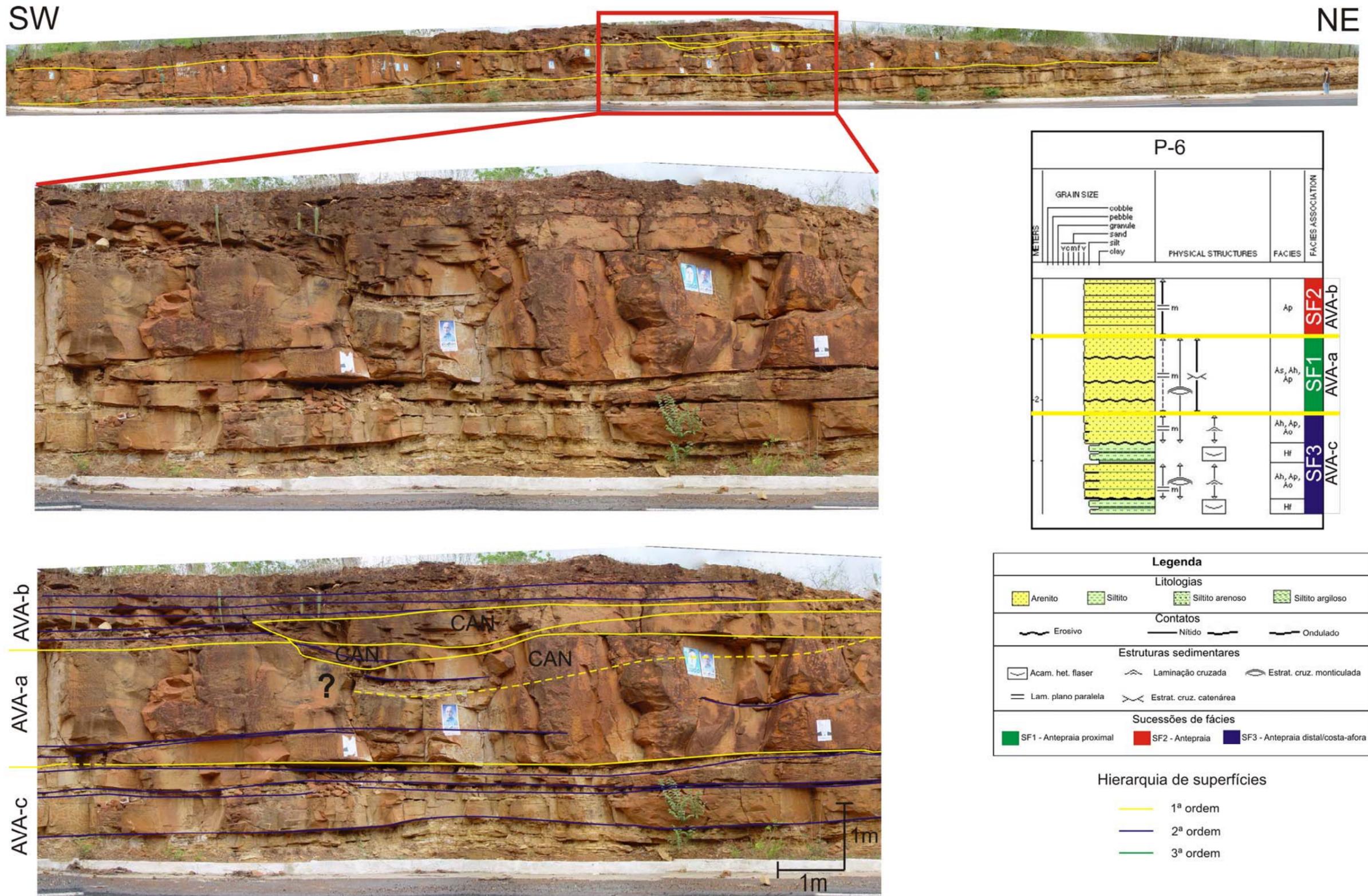
Suas superfícies envoltórias (ordem 1) são marcadamente erosivas, na parte basal, enquanto que, no topo do elemento, são concordantes (apresentam-se erosivas quando truncadas por outros canais). As superfícies de ordem 2 e 3 são bem marcadas, porém de difícil distinção. Essas mesmas possuem terminação em *onlap* com as margens do canal. O elemento ocorre como empilhamento de sucessivos canais e também truncando a base do AVA-b e o topo do AVA-a.

*Interpretação* — São canais escavados por correntes de retorno, amplificadas pela sobrelevação costeira gerada durante eventos de tempestade, ou até correntes de refluxo. Seu preenchimento é atribuído à sedimentação de antepraia reelaborada por tempestades.

*Discussão* — Tal elemento já foi descrito por Borghi (2002) na Formação Furnas (Devoniano), em afloramentos da borda Noroeste da bacia do Paraná. O elemento CAN identificado nesse trabalho apresenta espessura e padrão de preenchimento semelhante ao de Borghi (2002), porém sua extensão e fácies são distintas.

Sua gênese já foi atribuída a correntes de refluxo (Hayes, 1967), correntes de retorno (Swift *et al.*, 1985), liquefação do substrato pelo cargueamento oriundo da passagem de ondas de tempestade (Walker, 1985), ou pela combinação dos três. Siringan & Anderson (1994), em estudos de tempestitos ao longo da costa oeste do Texas, Golfo do México, identificaram, através de linhas sísmicas de alta resolução e poços, inúmeros canais, de centenas de metros,

incisos na antepraia, aproximadamente perpendiculares a linha de costa. Correntes de retorno e de refluxo foram atribuídas para a gênese dos mesmos. O elemento decrito nesse trabalho assemelha-se quanto à gênese porém possui extensão muito inferior.



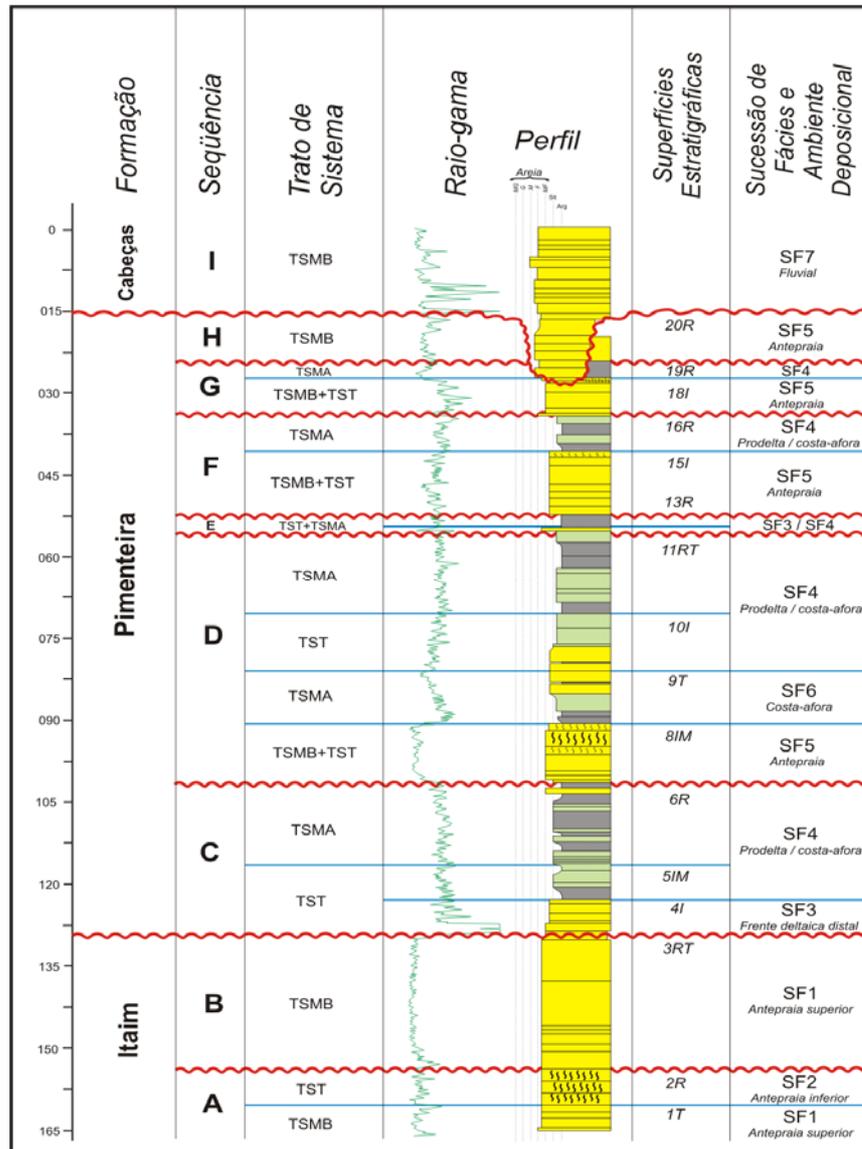
**Figura 5** – Detalhe do painel e perfil estratigráfico esquemático do afloramento P-6 mostrando os elementos gearquiterurais AVA-a, AVA-b, AVA-c e CAN. Notar que nessa escala de observação só são visíveis às superfícies de ordem 1 e 2. As de ordem 3 são observáveis na escala de fácies (Apêndice B, Estampas I e II).

## 5 CORRELAÇÃO ESTRATIGRÁFICA

Os afloramentos estudados (P-1 a P-7) puderam ser correlacionados estratigraficamente com os poços 1-PM-10-PI, 1-VL-03-PI, 1-CT-02-PI, 1-ST-12-PI e 1-ST-15-PI e com apoio em mapa geológico (Figura 2). Todas as correlações são de longa distância (devido à ausência de poços próximos), aproximadamente paralelas ao strike da Formação Pimenteira, onde não foi considerada a possível presença de falhas. A escolha dos poços foi feita baseada na correlação dos mesmos, de longa distância, feita por Young (2006), onde no presente trabalho utilizou-se semelhanças litológicas e faciológicas como critérios de correlação. Esses afloramentos puderam ser inseridos em partes das sequências C, D, E, F, G, H e I (Figura 6) de Young (2006). Estas sequências são limitadas por superfícies regressivas (R) e regressivo-transgressivas (RT), que equivalem respectivamente à “superfície basal de regressão forçada” ou, quando amalgamada a esta, “Superfície regressiva de erosão marinha” e a “superfície de discordância subaérea” de Catuneanu (2002); e associa-se a tratos de sistemas de Mar Baixo (TSMB), Transgressivo (TST) e Mar Alto (TSMA), dentro dos quais inserem-se superfícies transgressivas (T), de inundação (I) e inundação máxima (IM) definidas por esse autor. O TSMB identificado por Young (2006), equivale aos depósitos desenvolvidos desde o início da regressão forçada, até o seu final, denominado de “Trato de Sistemas de Fase de Queda” (*Falling-Stage System Tract* – FSST) de Catuneanu (2002).

Além do reconhecimento das superfícies 6R, 7T, 11RT, 13R, 17T e 20R, de Young (2006), foram identificadas superfícies transgressivas (ST8) e de inundação (SI9), de mesma ordem de magnitude. Entretanto, superfícies regressivas (SR3, SR5, SR6, SR7 e SR10), transgressivas (ST1 e ST2) e de inundação (SI4), de menor ordem de magnitude (aqui sugeridas como de 6ª ou 7ª ordem), foram identificadas. Essas superfícies foram nomeadas

com base em seu caráter (ST-transgressiva, SR-regressiva e SI-inundação) e posição estratigráfica (1, 2, 3.....).



**Figura 6** – Perfil síntese mostrando as sucessões de fácies, superfícies estratigráficas e seqüências deposicionais, identificadas por Young (2006).

## 5.1 Sequências C e D

Os afloramentos P-4 e P-5, correlacionados com os poços 1-CT-02-PI e 1-VL-03-PI (Figura 7) respectivamente, estão inseridos nas sequências C e D, compreendendo basicamente o final do TSMA da sequência C, TSMB e início do TST da sequência D.

No afloramento P-5 foi identificada a superfície 6R de Young (2006), limite superior do TSMA da sequência C. Abaixo da mesma, foi identificada uma superfície de magnitude inferior, transgressiva (ST1), correspondendo a interface de profundidade 51,5m do poço 1-VL-03-PI. O TSMA é constituído pelos elementos gearquiteturais AVA-a e AVA-c, separados pela superfície ST1 que limita-os. Young & Borghi (2003) apontaram a hipótese de uma tsunami para a geração da superfície ST1 identificada nesse trabalho, tal hipótese é adotada no trabalho. Tal hipótese se baseia na presença de blocos métricos de arenito acima da superfície, sendo esses pertencentes ao intervalo abaixo da mesma.

No afloramento P-4 foram reconhecidas as superfícies 6R e 7T de Young (2006), que delimitam o TSMB. Inseridas nesse trato foram identificadas duas superfícies de menor magnitude, ST2 e SR3, correspondentes as interfaces de profundidades 19m e 17m do poço 1-CT-02-PI, além da identificação de uma superfície de inundação (SI4), correspondente a interface de profundidade 14,8m do poço 1-CT-02-PI, inserida no TST acima. O TSMA é preenchido pela sucessão de fácies SF4 (costa-afora), limitado no seu topo, com o TSMB, pela superfície 6R. O TSMB é preenchido pelos elementos gearquiteturais AVA-a, AVA-b/AVA-c e AVA-a, separados pelas superfícies ST2 e SR3. O TST é preenchido pelos elementos gearquiteturais AVA-b, AVA-c/AVA-a, separados pela superfície SI4.

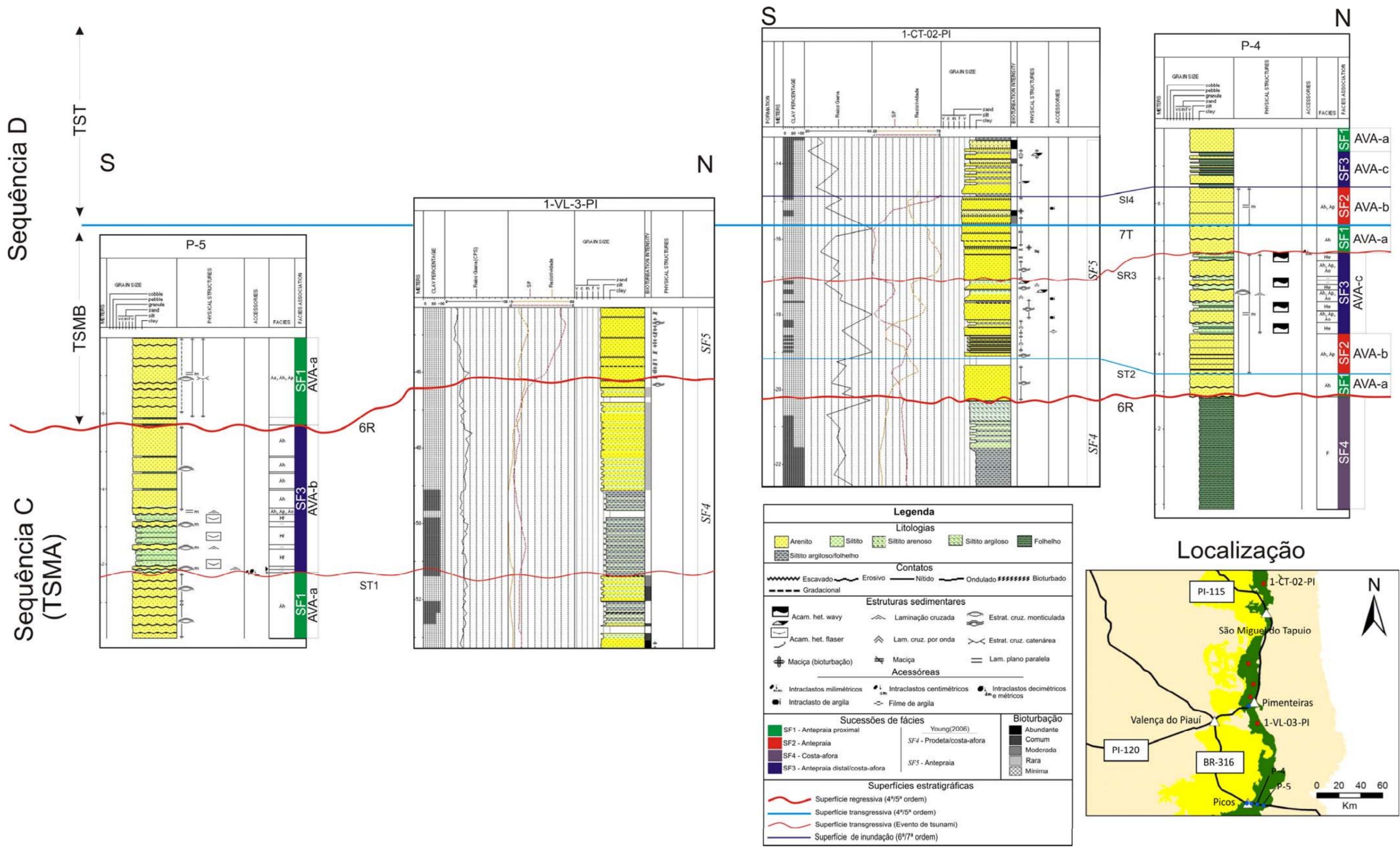


Figura 7 – Correlação estratigráfica dos afloramentos P-4 e P-5 com os poços 1-VL-03-PI e 1-CT-02-PI mostrando sucessões de fácies, superfícies estratigráficas, tratos de sistemas e seqüências deposicionais.

## 5.2 Sequências D, E e F

O afloramento P-3 foi correlacionado com o poço 1-PM-10-PI (Figura 8), compreendendo o final do TST do topo da sequência D, o TST e TSMA da sequência E, e TSMB da base da sequência F de Young (2006). No afloramento, foram reconhecidas as superfícies 11RT e 13R que limitam a sequência E de Young (2006). A superfície 11RT, neste caso, com caráter marcadamente erosivo, separa dois TST preenchidos respectivamente pelas sucessões de fácies SF6 (prodelta/costa-afora transgressivo) e SF5 (Frente deltaica). O TSMB da sequência F equivale ao elemento gearquitetural AVA-a.

No TST da sequência D, tanto a sucessão SF4 (prodelta/costa-afora) identificada por Young (2006), regressiva (regressão normal), quanto a SF6 (prodelta/costa-afora), definida neste trabalho, transgressiva, estão inseridas em um contexto transgressivo. O aporte sedimentar superando a taxa de criação de espaço pode explicar esse comportamento, com o qual a SF4 (prodelta/costa-afora) representaria sedimentação em uma porção mais sujeita à influência do aporte sedimentar deltáico, enquanto que a SF6, uma porção mais afastada da desembocadura do delta, com menor influência do aporte de sedimentos.

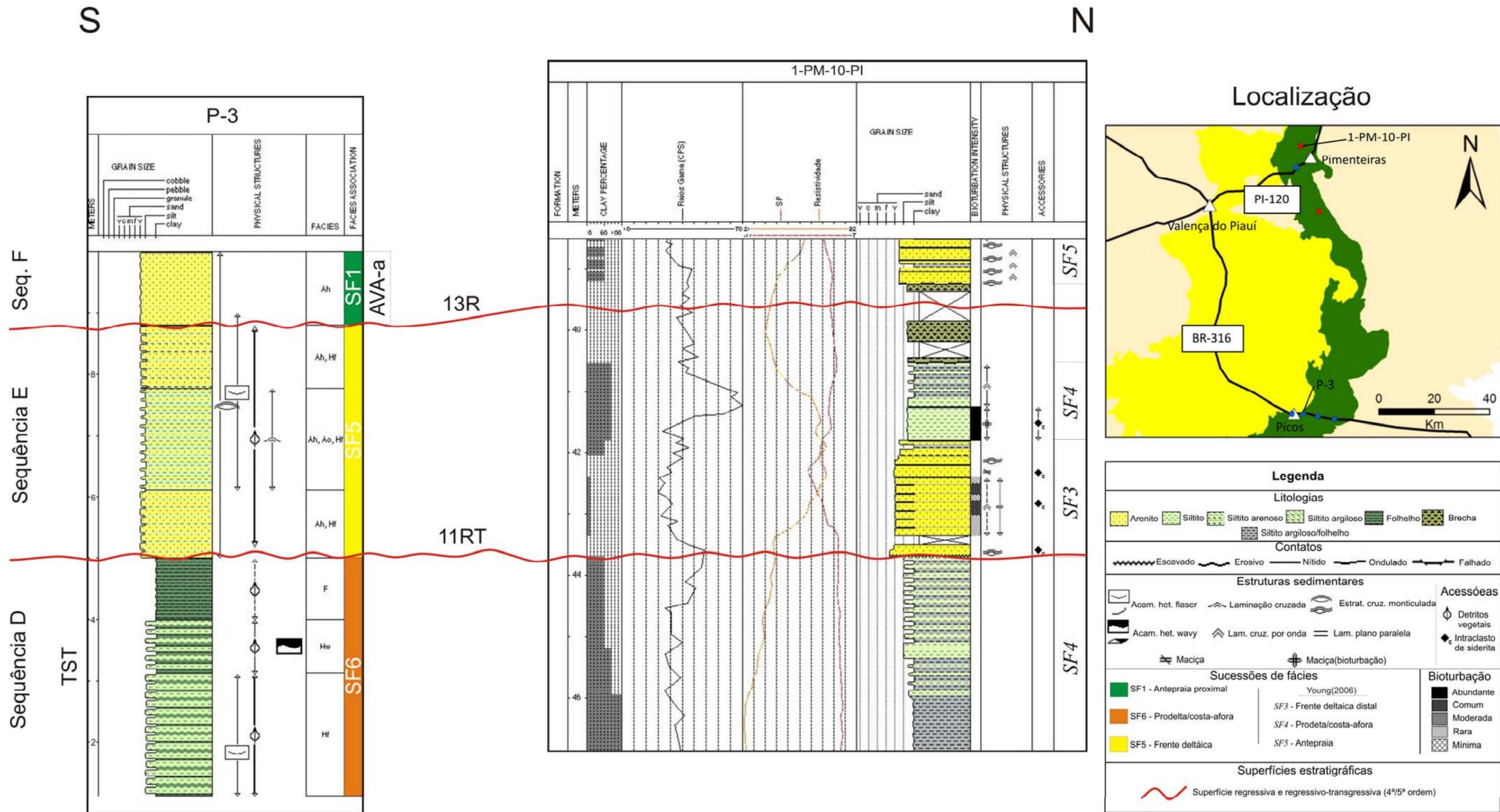


Figura 8 – Correlação estratigráfica do afloramento P-3 com o poço 1-PM-10-PI, mostrando sucessões de fácies, superfícies estratigráficas, tratos de sistemas e seqüências deposicionais.

### 5.3 Sequência G

Os afloramentos P-6 e 7 foram correlacionados com o poço 1-ST-15-PI (Figura 9), compreendem o TSMB e o TST da sequência G de Young (2006). Foi reconhecida a superfície 17T de Young (2006), limite inferior do TST. Inserida no TSMB foi identificada uma superfície regressiva de menor ordem (SR5), correspondente a interface de profundidade 16,5m do poço 1-ST-15-PI, podendo esta, representar a superfície final de regressão forçada de Catuneanu (2002). No TST foi identificada uma superfície regressiva de menor ordem (SR6), não identificada no poço correlacionado (1-ST-15-PI). O TSMB é compreendido pelos elementos gearquiteturais AVA-c e AVA-a, separados entre si pela superfície SR5; enquanto que o TST, pelos elementos AVA-b, AVA-c e a sucessão de fácies SF7 (planície de maré), separados pelas superfícies 17T e SR6.

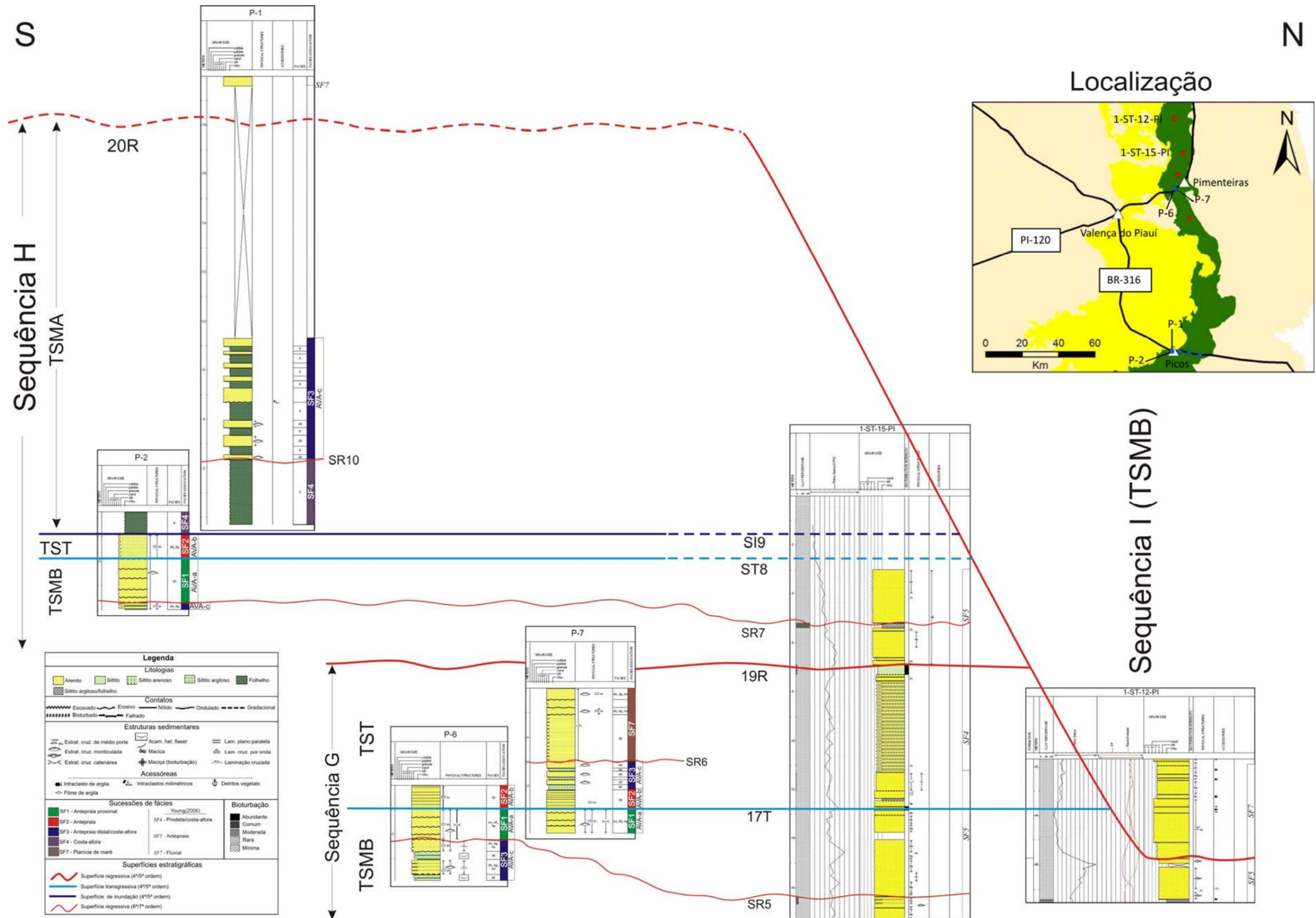
Apesar da proximidade do poço 1-PM-11-PI (menos de 1km) em relação aos afloramentos P-6 e P-7, este não foi utilizado na correlação por não haver descrição detalhada do mesmo.

### 5.4 Sequências H e I

Os afloramentos P-1 e P-2 foram correlacionados com os poços 1-ST-15-PI e 1-ST-12-PI (Figura 9), compreendendo as sequências H e I (apenas a sua base) de Young (2006). Pelo fato de não haver descrição completa das sequências H e I em um único poço, foram utilizados dois poços para a correlação. Foi inferida a superfície 20R de Young (2006), limite inferior da sequência I. Inseridas na sequência H, foram identificadas as superfícies SR7 (correlacionada a interface de profundidade 6,8m do poço 1-ST-15-PI), correspondente a

superfície final de regressão forçada de Catuneanu (2002), ST8 (transgressiva), SI9 (de inundação), além de uma de menor ordem de magnitude, regressiva (SR10).

Além do TSMB identificado por Young (2006), foram observados também os tratos de sistemas transgressivo (TST) e de mar alto (TSMA) da sequência H. O TSMB compreende o elemento gearquitetural AVA-a; o TST, compreende o AVA-b; enquanto que o TSMA, corresponde a sucessão de fácies SF4 (costa-afora) e o elemento gerarquitectural AVA-c do afloramento P-1. Para o preenchimento do TSMB da sequência I, adota-se a sucessão de fácies fluvial (SF7) de Young (2006), pois observou-se apenas uma variação muito brusca de relevo, no alto do afloramento P-1, evidenciada por espessos pacotes de arenitos, encimados a uma intercalação de camadas de arenito com folhelhos (AVA-c).



**Figura 9** – Correlação estratigráfica dos afloramentos P-1, P-2, P-6 e P-7 com os poços 1-ST-12-PI e 1-ST-15-PI, mostrando sucessões de fácies, superfícies estratigráficas, tratos de sistemas e sequências deposicionais.

## 6 CONCLUSÕES

A correlação com os dados de subsuperfície (testemunhos), dentro das limitações dos dados disponíveis, mostrou-se satisfatória, pois além do reconhecimento das superfícies de Young (2006), foi possível a identificação e correlação de superfícies de menor magnitude, além do detalhamento faciológico, escalar e estabelecimento de geometria a esses corpos.

De modo geral os elementos gearquiteturais possuem extensão de centenas de metros, geometria lenticular muito extensa, espessuras métricas, representando sedimentação em paleoambiente marinho raso dominado por tempestades (AVA-a, AVA-b, AVA-c e CAN), com influência deltaica (SF5 e SF6) e de marés (SF7).

Notou-se que os elementos gearquiteturais e sucessões de fácies (SF5, SF6 e SF7) são delimitados por superfícies estratigráficas de magnitudes variadas, correlacionadas com as superfícies de ordem 1, definidoras dos elementos, e superfícies limitantes das sucessões de fácies; o AVA-a é limitado, na sua base, por superfícies regressivas e, no topo, por superfícies transgressivas, o AVA-b é limitado, na sua base, por superfícies transgressivas e, no topo, por superfícies de inundação; o AVA-c é limitado, na sua base, por superfícies transgressivas e de inundação e, no seu topo, por superfícies regressivas. Deste modo, sugere-se que o empilhamento dos elementos gearquiteturais e das sucessões de fácies seja ocasionado por flutuações locais do nível mar, onde o AVA-a representa momentos de mar baixo, AVA-b transgressivos enquanto o AVA-c transgressivos e de mar alto. Essas flutuações possuem magnitude menor do que as responsáveis pela formação dos tratos de sistemas das sequências (4<sup>a</sup>/5<sup>a</sup> ordem) definidas por Young (2006).

O modelo estratigráfico baseado em regressões forçadas de Young (2006) e Young & Borghi (2006), para a Formação Pimenteira, não foi questionado com os dados analisados.

Os elementos gearquiteturais AVA-a, AVA-b e CAN destacam-se como potenciais reservatórios, pois possuem grande continuidade lateral; variação lateral de fácies areníticas para heterolíticas e lutíticas quase inexistente; e acima de 80% de fácies areníticas em relação a heterolíticas e lutíticas. Apesar disso, possuem propriedades petrofísicas muito heterogêneas (porosidade e permeabilidade), ocasionadas principalmente pela cimentação dispersa por siderita, caulinita e óxido de ferro.

## Referências bibliográficas

- ALLEN, PH.A. & UNDERHILL, J.R. Swalley cross-stratification produced by unidirectional flows, Bencliff Grit (Upper Jurassic), Dorset, UK. **Journal of The Geological Society**, London, v.146, p.241–252, 1989.
- AGOSTINHO, S. **Revisão sistemática de icnofósseis da Formação Pimenteira, Devoniano da bacia do Parnaíba, no Estado do Piauí**. 2005. 123f. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BATTACHARYA, I.P & WALKER, R.G. Deltas. **In**: WALKER, R.G. & JAMES, N.P. (eds.) **Facies model**: response to sea level change. Stittsville: Geological Association of Canada, 1992. p.157-178.
- BORGHI, L. & YOUNG, C.G.K. “Winnowed boulder lag”: a tsunamite in the Devonian of Parnaíba Basin. **In**: LATINAMERICAN CONGRESS OF SEDIMENTOLOGY, 3, 2003, Belém. **Abstracts...** Belém: IAS, 2003. p.158-160.
- BORGHI, L. **Fácies, arquitetura deposicional, tempestitos e o devoniano da bacia do Paraná**. 2002. 309f. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BORGHI, L. **Visão geral da análise de fácies sedimentares do ponto de vista da arquitetura deposicional**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2000. 26p. (Boletim do Museu Nacional, Nova Série, Geologia, n.53). ISSN 0080-3200
- BORGHI, L. **Caracterização e análise faciológica da Formação Furnas (Pridoli-Eodevoniano) em afloramentos do flanco sul do arco estrutural de Ponta Grossa, borda Leste da bacia do Paraná, Estado do Paraná, Brasil**. 1993. 227f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BRENCHLEY, P.J., PICKERILL, R.K., STROMBERG, S.G. The role of wave reworking on the architecture of storm sandstone facies, Bell Island Group (Lower Ordovician), eastern Newfoundland. **Sedimentology**, Southampton, v.40, p.359–382, 1993.
- CAPUTO, M.V. **Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of Northern basins of Brazil**. 1984. 583f. Tese (Doutorado) – California University, Santa Barbara.
- CAROZZI, V.C. *et al.* **Análise ambiental e evolução tectônica sinsedimentar da seção siluro-eocarbonífera da bacia do Maranhão**. Rio de Janeiro, Petrobras, 1975. 2v. (Ciência-Técnica-Petróleo, Seção Exploração de Petróleo, 7),.
- CARVALHO, M.G.P. **Trilobitas Devonianos da bacia do Parnaíba (Formações Pimenteira, Cabeças e Longá)**. 1995. 132f. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- CATUNEANU, O. Sequence Stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls. **Journal of African Earth-Sciences**, Amsterdam, v.35, p.1-43, 2002.

- CUNHA, F.M.B. **Evolução paleozóica da bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico**. 1986. 107f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- DALRYMPLE, R.W. Tidal depositional systems. **In**: WALKER, R.G.; JAMES, N.P. (eds). **Facies Models: response to sea level change**. Stittsville: Geological Association of Canada, 1992. p.195-219.
- DELLA FÁVERA, J.C., Begossi, R., Medeiros, M.A.M. Prodelta hummocky cross-stratified sandstone lobes: a new model for Brazilian Paleozoic deltas. **In**: LATINAMERICAN CONGRESS OF SEDIMENTOLOGY, 3, 2003, Belém. **Abstracts...** Belém: IAS, 2003. p.119-120.
- DELLA FÁVERA, J.C. **Fundamentos de Estratigrafia Moderna**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2001. 263p.
- DELLA FÁVERA, J.C. **Tempestitos da bacia do Parnaíba: um ensaio holístico**. 1990. 243f. Tese (Doutorado em Geociências) – Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- DELLA FÁVERA, J.C. Devonian storm- and tide-dominated shelf deposits, Parnaíba Basin, Brazil. **AAPG Bulletin**, Tulsa, v.66, p.562 (Abstract). 1982.
- DOTT, R.H., JR. & BOURGEOIS, J. Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequence. **Geological Society of America Bulletin**, Tulsa, v.93, p.663–680, 1982.
- DUKE, W.L. Hummocky cross-stratification, tropical hurricanes, and intense winter storms. **Sedimentology**, Southampton, v.32, p.167-194, 1985.
- GÓES, A, M, O., SOUZA, J, M, P., TEIXEIRA, L, B. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.4, n.1, p.55-64, 1990.
- GRAHN, Y., YOUNG, C., BORGHI, L. Middle Devonian chitinozoan biostratigraphy and sedimentology in the eastern outcrop belt of the Parnaíba Basin, northeastern Brazil. **Revista brasileira de paleontologia**, São Leopoldo, v.11, n.3, p.137-146, 2008.
- HAMBLIN, A.P. & WALKER, R.G. Storm-dominated shallow marine deposits: the Fernie-Kootenay (Jurassic) transition, southern Rocky Mountains. **Canadian Journal of Earth Sciences**, Kelowna, v.16, p.1673-1690, 1979.
- HAYES, M.,. **Hurricanes as geological agents; case studies of hurricanes Carla, 1961 and Cindy, 1963**. Bureau of Economic Geology, University of Texas, Austin, 1967. 54p (Report of special investigation 61.)
- LIMA, E.A.M. & LEITE, J.F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba**. Recife: DNPM/CPRM, 1978. 16v.
- MABESOONE, M.J. **Sedimentary basins of Northeast Brazil**. Recife: DG-CT-UFPe, 1994. 308p. (Special Publication, 2)
- MAGOON, L. B. & DOW, W. G. The petroleum system. **In**: MAGOON, L. B. & DOW, W. G. (ed) **The petroleum system: from source to trap**. Tulsa: AAPG, 1994. p.3-24. (AAPG Memoir, 60)

- MIDTGAARD, H.H. Inner-shelf to lower-shoreface hummocky sandstone bodies with evidence for geostrophic influenced combined flow, Lower Cretaceous, West Greenland. **Journal of Sedimentary Research**, Boulder, v.66, n.2, p.343–353, 1996.
- MYROW, P.M. & SOUTHARD, J.B. Tempestite deposition. **Journal of Sedimentary Research**, Boulder, v.66, n.5, p.875–887, 1996
- MYROW, P.M. Bypass-zone tempestite facies model and proximity trends for an ancient muddy shoreline and shelf. **Journal of Sedimentary Petrology**, Tulsa, v.62, n.1, p.99–115, 1992
- MYROW, P.M. & SOUTHARD, J.B. Combined-flow model for vertical stratification sequences in shallow marine storm-deposited beds. **Journal of Sedimentary Petrology**, Tulsa, v.61, n.2, p.202–210, 1991.
- OLIVEIRA, J.C. & BARROS, F.L. **Projeto Fosfato de São Miguel do Tapuio**. Recife: DNPM/CPRM, 1976. 4v. (Relatório interno.)
- POSAMENTIER, H.W., ALLEN, G.P., JAMES, D.P., TESSON, M. Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: concepts, examples, and exploration significance. **AAPG Bulletin**, Tulsa, v.76, n.11, p.1687-1709, 1992.
- POSAMENTIER, H.W., JERVEY, M.T., VAIL, P.R. Eustatic controls on clastic deposition I –conceptual framework. **In: WILGUS, C.K. et al. (eds.) Sea-level changes: an integrated approach**. Tulsa: SEPM, 1988. p.109-124. (Special Publication, 42)
- RODRIGUES, R. **A Geoquímica Orgânica na bacia do Parnaíba**. 1995. 225f. Tese (Doutorado em Geociências) – Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SIRINGAN, F.P. & ANDERSON, J.B. Modern shoreface and inner-shelf storm deposits off the east Texas coast, Gulf of Mexico. **Journal of Sedimentary Research**, Boulder, v.B64, n.2, p.99–110, 1994.
- SWIFT, D.J.P. & NUMMEDAL, D. Hummocky cross-stratification hurricanes, and intense winter storms: discussion. **Sedimentology**, Southampton, v.34, p.338-344, 1987.
- SWIFT, D.J.P. *et al.* Barrier island evolution, Middle Atlantic Shelf, U.S.A. Parte I: Shoreface dynamics, **Marine Geology**, Amsterdam, v.63, p.331-336, 1985
- SWIFT, D.J.P. *et al.* Hummocky cross stratification and megaripples: a geological double standard? **Journal of Sedimentary Research**, Boulder, v.53, n.4, p.1295-1317, 1983.
- VAZ, P.T. *et al.* Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.253-263, 2007.
- WALKER, R.G.. Geological evidence for storm transportation and deposition on ancient shelves *In: TILLMAN, R.W.; SWIFT, D.J.P.; WALKER, R.G. (eds.) Shelf sands and Sandstones Reservoir*. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1985. p.135-241.(Short Course 13.)
- WALKER, R.G., 1984. Shelf and shallow marine sands. **In: WALKER, R.G. (ed.), Facies models**. (2.ed.). Stittsville: Geoscience Canada, 1984. p.141-170. (Reprint Series, 1)
- WALKER, R.G., DUKE, W., LECKIE, D.A. Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequence: discussion and reply. **Geological Society of America Bulletin**, Tulsa, v.94, p.1245–1251, 1983.

- YOUNG, C.G.K. **Estratigrafia de alta-resolução da formação Pimenteira (Devoniano, bacia do Parnaíba)**. 2006. 170f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- YOUNG, C.G.K & BORGHI, L. **Corpos de Arenitos Isolados: Um Novo Modelo Exploratório de Reservatórios nas Bacias Paleozóicas Brasileiras**. **In: RIO OIL & GAS EXPO AND CONFERENCE**, 2006, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IBP, 2006. CD-ROM, 6p.

## **Apêndice A — Caracterização das fácies sedimentares**

## **Fácies Ah — Arenito com estratificação cruzada monticulada**

**Diagnose** — Arenitos muito finos com estratificação cruzada monticulada (*hummocky cross-stratification—HCS*) (Apêndice B, Estampa I, Figura A).

**Interpretação** — Ação de correntes oscilatórias de alta energia, combinadas com fracas correntes unidirecionais (retorno/geostróficas).

**Descrição** — Arenitos muito finos, bem selecionados, apresentando estratificação cruzada monticulada. Possui o contato inferior brusco. Na maioria dos casos, há evidência de erosão, como a presença de intraclastos de argila; além disso, ocorrem com pouca frequência marcas de sola. O contato superior apresenta-se nítido e, em alguns casos, erosivo, com fácies de grã fina sobrejacentes. Ocorre com muita frequência a reelaboração por onda da parte superior da fácies. Em alguns afloramentos observou-se polaridade no caimento das lâminas. Quando observáveis, as cristas da megaondulação monticulada possuem espaçamento de até 4m. Em alguns casos apresenta fraca bioturbação.

**Discussão** — Em afloramento é muito fácil observar uma variação lateral da estrutura para laminação plano paralela, pelo fato da ondulação ser ampla. O contato superior da fácies, em muitos casos erosivo, e a esse a presença de folhelhos recobrimdo a camada desta fácies evidenciam a ocorrência de zonas de utrapassagem de sedimento (*by-pass*). Esta fácies é correspondente à fácies Ah de Young (2006), à parte central das fácies C2 e C3 do Plexo Tempestítico de Borghi (2002), à divisão H da “Camada Hummocky” de Dott & Bourgeois (1982) e do “Turbidito-HCS” de Walker (1983).

## **Fácies Ao — Arenito com laminação cruzada**

**Diagnose** — Arenitos muito finos com laminação cruzada (*ripple cross lamination*)

(Apêndice B, Estampa I, Figura C)

**Interpretação** — Ação de correntes oscilatórias (batimento de ondas normais ou ondas de tempestade amainantes), combinadas com fracas correntes unidirecionais (retorno/geostróficas)

**Descrição** — Arenitos muito finos, bem selecionados, apresentando laminação cruzada. Ocorrem com muita frequência como reelaboração do topo da fácies Ah, assim como em acamamento heterolítico fláser e ondulado. Em alguns casos possuem fragmentos vegetais e apresentam-se fracamente bioturbado.

**Discussão** — A presença em camadas de evento, na sua maioria intercaladas com finos, pode indicar que a deposição desta fácies ocorreu abaixo do nível de ondas de tempo bom, porém acima do nível base de ondas de tempestades, atribuindo a sua gênese a ondas amainantes de tempestades. Em algumas camadas, notou-se uma leve migração lateral de cristas, indicando influência de correntes unidirecionais combinadas com oscilatórias. Corresponde à parte superior das fácies C3 e C2 do Plexo Tempestítico de Borghi (2002), a fácies Ao de Young (2006), à divisão X da “Camada Hummocky” de Dott & Bourgeois (1982) e do “Turbidito-HCS” de Walker (1983).

## **Fácies Ap — Arenito com laminação plano-paralela**

**Diagnose** — Arenitos muito finos com laminação plano-paralela (Apêndice B, Estampa I, Figura C).

**Interpretação** — Ação de correntes oscilatórias de alta energia combinadas com correntes unidirecionais.

**Descrição** — Arenitos muito finos, bem selecionados, apresentando laminação plano-paralela. No afloramento P-5 foi observado lineação por partição (30°-210°). Em lâminas petrográficas observou-se que as laminações são marcadas pela orientação de micas. Possui rara bioturbação e muito pouco detrito vegetal.

**Discussão** — Esta fácies pode-se formar em areias finas por correntes unidirecionais em regime de fluxo superior, fluxos oscilatórios de alta energia, além da combinação dos dois processos. Ocorrendo sobrejacente a arenitos maciços, segundo o modelo do “Turbidito-HCS” de Walker (1983), são formados por fluxos turbidíticos de baixa densidade. Quando ocorrem sobrejacentes a HCS, assim como no intervalo F da “Camada Hummocky” de Dott & Bourgeois (1982), são relacionados a fluxos oscilatórios, podendo ser combinados com fracos fluxos unidirecionais (Myrow & Southard, 1991). Corresponde à parte basal das fácies C2 e C3 de Borghi (2002), à fácies Ap de Young (2006), às divisões P e F do “Turbidito-HCS” de Walker (1983) e ao campo PB do modelo de deposição de tempestito de Myrow & Southard (1991), obtido através de experimentos de laboratório (*flumes*).

## **Fácies As — Arenito com estratificação cruzada catenária**

**Diagnose** — Arenitos muito finos com estratificação cruzada catenária (*swaley cross-stratification*—SCS) (Apêndice B, Estampa I, Figura B)

**Interpretação** — Ação de correntes oscilatórias de alta energia, combinadas com fracas correntes unidirecionais (retorno/geostróficas)

**Descrição** — Arenitos muito finos, bem selecionados, apresentando estratificação cruzada catenária. Ocorrem comumente em camadas amalgamadas, associados com arenitos com HCS e laminação plano-paralela.

**Discussão** — Leckie & Walker (1982, *apud* Allen & Underhill, 1989) atribuíram a esta fácies sedimentação tempestítica acima do nível base de ondas de tempo bom; desta forma, posicionaram a estrutura, em uma sucessão de raseamento, acima de HCS`s (abaixo do nível base de ondas de tempo bom) e abaixo de fácies de praia. Assim, por muito tempo, essa fácies foi indicativa de sedimentação de antepraia dominada por tempestades. Apesar disso, essa estrutura já foi diagnosticada em diversos tipos de paleoambientes como canais de maré, ambientes de praia e depósitos turbidíticos. Em relação ao seu processo de deposição, Allen & Underhill (1989) identificaram ação de correntes unidirecionais em seus estudos no “Arenito Benecliff”. Borghi (2002), em seu Plexo Tempestítico, sugere ação combinada de correntes oscilatórias com unidirecionais (trativas) ou de turbidez (fácies C2), e correntes oscilatórias evanescentes (ondas amainantes) agindo sob areia muito fina e fina em decantação (fácies C3). Corresponde à parte central das fácies C2 e C3 do Plexo Tempestítico de Borghi (2002).

### **Fácies Hf — Acamamento heterolítico fláser com laminação cruzadas**

**Diagnose** — Siltitos e/ou arenitos muito finos com acamamento heterolítico fláser apresentando laminações cruzadas (Apêndice B, Estampa II, Figura A).

**Interpretação** — Decantação associada à tração por corrente oscilatória combinada unidirecional.

**Descrição** — Siltitos e/ou arenitos muito finos intercalados com folhelhos, cuja proporção de folhelhos varia de 20% a 30%. Apresenta-se comumente bioturbada e alguns casos possui fragmentos de vegetais milimétricos. Podem ocorrer também contramarcas de calha.

**Discussão** — Representa a alternância de processos trativos (correntes oscilatórias e/ou Fluxo combinado onda + corrente) e decantação. A interpretação do processo de deposição se dá devido à presença típica de laminações cruzadas, sendo essas estruturas produzidas por correntes oscilatórias em regime de fluxo inferior combinadas ou não com com correntes unidirecionais muito fracas. Corresponde à fácies Hf de Young (2006).

### **Hw — Acamamento heterolítico ondulado com laminações cruzadas**

**Diagnose** — Siltitos e/ou arenitos muito finos em acamamento heterolítico ondulado apresentando laminações cruzadas (Apêndice B, Estampa II, Figura B).

**Interpretação** — Decantação associada à tração por corrente oscilatória combinada com unidirecional.

**Descrição** — Siltitos e/ou arenitos muito finos em camadas decimétricas (10-15cm) intercalados com folhelhos em proporções em torno de 50%. Em alguns casos apresenta bioturbação e detritos vegetais milimétricos.

**Discussão** — Sua deposição ocorre através da alternância de processos de trativos (ondas e/ou onda + corrente) e de decantação. A interpretação do processo deve-se à presença de laminações cruzadas, sendo essas estruturas produzidas por correntes oscilatórias em regime de fluxo inferior e/ou fluxos combinados com o componente unidirecional muito fraco. Corresponde aos sedimentos finos da “heterolitic facies” de Allen & Underhill (1989), e à fácies Hw de Young (2006).

## **F— Folhelho**

**Diagnose** — Siltito argiloso (Apêndice B, Estampa II, Figura C )

**Interpretação** — Decantação de finos

**Descrição** — Siltito argiloso arroxeadado, amarelado, com pouca fissilidade, muito pouco bioturbado. Apresenta também crostas de enxofre.

**Discussão** — Esses folhelhos representam sedimentação de tempo bom em paleoambiente marinho de costa afora (offshore). Embora não tenha sido observado, pode conter fósseis de invertebrados e microfósseis (palinórfos), conforme a literatura.

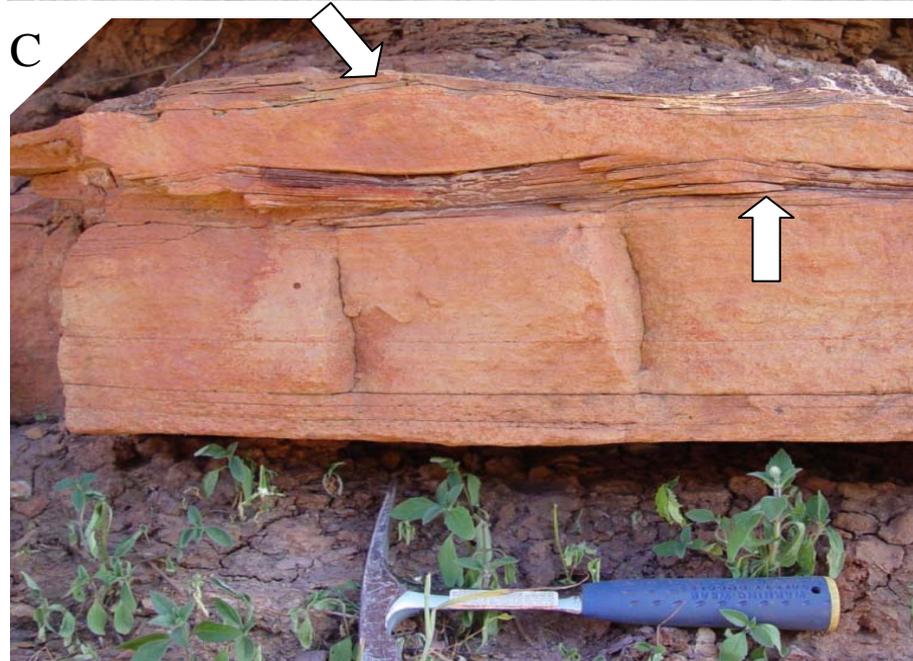
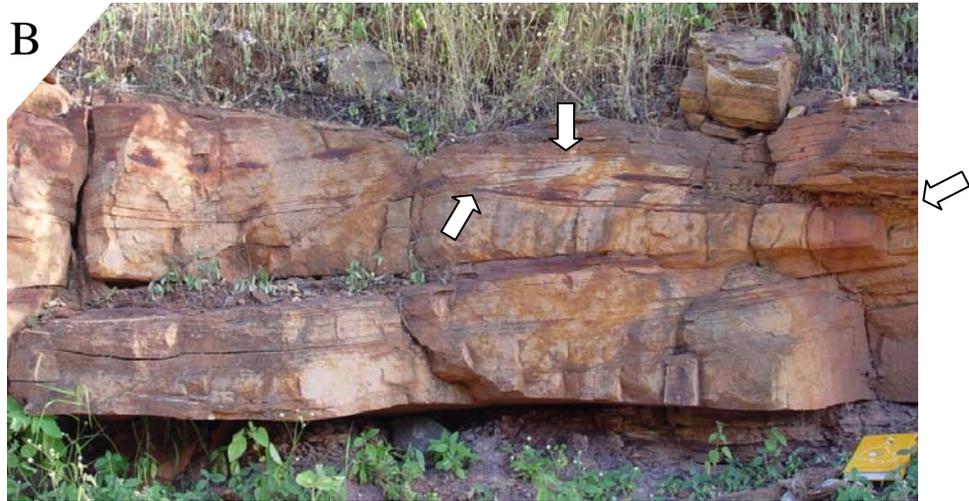
## **Apêndice B — Estampas das fácies sedimentares**

## **Estampa I**

**Figura A** – Aspecto da fácies Ah no afloramento P-5. Notar que as camadas com a fácies Ah são separadas por delgadas camadas de folhelho (setas brancas). Acima do martelo observar uma cava truncando um montículo com ângulo relativamente alto. As laminações internas das camadas representam as superfícies de ordem 3 dos elementos arquiteturais AVA. Escala = 28cm

**Figura B** – Aspecto da fácies As no afloramento P-4. Notar que há um sucessivo truncamento, em ângulo baixo, de cavas (setas brancas). As laminações internas das camadas representam as superfícies de ordem 3 dos elementos arquiteturais AVA. Escala = 12cm (lado menor da caderneta)

**Figura C** – Aspecto das fácies Ap e Ao no afloramento P-4, Notar na parte superior da camada, fácies Ao, uma migração de cristas para esquerda (setas brancas). As laminações internas das camadas representam as superfícies de ordem 3 dos elementos arquiteturais AVA. Escala = 28cm



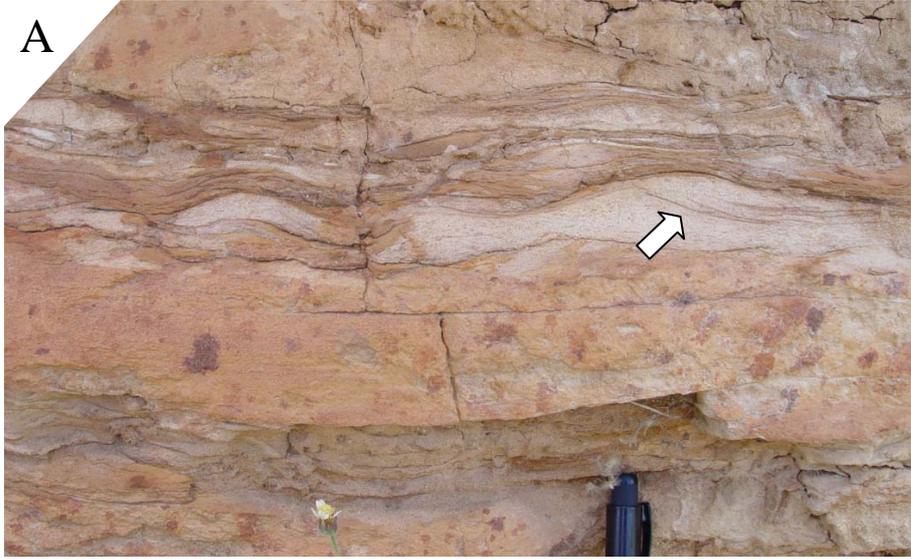
## **Estampa II**

**Figura A** – Aspecto da fácies Hf no afloramento P-5. Notar a presença de laminações cruzadas nas camadas arenosas (seta branca). Escala = 4cm

**Figura B** – Aspecto da fácies Hw no afloramento P-4. Notar a presença de laminações cruzadas nas camadas mais arenosas (setas brancas). Escala = 18cm (cabeça do martelo)

**Figura C** – Aspecto das fácies F no afloramento P-1.

A



B



C

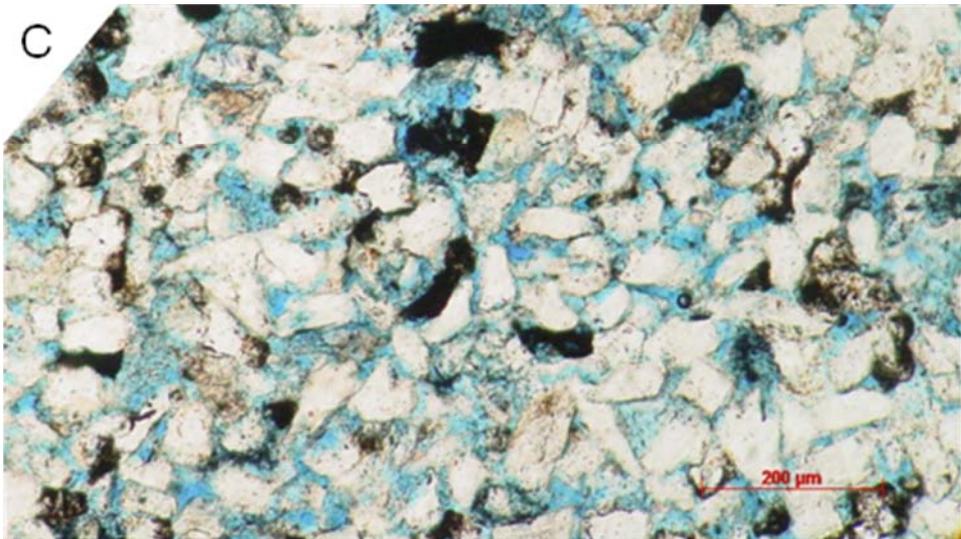
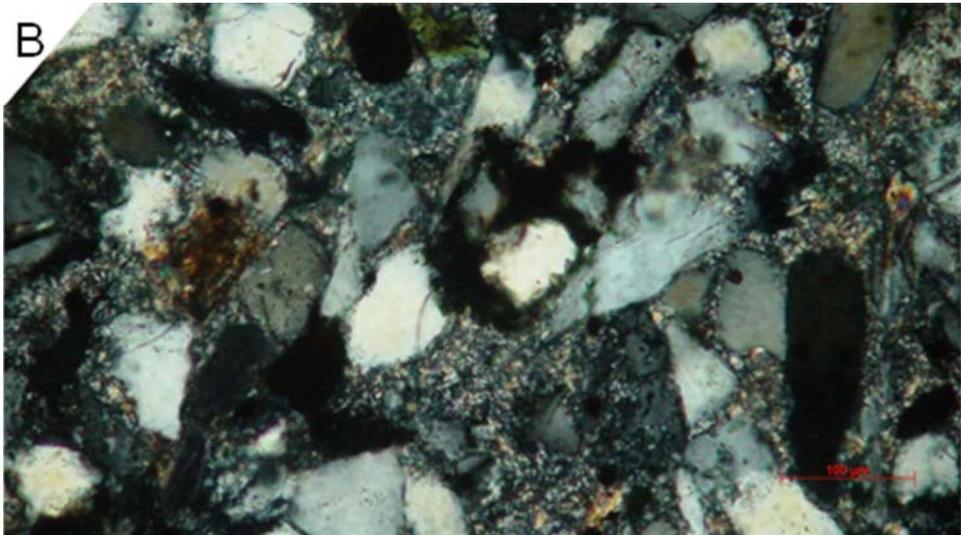
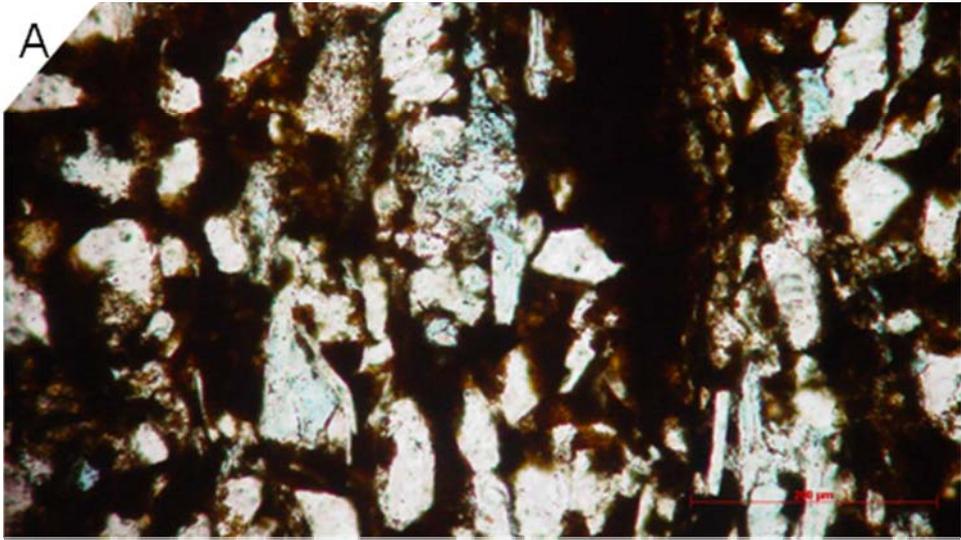


### **Estampa III**

**Figura A** – Fotomicrografia das fácies areníticas mostrando intraclastos de argila substituídos por óxido de ferro (nicóis paralelos). Notar que na borda dos intraclastos há resquícios de cimento siderítico, provavelmente anterior ao cimento de óxido de ferro. Amostra da fácies Ah no afloramento P-5 (possui aproximadamente 2% de porosidade e 3 mD de permeabilidade).

**Figura B** – Fotomicrografia das fácies areníticas mostrando intensa cimentação por caulinita preenchendo completamente os poros (nicóis cruzados). Amostra da fácies Ah no afloramento P-2 (porosidade aproximada de 3% e 13 mD de permeabilidade).

**Figura C** – Fotomicrografia das fácies areníticas mostrando porosidade primária e secundária (nicóis paralelos). Possui aproximadamente 21% de porosidade e 335 mD de permeabilidade. Amostra da fácies Ah no afloramento P-2.



## **Apêndice C — Caracterização das sucessões de fácies**

## **Sucessão de fácies 1 (SF1) — Antepraia proximal**

**Diagnose** — Sucessão das fácies **Ap, As, Ah** (Figura 3).

**Descrição** — Ocorre como camadas amalgamadas com predominância da fácies **As**.

**Interpretação** — Antepraia proximal sob ação de ondas e correntes (retorno/geostrófica) geradas durante eventos de tempestade; agradacional.

**Discussão** — Segundo Leckie & Walker (1982, *apud* Allen & Underhill, 1989), a presença de estratificação cruzada catenária (SCS) em uma sucessão marinha é indicativa de sedimentação tempestática acima do nível base de ondas de tempestades em condições mais proximais, onde estratificações cruzadas monticuladas (HCS) amalgamam-se formando SCS. Deste modo a predominância da fácies **As** na sucessão denota sua deposição em paleoambiente de antepraia proximal.

Esta sucessão tem comportamento regressivo pois ocorre comumente em contato erosivo com as sucessões subjacentes. Corresponde a porção inferior sucessão SF5 de Young (2006).

## **Sucessão de fácies 2 (SF2) — Antepraia**

**Diagnose** — Sucessão das fácies **Ap, Ah e Hf** (Figura 3).

**Descrição** — Ocorre predominante a fácies **Ap** em camadas concordantes que se acrecionam verticalmente, amoldando-se á superfície basal da sucessão. Em menor abundância, ocorrem camadas das fácies **Ah, e Hf**.

**Interpretação** — Antepraia intensamente reelaborada por ondas e/ou correntes (retorno/geostrófica) de alta energia, geradas durante eventos de tempestade, em contexto transgressivo.

**Discussão** — A abundância da fácies **Ap** sugere a influência fluxos oscilatórios de alta energia (combinados ou não com fluxos unidirecionais), na deposição dessa sucessão (Myrow & Southard, 1991). Esta sucessão representaria ambiente de antepraia mais distal que a SF1, pois normalmente ocorre, sobrejacente, e em contato erosivo (superfície *bypass*) com a SF1, evidenciando uma superfície transgressiva seguida por seus respectivos depósitos transgressivos. Corresponde à porção superior da sucessão de fácies SF5 de Young (2006).

### **Sucessão de fácies 3 (SF3) — Transição Costa-afora / Antepraia**

**Diagnose** — Sucessão das fácies **Ap, Ah, Ao, Hf, Hw e F** (Figura 3)

**Descrição** — Intercalação de sedimentos finos (**Hf, Hw e F**) com camadas de arenitos, na sua maioria, lenticulares muito extensas (**Ap, Ah, Ao**). As fácies **Ap, Ah e Ao** são as predominantes, constituindo em média 60% da sucessão.

**Interpretação** — Paleoambiente marinho raso transicional entre costa-afora e antepraia distal, sob ação de ondas e correntes de tempestade: agradacional.

**Discussão** — A presença de sedimentação lutítica e acamamento heterolítico associada com muitas camadas, relativamente espessas, de tempestade (**Ap, Ah, Ao**), indica que essa sucessão foi depositada na zona de transição do nível de base de ondas de tempo bom, porém acima do nível de base de ondas de tempestades (Myrow, 1992).

### **Sucessão de fácies 4 (SF4) — Costa-afora**

**Diagnose** — Sucessão auto-reflexiva da fácies **F** (Figura 3)

**Descrição** — Repetição monótona da fácies **F**.

**Interpretação** — Paleoambiente marinho raso de costa afora.

**Discussão** — Representa uma porção bem distal de um mar raso dominada por tempestades, abaixo do nível de base de ondas de tempestade. Corresponde à sucessão de fácies *SF6* de Young (2006).

#### **Sucessão de fácies 5 (SF5) — Frente deltaica**

**Diagnose** — Alternância das fácies **Ah** e **Hf** (Figura 3)

**Descrição** — Intercalação de camadas com acamamento heterolítico fláser (**Hf**) com camadas de arenitos, sendo a fácies **Ah** predominante. Há grande abundância de detritos vegetais.

**Interpretação** — Frente deltaica reelaborada por ondas de tempestade, regressiva.

**Discussão** — Essa sucessão mostrou um comportamento regressivo/transgressivo, devido a uma diminuição (quantidade e espessura) de camadas areníticas (**Ah**) para sua porção mediana, e posterior aumento para o topo (Figura 3). Segundo Bhattacharya & Walker (1992), em deltas dominados por ondas a frente deltaica é caracterizada por uma sucessão de fácies granulocrescente, típica de antepraia. A presença de detritos vegetais milimétricos, além da predominância da fácies **Ah**, evidencia a sedimentação deltaica dominada por ondas.

A reelaboração por ondas de tempestade é bem característica pela grande quantidade de camadas espessas com a fácies **Ah**. Corresponde à sucessão de fácies *SF3* de Young (2006), porém numa porção mais proximal.

#### **Sucessão de fácies 6 (SF6) — Prodelta / Costa-Afora**

**Diagnose** — Sucessão das fácies **Hf**, **Hw** e **F** (Figura 3).

**Descrição** — Sucessão de fácies **Hf**, para **Hw** e por conseguinte, **F**, evidenciando um aumento na proporção de finos para o topo. Há abundância de detritos vegetais milimétricos.

**Interpretação** — Prodelta dominado por ondas transicionado para costa-afora, em contexto transgressivo.

**Discussão** — Segundo Bhattacharya & Walker (1992), em deltas dominados por ondas as fácies mais distais possuem maior razão de areias em relação a deltas fluviais dominantes. A abundância das fácies **Hf** e **Hw** evidenciam esse domínio de ondas.

O contexto transgressivo é evidenciado pelo afinamento granulométrico da sucessão. Corresponde à sucessão de fácies *SF4* de Young (2006).

### **Sucessão de fácies 7 (SF7) — Planície de maré**

**Diagnose** — Alternância das fácies **Hf**, **Ah** (Figura 3)

**Descrição** — Esta sucessão apresentou um padrão rítmico bem característico, representado pela repetição da fácies **Hf**. Em menor abundância, apresentando caráter episódico, ocorre a fácies **Ah**.

**Interpretação** — Planície de maré (intermaré), sofrendo reelaboração episódica por ondas de tempestades.

**Discussão** — Segundo Dalrymple (1992) as planícies de maré possuem, próximo à linha de maré alta, sedimentação lamosa devido à atuação mais prolongada das correntes de baixa velocidade, enquanto que, próximo à linha de maré baixa, um aumento no teor de areia, em função da atuação de ondas mais fortes e por períodos mais prolongados. Deste modo, à intercalação de delgadas camadas de arenito, apresentando laminações cruzadas, com siltitos e folhelhos (**Hf**), bem como a presença de camadas tempestíficas (**Ah**), indica sedimentação de intermaré distal, episodicamente reelaborado por ondas de tempestade.