

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS

DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E ESTRATIGRÁFICA DO SISTEMA  
FLUVIAL DA FORMAÇÃO JAICÓS, GRUPO SERRA GRANDE, BACIA DO PARNAÍBA**

Gabriel de Almeida Moura Loureiro

Trabalho de Conclusão de Curso submetido a banca examinadora para a obtenção do Grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Profa. Dra. Manoela Bettarel Bállico

Geóloga Supervisora: Monica Oliveira Manna

Florianópolis

2019

LOUREIRO, GABRIEL DE ALMEIDA MOURA  
CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E ESTRATIGRÁFICA DO  
SISTEMA FLUVIAL DA FORMAÇÃO JAICÓS, GRUPO SERRA GRANDE,  
BACIA DO PARNAÍBA / GABRIEL DE ALMEIDA MOURA LOUREIRO ;  
orientador, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Manoela Bettarel Bállico,  
coorientador, Monica Oliveira Manna, 2019.  
71 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de  
Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geologia,  
Florianópolis, 2019.

Inclui referências:

1. Geologia. 2. Regime de Fluxo Superior . 3. Formação  
Jaicós. 4. Grupo Serra Grande. 5. Estratigrafia de Alta  
Resolução. I. Bállico, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mancela Bettarel . II.  
Manna, Monica Oliveira. III. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Graduação em Geologia. IV. Título.

Gabriel de Almeida Moura Loureiro

**CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E ESTRATIGRÁFICA DO SISTEMA  
FLUVIAL DA FORMAÇÃO JAICÓS, GRUPO SERRA GRANDE, BACIA DO PARNAÍBA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Geologia, e aprovado em sua forma final pelo Coordenador do Curso de Geologia.

Florianópolis, 26 de novembro de 2019.

---

Prof. Marivaldo Nascimento, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**



Documento assinado digitalmente  
Manoela Bettarel Ballico  
Data: 30/10/2020 21:06:38-0300  
CPF: 008.441.650-50

---

Prof.<sup>a</sup> Manoela Bettarel Bállico, Dr.<sup>a</sup>  
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
Marcelo Accioly Teixeira de Oliveira  
Data: 06/11/2020 16:28:34-0300  
CPF: 592.394.847-87

---

Prof. Marcelo Accioly Teixeira de Oliveira, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Claiton Marlon dos Santos Scherer, Dr.  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a minha família, sem eles nada disso seria possível.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família, que sempre me apoiou em todas as decisões e que me deu condições para que eu conseguisse seguir até o final do curso. Agradeço a oportunidade de fazer parte deste Projeto, que deu todo o suporte para que este trabalho pudesse existir, além de todo o conhecimento imensurável conquistado no desenvolvimento do trabalho. Obrigado Manu pela oportunidade dada e pela confiança em realizar este trabalho. Agradeço a Mônica por toda ajuda que me deu durante o desenvolvimento e por todo o ensinamento. Obrigado ao pessoal do Laboratório de Geo de Reservatórios por todo o suporte, em especial a Lorenza, pela montagem dos fotomosaicos. Agradeço também todos os professores responsáveis por fortalecer o curso da geologia da UFSC. Aos meus amigos e colegas de Geologia, muito obrigado pelas discussões e pelas aventuras em campo, cada um será lembrado por todos os acontecimentos! Obrigado a UFSC por todo o recurso oferecido! Obrigado ao meu País, Brasil, por acreditar no ensino público e dar conhecimento àqueles que buscam a ciência! E que assim continue!

*“Look deep into nature, and then you will understand everything better.”*  
(Albert Einstein)

## RESUMO

A Bacia do Parnaíba tem sido estudada desde o início do século XX, e ao longo dos anos diversos estudos envolvendo estratigrafia e sedimentologia foram realizados de modo a obtenção de recursos naturais como petróleo e gás. Contudo, poucos estudos de detalhe foram realizados, principalmente envolvendo o Grupo Serra Grande, em especial a Formação Jaicós. Para tanto, este trabalho dispõe de novas informações quanto a análise faciológica de um trecho da sucessão de rochas que compõe a Formação Jaicós, propondo classificação de litofácies e elementos arquiteturais, com intuito de obter-se um modelo deposicional para a Formação. Foram identificadas sete litofácies, sendo seis arenosas e uma conglomerática. As fácies mais abundantes são, em ordem decrescente, estratificação cruzada sigmoidal (Ss), estratificação cruzada acanalada (St) e estratificação cruzada de baixo ângulo (Sl). As litofácies Sm, Sp, Sr e Gm também compõe a litologia, contudo são menos representativas. Foram descritos três elementos arquiteturais; (i) Formas de Leito Arenosas (*Sandy bedforms*- SB); (ii) Barras Simples (*Simple Bars*); (iii) Macroformas de Acreção Frontal (*Downstream Accretion* - DA). Dois tipos distintos de fluxo, os de regime de fluxo inferior e transicional. Os de fluxo transicional correspondem a sistemas fluviais perenes com alta variabilidade de descarga e velocidade de fluxo, compreendem pela maior porção da sucessão. Já no regime de fluxo inferior o sistema fluvial corresponde a um sistema perene com pouca variabilidade do fluxo, e possui menor representatividade na sucessão lítica. O sentido da Paleocorrente aponta uma direção média para Nordeste, com pouca variação no sentido, denotando um sistema fluvial com baixa sinuosidade, e possivelmente apresenta canais distributários com sentidos distintos. A sucessão estudada da Fm. Jaicós compreende por um Sistema Fluvial Entrelaçado Arenoso de Alta Energia, que possivelmente foi depositado sob circunstâncias de pouca vegetação, dada a idade da sucessão (siluriano-devoniano), canais pouco canalizados, alta variabilidade do fluxo e ausência de materiais finos.

**Palavras-chave:** Bacia do Parnaíba. Formação Jaicós. Sistema Fluvial Entrelaçado. Regime de Fluxo Transicional. Estratigrafia de Alta Resolução.

## ABSTRACT

The Parnaíba Basin has been studied since the early twentieth century, and over the years several studies involving stratigraphy and sedimentology have been conducted in order to obtain natural resources, such as oil and gas. However, few detailed studies have been conducted, mainly involving the Serra Grande Group, especially the Jaicós Formation. Therefore, this work has new information about the facies analysis of Jaicós Formation, proposing the classification of lithofacies and architectural elements, in order to obtain a depositional model for the Formation. Seven lithofacies were identified: six sandy and one gravel. The most abundant facies are, in descending order, sigmoidal cross stratification (Ss), through cross stratification (St) and low angle cross stratification (Sl). The lithofacies Sm, Sp, Sr and Gm also make up the lithology, but they are less representative. Three architectural elements have been described; (i) Sandy bedforms - SB; (ii) Simple Bars; (iii) Downstream Accretion (DA). Two distinct types of flow, those of lower flow regime and transitional flow regime. Transitional flow systems correspond to perennial river systems with high discharge variability and flow velocity, comprising the largest portion of succession. In the lower flow regime, the fluvial system corresponds to a perennial system with little flow variability, and has less representation in the lithic succession. The Paleocurrent direction points an average direction to the Northeast, with little variation in the direction, denoting a low sinuous river system, and possibly presents distributional channels with different senses. The studied succession of Jaicós Fm. comprises a High Energy Sandy Intertwined Fluvial System, which was possibly deposited under circumstances of non-vegetated environment, given the age of the succession (Silurian-Devonian), poorly confining channels, high flow variability and absence of fine materials.

**Keywords:** Parnaíba Basin. Jaicos Formation. Braided River. Transitional Flow Regime. Facies Analysis.



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Localização da Sucessão Lítica estudada neste trabalho, denominado de PSG-012. ....	4
Figura 2. Tipos de estilos fluviais .....	6
Figura 3. Modelo deposicional típico de Rio Meandrante com o empilhamento estratigráfico característico deste estilo.....	7
Figura 4. Tipos de Elementos Arquiteturais encontrados ao longo do Canal. ....	11
Figura 5. (A) O elemento LA tem sentido de mergulho médio das superfícies de acreção aproximadamente ortogonal aos estratos cruzados que marcam o sentido do fluxo do canal. (B) O elemento DA tem as superfícies de acreção com sentido geral de mergulho similar aos estratos cruzados do canal (o ângulo entre os dois vetores varia de 0° a 60°, sendo normalmente menor que 30°).....	12
Figura 6. Relação entre superfície d'água e forma de leito para fluxo inferior e superior .....	14
Figura 7. Diagrama de fases para formas de leito. Velocidade de fluxo x Diâmetro das partículas .....	14
Figura 8. - Croqui das estruturas formadas em fluxos de regime superior e transicionais ( <i>humpback</i> ).....	16
Figura 9. Tipos de Elementos Arquiteturais encontrados externos ao Canal.....	17
Figura 10. A hierarquia das unidades deposicionais num Sistema fluvial. Os números circulados indicam as superfícies limítrofes a partir da classificação de Miall (1996).....	19
Figura 11. Exemplo de folha utilizada em campo para levantamento de Seções .....	23
Figura 12. Figura 1 - Mapa geológico da Bacia do Parnaíba.....	25
Figura 13. Seção sísmica que mostra o contexto tectônico da Bacia do Parnaíba. Nota-se: a diversidade estrutural crustal do embasamento; a zona de gráben Jaibaras; a cobertura sedimentar fanerozóica sobrepondo os três blocos crustais; característica estrutural complexa da margem oeste da bacia em comparação com a margem leste. ....	26
Figura 14. - Carta Estratigráfica da Bacia do Parnaíba.....	28
Figura 15. A) Estratos cruzados acanalados (St) de médio porte. B) Estratos cruzados acanalados de pequeno porte. C) Gradação normal dos estratos St. D) Estratos cruzados tangenciais de médio porte.....	31
Figura 16.A) Estratos cruzados quase horizontalizados e ondulados da fácies Sl ( <i>Sand low angle</i> ). B)Estratos de baixo ângulo <15° Sl. ....	32
Figura 17. A) Estratos Sigmoidais (Ss) de grande porte caracterizados pelo elemento arquitetural Barra Simples B) Estratos sigmoidais vistos em planta. C)Estratos sigmoidais vistos em corte lateral D) Textura da litologia da litofácies Ss .....	33
Figura 18.A) Estratos cruzados planares (Sp) divididos por pequenos sets 14 a 25 cm. B)	

Detalhe da textura da Litofácies Sp.....	34
Figura 19. Marcas onduladas ( <i>Ripples</i> ) (Sr) na base do set interdigitando os estratos Ss .....	35
Figura 20. Arenito maciço (Sm), localizado na parte superior da imagem .....	36
Figura 21. A) Textura do Conglomerado maciço matrix-suportado (Gmm) visto em planta. B) Camada de 4 cm do conglomerado se sobrepondo as litofácies Ss/Sl, nota-se a superfície erosiva classificada como de 4ª ordem. C) Textura do conglomerado, onde nota-se a má seleção da litologia, bem como o bloco em destaque.....	37
Figura 22. Seção Colunar da sucessão da Formação Jaicós, objeto de estudo deste trabalho. As informações referente a granulometria, litofácies, elementos arquiteturais e paleocorrente podem ser abstraídas desta figura. ....	38
Figura 23. Na parte superior da imagem, nota-se a gradação entre as litofácies Ss e Sl, formando dunas do tipo <i>Humpback</i> , com concavidade para cima. Na parte inferior da imagem, nota-se a litofácies St, compondo o elemento arquitetural de Formas de Leito Arenosas.....	40
Figura 24. Barras simples coalescem com dunas de maior porte.....	41
Figura 25. Fotointerpretação de uma DA. As superfícies migram da esquerda para a direita, bem como os estratos cruzados (St). Na seção colunar (Fig. 22), tem-se as medidas das paleocorrentes dos estratos. ....	43
Figura 26. Fotomosáico (1) interpretado. A interpretação, representada na imagem superior, mostra os elementos arquiteturais, os estratos cruzados e as litofácies. Observa-se a geometria tabular a lenticular dos corpos arenosos, e a variação lateral dos estratos cruzados, que gradam de estratos sigmoidais a baixo ângulo, além das espessuras dos sets, que se acunham lateralmente. Observa-se também dunas do tipo humpback, que lateralmente gradam para estratos cruzados de baixo ângulo (Sl). Neste trecho da sucessão, ocorrem dois tipos de regime de fluxo. O de fluxo inferior, ocorre na porção abaixo da superfície de 3ª ordem, representado pela litofácies St. O de fluxo transicional está disposto acima da superfície de 3ª ordem, representado pelas litofácies Sl e St. ....	44
Figura 27. Fotomosáico (2). Na imagem superior, tem-se a interpretação do fotomosáico. A geometria observada é tabular a lenticular, e ocorre gradação das litofácies Sl para Ss, característica de fluxos transicionais. Neste trecho, ocorrem todos os os elementos arquiteturais que formam a sucessão do estudo da Fm. Jaicós. As Formas de Leito Arenosa (SB), constituem-se pelas litofácies Ss, Gm e Sm. As Barras Simples se apresentam através das litofácies Sl e Ss, e constituem por corpos arenosos maiores, conforme se observa. As macroformas de acreção frontal estão encobertas pela vegetação ao longo desta extensão lateral, e se mostram pela seção colunar (Fig.22) e na Fig.25. <b>Erro! Indicador não definido.</b>	
Figura 28. Diagrama de Roseta com os dados de paleocorrente.....	46

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. - Quadro de Litofácies proposto por Miall (1996).....	9
Quadro 2. - Código dos Elementos Arquiteturais ao longo do canal .....	10
Quadro 3. Elementos Arquiteturais externos ao canal .....	17
Quadro 4. Litofácies proposta por Miall (1996) .....	22

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Classificação do porte das estruturas.....	23
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BP – Bacia do Parnaíba

DA – *Downstream Accretion*

LA – *Lateral Accretion*

GSG – Grupo Serra Grande

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS.....	2
<b>1.1.1. Objetivo Geral.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.2. Objetivos Específicos.....</b>	<b>2</b>
1.2. JUSTIFICATIVA .....	2
1.3. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS .....	3
<b>2. REVISÃO CONCEITUAL</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1. Rios Meandrantés.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.2. Rios entrelaçados .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.3. Rios Anastomosados e Rios Retos.....</b>	<b>7</b>
2.2. ANÁLISE DE FÁCIES E ELEMENTOS ARQUITETURAIS.....	8
<b>2.2.1. Elementos Arquiteturais.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.2. Elementos Arquiteturais ao Longo do Canal .....</b>	<b>10</b>
2.2.2.1. Macroforma Acreção Frontal – DA .....	11
2.2.2.2. MACROFORMA DE ACREÇÃO Lateral - LA ....	11
<b>2.2.2.3. Elementos de Regime de Fluxo Superior.....</b>	<b>13</b>
2.3. ELEMENTOS ARQUITETURAIS EXTERNOS AO CANAL ..	16
2.4. SUPERFÍCIES LÍMITROFES .....	18
<b>2.4.1. Superfícies de 1ª Ordem .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.2. Superfícies de 2ª Ordem .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.3. Superfícies de 3ª ordem .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.4. Superfícies de 4ª Ordem .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.5. Superfícies de 5ª Ordem .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4.6. Superfícies de 6ª Ordem .....</b>	<b>19</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>20</b>
3.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	20
3.2. DEFINIÇÃO DOS ALVOS E POTENCIAIS AFLORAMENTOS	20
<b>3.2.1. Imagens de Radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)</b>	<b>20</b>
<b>3.2.2. Mapas.....</b>	<b>20</b>
3.3. CAMPO.....	20
<b>3.3.1. Perfis Colunares e Análise Faciológica .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3.2. Paleocorrentes .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.3. Fotomoscico (Perfis Laterais).....</b>	<b>24</b>
3.4. PÓS-CAMPO .....	24

<b>4. CONTEXTO GEOLÓGICO</b>	<b>25</b>
4.1. GEOLOGIA DO GRUPO SERRA GRANDE.....	28
4.1.1. Formação Jaicós.....	29
<b>5. RESULTADOS</b>	<b>30</b>
5.1. LITOFÁCIES.....	30
5.1.1. LitofÁCie St - Arenito com estratificação cruzada acanalada	30
5.1.2. LitofÁCie Sl - Arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo	31
5.1.3. LitofÁCies Ss - Arenito com estratificação cruzada sigmoidal	32
5.1.4. LitofÁCies Sp - Arenito com estratificação cruzada planar	33
5.1.5. LitofÁCies Sr - Arenito com laminações cruzadas de marcas onduladas	34
5.1.6. LitofÁCies Sm - Arenito maciço .....	35
5.1.7. LitofÁCies Gmm - Conglomerado Maciço Matriz Suportado	36
5.2. ELEMENTOS ARQUITETURAIS E ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES	38
5.2.1. Formas de Leito Arenosas - <i>Sandy Bedforms</i> (SB) .....	39
5.2.2. Barras simples .....	40
5.2.3. <i>BARRAS COMPOSTAS - Downstream Accretion</i> (DA)..	42
5.2.4. FotomosÁicos .....	43
5.3. ANÁLISE DA PALEOCORRENTE.....	46
5.4. MODELO DEPOSICIONAL .....	47
5.4.1. Comparação com Modelos da Bibliografia.....	48
5.4.1.1. Formação Morrison, Cowan (1991).....	48
5.4.1.2. Membro Segladden, Hjellbakk (1997) .....	49
<b>6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>50</b>
<b>7. CONCLUSÃO</b>	<b>51</b>
<b>8. REFERÊNCIAS</b>	<b>52</b>

ANEXO A

## 1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Parnaíba tem sido estudada desde o começo do século XX, e a partir da década de 1950, começou-se a investigação de potenciais reservas para Petróleo & Gás. De lá para cá, foram perfurados quase 100 poços, feitos levantamentos geofísicos e geológicos de superfície. Atualmente, representa aproximadamente a 10% da produção nacional de gás natural, compactuando como uma das regiões mais produtoras do país (FERREIRA; ARAÚJO, 2018).

O principal sistema petrolífero da bacia atualmente é o Sistema Pimenteiras-Cabeças, cujas rochas geradoras são as rochas da Formação Pimenteiras e as rochas reservatório são da Formação Cabeças. Em segundo plano estão os sistemas Pimenteiras-Poti e Pimenteiras-Piauí. Todos estes sistemas têm como rochas geradoras as rochas da Formação Pimenteiras. Além dela, outras duas formações têm potenciais para a geração de hidrocarbonetos, as Fm. Tianguá e Fm. Longá. As rochas reservatórios da Bacia do Parnaíba são as da Fm. Cabeças, Fm. Poti e Fm. Piauí. Há indícios de que a Fm. Ipu seja um possível reservatório, sendo necessários maiores investigações (ARAÚJO, 2017; FERREIRA; ARAÚJO, 2018).

O grupo Serra Grande, objeto desse estudo, compreende uma supersequência transgressiva-regressiva completa, de idade Ordoviciano a Devoniana, e consiste em três formações: Formação Ipu, Formação Tianguá e Formação Jaicós (CAPUTO, 1984). A Formação Ipu é composta de arenitos, conglomerados, arenitos conglomeráticos e diamictitos, acumulados em um contexto de leques aluviais, flúvio-glacial e sistemas deltaicos (CAPUTO, 1984). A formação Tianguá é composta por folhelhos cinza-escuros bioturbados, arenitos feldspáticos cinza-claros e intercalações de siltitos e folhelhos cinza-escuro, bioturbados e micáceos (VAZ et al., 2007), depositados em ambiente marinho raso sob ação de ondas (GÓES; FEIJÓ, 1994). Por fim, a Formação Jaicós é composta por arenitos cinza, grossos, contendo seixos angulares a subangulares, mal selecionados, (CAPUTO, 1984), depositados em sistemas fluviais entrelaçados (GÓES; FEIJÓ, 1994).

A partir dos dados obtidos na bibliografia, se constatou que existem poucos trabalhos que buscassem a reconstrução paleoambiental e a compreensão da evolução estratigráfica dos sistemas fluviais do Grupo Serra Grande na Bacia do Parnaíba. Através da análise estratigráfica de alta resolução, seguindo a técnica de análise de elementos arquiteturais de Miall (1996), será possível compreender a arquitetura de fácies dos sistemas fluviais e assim gerar um modelo deposicional de como esses sistemas distribuíram-se no espaço e no tempo. Este tipo de trabalho vem sendo alvo da indústria de hidrocarbonetos, visto que sistemas fluviais apresentam heterogeneidades complexas, em que uma análise estratigráfica de alta resolução promove a vida útil dos campos maduros. Tendo em vista a dificuldade de realizar novas descobertas significativas de campos de petróleo e à existência de grande quantidade de campos maduros, pesquisas relacionadas a esse tema nos fornecem uma maior



compreensão das heterogeneidades e geometrias dos reservatórios petrolíferos (MENEZES, 2004).

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal estabelecer a caracterização sedimentológica e estratigráfica de um afloramento da Formação Jaicós localizado no município de Buriti dos Montes - PI.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Definição de fácies, associação de fácies, padrões de paleocorrentes;
- Reconstrução da arquitetura deposicional dos sistemas fluviais e definição de um modelo deposicional;
- Comparar o depósito interpretado com dados da bibliografia e análogos modernos.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

A partir do *First International Symposium on Fluvial Sedimentology* de 1977 que ocorreu em Calgary, Canadá, os conceitos modernos acerca da sedimentação fluvial se consolidaram, estabelecendo um divisor de águas nos métodos sobre análises de estruturas e fácies fluviais. Miall (1996) resumiu os principais temas que norteiam as pesquisas atuais em sedimentologia fluvial discutidas neste encontro: (1) geomorfologia fluvial descritiva; (2) geomorfologia fluvial quantitativa; (3) estudos sobre transporte e textura de sedimentos; (4) formas de leito e paleocorrentes; (5) modelos de fácies fluviais; (6) arquitetura fluvial e (7) paleohidráulica.

Estabelecidos estes conceitos, diversos estudos têm contribuído no avanço desta nova metodologia. Segundo Reis (2016), os estudos em arquitetura fluvial têm crescido em importância com o passar do tempo, desde os trabalhos pioneiros de Allen (1983) e Miall (1985). Sistemas fluviais apresentam alta variabilidade no tamanho, forma e heterogeneidades internas, dessa forma, a descrição de perfis laterais de afloramentos é fundamental para estudos dos sistemas fluviais, pois esta inclui a morfologia e a distribuição espacial dos elementos arquiteturais constituintes dos sistemas (MIALL, 1996). Com o contínuo desenvolvimento em estudos em sistemas fluviais ao longo das décadas, modelos de reservatórios fundamentais permitiram a previsão das heterogeneidades em reservatórios fluviais.

Reservatórios formados nos ambientes não-marinhos, por exemplo, em sistemas fluviais tem como característica uma variabilidade considerável quanto ao tamanho, forma e heterogeneidade interna. Neste contexto, o Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba é representado, em sua maioria, por sistemas

fluviais entrelaçados acumulados em distintos contextos paleoambientais, onde não existem trabalhos que detalham a arquitetura estratigráfica desses sistemas. Com relação ao Grupo Serra Grande, destacam-se possíveis rochas geradoras da Formação Tianguá, pois além de conter teores de carbono, outros trabalhos indicam que esta unidade se encontra termicamente matura em grande parte da bacia (RODRIGUES, 1995 apud ARAÚJO, 2017). Estas mesmas rochas também seriam rochas selantes para possíveis rochas reservatórios, como é o caso da Formação Ipu, onde foram observados indícios desta característica em alguns poços (ARAÚJO, 2017).

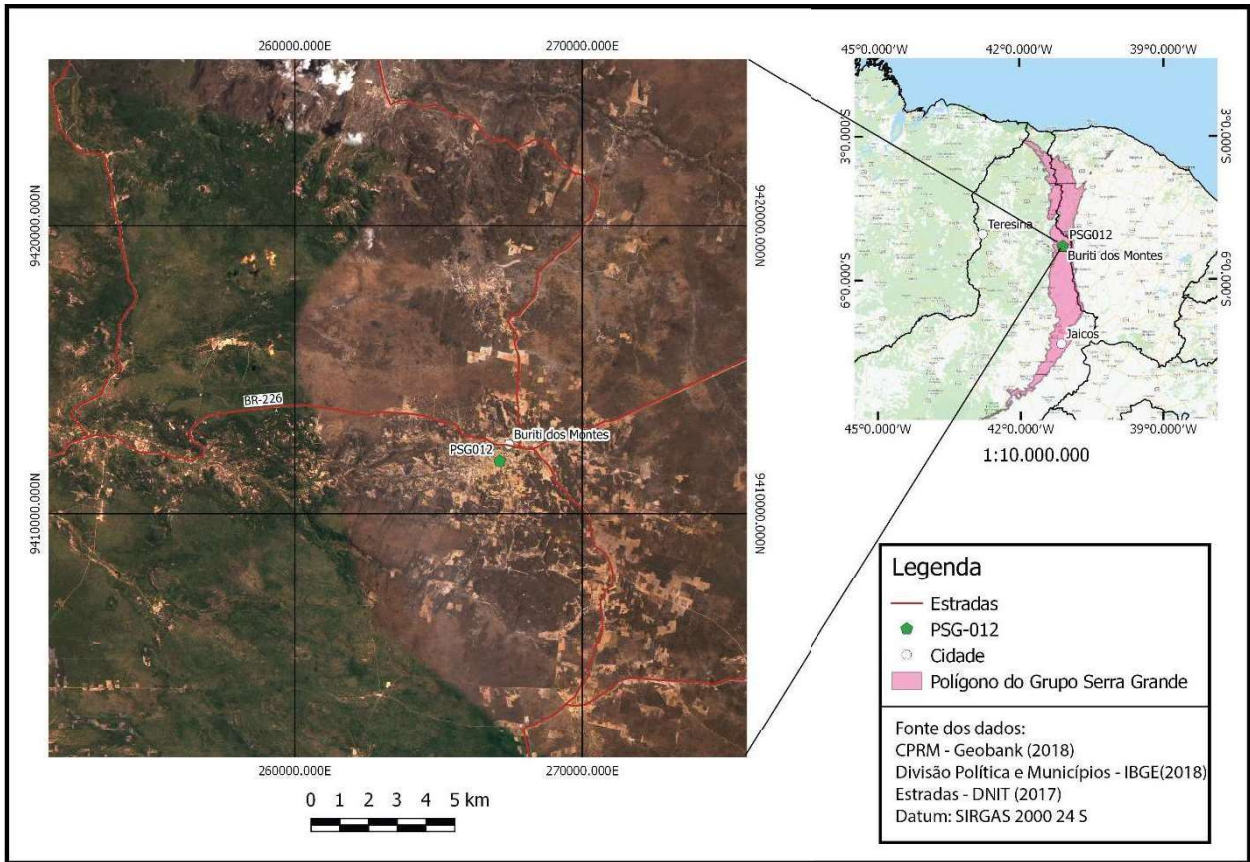
Portanto, uma análise da arquitetura estratigráfica dos sistemas fluviais entrelaçados do Grupo Serra Grande seria de extrema importância para melhorar as delimitações entre as Formações Ipu e Jaicós, que, conforme foi verificado na leitura da bibliografia, não fica claro a individualização dessas unidades pelos autores. Além disso, comprovar se há potencial de exploração de hidrocarbonetos deste Grupo.

### 1.3. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A área de estudos está situada no Nordeste do Brasil, no município de Buriti dos Montes, Piauí. O afloramento analisado é de fácil acesso, fica localizado dentro da cidade, ao longo da Rua João Pedro, 315.

O acesso à cidade pode ser feito por Teresina, numa viagem de 250km, pelas rodovias BR-343, PI-115 e BR-226. Buriti dos Montes, nas duas campanhas de campo deste trabalho (FEV/19 e JUN/19) não possuía hotel. Um bom local para se hospedar é em Castelo do Piauí, cidade turística da região com mais recursos, como hotéis e restaurantes.

Figura 1. Mapa de Localização da Sucessão Lítica estudada neste trabalho, denominado de PSG-012.



## 2. REVISÃO CONCEITUAL

### 2.1. SISTEMAS FLUVIAIS

Os sistemas fluviais não tiveram sua importância reconhecida por um grande período de tempo, sendo somente associados como agentes de erosão e transporte de sedimentos de áreas distais e elevadas até bacias lacustres e marinhas. Contudo, estes sistemas são capazes de deixar no registro geológico espessos pacotes sedimentares, formando depósitos fluviais que são importantes reservatórios e aquíferos (SCHERER, 2004).

Segundo Scherer (2004), os rios formam-se em áreas amplas e independem da condição climática. Os grandes rios do presente possuem longa história evolutiva, que podem estar próximas das dezenas de milhões de anos. Além disto, cada rio gera uma identidade, onde relevo e a descarga controlam a capacidade e competência dos mesmos, o que reflete diretamente no sedimento transportado e na morfologia do canal.

Scherer (2004) divide os processos fluviais em dois grupos: Erosivos e Depositionais; eles são responsáveis pela morfologia e as características gerais dos sistemas fluviais. Eventos erosivos estão relacionados a dinâmica destes canais, e são compreendidos por dois fatores, incisão e migração lateral. A deposição dos sedimentos ocorre após o transporte, por três principais meios: fluxo de detritos, carga de fundo e carga em suspensão;

Depósitos gerados por fluxo de detritos são pobremente selecionados, consistem de clastos que vão de grânulos a blocos e são separados por uma matriz mais fina, e possivelmente ocorre orientação incipiente destes clastos; Carga de fundo compreende pelos sedimentos que são transportados por correntes trativas, onde grãos maiores deslocam-se por arrasto e rolamento e os menores por saltação. O fluxo determinará o tipo de feição que ficará registrada. Quando o fluxo for lento, ocorre formação de marcas de ondas, e depositam-se silte e areia fina. Um aumento do fluxo ocasiona a formação de dunas, que podem ser divididas em bidimensionais – 2D e tridimensionais – 3D, sendo a última a de fluxo mais veloz; Carga de suspensão são os sedimentos siltico-argilosos que são transportados em suspensão pela água, e sua deposição ocorre em regiões de baixa energia. As feições formadas neste tipo de sedimentação são de marcas onduladas (SCHERER, 2004).

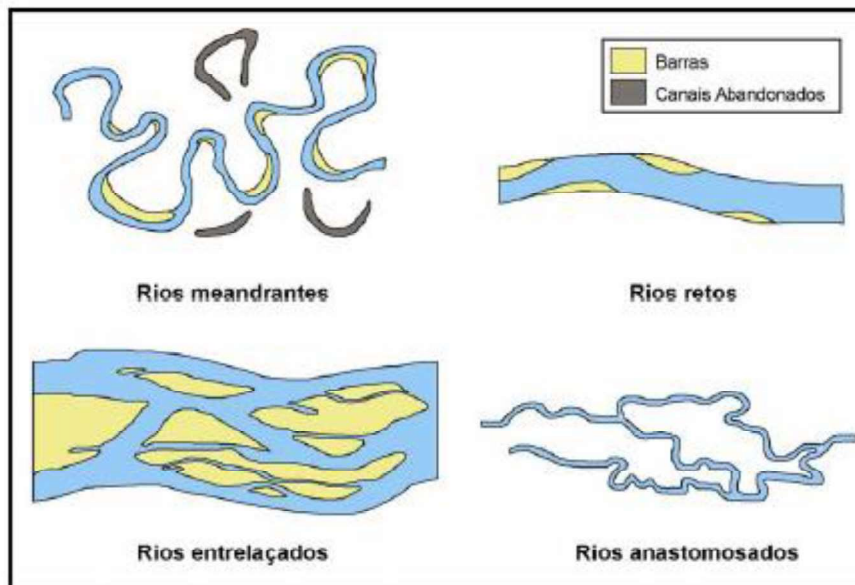
Rust (1978), classifica os sistemas fluviais com base nos padrões dos canais, e assim dividi-os em quatro estilos (Fig. 2):

- Meandrantés: Canais com alta sinuosidade e taxa de migração lateral, dependem da declividade do terreno e apresentam pouca variação na descarga sedimentar;
- Entrelaçados: Rede de canais interconectados de granulometria grossa com alta taxa de migração lateral, separados por barras arenosas a cascalhosas; apresentam grande variação na descarga

sedimentar;

- Anastomosados: Canais interconectados, separados por planícies de inundação;
- Retos: Pouca sinuosidade, desenvolvimento de barras laterais;

Figura 2. Tipos de estilos fluviais



Fonte: Scherer (2004)

O estilo fluvial dos rios depende essencialmente de fatores como aporte sedimentar, granulometria da carga transportada, competência da corrente, coesividade dos bancos e da vegetação. Por exemplo, em regiões proximais, o estilo fluvial tende a ser entrelaçado pois: 1- Granulometria mais grossa e mais imatura; 2 – Variabilidade na descarga sedimentar, o que afeta diretamente na competência do fluxo; 3 – Maior declividade do terreno. Já em regiões mais distais, predomina um estilo meandrante pois: 1 – Granulometria mais fina e matura que regiões proximais; 2- Baixa declividade, influencia diretamente no aumento da sinuosidade dos canais, que tendem a ser menos canalizados (RUST, 1978; MIAL, 1996; SCHERER, 2004).

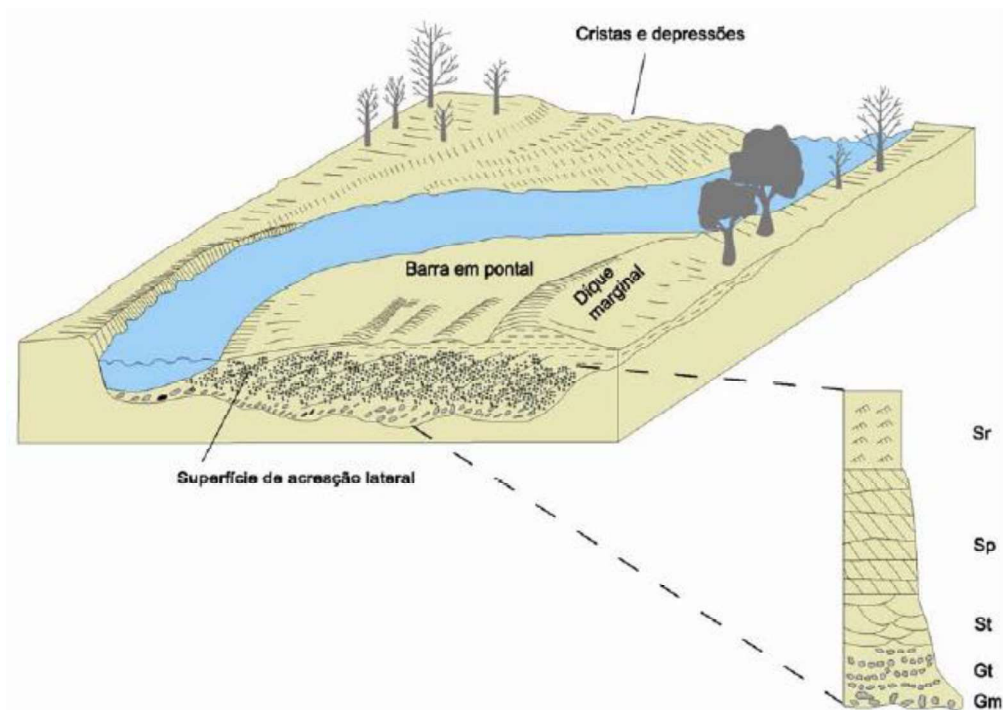
### 2.1.1. Rios Meandrantés

São canais com alta sinuosidade e que não apresentam variação significativa na descarga. Canais Meandrantés tem como característica marcante a migração lateral, provocada pelas diferenças nas velocidades do fluxo em cada lado do meandro: na porção externa a velocidade é maior e a corrente erode esta porção; por sua vez, este material que foi erodido é depositado na porção interna do meandro seguinte, e assim formam as barras em pontal (ALLEN, 1965).

A deposição das barras de pontal ocorre de maneira progressiva e o sentido da acreção é quase

perpendicular ao sentido do fluxo da corrente principal. Barras de pontal apresentam granodecrescência da base para o topo (SCHERER,2004).

Figura 3. Modelo deposicional típico de Rio Meandrante com o empilhamento estratigráfico característico deste estilo.



Fonte: Scherer (2004)

### 2.1.2. Rios entrelaçados

Scherer (2004) define este tipo de estilo como uma rede de canais entrelaçados que são separados por barras arenosas ou cascalhosas. Tem como característica uma grande oscilação na competência do fluxo ao longo do ano e alto suprimento sedimentar, e ocorrem preferencialmente em ambientes com declividade acentuada. Em períodos de máxima descarga um elevado volume de sedimentos é transportado pelo canal, e depositam-se em formas de ilhas e barras quando este fluxo diminui. Tais estruturas causam deslocamento e bifurcação do fluxo e assim formam canais secundários ao longo do canal principal. (COLEMAN, 1969; BRISTOW, 1987; SCHERER, 2004).

Sistemas entrelaçados possuem uma feição dominante, que é a presença de várias hierarquias de formas de leito, onde marcas onduladas e dunas de diferentes morfologias coexistem num mesmo canal. Esta variação se deve as frequentes mudanças da descarga do fluxo e da profundidade da lâmina d'água (SCHERER, 2004).

### 2.1.3. Rios Anastomosados e Rios Retos

Rios anastomosados consistem em uma rede interconectada de canais que são separados por planícies de inundação, onde a sinuosidade é moderada a baixa e são canais estreitos e profundos. Os sedimentos tendem a ser de granulometria fina. Suas margens, compostas por materiais finos, coesos e vegetados condicionam uma grande estabilidade a estes canais (SCHERER, 2004).

Rios retos consistem num canal simples, com flancos estáveis e limitados por diques marginais, e são controlados por falhas e estruturas onde o curso fluvial se encaixa (SCHERER, 2004).

## 2.2. ANÁLISE DE FÁCIES E ELEMENTOS ARQUITETURAIIS

A partir do *First International Symposium on Fluvial Sedimentology* de 1977 que ocorreu em Calgary, Canadá, os conceitos modernos acerca da sedimentação fluvial se consolidaram, estabelecendo um divisor de águas nos métodos sobre análises de estruturas e fácies fluviais.

Allen (1983) e Miall (1985) refutaram a metodologia clássica sobre caracterização de sistemas fluviais antigos, onde a análise de perfis verticais se mostrava insuficiente para a caracterização de sistemas fluviais, já que ocorre uma variação lateral significativa dependendo do estilo fluvial, o que poderia enquadrar um depósito erroneamente. De modo a ser mais assertivo, estes autores propuseram uma metodologia de análise faciológica que consiste na montagem de seções laterais de afloramentos, onde uma análise detalhada das fácies, superfícies limítrofes e elementos arquiteturais determina a qual tipo de estilo pertencem o depósito. Tal análise tem demonstrado a existência de uma ampla variedade de estilos fluviais dentro dos quatro modelos clássicos, descritos anteriormente (SCHERER, 2004).

Miall (1996) enumerou vinte litofácies (Quadro 1) que caracterizam os sistemas fluviais a partir da subdivisão granulométrica de cascalho, areia e sedimentos finos. Segundo o autor, os processos deposicionais que controlam o desenvolvimento das litofácies, como transporte por tração-corrente, somados a turbulência do fluido e os efeitos consequentes, formam estruturas que são comuns a todos os rios, pois obedecem às leis da física, e assim constroem arranjos de litofácies semelhantes.

Quadro 1. - Quadro de Litofácies proposto por Miall (1996)

Código	Fácies	Estruturas sedimentares	Interpretação
Gmm	Cascalho maciço matriz-suportado	Gradação incipiente	Fluxo de detritos plástico, fluxo viscoso, alta coesão interna
Gmg	Cascalho matriz-suportado	Gradação inversa a normal	Fluxo de detritos pseudoplástico, fluxo viscoso, baixa coesão interna
Gci	Cascalho clasto-suportado	Gradação inversa	Fluxo de detritos, alta concentração de clastos (alta coesão interna) ou fluxo de detritos pseudoplástico (baixa coesão)
Gcm	Cascalho maciço clasto-suportado	-	Fluxo de detritos pseudoplástico (fluxo turbulento)
Gh	Cascalho clasto-suportado, acamadamento incipiente	Acamadamento horizontal, imbricamento	Formas de leito longitudinais, depósitos residuais ( <i>lags</i> )
Gt	Cascalho estratificado	Estratificações cruzadas acanaladas	Preenchimento de pequenos canais
Gp	Cascalho estratificado	Estratificações cruzadas planares	Formas de leito transversais, crescimento deltaico a partir de barras remanescentes
St	Areia fina a muito grossa (podendo ser cascalhosa)	Estratificações cruzadas acanaladas	Dunas 3D, cristas sinuosas ou linguóides
Sp	Areia fina a muito grossa (podendo ser cascalhosa)	Estratificações cruzadas planares	Dunas transversais 2D
Sr	Areia muito fina a grossa	Laminações cruzadas de marcas onduladas	Marcas onduladas (regime de fluxo inferior)
Sh	Areia muito fina a grossa (podendo ser cascalhosa)	Laminação horizontal, lineação de partição	Formas de leito plano (regime de fluxo superior/ crítico)
Sl	Areia muito fina a grossa (podendo ser cascalhosa)	Estratificações cruzadas de baixo ângulo (<15°) (podendo ser sigmoidais)	Preenchimentos de suaves depressões ( <i>scour fills</i> ), dunas atenuadas, antidunas
Ss	Areia fina a muito grossa (podendo ser cascalhosa)	Amplas e suaves depressões	Preenchimentos de suaves depressões ( <i>scour fills</i> )
Sm	Areia fina a grossa	Maciça ou laminação indistinta	Depósitos de fluxos hiperconcentrados, fluidizações ou intensa bioturbação
Fl	Areia, silte, lama	Laminações finas, Laminações cruzadas de marcas onduladas de muito pequeno porte	Depósitos externos ao canal, canais abandonados ou depósitos de inundação
Fsm	Silte, lama	Maciço	Depósitos externos ao canal ou canais abandonados
Fm	Lama, silte	Maciço, gretas de contração	Depósitos externos ao canal ou canais abandonados
Fr	Lama, silte	Maciço, raízes, bioturbação	Solo incipiente
C	Carvão, lama carbonosa	Restos vegetais, filmes de lama	Depósitos de pântanos vegetados ( <i>swamps</i> )
P	Paleossolo carbonático (calcita, siderita)	Feições pedogênicas: nódulos, filamentos	Solo com precipitação química

Fonte: Scherer (2004)

### 2.2.1. Elementos Arquiteturais

Tratam-se de feições caracterizadas por suas geometrias externas e internas, associação de fácies e escala, onde um processo particular ou conjunto de processos forma um tipo determinado de deposição (SCHERER, 2004). Miall (1996) cita 13 elementos arquiteturais e os divide em dois grupos: os formados ao longo do canal e os formados externos ao canal. Para fins deste trabalho, não serão especificados todos os elementos, e foram descritos aqueles que apenas compõe a sucessão lítica.



## 2.2.2. Elementos Arquiteturais ao Longo do Canal

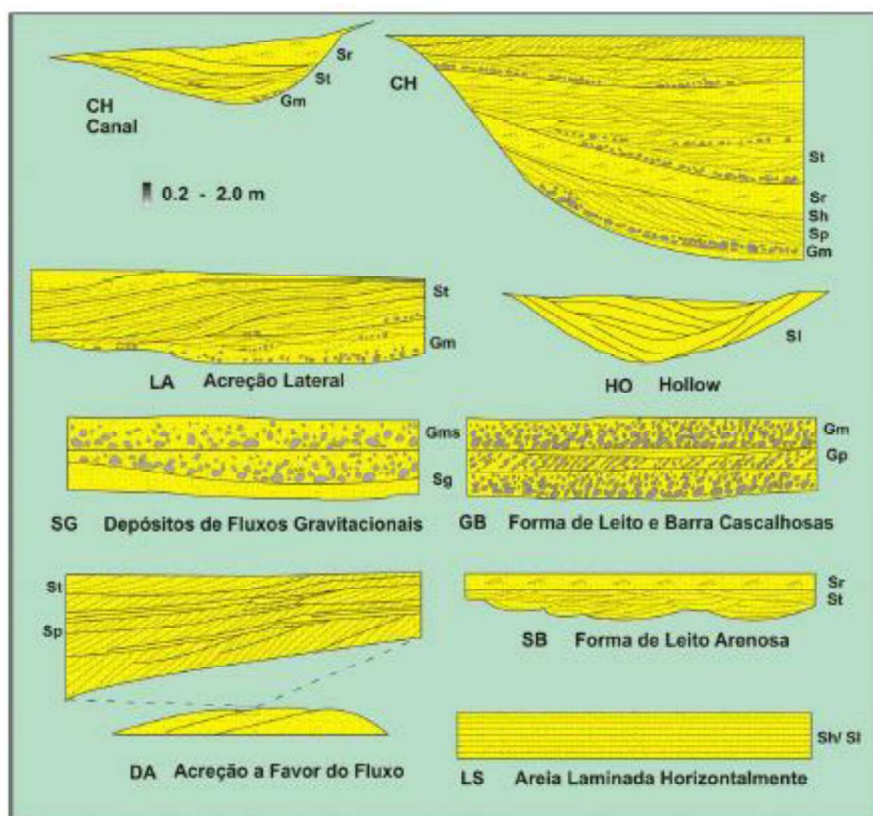
Miall (1996) categoriza sete elementos arquiteturais existentes ao longo dos canais fluviais, e estão representados pelo quadro 2 e figura 4. O autor classifica como elementos arquiteturais principais e mais abundantes as macroformas de acreção frontal (DA – *Downstream Accretion*) e depósitos de acreção lateral (LA – *Lateral Accretion*).

Quadro 2. - Código dos Elementos Arquiteturais ao longo do canal

Elemento Arquitetural	Símbolo	Litofácies	Geometria e arquitetura interna	Interpretação
Canal	CH	Combinação variada	Corpos sedimentares limitados por superfícies erosivas côncavas. Escala altamente variada.	Preenchimento de canais menores internos ao cinturão de canais
Fluxo de gravidade de sedimentos	SG	Gmm, Gmq, Gci, Gcm	Corpos com geometria lenticular, normalmente intercalados com elementos GB e SB.	Amalgamação de sucessivos episódios de fluxos de detritos
Formas de Leito e Barra Cascalhosas	GB	Gm, Gp, Gt	Corpos tabulares ou em lente formando por complexos amalgamados de sets de estratos cruzados.	Barras longitudinais cascalhosas
Depósitos de Acreção Frontal	DA	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Corpos lenticulares constituídos por sets de estratos cruzados simples de grande porte ou estratos cruzados compostos caracterizados por sets de pequeno a médio-porte limitados por superfícies inclinadas a favor do fluxo (superfície de 1°, 2° ou 3° ordem).	Migração a favor do fluxo de barras arenosas de meio de canal.
Depósitos de Acreção Lateral	LA	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss. Raramente Gm, Gt e Gp.	Corpos lenticulares ou cuneiformes, contendo sets de estratos cruzados separados por superfícies de acreção lateral (superfície de 1°, 2° ou 3° ordem).	Barras em pontal ou acreção lateral em barras de meio de canal
Lençóis de Areia Laminados	LS	Sh, Sl; raramente St, Sp, Sr.	Corpos com geometria em lençol formando por complexos amalgamados de estratos plano-paralelos ou de baixo-ângulo.	Lençóis de areia formados em contextos de rápida descarga.
Formas de Leito Arenosas	SB	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Corpos com geometria em lente ou lençol formados por sets amalgamados estratos cruzados separados por superfícies (1°, 2° ou 3° ordem) subhorizontais.	Migração e cavalgamento de dunas subaquosas.
Hollow	HO	Sh, Sl.	Corpos com geometria lenticular, limitados na base por superfícies erosivas côncavas. O mergulho dos planos de acomodamento da litofácies Sl é paralelo à superfície limitrofe basal.	Preenchimento de feições erosivas formadas em regiões de confluência de canais

Fonte: Scherer (2004)

Figura 4. Tipos de Elementos Arquiteturais encontrados ao longo do Canal.



Fonte: Scherer (2004)

#### 2.2.2.1. MACROFORMA ACREÇÃO FRONTAL – DA

Caracterizam-se por barras ou complexo de barras de meio de canal, possuem espessuras que vão de 1-15m e extensões que vão de 10-1000m (Miall, 1996). Apresenta internamente estratos cruzados simples de grande porte e/ou estratos cruzados compostos, onde vários sets são delimitados por superfícies sutilmente inclinadas ( $<10^\circ$ ) a favor do fluxo (BANKS, 1973; ALLEN 1983A; HASZELDINE, 1983AB; KIRK 1983; MIALL, 1988AC, 1992A, 1994 apud MIALL, 1996). As macroformas de Acreção Frontal apresentam comumente sets e cosets das litofácies Sp, St, Sh, Sl ou Sr (MIALL, 1996). Também é possível ocorrer acreção lateral, o que faz com que uma DA gire para uma LA. Por esse motivo, faz-se necessário uma criteriosa análise tridimensional da arquitetura de fácies, salientando as relações geométricas entre as superfícies limítrofes e os sets de estratos cruzados (SCHERER, 2004).

#### 2.2.2.2. MACROFORMA DE ACREÇÃO LATERAL - LA

Trata-se do elemento arquitetural gerado principalmente em situações de migração lateral de canais, onde as diferenças de velocidades no canto externo e interno do meandro ocasionam a erosão e deposição, respectivamente, e desse modo, ocorra o crescimento de uma barra que cresce quase

que perpendicularmente ao sentido do fluxo principal (MIALL, 1996). As superfícies frequentemente possuem ângulos de mergulho que variam entre 5-15°, contudo podem variar de 3-25°. Normalmente, camadas de LA apresentam diminuição da granulometria da base ao topo, e a granulometria encontrada nestes depósitos é variável, de finos a cascalhos, contudo é mais comum encontrar LAs constituídas de grãos tamanho areia. Salienta-se quando a granulometria for fina, as LAs terão maior ângulo de mergulho (>25°) e quando cascalhosa o mergulho é de baixo ângulo, o que por vezes torna difícil o reconhecimento desse elemento arquitetural

Figura 5. (A) O elemento LA tem sentido de mergulho médio das superfícies de acreção aproximadamente ortogonal aos estratos cruzados que marcam o sentido do fluxo do canal. (B) O elemento DA tem as superfícies de acreção com sentido geral de mergulho similar aos estratos cruzados do canal (o ângulo entre os dois vetores varia de 0° a 60°, sendo normalmente menor que 30°)



Fonte: Scherer(2004)

### 2.2.2.3. Elementos de Regime de Fluxo Superior

Esta classificação de elementos arquiteturais foi proposta por Fielding (2006) de modo a substituir o elemento “*Laminated Sand Sheets*”, descrito por Miall (1996), que em tradução direta se diz lençóis de areia laminadas (Ls), e é definido pelas litofácies Sh e Sl principalmente, e em segundo plano por Sp, St e Sr. Miall (1996) interpreta-as como sendo produto de rápidas enchentes, depositadas por fluxos de regime superior, em sistemas fluviais efêmeros, tipicamente de ambientes áridos e semiáridos. As estruturas formadas são de lençóis planificados a erodidos, cobertas por estruturas de fluxo inferior (Sp, St ou Sr) que indicam desaceleração do fluxo no final deste evento de cheia. Miall (1996) a classificou como sendo um elemento de rara preservação, devido a sua gênese de caráter erosivo.

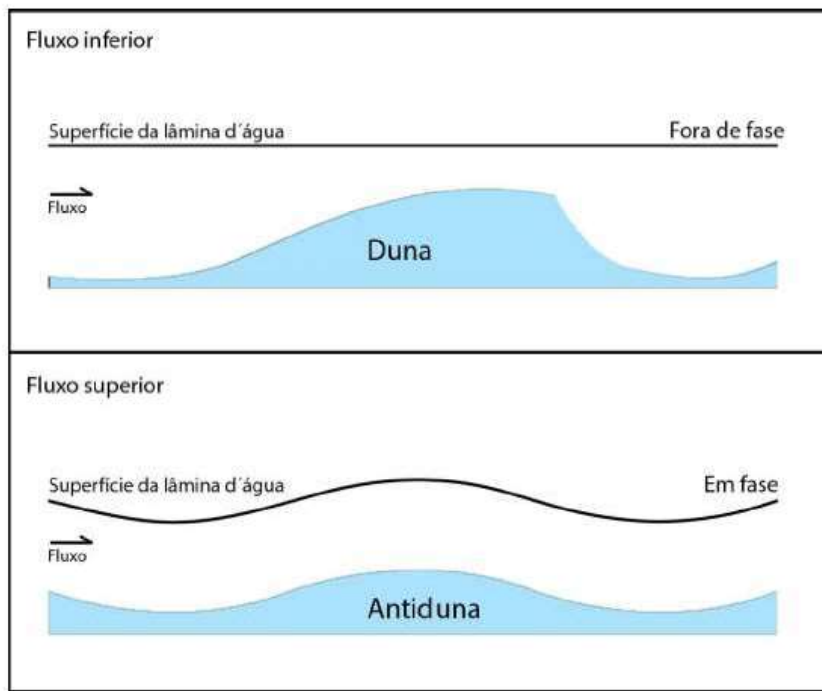
Para Fielding (2006), elementos arquiteturais formados em regime de fluxo superior foram pouco estudados e tem sido erroneamente associados a ambientes áridos e semiáridos. As estruturas também não são raras de serem preservadas e têm sido ignoradas ou não notadas pela grande maioria dos cientistas.

Regimes de fluxo são caracterizados por fluxos inferiores e superiores (Figura 5). O fluxo inferior é responsável pela formação de *ripples* e dunas, enquanto que o superior forma antidunas e laminação horizontal. A fórmula de Froude  $Fr = u / \sqrt{gd}$  (sendo “u” a velocidade média do fluxo, “g” a aceleração da gravidade e “d” a espessura da coluna de água) é utilizada para a classificação dos fluxos. Quando  $Fr > 1$ , o fluxo irá gerar estruturas de regime superior, também chamadas de supercríticas (TUCKER, 1981). Estudos mais recentes rebaixam este valor para  $Fr > 0,84$  (VAN DEN BERG; VAN GELDER, 1998). Existe também formas de leito de fluxo transicional, que ocorre entre esses dois tipos de fluxo (MIALL, 1996; FIELDING, 2006).

Exemplos de formas de leito de regime de fluxo superior encontradas em análogos modernos são enquadradas em duas categorias: 1) as de fluxos rasos que rapidamente excedem ou se aproximam do valor  $Fr > 1$ ; e 2) formas de leito encontradas em rios com extrema variação da descarga ou que ocorra rápida queda do nível d’água (FIELDING, 2006). Fielding (2006) sugere que as estruturas formadas em sistemas fluviais de regime de fluxo superior estão inseridas num contexto deposicional de clima fortemente sazonal, com picos expressivos de precipitação e escoamento.

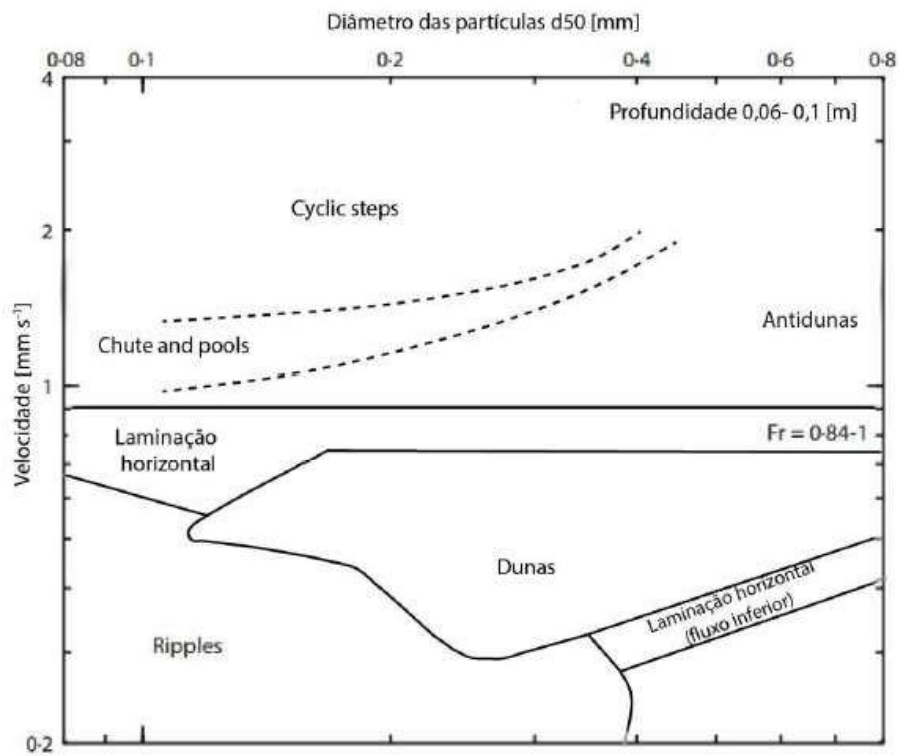
As estruturas formadas pelos regimes de fluxo superior, em ordem crescente de velocidade do fluxo, são: laminação horizontal; antidunas; *chute and pool* e *cyclic step*. Em condições de fluxo transicional, entre os campos de estabilidade de dunas e laminação horizontal, dunas passam a formar estruturas sigmoidais, chamadas de *humpback* (FIELDING, 2006). O diagrama de fases (Figura 6), classifica tais estruturas de acordo com a velocidade de fluxo versus tamanho da partícula.

Figura 6. Relação entre superfície d'água e forma de leito para fluxo inferior e superior



Fonte Dário (2017)

Figura 7. Diagrama de fases para formas de leito. Velocidade de fluxo x Diâmetro das partículas



Fonte: Dario (2017)

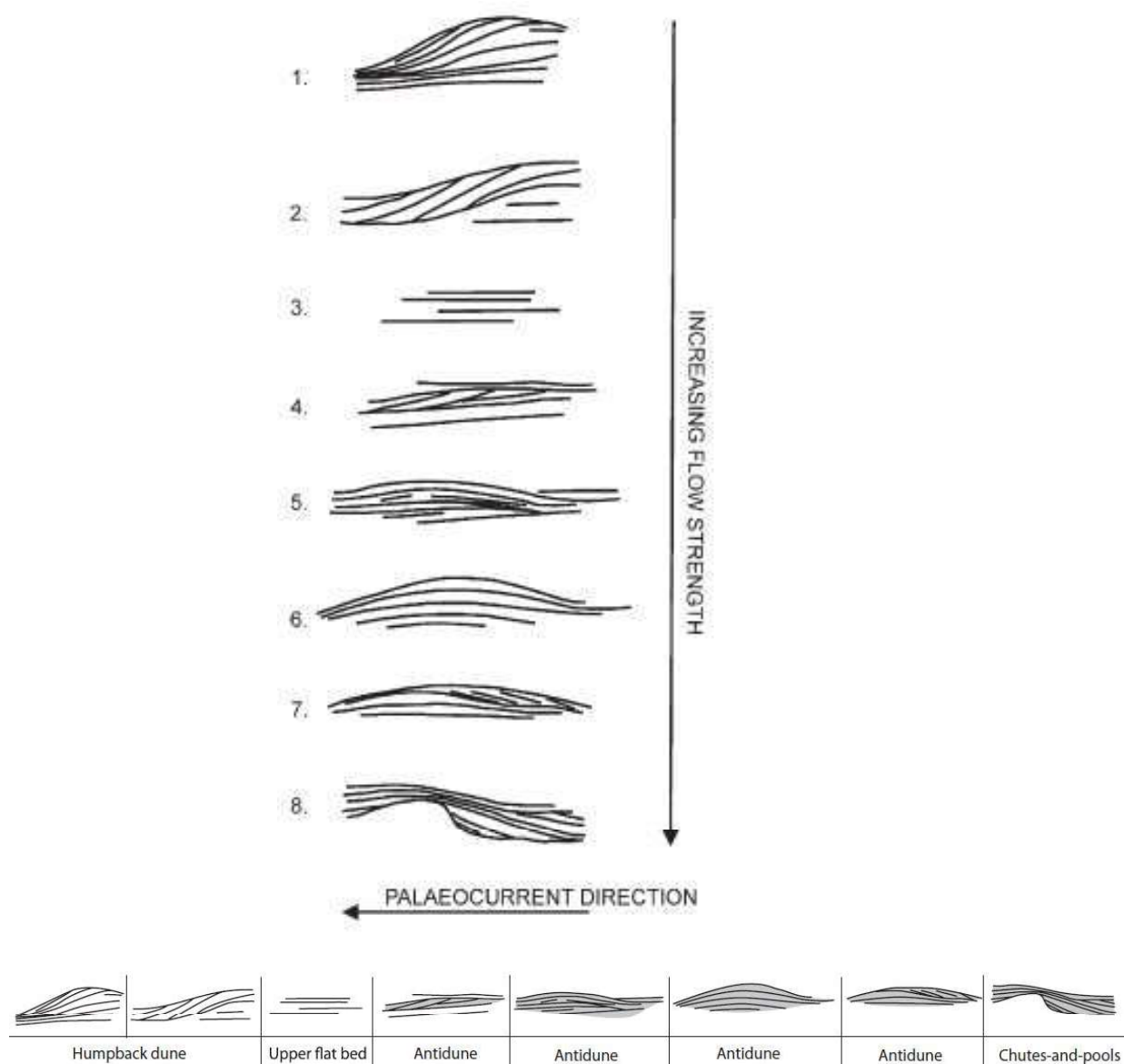
As formas de leito do tipo *humpback* caracterizam-se por dunas que foram parcialmente erodidas com o aumento progressivo do fluxo, através do aplainamento do topo das mesmas, o que as torna geometricamente sigmoidais, gradando para estratificações de baixo ângulo. Ressalta-se que o caminho inverso também é possível, onde laminações horizontais gradam para dunas, o que marca uma diminuição do fluxo (FIELDING, 2006). Para facilitar esta distinção entre fluxo aumentando ou diminuindo, Fielding (2006) sugere analisar os sets superiores e inferiores. Quando os sets superiores estiverem bem preservados e possuírem laminações horizontais sobre sigmoidais, há indícios de que o fluxo naquele contexto gradativamente aumentou. Em outros casos quando não há um set superior significativo de laminações horizontais ou contatos erosivos superiores com estratos cruzados de pequeno porte sobrepondo laminações horizontais expressivas, isto pode sugerir que houve diminuição gradativa do fluxo.

Laminação horizontal consiste numa forma de leito construída pela migração dos grãos em ondas de baixa amplitude ao longo do plano (BRIDGE; BEST, 1988; FIELDING, 2006). A forma de leito intermediária que fica entre os campos de estabilidade da laminação horizontal com antidunas, é denominada de estruturas de baixo ângulo. A paleocorrente deste tipo de estrutura pode tanto apontar direção favorável ao fluxo como também contrária, caracterizando esta fase intermediária entre laminação horizontal e antidunas, que possuem o ângulo de paleocorrente oposto ao sentido de fluxo (FIELDING, 2006).

Antidunas consistem em estratos cruzados com alta variabilidade de formas. Os estratos tendem a ser convexos e com inclinação, na maioria dos casos, contra a direção de fluxo. Pode ocorrer de os estratos estarem a favor da corrente. Formam-se pela replicação das ondulações presentes na superfície d'água. A escala das antidunas é também variável, visto que o comprimento de onda responde a espessura da lâmina d'água (KENNEDY, 1963; FIELDING, 2006). Uma outra feição comum das antidunas é a presença de pequenas *ripples* com cristas sinuosas, onde acredita-se que sua origem seja durante a migração e formação das antidunas. (BROWNE; PLINT, 1994 apud FIELDING, 2006).

*Chute and Pool* são as formas de leito conhecidas com maior energia deposicional. São virtualmente inexistentes no registro fluvial, e sua gênese foi compreendida por estudos laboratoriais. O termo *chute and pool* remete diretamente a condição do fluxo, onde a formação ocorre por um salto hidráulico, no qual o fluxo em *chute*, ou calha em tradução livre, é demasiado acelerado e está em condições de espessura d'água menores que em *pool*, represa/piscina em tradução livre. Ou seja, trata-se de um ambiente deposicional que passa de raso e rápido para um ambiente mais profundo, e conseqüentemente menor velocidade. As estruturas formadas são de estratos cruzados que migram em sentido contrário a corrente, gradando para baixo ângulo.

Figura 8. - Croqui das estruturas formadas em fluxos de regime superior e transicionais (*humpback*).



Fonte: Fielding (2006) e Cartigny (2014)

### 2.3. ELEMENTOS ARQUITETURAIS EXTERNOS AO CANAL

Segundo Miall (1996), os depósitos que ocorrem externamente ao canal, são mais relevantes e mais comuns em rios que carregam sedimentos finos, como os pertencentes aos estilos anastomosados e meandantes. Rios com carga de fundo, como os rios que transportam sedimentos mais grossos como cascalho e areia, tendem a ocupar essa área, e assim não disponibiliza de muito espaço para formar elementos arquiteturais externos ao canal ou mesmo se tornam inexpressivos.

Miall (1996) enumerou 5 tipos principais de elementos arquiteturais externos ao canal: Dique

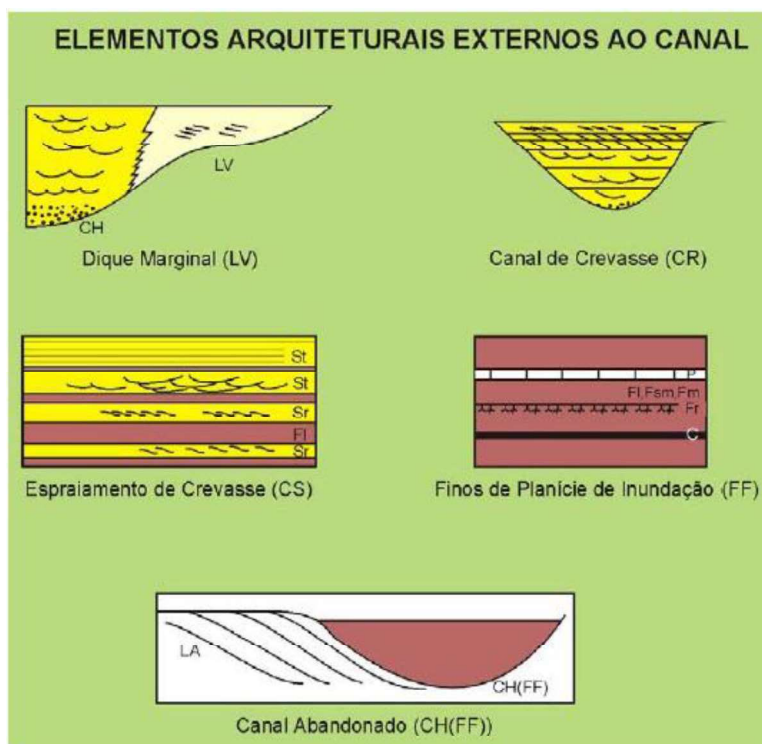
Marginal (LV), Canais de Crevasse(CR), Espriamento de Crevasse(CS), Finos de Planície de Inundação (FF) e Canal Abandonado (FF). O quadro 2 sintetiza as principais características destes elementos e a figura 6 ilustra tais feições.

Quadro 3. Elementos Arquiteturais externos ao canal

Elemento Arquitetural	Símbolo	Litofácies	Geometria	Interpretação
Dique Marginal	LV	Fl, Sr	Depósitos em cunha anexados lateralmente aos corpos arenosos de canais fluviais.	Deposição de sedimentos arenosos na margem do canal durante períodos de extravasamento.
Canais de Crevasse	CR	St, Sr, Ss	Corpos arenosos com geometria em fita.	Rompimento do canal principal.
Expraiamento de Crevasse	CS	St, Sr, Sl	Variada	Desconfinamento dos fluxos de canais de crevasse e geração de lobos que progradam sobre corpos lacustres da planície de inundação.
Finos de Planície de Inundação	FF	Fsm, Fl, Fm, Fr	Pacotes tabulares	Acumulação em corpos lacustres ou pântanos de planície de inundação.
Canal Abandonado	CH (FF)	Fsm, Fl, Fm, Fr	Corpos em fita comparáveis em largura e espessura aos canais principais	Laços associados a canais abandonados.

Fonte: Scherer (2004)

Figura 9. Tipos de Elementos Arquiteturais encontrados externos ao Canal



Fonte: Scherer (2004)



## 2.4. SUPERFÍCIES LIMÍTROFES

Miall (1988) aprimorou as técnicas desenvolvidas por Allen (1983) em relação a hierarquização de superfícies limítrofes de depósitos fluviais, e as dividiu em seis ordens, das quais servem de modo a distinguir litossomas de diferentes escalas físicas e temporais. A hierarquização é feita da 1ª ordem, que é a de escala menor, a 6ª ordem, a maior. A figura 7 ilustra a proposição de Miall (1996) para as seis ordens de superfícies limítrofes.

### 2.4.1. Superfícies de 1ª Ordem

São superfícies planas, de inclinações diversas e separam os sets de laminações cruzadas. Pouca ou nenhuma erosão aparente entre as superfícies, não há mudança das litofácies abaixo e acima, o que indica condições de fluxo iguais. Esta ordem de superfície é interpretada como resultado da migração de formas de leito de mesma morfologia, sob condições de sedimentação contínua (MIALL, 1988; SCHERER, 2004)

### 2.4.2. Superfícies de 2ª Ordem

A divisão entre superfície desta ordem com a de 1ª Ordem, separa as microformas das mesoformas. Consistem na divisão entre cosets de litofácies distintas. Indicam alteração das condições do fluxo, contudo não envolvem um hiato significativo e nem apresentam erosão significativa. (MIALL, 1988; SCHERER, 2004)

### 2.4.3. Superfícies de 3ª ordem

Superfícies de 3ª e 4ª ordem são definidas a partir de identificação de macroformas (Elementos LA e DA, GB). Esta ordem caracteriza por superfícies erosivas existentes dentro das macroformas, e apresentam baixo ângulo de mergulho ( $<15^\circ$ ) e costumam truncar os estratos abaixo. Por vezes ocorrem no topo de pequenas barras ou consecutivas formas de leitos arenosos (SB). Tais superfícies indicam alteração de velocidade e/ou fluxo (MIALL, 1988; SCHERER, 2004).

### 2.4.4. Superfícies de 4ª Ordem

Estas superfícies representam o limite superior das macroformas, ou seja, quaisquer assembleia de fácies que estejam abaixo ou acima dessas macroformas. São retas a levemente convexas para cima, truncam em baixo ângulo ou tem o mergulho paralelo as superfícies de hierarquia mais baixa. Tais superfícies demarcam a alteração no padrão das barras e estão diretamente ligadas a instabilidade

do fluxo associada a irregularidades do leito do canal ou a reorganização do fluxo quando há descarga muito grande de sedimentos e de fluidos. Estão associados a esta hierarquia, o limite inferior dos elementos arquiteturais externos ao canal (SCHERER, 2004).

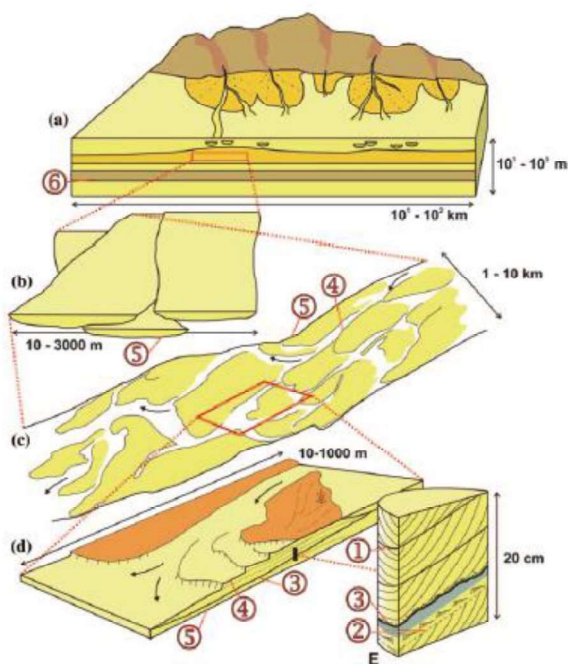
#### 2.4.5. Superfícies de 5ª Ordem

Superfícies de 5ª ordem delimitam canais e complexos que preenchem canais. As linhas são planas ou côncavas para cima, em alguns casos pode apresentar relevo irregular e depósitos residuais de cascalho. A gênese de tais feições está relacionada a erosão e/ou migração lateral de canais fluviais (SCHERER, 2004).

#### 2.4.6. Superfícies de 6ª Ordem

Este último nível hierárquico condiz as superfícies que delimitam grupos de canais ou paleovales. Consistem em uma grande extensão lateral da qual é possível realizar o fatiamento estratigráfico regional de sucessões fluviais. São superfícies planas a ligeiramente curvadas, de geometria canalizada. Além disso, tais superfícies podem ser identificadas e correlacionadas em testemunhos e seções sísmicas, e são marcadoras de alterações significativas no sistema fluvial que estão vinculadas a variações no nível de base estratigráfico.

Figura 10. A hierarquia das unidades deposicionais num Sistema fluvial. Os números circulados indicam as superfícies limítrofes a partir da classificação de Miall (1996)



Fonte: Miall (2014)

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Os materiais e métodos deste trabalho foram divididos em três etapas: pré-campo, campo e pós-campo.

#### **3.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A revisão bibliográfica tem como enfoque: (1) sistemas fluviais atuais, (2) arquitetura estratigráfica dos sistemas fluviais, (3) Big Rivers e (4) o levantamento de dados já existentes sobre a Bacia do Parnaíba e do Grupo Serra Grande.

#### **3.2. DEFINIÇÃO DOS ALVOS E POTENCIAIS AFLORAMENTOS**

Para definição dos alvos e potenciais afloramentos foram utilizados em conjunto diversas bases de dados, como os softwares Google Earth e imagens SRTM, com a finalidade de definir as principais áreas de afloramento e o arcabouço estrutural da região. As bases de dados utilizadas foram:

##### **3.2.1. Imagens de Radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)**

A análise de imagens de Radar SRTM foi feita no programa ArcGis, onde é possível elaborar um Modelo Digital do Terreno (MDT), para que seja produzido imagens em três dimensões da área. Com esse modelo, poderá se obter as estruturas geológicas principais, devido diferenças do relevo. Também é possível realizar a técnica de sombreamento, que ressaltará as feições mais evidentes.

##### **3.2.2. Mapas**

Os mapas foram confeccionados utilizando o programa Qgis. Neles foram integrados as informações obtidas na definição dos alvos e potenciais afloramentos, nas imagens SRTM e as informações pré-existentes, como polígonos litológicos da CPRM, limites administrativos, estradas, hospitais, etc.

#### **3.3. CAMPO**

Esta etapa consistiu em x saídas de campo, cada uma de 12 dias, onde o foco principal foi a

aquisição dos dados que foram trabalhados neste projeto. Tendo como objetivo o levantamento de perfis laterais com a respectiva descrição faciológica, obtenção de medidas de paleocorrentes e fotografias dos afloramentos.

### **3.3.1. Perfis Colunares e Análise Faciológica**

Os perfis colunares foram elaborados com construções de seções colunares na escala 1:50. As seções foram produzidas no afloramento, onde foram descritas as características de cada fácies com base no código de fácies proposto por Miall (1996). Um exemplo da folha utilizada está demonstrado pela Fig. 10.

Fácies sedimentares são corpos de rocha caracterizados por uma combinação particular de litologias, estruturas físicas e fossilíferas que dão uma identidade ao corpo, de forma a distingui-lo das outras rochas que a circundam (WALKER, 1992).

Para esta classificação, foi utilizado o código de Miall (1996), representado na quadro 4, onde o autor utiliza letras para representar o tamanho de grão e a estrutura sedimentar. Dessa forma a primeira letra, maiúscula, representa a granulometria dominante. No caso de Miall (1996), G significa cascalho (*gravel*), S (*sand*) são os grãos tamanho areia e F (*fine-grained*) são os grãos finos como areia muito fina, silte e argila. A segunda letra, minúscula, representa textura e/ou estrutura. Por exemplo, a sigla Sh, demonstra uma fácies arenosa (areia fina a muito grossa) com estrutura horizontal, formas de leito plano.

A associação de fácies, consiste num agrupamento de fácies, e assim caracteriza um subambiente deposicional, pois tem implicações genéticas dentro de um sistema deposicional definido (MIALL, 1984). Com este conjunto de fácies, é possível definir o sistema deposicional, bem como uma história evolutiva daquele ambiente.

Quadro 4. Litofácies proposta por Miall (1996)

Código	Fácies	Estruturas sedimentares	Interpretação
Gmm	Cascalho maciço matriz-suportado	Gradação incipiente	Fluxo de detritos plástico, fluxo viscoso, alta coesão interna
Gmg	Cascalho matriz-suportado	Gradação inversa a normal	Fluxo de detritos pseudoplástico, fluxo viscoso, baixa coesão interna
Gci	Cascalho clasto-suportado	Gradação inversa	Fluxo de detritos, alta concentração de clastos (alta coesão interna) ou fluxo de detritos pseudoplástico (baixa coesão)
Gcm	Cascalho maciço clasto-suportado	-	Fluxo de detritos pseudoplástico (fluxo turbulento)
Gh	Cascalho clasto-suportado, acamadamento incipiente	Acamadamento horizontal, imbricamento	Formas de leito longitudinais, depósitos residuais ( <i>lags</i> )
Gt	Cascalho estratificado	Estratificações cruzadas acanaladas	Preenchimento de pequenos canais
Gp	Cascalho estratificado	Estratificações cruzadas planares	Formas de leito transversais, crescimento deltaico a partir de barras remanescentes
St	Areia fina a muito grossa (podendo ser cascalhosa)	Estratificações cruzadas acanaladas	Dunas 3D, cristas sinuosas ou linguóides
Sp	Areia fina a muito grossa (podendo ser cascalhosa)	Estratificações cruzadas planares	Dunas transversais 2D
Sr	Areia muito fina a grossa	Laminações cruzadas de marcas onduladas	Marcas onduladas (regime de fluxo inferior)
Sh	Areia muito fina a grossa (podendo ser cascalhosa)	Laminação horizontal, lineação de partição	Formas de leito plano (regime de fluxo superior/ crítico)
Sl	Areia muito fina a grossa (podendo ser cascalhosa)	Estratificações cruzadas de baixo ângulo (<15°) (podendo ser sigmoidais)	Preenchimentos de suaves depressões ( <i>scour fills</i> ), dunas atenuadas, antidunas
Ss	Areia fina a muito grossa (podendo ser cascalhosa)	Amplas e suaves depressões	Preenchimentos de suaves depressões ( <i>scour fills</i> )
Sm	Areia fina a grossa	Maciça ou laminação indistinta	Depósitos de fluxos hiperconcentrados, fluidizações ou intensa bioturbação
Fl	Areia, silte, lama	Laminações finas, Laminações cruzadas de marcas onduladas de muito pequeno porte	Depósitos externos ao canal, canais abandonados ou depósitos de inundação
Fsm	Silte, lama	Maciço	Depósitos externos ao canal ou canais abandonados
Fm	Lama, silte	Maciço, gretas de contração	Depósitos externos ao canal ou canais abandonados
Fr	Lama, silte	Maciço, raízes, bioturbação	Solo incipiente
C	Carvão, lama carbonosa	Restos vegetais, filmes de lama	Depósitos de pântanos vegetados ( <i>swamps</i> )
P	Paleossolo carbonático (calcita, siderita)	Feições pedogênicas: nódulos, filamentos	Solo com precipitação química

Fonte: Scherer (2004)

Figura 11. Exemplo de folha utilizada em campo para levantamento de Seções

Outro fator que foi utilizado para distinção dos tamanhos das estruturas sedimentares de ambientes subaquosos é categorizado por Ashley (1990), que auxiliou no enquadramento das estruturas encontradas como sendo ou não de Big Rivers, classificando estratificações cruzadas em pequeno, médio ou grande porte.

Tabela 1. Classificação do porte das estruturas.

Subaqueous Dune				
First Order Descriptors (necessary)				
Size: Spacing =	small 0.6–5 m;	medium 5–10 m;	large 10–100 m;	very large > 100 m
Height* =	0.075–0.4 m;	0.4–0.75 m;	0.75–5 m;	> 5 m
Shape: 2-Dimensional				
3-Dimensional				

Fonte: Ashley (1990)

### **3.3.2. Paleocorrentes**

Uma paleocorrente indica o sentido do fluxo no qual os sedimentos se depositaram. A medição desse sentido é obtida através de estruturas como: (1) estratificações, (2) seixos imbricados, (3) canais, (4) lineações de partição e lineações primárias de corrente, (5) marcas de sola, (6) planta, ossos e conchas orientadas e (7) estruturas de deslizamento (MIALL, 1999). A bússola geológica é a ferramenta para realizar tais medidas.

### **3.3.3. Fotomosaico (Perfis Laterais)**

O fotomosaico é a integração e sobreposição de um conjunto de fotografias tomadas em afloramentos de grande extensão lateral, possibilitando observar se há variações laterais de fácies, alguma associação de fácies e os elementos arquiteturais presentes no afloramento. Para sua elaboração, será utilizada uma câmera fotográfica digital, se atentando para manter uma mesma distância do afloramento em cada foto que será tirada.

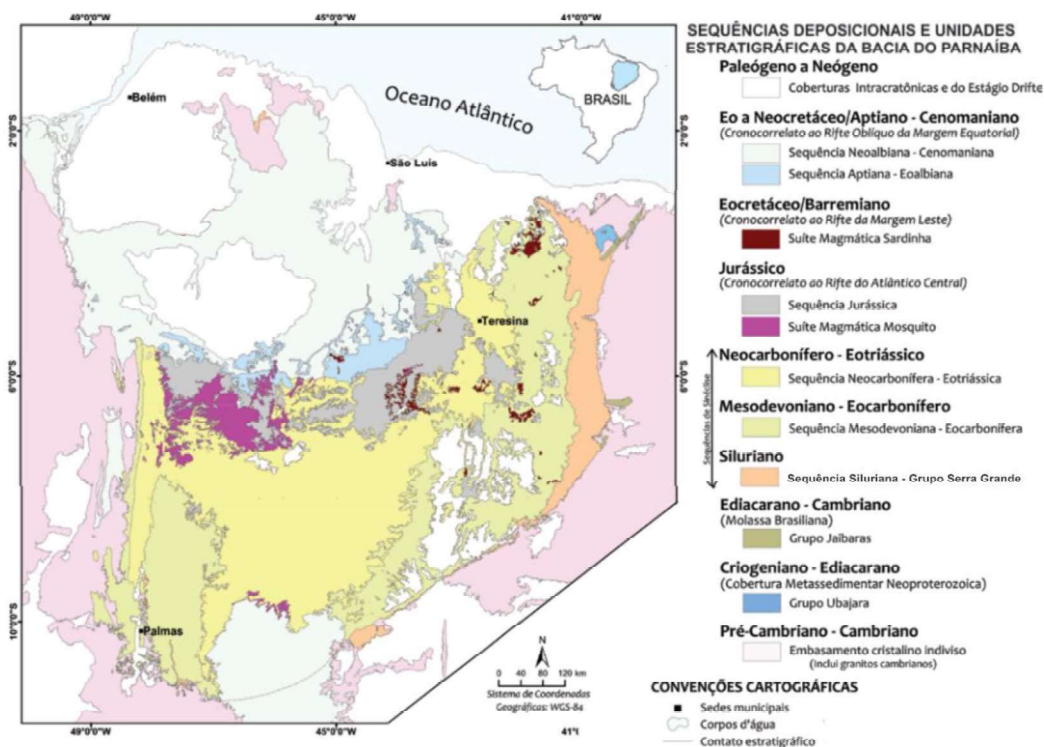
## **3.4. PÓS-CAMPO**

Nesta etapa foram feitas a digitalização e integração dos dados obtidos nas etapas anteriores. Os perfis laterais foram digitalizados com o software Adobe Illustrator. Os fotomosaicos foram confeccionados com o programa Adobe Photoshop.

#### 4. CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Parnaíba compreende uma área de aproximadamente 600.000 km<sup>2</sup>, e abrange os estados do Piauí, Tocantins, Pará, Ceará, Maranhão e Bahia (Figura 1). A Bacia do Parnaíba é caracterizada como uma sinéclise de idade Paleozoica a Mesozoica, com geometria elíptica e eixo maior com direção NE-SW. Está inserida na plataforma Sul-americana, sobre embasamento composto principalmente por rochas metamórficas. A bacia estabeleceu-se em estruturas grabeniformes formados no final do Ciclo Brasileiro, onde gerou-se uma depressão no Ordoviciano (GOES; SOUSA; TEIXEIRA, 1990). O registro sedimentar da bacia engloba todo o Éon Fanerozóico, e possui espessura de 3,5 Km em seu depocentro (VAZ et al., 2007; DALY et al., 2014).

Figura 12. Figura 1 - Mapa geológico da Bacia do Parnaíba



Fonte: Adaptado de Cruz (2016)

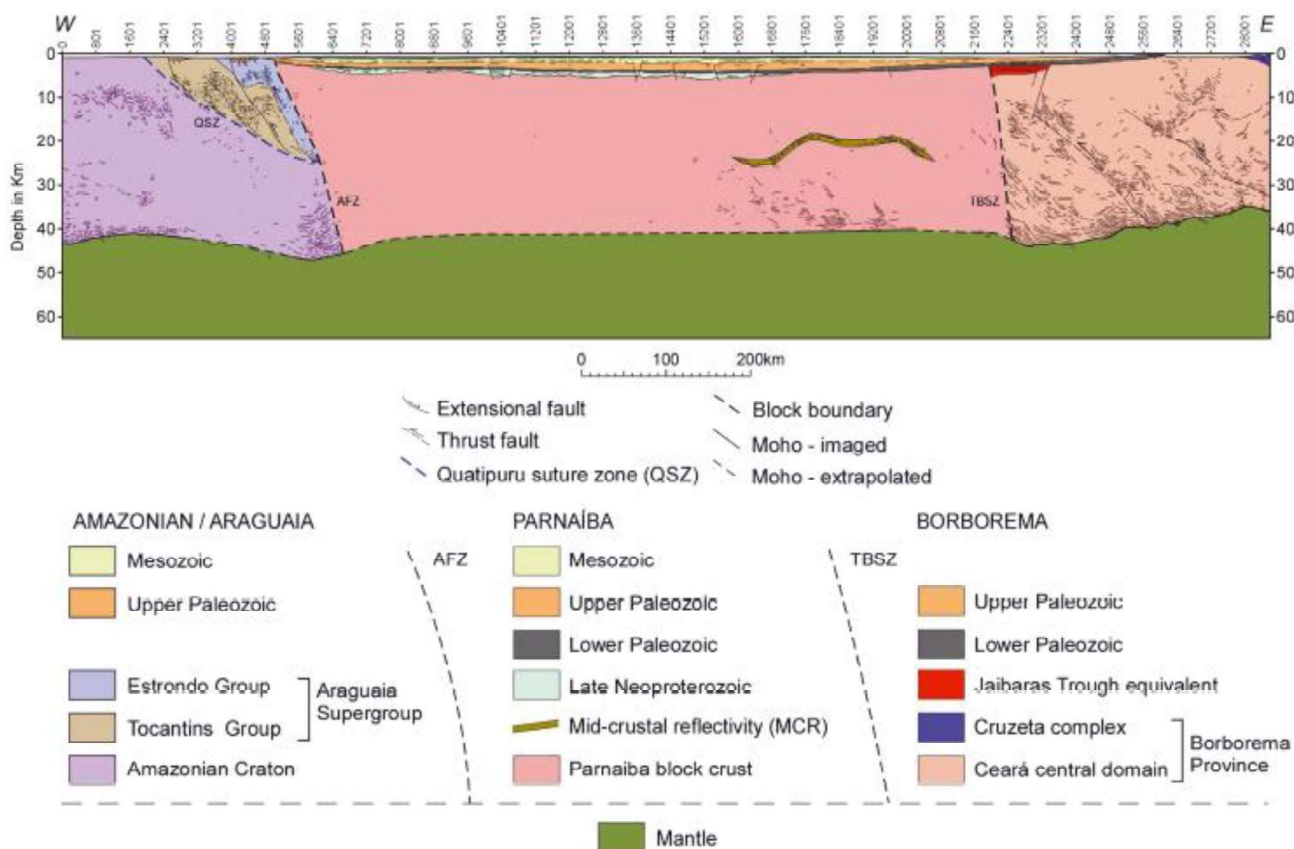
A bacia está depositada sobre o embasamento pré-cambriano e sequências cambro-ordovicianas remanescentes. A BP cobre parte dos crátons Amazônico, São Francisco e São Luis. As rochas expostas do embasamento são relacionadas ao final do ciclo Brasileiro, aflorando principalmente ao longo do Lineamento Transbrasiliano. Tais unidades compreendem os terrenos neoproterozóicos da Província Borborema, Província Tocantins e Faixa Gurupi. (BRITO NEVES et al., 1984; VAZ et al.,



2007; CORDANI et al., 2009; DALY et al., 2014; ASSIS, 2018). Daly et al. (2014) sugeriram que o embasamento da BP fosse dividido em três blocos: Amazonas-Araguaia, Parnaíba e Borborema (Figura 13).

Segundo Vaz et al. (2007), duas unidades meta-sedimentares fazem parte do embasamento; Formação Riachão e Grupo Jaibaras. A primeira é composta de grauvacas, arcósios, siltitos, folhelhos vermelhos e ignibritos. São depósitos imaturos com idades estimadas do proterozoico médio ou superior; O Grupo Jaibaras, caracterizado como depósitos fluviais, aluviais e lacustres, tem idade estimada do cambro-ordoviciano, e registram as atividades finais do Ciclo Brasileiro.

Figura 13. Seção sísmica que mostra o contexto tectônico da Bacia do Parnaíba. Nota-se: a diversidade estrutural crustal do embasamento; a zona de gráben Jaibaras; a cobertura sedimentar fanerozóica sobrepondo os três blocos crustais; característica estrutural complexa da margem oeste da bacia em comparação com a margem leste.



Fonte: Daly et al. 2014

Vaz et al. (2007) dividem a sucessão de rochas sedimentares em cinco superseqüências: Siluriana, Mesodevoniana-Eocarbonífera, Neocarbonífera-Eotriássica, Jurássica e Cretácea;

A seqüência Siluriana compreende pelo Grupo Serra Grande (GSG), objeto de estudo deste trabalho. Trata-se de um ciclo transgressivo-regressivo completo de idade Ordoviciano a Devoniana, e faz contato diretamente com o embasamento. Sub-superficialmente, ocorre em toda a bacia, contudo a

área exposta situa-se apenas nas bordas nordeste, leste e sudeste da BP. O GSG é composto por três formações: Formação Ipu, Formação Tianguá e Formação Jaicós (CAPUTO,1984).

A Formação Ipu é composta de arenitos, conglomerados, arenitos conglomeráticos e diamictitos, acumulados em um contexto de leques aluviais, flúvio-glacial e sistemas deltaicos (CAPUTO,1984). A formação Tianguá é composta por folhelhos cinza-escuros bioturbados, arenitos feldspáticos cinza-claros e intercalações de siltitos e folhelhos cinza-escuro, bioturbados e micáceos (VAZ et al., 2007), depositados em ambiente marinho raso sob ação de ondas (GÓES; FEIJÓ, 1994). Por fim, a Formação Jaicós é composta por arenitos cinza, grossos, contendo seixos angulares a subangulares, mal selecionados, (CAPUTO, 1984), depositados em sistemas fluviais entrelaçados (GÓES; FEIJÓ,1994). Caputo e Lima (1984) interpretam os ambientes deposicionais do GSG como continental-fluvial, seguindo para transicional e por fim retorna a ser continental.

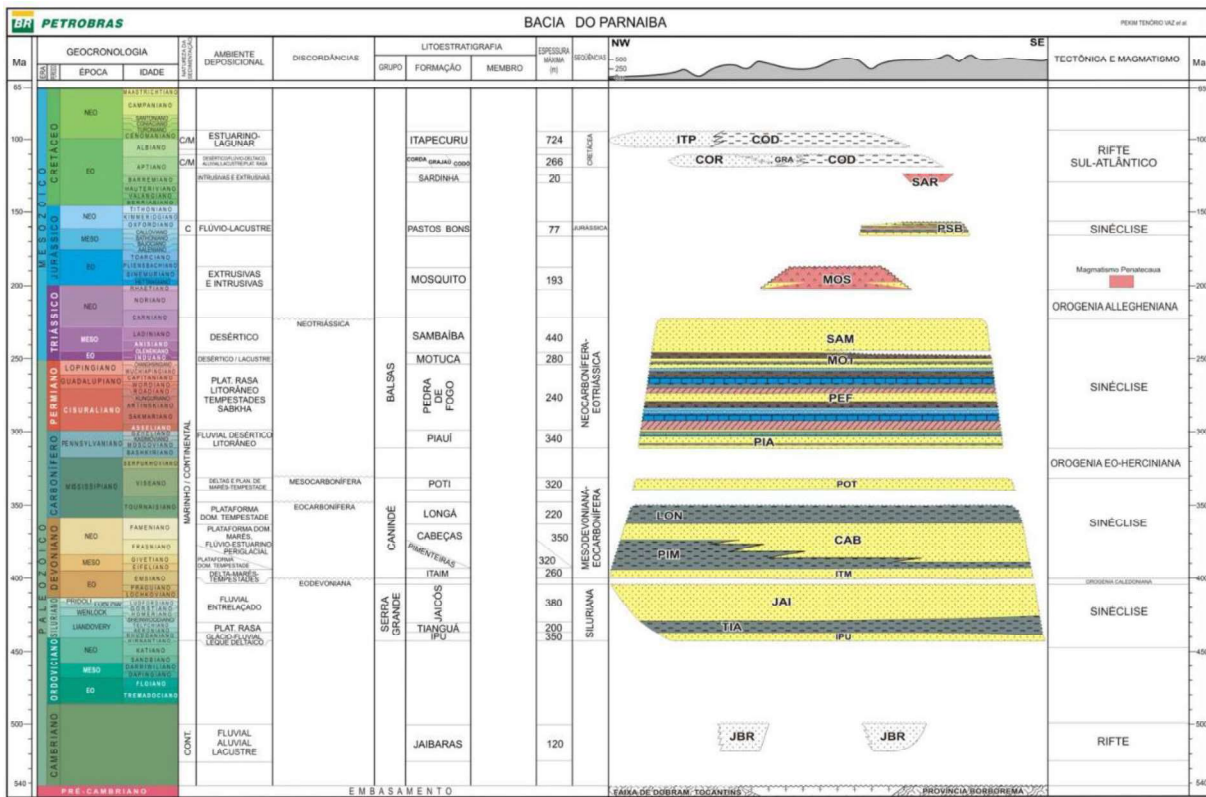
A sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera está disposta discordantemente sobre o GSG, e é composta pelo Grupo Canindé. Este se divide em cinco formações; Fm. Itaim, Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti. A formação Itaim caracteriza-se por arenitos finos a médios, grãos sub-arredondados, bem selecionados e com alta esfericidade. Nos estratos mais basais da formação, ocorrem com maior frequência intercalações de folhelhos bioturbados. Os ambientes de deposição desta Formação foram interpretados como deltaicos e plataformais, com forte influência de processos de marés e tempestades (DELA FÁVERA, 1990;GÓES;FEIJÓ,1994). A Fm. Pimenteiras caracteriza-se principalmente por folhelhos, podendo ser bioturbados, subordinadamente ocorrem intercalações de silito e arenito, e caracteriza um ambiente deposicional de plataforma rasa dominada por tempestades. A Fm. Cabeças tem como litologia principal arenitos médio a grossos, com intercalações lenticulares de siltitos e folhelhos. Subordinadamente diamictitos, que ocorrem com maior frequência no topo da formação. O ambiente deposicional configura-se como sendo do tipo plataformal com influência de marés, assim como um ambiente glacial ou periglacial. A formação Longá configura-se por folhelhos, arenitos e siltitos, caracterizando um ambiente plataformal dominado por tempestades. Por fim, a Fm Poti compreende por arenitos médios, com intercalações de siltitos, folhelhos e eventuais lentes de carvão, onde o ambiente deposicional configura-se por planícies de maré, ocasionalmente sob influência de tempestades (CAPUTO,1984; DELLA FÁVERA, 1990 GÓES; FEIJÓ,1994; VAZ et al. 2007).

A sequência neocarbonífera-eotriássica consiste, litoestratigraficamente, ao Grupo Balsas, este dividido em quatro formações: Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba, os quais seus ambientes deposicionais foram fluvial, eólico, marinho raso e desértico com influência lagunar (GÓES; FEIJÓ,1994; CAPUTO,1984; VAZ et al. 2007).

A sequência Jurássica compreende apenas pela formação Pastos Bons, onde o ambiente deposicional foi lacustrino, com alguma contribuição fluvial, em clima semiárido a árido. Por fim, a sequência cretácea que corresponde as Formações Codó, Corda, Grajaú e Itapecuru, depositadas em ambiente que variam de sistemas envolvidos a clima desértico, marinho raso, lacustre e fluvio-deltaico

(VAZ et al. 2007).

Figura 14. - Carta Estratigráfica da Bacia do Parnaíba



Fonte: Vaz et al (2007)

#### 4.1. GEOLOGIA DO GRUPO SERRA GRANDE

Small (1914) descreveu primeiramente o GSG como “Série Serra Grande”, onde englobava arenitos, conglomerados e calcários expostos na serra que marca a divisa dos estados do Piauí e Ceará. Kegel (1953) redefiniu para “Formação Serra Grande” ao excluir os calcários dobrados que são sobrepostos discordantemente pelos arenitos conglomeráticos da base da unidade. Carozzi et al. (1975) elevou a categoria para Grupo Serra Grande, denominando a Formação da base como sendo Formação Mirador, seguida pela Fm. Tianguá (RODRIGUES, 1967) e por fim a Fm. Jaicós (PLUMMER, 1948 apud SANTOS; CARVALHO, 2009). A configuração atual do GSG foi definida por Caputo;Lima,1984, que substituiu a Fm. Mirador por Fm. Ipu, e manteve as Fm. Tianguá e Jaicós. Subsuperficialmente, o GSG ocorre ao longo de quase toda a bacia, e em alguns poços perfurados, a Fm. Jaicós está em contato direto com o embasamento (VAZ et al. 2007).

A paleocorrente descrita para o grupo, segundo Assis (2018), indica uma direção principal para o sentido noroeste, contrária as observadas nas bacias do sul, o que fez o autor sugerir um alto

paleotopográfico na porção central do Gondwana ocidental.

Além do que já foi dito anteriormente, a Formação Ipu configura-se como arenitos estratificados, conglomerados maciços e estratificados ricos em quartzo e diamictitos polimíticos (CAPUTO; LIMA, 1984; ASSIS, 2018), contém apenas icnofósseis como registro biológico. A idade desta formação foi estimada com base na associação a outros registros de glaciação do Ordoviciano Superior (CAPUTO; LIMA, 1984).

Complementando as informações da Formação Tianguá, sua litologia compreende por folhelhos cinza-escuro, bioturbados, sideríticos e carbonáticos; arenitos cinza-claro, fino a médio, feldspáticos que intercalam siltitos e folhelhos cinza-escuro, bioturbados e micáceos. O contato desta unidade com as outras que faz contato (Ipu e Jaicós) é concordante. Há uma falta de consenso na bibliografia quanto a idade da unidade, Grahn;Caputo (1992), datam como da série Llandovery, siluriano inferior. Grahn et al. (2005) e Le Hérisse et al. (2001) apud Assis (2018), datam a idade dos folhelhos da unidade e dos níveis arenosos com intercalações de folhelhos que ocorrem tanto no topo da Formação Ipu quanto os da base da Formação Jaicós, e definem um intervalo entre o final do andar Aeroniano e início do Telychiano, ambos da série Llandovery, Siluriano inferior.

#### **4.1.1. Formação Jaicós**

A formação Jaicós, objeto de estudo deste trabalho, consiste na maior parte exposta do GSG, predomina no planalto da Serra Grande/Ibiapaba, aflora em cristas e forma relevo de chapadas (ASSIS, 2018). Sua litologia é representada por arenitos grossos e conglomerados, de coloração branca, cinza claro ou amarronzada, contendo seixos angulares a subangulares, mal selecionados, friáveis, maciços, com estratificação cruzada ou lenticular, ocasionalmente possuindo lâminas de folhelho ou silito branco (CAPUTO, 1984; ASSIS,2018).

Na bibliografia encontram-se algumas divergências quanto ao ambiente deposicional desta unidade: sistemas fluviais entrelaçados (GÓES;FEIJÓ, 1994); leques rasos, deltaicos e submarinos (CAPUTO; LIMA, 1984); canais distributários e frente deltaica (CAROZZI et al, 1975).

Com relação a idade da Formação Jaicós, Grahn et al. (2005) atribuem um intervalo de idade entre o final da série Llandovery até o limite entre o Pragiano e Emsiano, Devoniano Inferior. Os autores também constataam a existência de ao menos dois hiatus intraformacionais para a unidade, um na série Wenlock e outro na Pridoli, ambas no Siluriano.

Caputo e Lima (1984) correlacionam a Fm. Jaicós com as Formação Manacapuru da Bacia do Amazonas, Formação Furnas da Bacia do Paraná, Formação Nardouw (África do Sul) e Formação Atafaitafa (Saara Argeliano).

A transição entre esta unidade com a Formação Itaim, sua subsequente, é de caráter erosional e paralela, e difícil de ser identificada, já que ambas são arenosas. Contudo, os arenitos da Fm. Itaim

possuem granulometria mais fina.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. LITOFÁCIES

Neste trabalho foram identificadas sete litofácies com base nos critérios estabelecidos por Miall (1996), sendo a granulometria e a estrutura sedimentar como principal forma de estabelecer esta classificação.

As fácies descritas consistem em arenitos, predominantemente, que variam de médio a muito grosso, de coloração branca/acinzentada, moderadamente selecionados a mal selecionados, com grânulos a blocos que ora estão dispersos, ora concentrados nos planos das estratificações e na base dos sets ou até mesmo ausentes.

#### 5.1.1. Litofície St - Arenito com estratificação cruzada acanalada

Descrição:

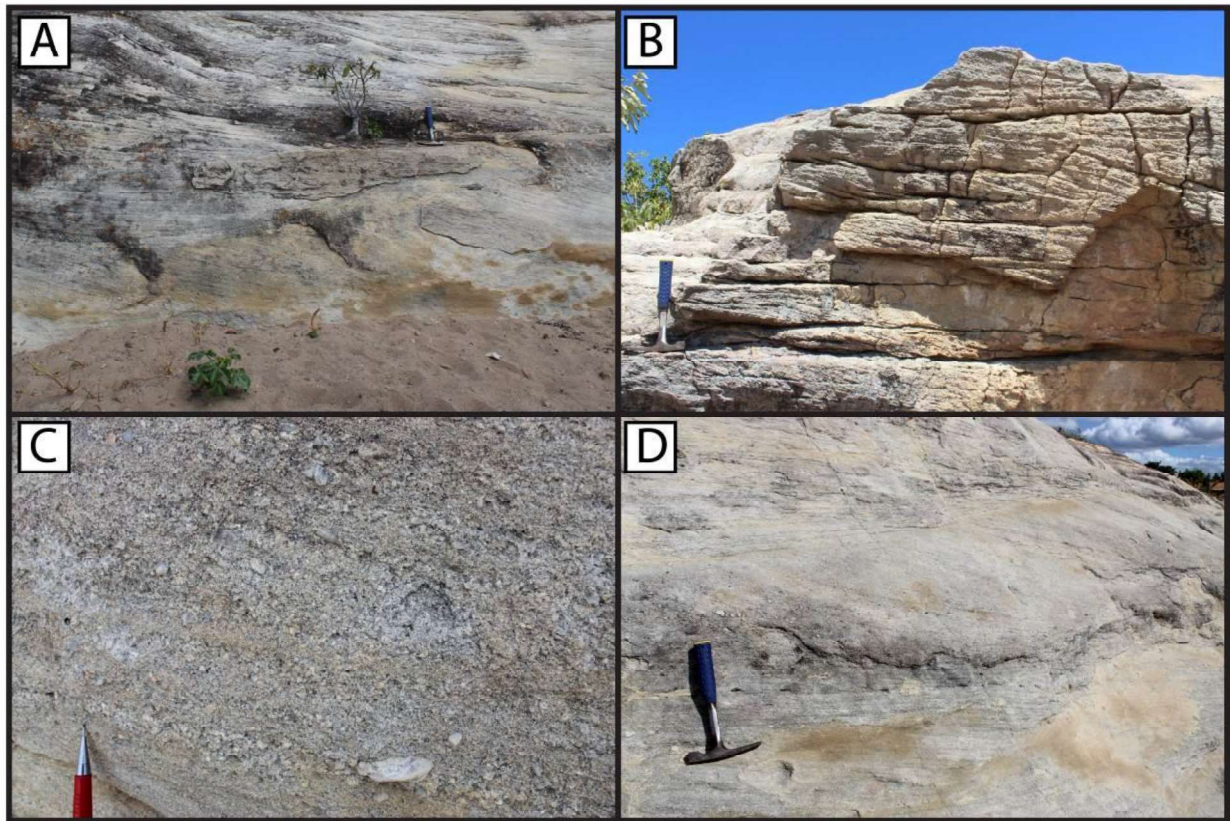
Esta litofície representa 32% da sucessão e consiste em arenito que varia de médio a muito grosso, mal selecionado, com gradação normal (Fig. 15C), estruturados em sets e cosests compostos por estratificações cruzadas acanaladas (Fig. 15D). A coloração é cinza esbranquiçada, com composição quartzosa. Por vezes possuem grânulos e seixos quartzosos dispersos de até 3 cm que ocorrem nas superfícies de 1ª ordem (Fig. 15C) e apresentam diminuição da clasticidade da base para o topo dos conjuntos de sets, ocasionalmente chegam a desaparecer da fácies. Os estratos cruzados são principalmente de médio porte, e estes variam de 33 cm a 60 cm (Fig. 15ª). Subordinadamente, as estruturas de pequeno porte variam de 10 cm a 25cm (Fig. 15B). O ângulo de mergulho dos estratos varia de 16° a 30° com sentido médio NO para as acanaladas de médio porte e de 18° a 26° com sentido NNO para as de pequeno porte (Fig. 22). As camadas possuem geometria lenticular, com superfícies côncava para cima, e por vezes são pouco espessas e descontínuas.

Interpretação:

Esta fácies consiste na migração de dunas subaquosas 3D, em regime de fluxo inferior, caracterizada pelas feições curvas ou *scour pit* (erosão de fundo) no pé da duna. O limite superior dos sets compostos pelos estratos cruzados de médio porte é caracterizado por uma superfície de 3ª ordem, delimitada por estratos Ss que os sucedem. A má seleção granulométrica, a forma lenticular e o predomínio de um sentido de mergulho dos estratos cruzados numa direção unimodal leva a interpretar tal fácies como sendo um fundo de canal. Dunas 3D tendem a ocupar as porções mais profundas dos

canais ativos(MIALL, 1996).

Figura 15. A) Estratos cruzados acanalados (St) de médio porte. B) Estratos cruzados acanalados de pequeno porte. C) Gradação normal dos estratos St. D) Estratos cruzados tangenciais de médio porte.



### 5.1.2. LitofÁCIE S1 - Arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo

Descrição:

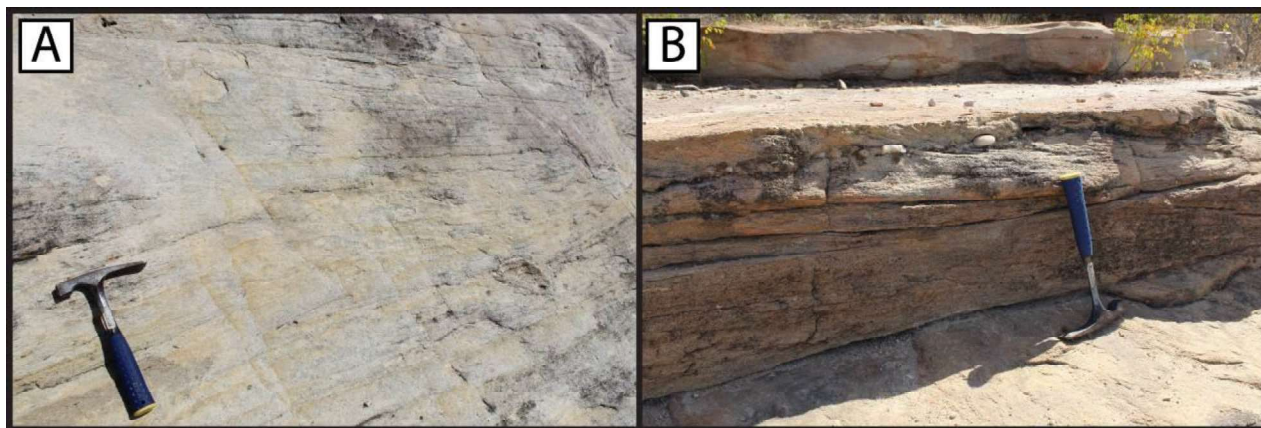
Esta litofÁCIE representa 20% da sucessão total. Compreende por arenito médio a grosso, moderadamente selecionado, com estratos cruzados de baixo ângulo e levemente ondulados (Fig. 16 A/B). Sua coloração é cinza esbranquiçada, possui composição quartzosa, onde grânulos ocorrem de forma pontual. Ocorrem dispostos em sets que variam de 50 cm a 60 cm de espessura, apresentando geometria lenticular a tabular (Fig. 26 e 27). As camadas são descontínuas e que variam para estratificações cruzadas sigmoidais (litofÁCIE Ss) (Fig. 26 e 27).

Interpretação:

Estratificações cruzadas de baixo ângulo a onduladas, consistem normalmente em estratos

inclinados menores que  $15^\circ$ . É o resultado da atenuação de dunas 2D e 3D, devido ao regime de fluxo transicional. Estruturas do tipo humpback costumam compor esta litofácies (BRIDGE;BEST, 1988; MIAL, 1996).

Figura 16. A) Estratos cruzados quase horizontalizados e ondulados da fácies SI (*Sand low angle*). B) Estratos de baixo ângulo  $<15^\circ$  SI.



### 5.1.3. Litofácies Ss - Arenito com estratificação cruzada sigmoidal

Descrição:

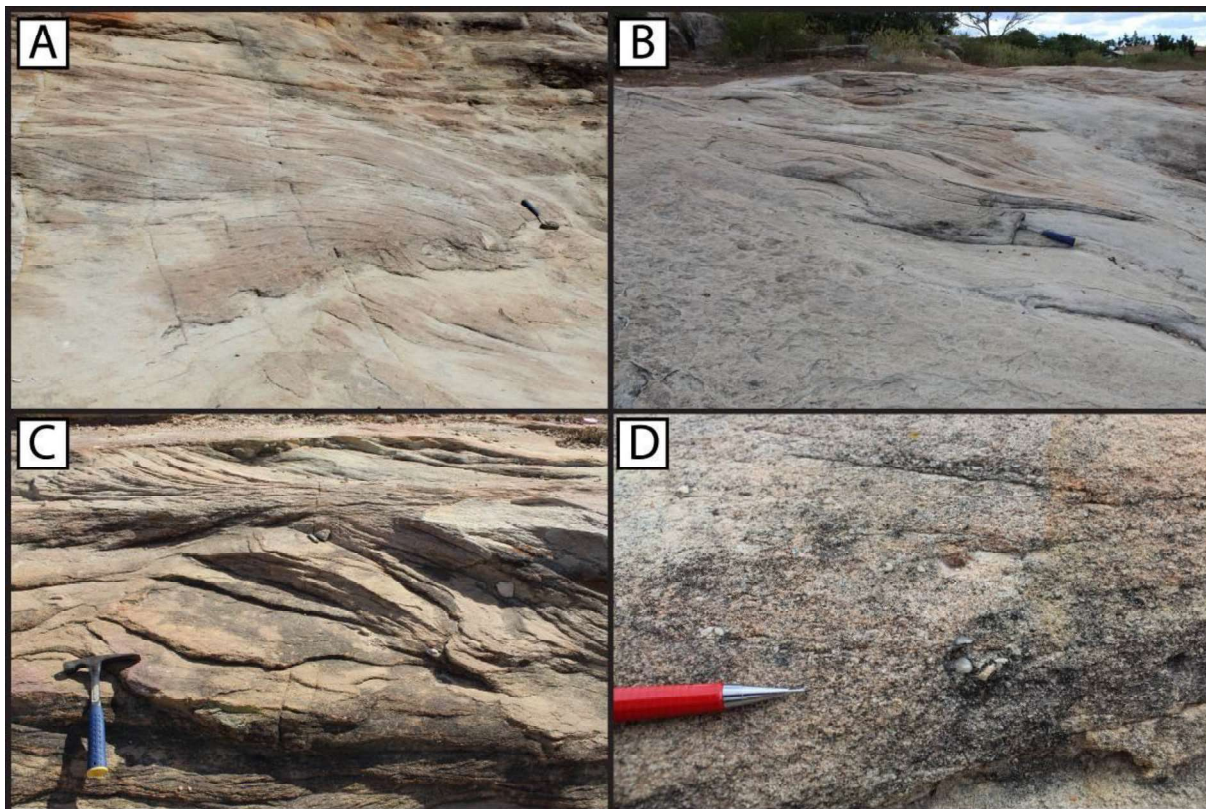
Esta litofácies representa 34% do total da sucessão de rochas. Consiste em arenito médio a grosso, mal a moderadamente selecionado (Fig. 17D) com estratos cruzados sigmoidais, que lateralmente varia para arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo (litofácies SI) (Fig. 26 e 27). A coloração é cinza esbranquiçada, com composição quartzosa. Por vezes ocorrem grânulos dispersos (Fig. 17 D). Os estratos são principalmente de pequeno porte, com sets que variam de 10 cm a 35 cm (Fig. 17C). Subordinadamente, sets de médio porte são registrados, com espessura que varia de 46 cm a 74 cm (Fig. 23, 26 e 27). O ângulo de mergulho das camadas varia de  $12^\circ$  a  $24^\circ$ , assim como a paleocorrente que tem direção oscilante de NE até NW (Fig. 22), contudo a direção média é NW. A geometria das camadas é em forma tabular a lenticular, com os estratos sigmoidais gradando para baixo ângulo SI (Fig. 26 e 27). Raramente observa-se a litofácies Sr base do set, interdigitando os estratos sigmoidais (Fig. 19).

Interpretação:

Depósitos de dunas subaquosas 3D, que foram parcialmente erodidas no topo ou base, pelo aumento do fluxo. Normalmente são geradas em ambientes de fluxo transicional. Estão associadas as estruturas do tipo *humpback* (Fig. 23). A preservação destas estruturas ao longo dos estratos cruzados sigmoidais e de baixo ângulo refletem variabilidade das condições de fluxo, tanto quanto o aporte

sedimentar e velocidade de fluxo. Muitas vezes um grande aporte sedimentar em um canal faz com que a lâmina d'água diminua, causando um aumento da velocidade do fluxo (FIELDING,2006).

Figura 17. A) Estratos Sigmoidais (Ss) de grande porte caracterizados pelo elemento arquitetural Barra Simples B) Estratos sigmoidais vistos em planta. C)Estratos sigmoidais vistos em corte lateral D) Textura da litologia da litofácies Ss



#### 5.1.4. Litofácies Sp - Arenito com estratificação cruzada planar

Descrição:

Esta litofácies representa 8% da sucessão. Compreende arenito médio a grosso, moderadamente selecionado, de composição quartzosa com grânulos dispersos (Fig. 18B). Os sets variam de 14 cm a 25cm, dos quais diminuem de espessura da base para o topo do coset (Fig. 18<sup>a</sup>). Apresenta geometria tabular, e é delimitada por uma superfície de 2<sup>o</sup> ordem na base do coset, sotoposta a litofácies Sm, e por uma superfície de 3<sup>a</sup> ordem no topo (Fig. 22).

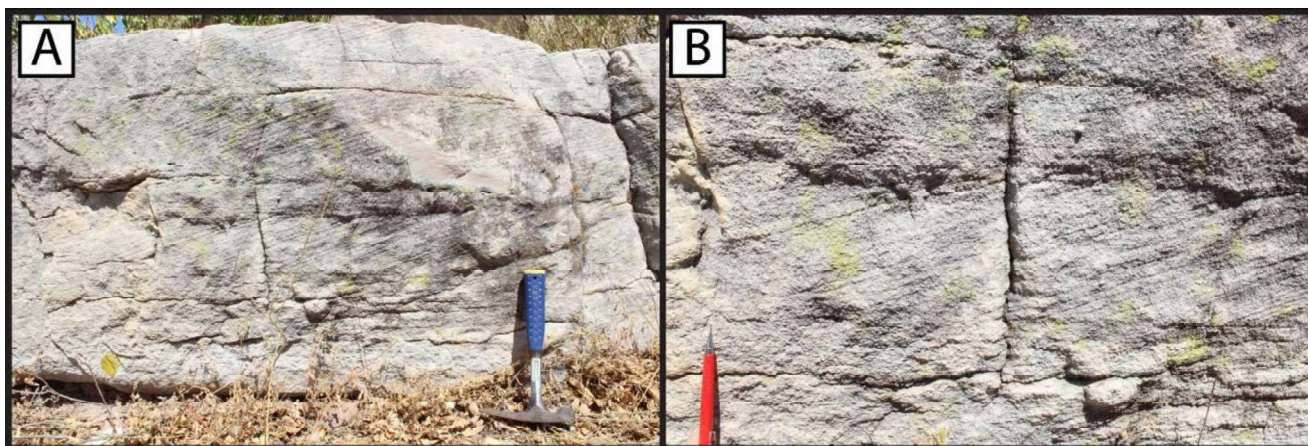
Interpretação:

Migração de dunas subaquosas 2D, com as superfícies dos sets retas (cristas retas). A



interpretação para esta litofácies no contexto da sucessão indica diminuição da lâmina d'água, causada pelo grande aporte sedimentar caracterizado pelas litofácies Gmm e Sm que precedem as estruturas Sp (Fig.22). As estruturas foram formadas em partes rasas do canal, o que gerou a geometria em lençol (MIALL, 1996).

Figura 18.A) Estratos cruzados planares (Sp) divididos por pequenos sets 14 a 25 cm. B) Detalhe da textura da Litofácies Sp



### 5.1.5. Litofácies Sr - Arenito com laminações cruzadas de marcas onduladas

Descrição:

Esta litofácies representa 2% da sucessão total. Compreende arenito médio a grosso, moderadamente selecionado com laminações cruzadas de marcas onduladas (Fig.19). Possuem coloração cinza esbranquiçada, de composição é quartzosa. São estruturas de pequeno porte, medindo <10 cm. Foi possível medir um plano de migração da ripple, o qual apresentou ângulo de mergulho de 18° com sentido para SE (Fig. 22). Possuem geometria lenticular, e localizam-se na base de dois sets de estratos cruzados sigmoidais, por vezes se interdigitam com tais estratos (Fig.19).

Interpretação:

Marcas onduladas de fluxo subaquoso unidirecional, normalmente ocorrem em fluxos com velocidade <1 m/s. Para a sucessão estudada, esta litofácies foi interpretada como sendo produto de vórtices gerados no pé dos estratos cruzados, que, quando sob influência de fluxos de mais alta energia, podem formar *ripples* com direção contrária ao fluxo principal, e tal fator é comprovado pelo ângulo de mergulho da estrutura, que apresentou direção SE, enquanto os estratos sigmoidais acima da *ripple* apresentaram direção NW (MIALL, 1996; NICHOLS, 1999).

Figura 19. Marcas onduladas (*Ripples*) (Sr) na base do set interdigitando os estratos Ss



#### 5.1.6. Litofácies Sm - Arenito maciço

##### Descrição:

Esta litofácie representa 4% da sucessão estudada. Esta representada por arenito conglomerático, mal selecionado, maciço. A coloração é cinza avermelhada, de composição quartzosa, com grânulos quartzosos de 2,5cm. A estrutura é representada apenas por um set de 40 cm de geometria lenticular.. A camada deste arenito está sobrepondo o conglomerado (Fig. 20).

##### Interpretação:

Sua gênese se deu por deposição rápida de fluxos hiperconcentrado. A camada está sobrepondo um conglomerado, delimitada por uma superfície de 2ª ordem, indicando não haver um hiato significativo e sem registro de erosão, corroborando para tal interpretação (Miall, 1996).

Figura 20. Arenito maciço (Sm), localizado na parte superior da imagem



### 5.1.7. Litofácies Gmm - Conglomerado Maciço Matriz Suportado

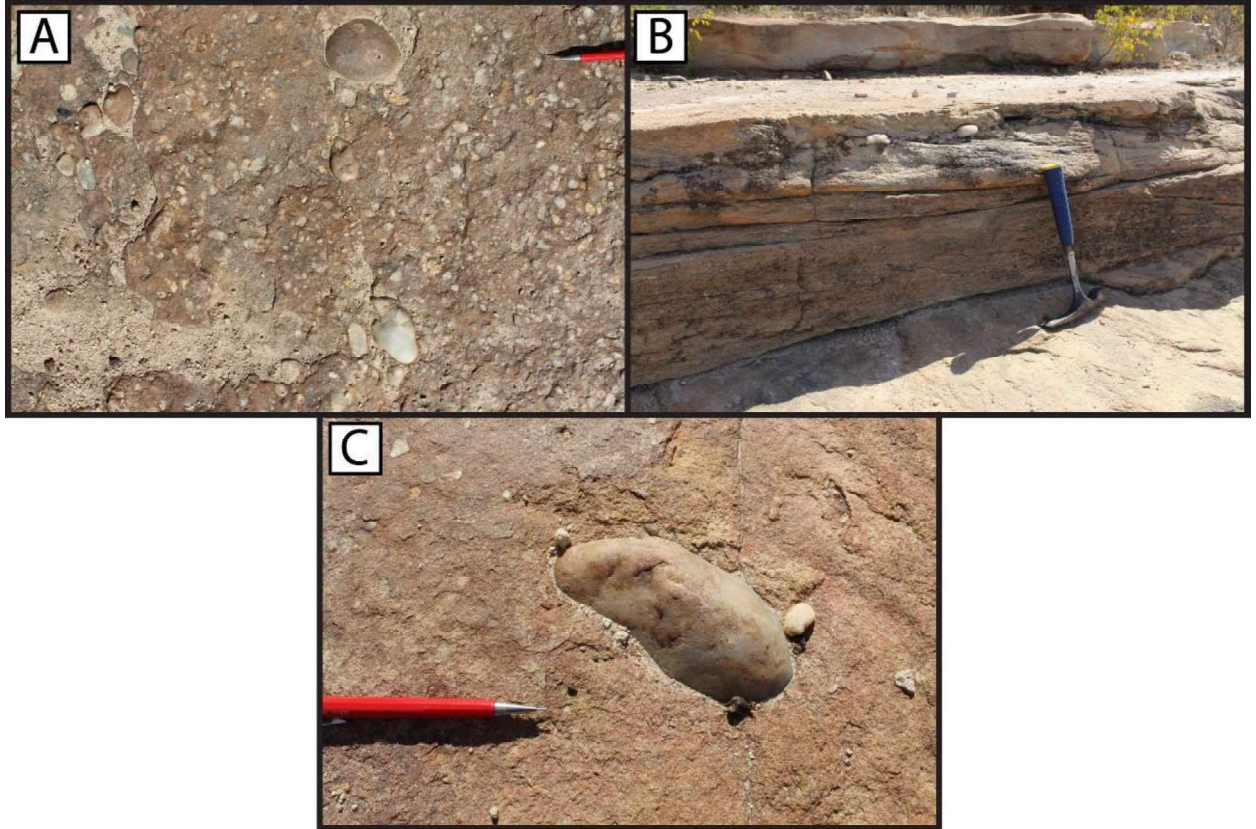
#### Descrição:

Esta litofácies representa <1% da sucessão levantada. Trata-se de conglomerado matriz suportado, muito mal selecionado, com matriz composta de areia média a grossa, maciço (Fig.21A/C). A coloração é marrom acinzentada, de composição quartzosa. Trata-se de uma camada de 4 cm, de geometria lenticular, com variação de espessura, delimitada por uma superfície bem erosiva de 4ª ordem (Fig. 21B).

#### Interpretação:

Para esta sucessão, a litofácies é interpretada como sendo marcadora de um novo ciclo, já que a superfície delimitadora é de 4ª ordem, ocorre mudança abrupta granulométrica e arquitetural, e marca um grande aporte sedimentar, causado por fluxos hiperconcentrado (MIALL, 1996).

Figura 21. A) Textura do Conglomerado maciço matrix-suportado (Gmm) visto em planta. B) Camada de 4 cm do conglomerado se sobrepondo as litofácies Ss/SI, nota-se a superfície erosiva classificada como de 4ª ordem. C) Textura do conglomerado, onde nota-se a má seleção da litologia, bem como o bloco em destaque





### 5.2.1. Formas de Leito Arenosas - *Sandy Bedforms* (SB)

Descrição: Esse elemento arquitetural é caracterizado por corpos arenosos com geometria tabular e lenticular apresentando 1,25 a 2,36 metros de espessura e dezenas de metros de extensão (Fig. 26 e 27). Internamente são compostos por sets individuais com geometria tabular a lenticular com espessuras variando de 0,15 a 0,6 m com estratificação cruzada tangencial (litofácies St) (Fig.15A), sets com estratificação cruzada planar (Litofácies Sp), sets com estratificação cruzada sigmoidal (litofácies Ss) e sets com estratificação de baixo ângulo (Sl). As superfícies que delimitam os corpos arenosos são superfícies planas a levemente onduladas. Não são observadas superfícies erosivas entre os corpos arenosos (Fig. 26 e 27).

Interpretação: A ocorrência de corpos arenosos com geometria tabular a lenticular, lateralmente extensos, cujos sets são separados por superfícies planas a levemente onduladas, não inclinados, compostos por estratificações cruzadas tangenciais, planares e sigmoidais de pequeno porte (0,1 a 0,6 m) (Fig. 15D, 17C e 18A), são interpretados como formas de leito arenosas (MIALL, 1985, 1996). As litofácies Sp e St representam a migração de dunas de cristas retas (2D) e sinuosas (3D), respectivamente, sob fluxo subaquoso unidirecional, em condições de regime de fluxo inferior, quando a superfície da lâmina d'água não interfere na morfologia da forma de leito. São interpretados como formas de leito geradas por fluxos episódicos ou quasi-episódicos (Røe, 1987). As formas de leito arenosas compostas pela litofácies Ss estão associadas a um regime de fluxo transicional (transição duna-formas de leito planas) (Fig. 17B), cuja velocidade do fluxo é superior à das dunas 2D e 3D. A gênese dos estratos cruzados sigmoidais está relacionada à atenuação de dunas 2D e 3D, cujo ângulo de migração decresce e, em condições de grandes volumes de sedimento em suspensão, os estratos cruzados exibem topsets e foresets bem desenvolvidos (FIELDING, 2006). Estas formas de leito são conhecidas por dunas *humpback* (Fig.23), sendo depósitos de dunas que foram parcialmente erodidas no topo ou base pelo aumento do fluxo. A ausência de superfícies erosivas internas indica uma deposição contínua, cujo fluxo mantém uma velocidade mais constante, ou cuja deposição ocorreu em um único evento de descarga. A observação de formas de leito distintas, depositadas em diferentes condições de regime de fluxo, nos remete a um estilo fluvial que apresenta variabilidade na descarga (Fig. 26 e 27) (FIELDING, 2006).

Figura 23. Na parte superior da imagem, nota-se a gradação entre as litofácies Ss e Sl, formando dunas do tipo *Humpback*, com concavidade para cima. Na parte inferior da imagem, nota-se a litofácies St, compondo o elemento arquitetural de Formas de Leito Arenosas..



### 5.2.2. Barras simples

Descrição: Esse elemento arquitetural é caracterizado por corpos arenosos com geometria lenticular, e apresenta de 0,35 a 0,6 m de espessura e até 15 m de extensão lateral. Internamente são compostos por sets com estratificações cruzadas sigmoidais de grande porte (litofácies Ss). Os corpos arenosos ocorrem sobrepostos, cuja terminação de um depósito é por vezes o substrato para o desenvolvimento de outro. Esse elemento arquitetural ocorre sobre- e sotoposto ao elemento de formas de leito arenosas, limitados por superfícies planas. É possível observar que os sets de grande porte gradam lateralmente para sets menores (Fig. 26 e 27), ou seja, formas de leito arenosas se desenvolvem lateralmente a estes depósitos, e o contrário também ocorre.

Figura 24. Barras simples coalescem com dunas de maior porte.



Interpretação: A ocorrência de corpos arenosos com estratos cruzados de grande porte, lateralmente extensos, é interpretada como barras simples (MIALL, 1996). Conforme Wizevich (1992), a presença de estratos cruzados de grande porte evidencia manutenção na velocidade do fluxo, com alta taxa de suprimento sedimentar, de forma que uma face frontal de avalanche seja bem desenvolvida. A ocorrência de superfícies planas que delimitam as barras simples das formas de leito arenosas é interpretada como superfícies de 4ª ordem (MIALL, 1996) (Fig. 26 e 27). A transição entre as barras simples para formas de leito arenosas (dunas), lateralmente, reflete variabilidade da descarga. Com a diminuição da energia do fluxo, há um aumento na concentração dos sedimentos e diminuição da lâmina d'água, e o complexo de dunas atua como núcleo para o crescimento de barras simples de baixo relevo (Fig.24). O processo inverso também pode ocorrer, ou seja, com aumento da energia do fluxo, ocorre o desenvolvimento de dunas (formas de leito arenosas) a partir de barras simples (formas de leito maiores) (HJELLBAKK, 1997). A presença de estratos cruzados sigmoidais caracteriza regime de fluxo transicional, em condições de atenuação de dunas de cristas sinuosas (3D), quando do aumento da velocidade do fluxo e grande volume de sedimentos em suspensão, ocasionando a formação de topsets bem desenvolvidos, em condições agradacionais.



### 5.2.3. Barras Compostas - *Downstream Accretion* (DA)

Descrição: Este elemento arquitetural é caracterizado por corpos arenosos com espessura com 1,8 metros e com extensão lateral de 8 metros (Fig. 25). É composto por cosets de estratos cruzados (litofácies St), separados entre si por superfícies planas que mergulham suavemente em ângulo que varia entre 8° a 12° no mesmo sentido dos estratos cruzados (NW) (Fig. 28). Esse elemento arquitetural é limitado na base e no topo por superfícies planas a levemente onduladas, sendo sotoposta por formas de leito arenosas.

Interpretação: Este depósito arenoso constituído por cosets de estratos cruzados separados entre si por superfícies planas que mergulham para o mesmo sentido dos estratos cruzados são interpretados como barras compostas arenosas de meio de canal (macroforma de acreção frontal; MIALL, 1996). Os estratos cruzados compostos são formados pela migração de formas de leito menores (mesoformas) sobre o dorso ou a face frontal das barras de meio de canal (macroformas) (Bristow, 1987). A gênese das formas de leito sobrepostas a barra principal está vinculada a instabilidade do fluxo (Allen; Collinson, 1974), sendo diretamente relacionadas à diminuição na velocidade do fluxo e uma queda no suprimento sedimentar, ocasionando assim, as condições necessárias para migração de pequenas formas de leitos sobre as barras de meio de canal (Wizevich, 1992). As superfícies planas que mergulham suavemente para o mesmo sentido dos estratos cruzados são interpretadas como superfícies de acreção e a superfície que limita a barra composta é definida como uma superfícies de 4ª ordem.

Figura 25. Fotointerpretação de uma DA. As superfícies migram da esquerda para a direita, bem como os estratos cruzados (St). Na seção colunar (Fig. 22), tem-se as medidas das paleocorrentes dos estratos.



#### 5.2.4. Fotomosáicos

Figura 26. Fotomosaico (1) interpretado. A interpretação, representada na imagem superior, mostra os elementos arquiteturais, os estratos cruzados e as litofácies. Observa-se a geometria tabular a lenticular dos corpos arenosos, e a variação lateral dos estratos cruzados, que gradam de estratos sigmoidais a baixo ângulo, além das espessuras dos sets, que se acunham lateralmente. Observa-se também dunas do tipo humpback, que lateralmente gradam para estratos cruzados de baixo ângulo (SI). Neste trecho da sucessão, ocorrem dois tipos de regime de fluxo. O de fluxo inferior, ocorre na porção abaixo da superfície de 3ª ordem, representado pela litofácies St. O de fluxo transicional está disposto acima da superfície de 3ª ordem, representado pelas litfácies SI e St.

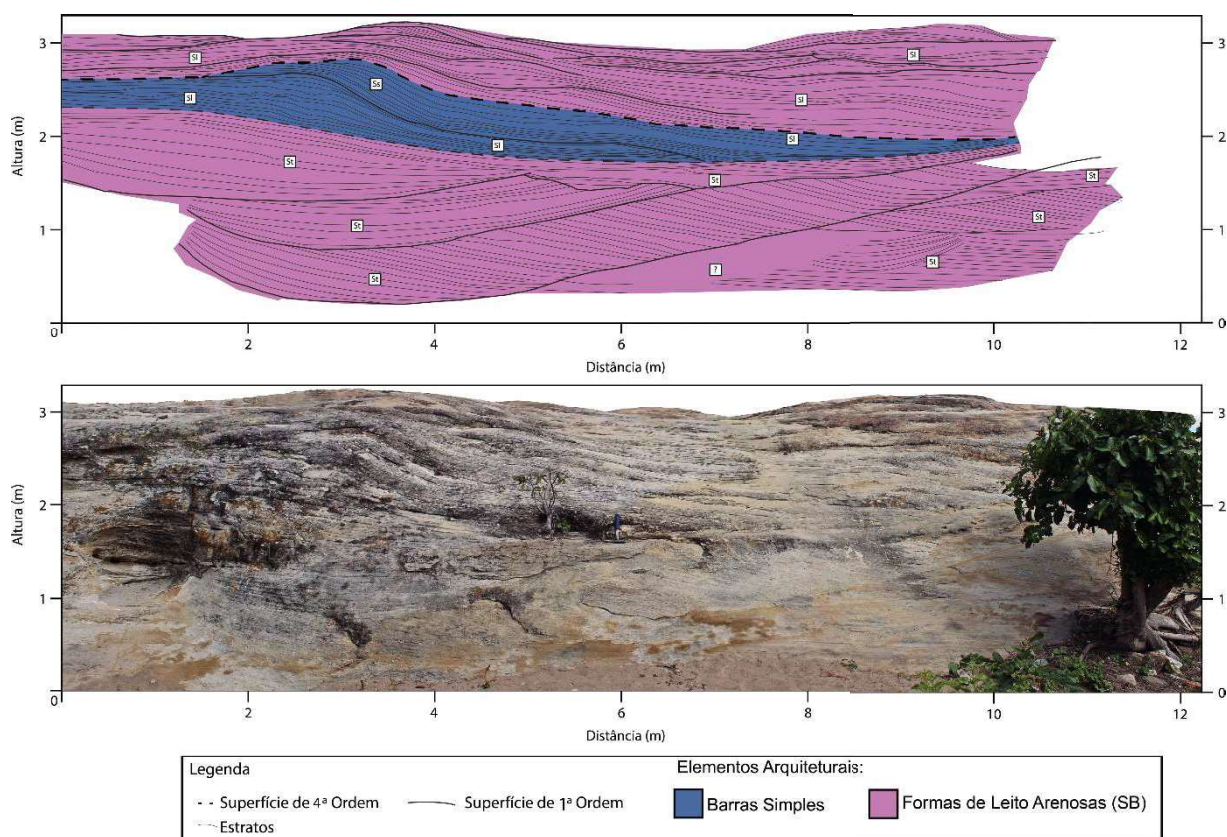
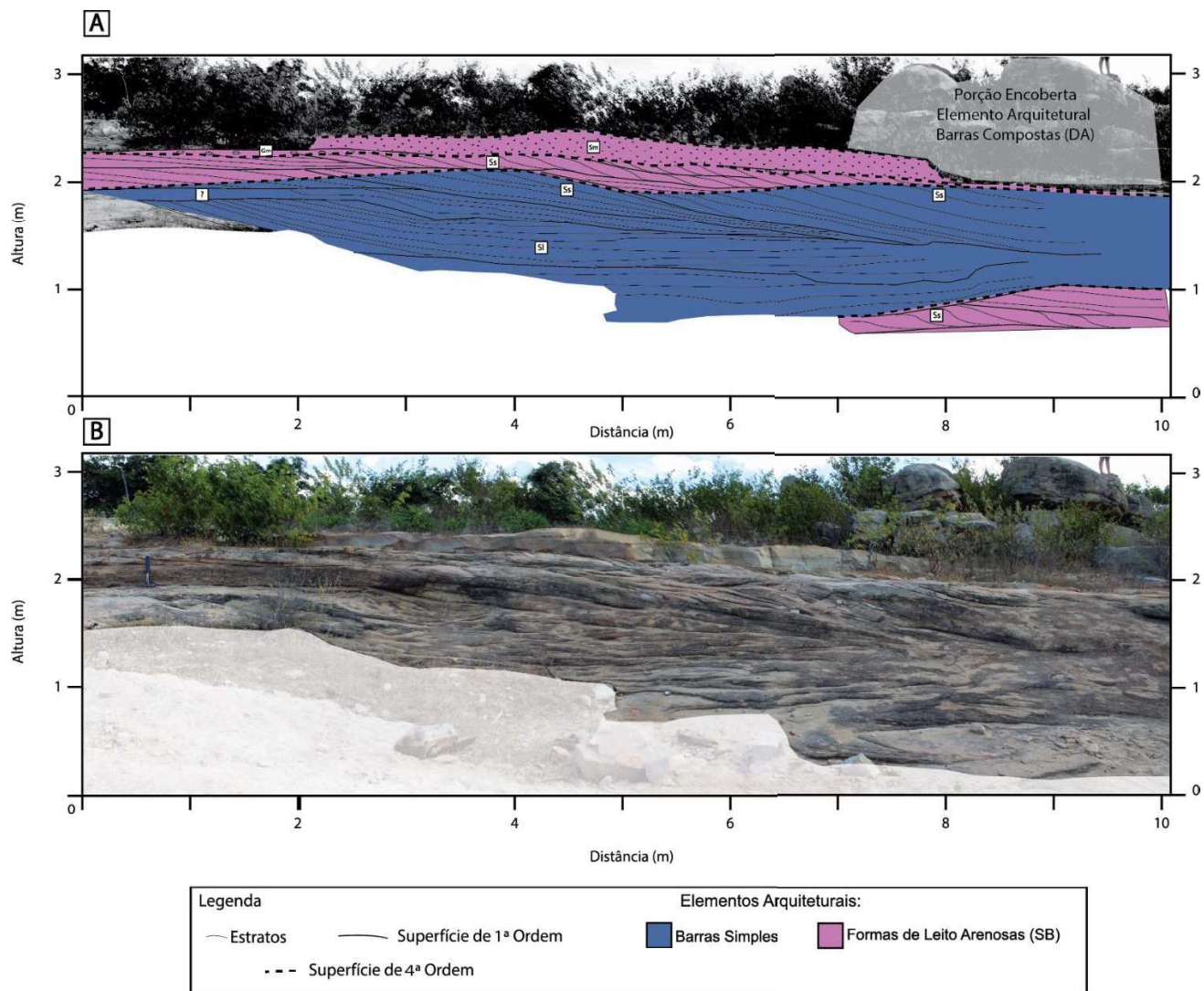


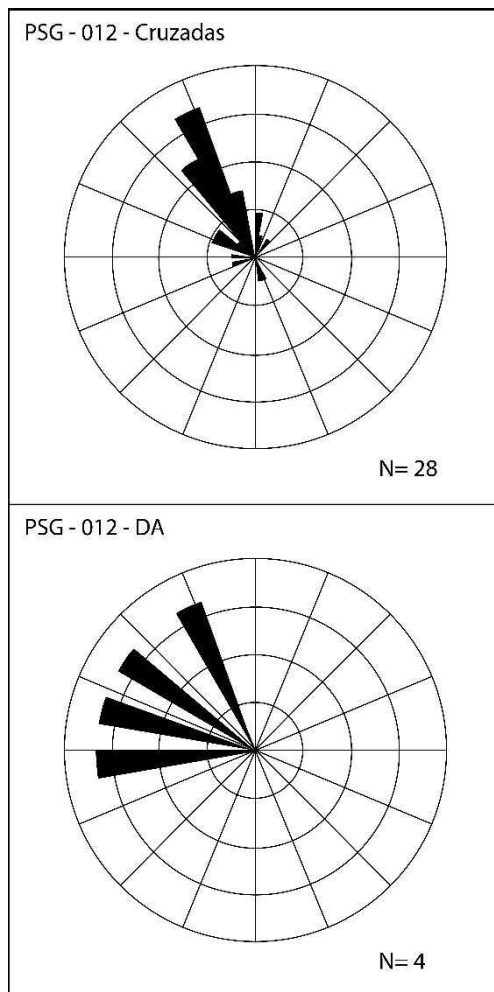
Figura 27 - Figura 28 - Fotomosaico (2). Na imagem superior (A), tem-se a interpretação do fotomosaico. A geometria observada é tabular a lenticular, e ocorre gradação das litofácies S1 para Ss, característica de fluxos transicionais. Neste trecho, ocorrem todos os os elementos arquiteturais que formam a sucessão do estudo da Fm. Jaicós. As Formas de Leito Arenosa (SB), constituem-se pelas litofácies Ss, Gm e Sm. As Barras Simples se apresentam através das litofácies S1 e Ss, e constituem por corpos arenosos maiores, conforme se observa. As Barras Compostas estão encobertas pela vegetação ao longo desta extensão lateral, e se mostram pela seção colunar (Fig.22) e na Fig.25



### 5.3. ANÁLISE DA PALEOCORRENTE

A medição das paleocorrentes no afloramento descrito resultou em 32 direções (Fig. 28), sendo 28 nos estratos cruzados e 4 em superfícies de Barras Compostas (DA). Dos 28 estratos cruzados medidos, 16 foram obtidos das litofácies Ss, 10 em St, e 1 em Sr e Sp.

Figura 29. Diagrama de Roseta com os dados de paleocorrente



Como resultado, obteve-se um trend das paleocorrentes na direção Noroeste, sendo o vetor médio da direção de  $329,1^\circ$ . Estes dados estão coerentes com os estudos de Assis (2018). Observa-se um padrão mais definido para o fluxo, ou seja, com pouca variação na direção de paleocorrente, o que indica deposição sob condições de baixa sinuosidade dos canais.

#### 5.4. MODELO DEPOSICIONAL

O modelo deposicional para esta sucessão estratigráfica foi elaborado com base em Miall (1996), seguindo os critérios, que segundo o próprio autor, foram elaborados para uma melhor assimilação entre as litofácies e os elementos arquiteturais.

Neste trabalho, a sucessão dos estratos remete a sistemas fluviais compostos quase que exclusivamente (>99%) por litofácies arenosas. Outra característica marcante desta sucessão é a expressiva ocorrência de elementos arquiteturais que remetem a fluxos transicionais, com variabilidade de aporte sedimentar e velocidade, em sua maioria por fluxos de regime transicional, definida pelas litofácies Ss, onde representam 54% do total das litofácies, e compõe elementos arquiteturais que são interpretados como Formas de Leito Arenosas (*Sandy Bedforms-SB*) e Barras Simples. De maneira secundária, as litofácies que representam o fluxo de regime inferior, formam elementos arquiteturais definidos como Barras Compostas e Formas de Leito Arenosas. Em suma, observa-se ao longo do perfil estratigráfico uma variação de velocidade e aporte sedimentar do fluxo, tanto num cenário de regime de fluxo inferior quanto transicional, denotando uma característica de sistema fluvial perene com influências de inundações, baixa sinuosidade e alta energia.

Na classificação de Miall (1996), pode-se enquadrar este sistema deposicional como sendo *High-Energy, Sand-Bed Braided River*, que na tradução seria Sistema Fluvial Entrelaçado Arenoso de Alta Energia. Tais sistemas apresentam abundância em estratos horizontais (litofácies Sh) e estratos cruzados de baixo ângulo (Litofácies Sl), interpretado como resultado de regime de fluxos transicionais a superiores. A sedimentação ocorre durante alta energia, possivelmente sob condições de lâmina d'água rasa em eventos de descargas/inundações, que podem promover a erosão do fundo do canal e o aplainamento dos topos dos estratos cruzados. Os elementos para tais unidades são DA's, LA's e Hollows (Elemento HO), este último pode ou não estar presente, e no caso deste trabalho não foram encontrados tais elementos (COWAN, 1991; MIALL, 1996). Miall (1996) pondera que características de sistemas efêmeros de rápidas inundações (*Flashy, Ephemeral, Sheetflood, Sand-Bed River*) podem ser observadas nestes sistemas, e são justamente os elementos arquiteturais observados, como as dunas *humpback* e Barras Simples, característico de um sistema com alta variabilidade de aporte sedimentar e velocidade de fluxo. Trata-se de um estilo fluvial sem análogos modernos, contudo esta classificação foi feita com base na sequência sedimentar de Westwater Canyon Member, da Formação Morrison no Novo México, Estados Unidos, descrita por Cowan (1991).

### 5.4.1. Comparação com Modelos da Bibliografia

A comparação do sistema deposicional da Formação Jaicós analisada neste trabalho com os já descritos na bibliografia, auxilia na melhor compreensão deste sistema, já que não foram encontrados na bibliografia um modelo para esta Formação, bem como poucos trabalhos envolvendo sistemas fluviais perenes com variação na descarga de sedimentos e fluxo transitacionais.

Para tanto, a comparação será feita com dois modelos deposicionais da bibliografia. São registros sedimentares, que correspondem diretamente ao Sistema Fluvial categorizado por Miall (1996), como sendo um Sistema Fluvial Entrelaçado Arenoso de Alta Energia: Westwater Canyon Member, da Formação Morrison no Novo México, Estados Unidos, descrita por Cowan (1991); Membro Segloddén, Península de Varanger, Noruega, descrito por Hjellbakk (1997).

Os modelos utilizados para comparação foram selecionados pois convergem em litofácies semelhantes (Sl, Ss, St, Sp, Sm e Sr), bem como em elementos arquiteturais (Sandy Bedforms – SB, Dunas Humpback, Barras simples que transitam para dunas e Downstream Accretion – DA).

#### 5.4.1.1. FORMAÇÃO MORRISON, COWAN (1991)

O modelo proposto por Cowan (1991) descreve estes depósitos fluviais do Jurássico Superior como sendo do tipo entrelaçado, com canais amplos, composto principalmente pelo elemento arquitetural HO, que consiste em preenchimento de setores que foram erodidos pela convergência de fluxos, e.g. formado após as barras compostas de meio de canal (DA). Elementos arquiteturais secundários descritos foram as DA's e LA's.

As litofácies interpretadas pelo autor foram as laminações horizontais (Sh), estratos cruzados de baixo ângulo de regime transitacional a superior (Sl), estratificação inclinada e paralela de regime de fluxo superior a transitacional (Si), dunas 3D de regime de fluxo inferior (St), estruturas convexas humpback (Sthb) e raras laminações cruzadas onduladas ripples (Sr).

Assim como na Formação Jaicós, a Formação Morrison apresenta como litofácies dominante as formadas sob regime de fluxo transitacional a superior; Sl e Ss para a Fm. Jaicós e Si, Sl e Sh para o modelo comparado. Além disso, a interpretação da gênese de tais estruturas é semelhante, sendo caracterizada como variações no fluxo e no aporte sedimentar. Outro ponto em comum das sucessões é o fato das dunas *Humpback* estarem gradando lateralmente para outras litofácies. Na Fm. Jaicós, os estratos sigmoidais gradam lateralmente para baixo ângulo, assim como na Fm. Morrison. Contudo, o autor caracteriza as dunas *humpback* como sendo uma litofácies que grada lateralmente para baixo ângulo, divergindo deste trabalho que a caracteriza como um elemento arquitetural.

A principal diferença entre estas sucessões se dá no elemento arquitetural *Hollow* (HO), que não se apresenta na Fm. Jaicós, pelo menos na sucessão estudada neste trabalho. Segundo Miall (1996),

apesar de a Fm. Morrison ser representante deste estilo fluvial entrelaçado de alta energia, não há estudos suficientes para que se excluam sucessões que não apresentem este tipo de elemento arquitetural, ao passo que pode ser provado, também, que a presença de HO seja exclusiva da Fm. Morrison.

#### **5.4.1.2. MEMBRO SEGLODDEN, HJELLBAKK (1997)**

O modelo proposto por Hjellbakk (1997) para o Membro Segloddén consiste em um sistema fluvial do proterozoico superior, de característica entrelaçada de alta energia, com carga sedimentar rica em areia. As estruturas dominantes formadas são de fluxos de alta energia. O autor enfatiza para o fato de que este sistema fluvial operava em condições de ausência de vegetação, que ocasionava em rápido escoamento, grande aporte sedimentar, e desfavorecia a canalização do fluxo, desse modo os canais eram muito amplos e conseqüentemente rasos.

As litofácies interpretadas pelo autor foram de argilitos e siltitos intercalados com arenitos (Fl), arenito estratificado cruzado planar (Sp), arenito estratificado acanalado (St), arenitos estratificados sigmoidais e côncavos (Ss), arenito com laminação horizontal (Sh) e arenitos maciços (Sm).

Os elementos arquiteturais do Membro Segloddén compartilhados com a Fm. Jaicós são os elementos Formas de Leito Arenosas (*Sandy Bedforms* – SB), dunas *humpback*, Barras Simples e Macroformas de Acresção Frontal (*Downstream Accretion* – DA). A interpretação dos elementos arquiteturais para o Membro Segloddén é a mesma que foi apresentada anteriormente, visto que este trabalho foi baseado nas observações de Hjellbakk (1997).

O modelo deposicional estabelecido pelo autor para este sistema foi de um ambiente sem vegetação (devido ao período de existência do sistema, que não compreendia por vegetação terrestre), com grande aporte sedimentar, que na ocorrência de chuvas fortes, resultava em uma catastrófica e rápida inundação. As conseqüências de tais circunstâncias formavam canais pouco canalizados, e pela pouca quantidade de materiais finos no sistema, as estruturas que compunham a parte externa do canal, ou overbank, não proporcionavam coesão dos sedimentos, o que comprometia em canais largos e rasos. Tais sistemas de alta energia fluvial possuem formato de leque em planta, mas podem desenvolver extensas planícies entrelaçadas, em uma direção preferencial ao fluxo.

A principal diferença entre a sucessão da Fm. Jaicós estudada neste trabalho para o Membro Segloddén se dá na ausência de materiais finos, e de outros elementos arquiteturais não presentes na sucessão da Fm. Jaicós. Isto pode se dar pelo fato da sucessão de Hjellbakk (1997) possuir maior extensão e maior exposição.



## 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Através da comparação dos modelos deposicionais e dos dados coletados é possível afirmar que a sucessão estudada da Fm. Jaicós compreende por um sistema Fluvial entrelaçado de alta energia, do qual é possível separá-lo em dois regimes de fluxos: inferior e transicional.

Fluxos de regime inferior caracterizam por barras compostas e formas de leito arenosas (litofácies St e Sp). Esses elementos intercalam-se com elementos formados em regime de fluxo transicional, caracterizados por formas de leito arenosas (litofácies Ss e Sl) e barras simples (litofácies Ss e Sl). Na sucessão é possível observar, da base para o topo, que ocorrem duas transições de regimes de fluxo; onde analisando o perfil colunar (Fig. 22), é possível afirmar que a transição de fluxo inferior para transicional ocorre através de uma superfície erosiva de 3ª ordem (Fig. 26) e apresenta diminuição granulométrica. Este regime de fluxo caracteriza-se por um sistema fluvial perene, de baixa variabilidade do aporte sedimentar e fluxos constantes.

Após a primeira transição de fluxo, a sucessão apresenta uma série de sets das litofácies Ss e Sl, e neste estágio o sistema fluvial é perene, contudo apresenta variações na descarga de sedimentos e na velocidade da corrente. Esta variação é verificada tanto pela forma dos estratos cruzados sigmoidais que são erodidos no topo e base, bem como nos elementos arquiteturais de dunas *humpback* e Barras Simples, quanto através da ocorrência de aumento granulométrico da base para o topo da sucessão de regime de fluxo transicional. A litofácies Sr, por mais que geneticamente seja enquadrada como um regime de fluxo inferior encontra-se na sucessão como pertencendo ao Regime de fluxo transicional, pois é interpretada como reflexo de um fluxo de alta energia (Fig. 19).

O fim do fluxo de regime transicional da sucessão está marcado por um aumento granulométrico, registrada através de fluxos hiperconcentrado, caracterizado pelo conglomerado (Gmm) e arenito maciço (Sm). Tal aporte sedimentar foi responsável pela diminuição da lâmina d'água e consequentemente, retornou-se o regime de fluxo inferior, com sets de pequeno porte das Litofácies St e Sp. Na sucessão ocorre ainda a formação de uma Barra Composta (Fig. 25).

Com relação a variação de alguns dados de paleocorrentes apresentados (Fig. 28), pode sugerir um padrão de canais distributários secundários deste sistema fluvial, contudo não é possível fazer tal afirmação, visto a pouca quantidade de medidas realizadas e a grande quantidade de estratos horizontalizados, que não são confiáveis para a medição de paleocorrentes.

Os trabalhos prévios sobre a Fm. Jaicós apresentavam modelos deposicionais divergentes. Isto provavelmente se deve ao fato da alta complexidade de sua arquitetura deposicional, que para uma boa caracterização, necessita de estudos de alta resolução, como o deste trabalho. Não sendo suficiente uma análise sedimentológica apenas, como foi observado através do estudo da bibliografia.

Foi observado em campo uma necessidade de mapeamento da Bacia do Parnaíba, visto que os

mapas da CPRM não são muito confiáveis e apresentam poucos critérios de distinção entre as formações do Grupo Serra Grande, bem como as diversas litologias que compõe a BP.

Ainda que semelhante aos modelos análogos apresentados, não é possível determinar com certeza o modelo deposicional da Fm. Jaicós somente com este trabalho, sendo necessário uma análise mais completa e com maiores levantamentos estratigráficos, visto a grande espessura da Fm. Jaicós encontrada em poços perfurados em estudos prévios.

Com relação a ausência de análogos modernos, pode-se supor que o ambiente deposicional da Fm. Jaicós seja restrito ao período em que estava ativo, visto a falta de vegetação terrestre que ocorria.

## 7. CONCLUSÃO

- A Formação Jaicós é composta por sete litofácies, sendo seis arenosas e uma conglomerática. As fácies mais abundantes são, em ordem decrescente, estratificação cruzada sigmoidal (Ss), estratificação cruzada acanalada (St) e estratificação cruzada de baixo ângulo (Sl);

- Foram descritos três elementos arquiteturais; (i) Formas de Leito Arenosas (*Sandy bedforms*-SB); (ii) Barras Simples (*Simple Bars*); (iii) Macroformas de Acreção Frontal (*Downstream Accretion* - DA)

- Observados dois tipos distintos de fluxo, os de regime de fluxo inferior e transicional. Os de fluxo transicional correspondem a sistemas fluviais perenes com alta variabilidade de descarga e velocidade de fluxo, compreendem pela maior porção da sucessão. Já no regime de fluxo inferior o sistema fluvial corresponde a um sistema perene com pouca variabilidade do fluxo, e possui menor representatividade na sucessão lítica;

- O sentido da Paleocorrente aponta uma direção média para Nordeste, com pouca variação no sentido, denotando um sistema fluvial com baixa sinuosidade, e possivelmente apresenta canais distributários com sentidos distintos. A direção da Barra Composta denota uma acreção frontal ao fluxo;

- A sucessão estudada da Fm. Jaicós compreende por um Sistema Fluvial Entrelaçado Arenoso de Alta Energia;

## 8. REFERÊNCIAS

ALLEN, J.R.L. *A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments*. Sedimentology, 5, 89-101. 1965

Allen, J.R.L; Collinson, J.D. *The superimposition and classification of dunes formed by unidirectional aqueous flows*. Sed. Geol., 12, 169–178. 1974

ALLEN, J. R. L. *Studies in fluvial sedimentation: bars, bar-complexes and sandstone sheets (low-sinuosity braided streams) in the brownstones (l.-devonian), welsh borders*. Sedimentary Geology, V. 33, N. 4, P. 237–293, 1983.

ALLEN, J.R.L. *Loose-boundary hydraulics and fluid mechanics: Selected advances since 1961*. In: Sedimentology – Recent Developments and Applied Aspects (Eds P.J. Brenchley and B.P.J. Williams), Geol. Soc. London, Spec. Publ., 18, 7–28. 1985

ASHLEY, G.M. *Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem*. J. Sediment. Petrol. 1990., 60:160-172.

ARAÚJO, D. B. **Bacia do parnaíba: sumário geológico e setores em oferta** - superintendência de definição de blocos - 14ª Rodada licitações de petróleo e gás - agência nacional do petróleo. [S.L.: S.N.], 2017. 19 P. disponível em: [http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/round14/mapas/sumarios/sumario\\_geologico\\_r14\\_parnaiba.pdf](http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/round14/mapas/sumarios/sumario_geologico_r14_parnaiba.pdf). acesso em: 05 nov. 2018.

ASSIS, A. P. ; SCHMITT, R. S. ; PORTO, A. L. ; SILVA, D. S. ; LINOL, B. ; MEDEIROS, S. R. . **Evolução tecto-sedimentar do sistema ordovício-siluriano (grupo serra grande) da borda leste da bacia do parnaíba e a margem nw do gondwana**. In: 49 Congresso Brasileiro de Geologia, 2018, Rio de Janeiro. Anais do 49 Congresso Brasileiro de Geologia, 2018.

BRIDGE, J., S.; BEST, J.L. *Flow, sediment transport and bedform dynamics over the transition from dunes to upper - stage plane beds: implications for the formation of planar laminae*. Sedimentology, v. 35, n. 5, p. 753-763, 1988

BRISTOW, C.S. *Brahmaputra river: channel migration and deposition*. In: Ethridge, F.G.; Flores, R.M.; Harvey, M.D. (Eds.). Recent developments in fluvial sedimentology. SEPM Special Publication, 1987. v. 39, p. 83-91.

BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A.; CORDANI, U.G. & THOMAZ F, A. *Influence of basement structures on the evolution of the major sedimentary basins of Brazil: A case of tectonic heritage*. Journal of Geodynamics. 1(3-5): 495–510. 1984.

CAROZZI, A. V.; FALKENHEIN, F. V. H.; CARNEIRO, R. G.; ESTEVES, F. R. & CONTREIRAS, C. J. A. **Análise Ambiental e Evolução Tectônica sedimentar da Seção Siluro-Eocarbonífera da Bacia do Maranhão: Ciência-Técnica-Petróleo, Seção Exploração de Petróleo**, Publicação no. 7, p. 89. 1975.

CAPUTO, M. V. *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of brazil*. 586 p. thesis (doctorate) – university of california, santa bárbara, 1984.

CAPUTO, M. V., LIMA, E.C., **Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande-Bacia do Parnaíba**. In: Anais do XXXIII congresso brasileiro de geologia, Rio de Janeiro, 1984. p. 228–241.

CARTIGNY, M. J.B. *Morphodynamics and sedimentary structures of bedforms under supercritical - flow conditions: New insights from flume experiments*. Sedimentology, v. 61, n. 3, p. 712-748, 2014.

COLEMAN, J.M. *Brahmaputra River: channel processes and sedimentation*. Sediment. Geol. 3, 129-239. 1969.

CORDANI, U. G.; BRITO NEVES, B. B. & THOMAZ FILHO, A. **Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras (Atualização)**. Boletim Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, . 2009. 17(1): 205-219.

COWAN E.J. *The large-scale architecture of the fluvial Westwater Canyon Member, Morrison Formation (Jurassic), San Juan Basin, New Mexico*. In: A.D. Miall & N. Tyler (Eds.), The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments, and its implications for hydrocarbon discovery and recovery., Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, vol. 3, pp. 80-93. 1991.

CRUZ, E. M. A. **Análise estratigráfica da sequência siluriana da Bacia do Parnaíba, NE do Brasil**. 2016. 59f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

DALY, M.C., ANDRADE, V., BAROUSSE, C.A., COSTA, R., MCDOWELL, K., PIGGOTT, N., POOLE, A.J., *Brasiliano crustal structure and the tectonic setting of the Parnaiba basin of NE Brazil: Results of a deep seismic reflection profile*. Tectonics. 33: 2102-2120. 2014

DARIO, E. M. **Arquitetura de fácies e modelo deposicional dos depósitos fluviais efêmeros da Formação Sanga do Cabral, Triássico Inferior da Bacia Do Paraná, na região central do Rio Grande Do Sul**. 2017. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

DELLA FÁVERA, J. C. **Tempestitos da bacia do Parnaíba**. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1990. Tese de Doutorado, 400p.

FIELDING C.R. *Upper flow regime sheets, lenses and scour fills: Extending the range of architectural elements for fluvial sediment bodies*. Sedimentary Geology, 190:227-240. 2006

FERREIRA, A.; ARAÚJO, D.B. **Bacia do parnaíba: sumário Geológico e setores em oferta - superintendência de definição de blocos - 15ª Rodada licitações de petróleo e gás - agência nacional do petróleo**. [s.l.: s.n.], 2018. 50 p. disponível em: [http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/round14/mapas/sumarios/sumario\\_geologico\\_r14\\_parnaiba.pdf](http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/round14/mapas/sumarios/sumario_geologico_r14_parnaiba.pdf)>. acesso em: 05 nov. 2018.

GRAHN, Y. & CAPUTO, M. V., *Early Silurian glaciations in Brazil. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*. 1992. 99(1-2): 9-15.

GÓES, A. M. O.; FEIJÓ, F. J. **Bacia do parnaíba**. Boletim de geociências da petrobrás, rio de janeiro, v. 8, n. 1, p. 57-68, 1994.jan./mar.

GÓES, A.M.O.; SOUZA, J.M.P.; TEIXEIRA, L.B. **Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da bacia do parnaíba**. 1990. boletim geociências petrobras, 4: 55-64. 1990.

HJELLBAKK, A. *Facies and fluvial architecture of a high-energy braided river: the Upper Proterozoic Segladden Member, Varanger Peninsula, northern Norway*. Sedimentary Geology. 1997

KEGEL, W., **Contribuição para o estudo do Devoniano da Bacia do Parnaíba**: Rio de Janeiro, Brazil, 1953 Departamento Nacional de Produção Mineral. Divisão de Geologia e Mineração, Boletim n135, p. 38.

KENNEDY, J.F. *The mechanics of dunes and antidunes in erodible-bed channels*. J. Fluid Mech., 16, 521–544. 1963

MENEZES, LEONARDO. **Mapeamento digital de análogos a reservatórios petrolíferos: exemplos para depósitos fluviais da unidade açu-3 - bacia potiguar**. 2004. 135 F. dissertação (mestrado em geodinâmica; geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

MIALL, A. D. *Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits*. *earth-science reviews*, V. 22, P. 261–308, 1985.

MIALL, A.D., *The geology of fluvial deposits*. springer berlin heidelberg, berlin, heidelberg, 1996.

MIALL, A.D. *Principles of sedimentary basin analysis*. Springer-velag, Berlin, 1999 433P.

MIALL, A.D. *How do we identify big rivers? and how big is big?:* Sedimentary geology, V. 186, P. 39-50. 2006

MIALL, A. D. *The geology of stratigraphic sequences*, second edition: Springer-Verlag, berlin, 522 P. 2010.

NICHOLS, G. *Sedimentology and Stratigraphy*. 2ª Edição. Reino Unido: Wiley-Blackwell, 2009. 432p.

PAVAN, B. H.. **Sistemas fluviais de grandes dimensões: uma reinterpretação da formação furnas no cânion quartelá-pr**. 2015. 45 f. tcc (graduação) - Curso de geologia, Instituto de geociências, Universidade estadual de Campinas, campinas, 2015. disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=000967307>>. acesso em: 10 abr. 2019.

REIS, A. D. **Análise arquitetural de depósitos fluviais da formação guará (jurássico superior-cretáceo inferior) na borda sudeste da bacia do paraná, RS, Brasil**. 2016. 41 p. dissertação (programa de pós-graduação em geociências)- Universidade Federal do rio grande do sul, porto alegre, rio grande do sul, 2016.

RUST, B.R., *Depositional models for braided alluvium*. In: A.D. Miall (Editor), Fluvial Sedimentology. Can. Soc. Pet. Geol., Mem., 5: 605-625. 1978.

RØE, S.L. **Cross-strata and bedforms of probable transitional dune to upper-stage plane-bed origin from a Late Precambrian fluvial sandstone, northern Norway**, *Sedimentology* 34 (1987), pp. 89–101.1987.

SANTOS, M.E.C.M., CARVALHO M.S.S. **Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís. Reconstituições Paleobiológicas**, Rio de Janeiro: CPRM Serviço Geológico do Brasil-DGM/DIPALE, 215 p., 2009.

SCHERER, C. M. S.; **Sedimentologia e estratigrafia de sistemas fluviais e eólicos**. Notas de aula, p. 56–124. 2004.

SMALL, H. L., **Geologia e suprimento d'água subterrânea no Piauí e parte do Ceará, Brasil: Instituto e Obras Contra Secas**, Série I.D. Rio de Janeiro, 1914, public. 32, p. 146.

TUCKER, M.E. *Sedimentary Petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*. 3rd edition. Blackwell Science. 291 p. 1981.

VAN DER BERG, J.H.; Van Gelder, A. *Discussion: Flow and sediment transport over large subaqueous dunes: Fraser River, Canada*. Sedimentology, 45. p. 217-221, 1998.

VAZ, P.T.; REZENDE, N.G.A.M.; WANDERLEY FILHO, J.R.; TRAVASSOS, W.A. 2007. **Bacia do parnaíba**. IN: MILANI, E.J.; RANGEL, H.D.; BUENO, G.V.; STICA, J.M.; WINTER, W.R.; CAIXETA, J.M.; PESSOA NETO, O.C. (EDS.) bacias sedimentares brasileiras – cartas estratigráficas. boletim de geociências da petrobras, 15: 253-263.

WALKER, R. G. *Facies, facies models and modern stratigraphic concepts*. In: Walker, R. G. & James, N. P. (Ed). Facies models: response to sea level change. Canadá: Geological Association of Canada. 1992, 409p.

WIZEVICH, Michael C. *Sedimentology of Pennsylvanian quartzose sandstones of the Lee Formation, central Appalachian Basin: fluvial interpretation based on lateral profile analysis*. *Sedimentary Geology*, v. 78, n. 1-2, p. 1-47, 1992.

