

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEONCIÊNCIAS

**ANÁLISE DE FÁCIES, POROSIDADE E PERMEABILIDADE DE
ARENITOS FLUVIAIS E EÓLICOS DAS FORMAÇÕES PEDRA
PINTADA E VARZINHA – RS, COMO ANÁLOGOS DE
RESERVATÓRIO DE HIDROCARBONETOS**

Beatriz Hadler Boggiani

Orientadora: Prof(a). Dr(a). Liliane Janikian Paes de Almeida

Co-orientador: Geól. André Marconato

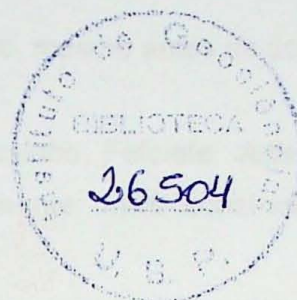
MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2015 / 03)

SÃO PAULO

2015

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF-2015 / 03)



De acordo,

Aluna: Beatriz Hadler Boggiani

Beatriz Hadler Boggiani

Orientadora: Prof(a). Dr(a). Liliâne Janikian Paes de Almeida

Liliâne Janikian Paes de Almeida

São Paulo, 2015

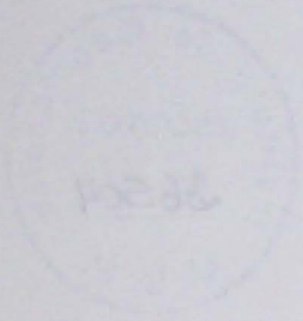
IGc-Instituto de Geociências



Análise de fácies, porosidade e permeabilidade de are
fluviais e eólicos das Formações Ped M26504

TF
B674
BH.2

MONOGRAFIA DE TRABAJO DE FORMATURA
(77-00:2107)



De autor:

Autores: [Illegible Signature]

Director: Prof(s) [Illegible Name]

[Illegible Signature]

2010

AGRADECIMENTOS

Especialmente importantes na minha vida, pai, mãe e irmãos, agradeço a vocês por todos os bons momentos que passamos juntos.

Um carinho mais que especial para aquele Feio, aquele que mudou minha vida, que me mostrou muito desse mundo, e que ainda há de mostrar.

Agradeço ao Prof. Boggiani pelo incentivo desde o início, mesmo antes de começar a graduação!

Como não agradecer aos amigos, Bianca, Melado, Ursinho, Fofote, Judeu, Kano companheiros das situações mais engraçadas e, principalmente, mais constrangedoras dessa graduação,

Às meninas, Grega, Dana, pelos poucos e únicos papos de mulher da minha vida, e pelas machedas para enfrentar essa geologia.

Ao psicólogo, Paumolhado, pelos momentos de terapia e pelas viagens engraçadas e engrandecedoras! Tigresa, pelas motivações. Banheirão pelas risadas. Kodornah por toda ajuda!

Obrigada ao Ninguém e a Lili, pelos campos, pelos momentos de discussão sobre todos e quaisquer assuntos que não só a geologia.

Agradeço também com carinho aos caverneiros que tornaram minha graduação muito mais aventureira, obrigada aos novos (Tom, Bundinha, Constipado, Manja, Jade) e aos velhos (Rejeitto, Chokito, Daniel), viva GGeo!

E aqueles todos que sempre participaram do CEPEGE comigo, tornando as quintas muito mais engraçadas e as sextas muito mais difíceis!

E obrigada a todos da geo que souberam lidar com a minha cara amarrada e conseguiram colocar um sorriso no meu rosto.

Agradeço o auxílio da Instituição FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), inserido no projeto nº 2013/01825-3 e também ao apoio do Projeto de Formação e Recursos Humanos (PFRH-241) da Petrobrás ao PFRH.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVOS	1
3.	JUSTIFICATIVA.....	1
4.	LOCALIZAÇÃO E ACESSO	1
5.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
5.1.	Revisão Conceitual Sobre Ambientes Fluviais e Eólicos	2
5.2.	Bacia do Camaquã	6
5.2.1.	Formação Pedra Pintada	8
5.2.2.	Formação Varzinha.....	9
6.	METODOLOGIA.....	9
7.	RESULTADOS.....	11
7.1.	Afloramentos Analisados.....	11
7.1.1.	Formação Varzinha.....	11
7.1.2.	Formação Pedra Pintada	13
7.2.	Petrografia Sedimentar	15
7.2.1.	Impregnação de amostras	15
7.2.2.	Descrição Petrográfica.....	21
7.3.	Análises de Permeabilidade.....	30
7.4.	Análises de Porosidade	33
7.5.	Análises de Granulação	35
7.6.	Correlações	36
7.7.	Dados DGPS	40
8.	CONCLUSÕES	43
9.	VIABILIDADE DE EXECUÇÃO.....	44
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
	ANEXOS.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Localização da cidade de Caçapava do Sul (BR-392 e BR-153).....	2
Figura 02: Perfil esquemático de um complexo de canais meandранtes, mostrando as várias escalas de heterogeneidades, e a relação destas com a distribuição de fluidos no reservatório (Tyler, 1988).	3
Figura 03: Mapa esquemático do Supergrupo Camaquã e áreas próximas, mostrando a área de ocorrência do Grupo Guaritas e também as falhas mestras que subdividem a Bacia do Camaquã em três, oriental, central e ocidental (fonte: Almeida, 2010).....	7
Figura 04: Carta estratigráfica extraída de Almeida et al., (2009), mostrando os maiores eventos tectônicos, fases de evolução da bacia, variação lateral de associações de fácies e as Formações. (FA – associação de fácies. Ia – Planície de Inundação de leque aluvial. Ib – Fluxos de detritos de leque aluvial. II – Carga de leito de canais de rios efêmeros. IIIa – Carga mista de planícies de inundação de rios efêmeros. IIIb – Carga mista de canais de rios efêmeros. IV – Dunas eólicas e interdunas.).....	8
Na figura encontram-se as posições das fácies plugadas e analisadas.....	17
Figura 06: Interpretação de estruturas eólicas da Formação Pedra Pintada, com sets de dunas, interdunas e pés de duna SW-NE (1 de 3). Na figura encontram-se as posições das fácies plugadas e analisadas.....	19
Figura 07: Interpretação de estruturas eólicas da Formação Pedra Pintada, com sets de dunas, interdunas e pés de duna SW-NE (2 de 3).Na figura encontram-se as posições das fácies plugadas e analisadas.....	19
Figura 08: Interpretação de estruturas eólicas da Formação Pedra Pintada, com sets de dunas, interdunas e pés de duna SW-NE (3 de 3).Na figura encontram-se as posições das fácies plugadas e analisadas.....	19
Figura 09: Interpretações de elementos arquiteturais do afloramento da Formação Pedra Pintada. Na figura encontram-se as posições das fácies plugadas e analisadas.....	20
Figura 10: Equipamento de vácuo utilizado para impregnação de amostras.....	15
Figura 11: Resultado das amostras após a impregnação.....	15
Figura 12: Permeâmetro de campo, TinyPerm.....	30
Figura 13: Equipamentos utilizados para montar a estação total. Constam antenas, base receptora e rover da marca Trimble 5700.	40
Figura 14: Base receptora do DGPS, montada e em uso.....	40
Figura 15: Dados adquiridos a partir do DGPS, visualização espacial dos pontos.....	41
Figura 16: Mapa de pontos do afloramento da Formação Varzinha.	42
Figura 17: Mapa de pontos do afloramento da Formação Pedra Pintada.	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01: Classificação de litofácies, retirado de Miall (2010).....	4
Tabela 02: Classificação básica dos elementos arquiteturais, retirado de Miall (2010).....	5
Tabela 03: Fácies descritas no afloramento da Fm. Pedra Pintada, e correlação de elementos arquiteturais	13
Tabela 04: Fácies descritas no afloramento da Fm. Pedra Pintada, e correlação de elementos arquiteturais.	14
Tabela 05: Descrição petrográfica sucinta das lâminas da Formação Varzinha.....	23
Tabela 06: Caracterização geral das fácies da Formação Varzinha, foram considerados os valores máximos e mínimos encontrados para cada um dos fatores descritos, e também os tipos de contatos, ou empacotamento, cimento e porosidade.....	25
Tabela 07: Caracterização geral dos elementos arquiteturais da Formação Varzinha, foram considerados os valores máximos e mínimos encontrados para cada um dos fatores descritos, e também os tipos de contatos, ou empacotamento, cimento e porosidade.	25
Tabela 08: Descrição petrográfica sucinta das lâminas da Formação Pedra Pintada	28
Tabela 09: Caracterização geral das fácies e elementos arquiteturais da Formação Pedra Pintada, foram considerados os valores máximos e mínimos encontrados para cada um dos fatores descritos, e também os tipos de contatos, ou empacotamento, cimento e porosidade.	29
Tabela 10: Dados de permeabilidade obtidos com TinyPerm e corrigidos	31
Tabela 11: Dados de permeabilidade corrigidos após análises com dados laboratoriais	32
Tabela 12: Dados de porosidade das lâminas analisadas	33
Tabela 13: Novos valores obtidos para porosidade	34
Tabela 14: Medianas das medidas de granulação.....	35
Tabela 15: Dados corrigidos com Base Estadual de Santa Maria.....	41

ÍNDICE DE FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografia 01: Fragmento lítico de quartzo milonito na parte superior a esquerda e de granitos, no centro (Lâmina TP-17B-H1).	25
Fotomicrografia 02: Fragmento lítico de quartzo milonito na parte superior a esquerda e de granitos, no centro, com polarizadores cruzados (Lâmina TP-17B-H1).	25
Fotomicrografia 03: Fragmento lítico de xisto (Lâmina TP-19-B2).	26
Fotomicrografia 04: Fragmento lítico de xisto (Lâmina TP-19-B2), com polarizadores cruzados.	26
Fotomicrografia 5: Com os polarizadores descruzados, é possível observar alguma porosidade secundária no canto superior esquerdo, onde houve impregnação pelo corante.	26
Fotomicrografia 6: Observa-se neste arenito o empacotamento aberto, gerador de grandes porosidades (Lâmina TP-39A2-H1)	26
Fotomicrografia 07: Diferenças de porosidade devido a cimentação carbonática na granulação mais fina. Observa-se também presença de óxidos de Fe, como película nos grãos (Lâmina TP-29X-H1)	26
Fotomicrografia 08: Notar cimentação por óxidos de Fe, além dos fragmentos líticos de quartzo milonito e granito (Lâmina TP-26-H1). É possível observar a porosidade intergranular deste arenito.	26
Fotomicrografia 09: Notar cimentação por óxidos de Fe, além dos fragmentos líticos de quartzo milonito e granito, com polarizadores cruzados (Lâmina TP-26-H1).	27
Fotomicrografia 10: Sobrecrescimento de quartzo nos poros, evidencia a cimentação pós compactação (Lâmina TP-17B-H1).	27
Fotomicrografia 11: Notar bimodalidade granulométrica deste arenito, depositado a partir de um grain flow/grain fall eólico (Lâmina TP-61A1-H1), polarizadores cruzados. Com menores granulações o empacotamento é mais fechado do que com maiores. Em ambos a porosidade é fechada pela presença de cimentação de carbonato.	29
Fotomicrografia 12: Notar bimodalidade granulométrica deste arenito, depositado a partir de um grainflow/grainfall eólico (Lâmina TP-61A1-H1). Com menores granulações o empacotamento é mais fechado do que com maiores. Em ambos a porosidade é fechada pela presença de cimentação de carbonato.	29
Fotomicrografia 13: Arenito eólico, com cimentação calcítica bastante evidente, de modo a formar clivagens neste cimento, devido também ao tamanho original dos poros (Lâmina TP-61-A1-H1)	30
Fotomicrografia 14: Notável cimentação calcítica responsável pelo fechamento dos poros (Lâmina TP-51-A2-H1)	30

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Porosidade por imagem x Porosidade Laboratório	34
Gráfico 02: Porosidade x Permeabilidade	36
Gráfico 03: Permeabilidade x Elementos Arquiteturais (Fm. Varzinha)	36
Gráfico 04: Permeabilidade x Fácies (Fm. Varzinha)	36
Gráfico 05: Permeabilidade x Elementos Arquiteturais (Fm. Pedra Pintada).....	37
Gráfico 06: Permeabilidade x Fácies (Fm. Pedra Pintada).....	37
Gráfico 07: Elemento Arquitetural x Porosidade (Fm. Varzinha).....	38
Gráfico 08: Fácies x Porosidade (Fm. Varzinha).....	38
Gráfico 09: Elemento Arquitetural x Porosidade (Fm. Pedra Pintada).....	38
Gráfico 10: Fácies x Porosidade (Fm. Pedra Pintada)	38
Gráfico 11: Granulação x Permeabilidade (1º teste)	39
Gráfico 12: Granulação x Permeabilidade (2º teste)	39
Gráfico 13: Granulação x Porosidade (1º Teste)	40

ÍNDICE DE FOTOMOSAICOS

Fotomosaico 01: Afloramento da Formação Varzinha NE-SW (1 de 4)	16
Fotomosaico 02: Afloramento da Formação Varzinha NE-SW (2 de 4)	16
Fotomosaico 03: Afloramento da Formação Varzinha NE-SW (3 de 4)	16
Fotomosaico 04: Afloramento da Formação Varzinha NE-SW (4 de 4)	16
Fotomosaico 05: Afloramento da Formação Pedra Pintada SW-NE (2 de 3).....	18
Fotomosaico 06: Afloramento da Formação Pedra Pintada SW-NE (2 de 3).....	18
Fotomosaico 07: Afloramento da Formação Pedra Pintada SW-NE (3 de 3).....	18

RESUMO

A Bacia do Camaquã, localizada no estado do Rio Grande do Sul, teve o início da sua formação durante o fim do Neoproterozoico. As formações Varzinha e Pedra Pintada, pertencentes ao Grupo Guaritas - unidade de topo da bacia em questão, são constituídas por arenitos de ambientes fluviais e eólicos, respectivamente. A existência de boas exposições destas rochas na cidade de Caçapava do Sul, fez com que este trabalho de formatura fosse realizado nesta localidade e nestas unidades. A Bacia foi formada durante os eventos de subsidência mecânica do seu rift gerador. Por estes eventos explica-se as grandes espessuras dos pacotes sedimentares que preenchem a bacia, chegando a 6000 metros. As exposições de rochas das unidades estudadas são compostas por arenitos com estratificação cruzada ou estratificação plano-paralela, referentes aos depósitos de dunas eólicas da Formação Pedra Pintada; e por arenitos, arenitos conglomeráticos e subordinados conglomerados, além de arenitos com intercalações de pelitos, pertencentes a Formação Varzinha, de ambiente de leque aluvial e fluvial. Este trabalho compreendeu o reconhecimento dos controles sedimentares ou diagenéticos para a caracterização da heterogeneidade de microescala e sua relação com as fácies sedimentares. As técnicas de campo utilizadas para este trabalho foram: (i) análise de afloramentos previamente descritos pelo grupo de pesquisas ao qual este trabalho está inserido, com a seleção de fácies mais representativas dos depósitos estudados; (ii) medidas de permeabilidade com equipamento portátil; (iii) coleta de amostras das fácies onde foram medidas as permeabilidades em campo para caracterização petrográfica e caracterização petrofísica em laboratório; (iv) aquisição de dados de localização precisa das amostras (DGPS). As análises laboratoriais envolveram as seguintes atividades: (i) impregnação de amostras com resina epóxi e corante azul de metileno; (ii) envio de amostras para laboratório especializado, para a aquisição de permeabilidade pelo método a gás, e posterior calibração dos dados de permeabilidade coletados do campo; (iii) laminação de amostras impregnadas; (iv) visualização de amostras e estimativa de porosidade em analisadores de imagem. Ao fim da aplicação destas técnicas foram comparados os dados obtidos em campo e em laboratório, o que possibilitou identificar grandes discrepâncias de aquisição de dados por diferentes métodos. Os valores de porosidade e permeabilidade, além das fácies sedimentares e elementos arquiteturais dos afloramentos estudados, foram comparados entre si para verificar a existência de correlações. Para alguns dos parâmetros (fácies e elementos arquiteturais eólicos) foi observada uma correlação positiva, já para outros fatores (fácies e elementos arquiteturais fluviais), por conta da cimentação e baixa porosidade secundária, não foi possível a correlação. Foi possível concluir daí que a cimentação é responsável pelo fechamento de muitos poros destas rochas, e também que só pode ser feita analogia destas com reservatórios convencionais de gás, devido aos baixos valores de porosidade e permeabilidade obtidos.

ABSTRACT

The Camaquã Basin, located in the state of Rio Grande do Sul, has its onset at the end of Neoproterozoic. The Varzinha and Pedra Pintada formations of the Guaritas Group (the topmost unity of the Camaquã Basin), are composed by sandstones of fluvial and eolian environments, respectively. Exposures of these formations nearby the locality of Caçapava do Sul were selected for the present work. The Basin was formed during the mechanic subsidence of the rift and consists in thick sedimentary successions, reaching 6,000 m. The lithofacies identified in outcrops comprises cross-bedded and planar stratified sandstones, related to deposits of eolian dunes of the Pedra Pintada Formation, and conglomerate, conglomeratic sandstones, and interbedded sandstone and mudrock, from alluvial environments belonging to the Varzinha Formation. It was recognized sedimentary or diagenetic controls on the micro-scale heterogeneity of facies deposits and its relationship with the sedimentary facies. The field techniques used for this study were: (i) analysis of outcrops previously described by the research group which this work is inserted, with the selection of the most representative facies of the deposits studied; (ii) permeability measurements with portable equipment; (iii) sampling of the analyzed facies which for petrographical and petrophysical characterization in the laboratory; (iv) acquisition of precise location data of the samples. The laboratory tests involved the following activities: (i) impregnation of samples with epoxy resin and methylene blue; (ii) submission of samples to laboratory specialized in the acquisition of permeability in order to calibrate the permeability data collected in the field; (iii) lamination of impregnated samples; (iv) sample imaging and estimation of porosity in image analyzers. After the application of those techniques, the data obtained in the field and in laboratory were compared against each other, making possible the identification of discrepancies in data obtained through different methods. The porosity and permeability values, in addition to sedimentary facies and architectural elements of the studied outcrops, were compared to check for correlations. For some of the parameters (eolian facies and architectural elements) there were a positive correlation, as for other factors (facies and architectural elements), due to the cementation and low secondary porosity, no correlation was found. It was possible to conclude that the cementation is responsible for the closure of a significant part of the porosity, and also that the studied example is better suited for conventional gas reservoirs analogues, as a result of the low porosity and permeability values obtained in this study.

1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Camaquã localiza-se no estado do Rio Grande do Sul e é datada do fim do Neoproterozoico ao início do Paleozoico. Esta bacia compreende depósitos sedimentares e vulcanogênicos, posteriores aos eventos orogênicos que resultaram na formação do Supercontinente Gondwana, porém anteriores ao estabelecimento das grandes bacias intracratônicas fanerozoicas brasileiras (Almeida *et al.*, 2010)

Mais precisamente as Formações Pedra das Torrinhas e Pedra Pintada, incluídas no Grupo Guaritas, que são objeto deste estudo, encontram-se muito bem expostas na região acima citada. Estas formações são compostas, principalmente, por conglomerados, brechas, e arenitos.

O objetivo deste trabalho foi, a partir de estudos de heterogeneidades de meso e microescala, que consistem respectivamente em detalhamento da arquitetura deposicional e análise de fácies, e de estudos de microescala, verificação em laboratório de porosidade e permeabilidade e da caracterização petrográfica, realizar a comparação destes depósitos com as de uma rocha reservatório de hidrocarbonetos e também verificar as diferenças de caracterização de uma rocha por diferentes escalas de observação.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste projeto foi, por meio de descrições de mesoescala (análise de fácies e seus elementos arquiteturas) e descrições de microescala (análises de porosidade e permeabilidade de rochas), comparar as características dos depósitos de arenitos e conglomerados de leques aluviais e fluviais, das formações Varzinha e de arenitos eólicos e da Fm. Pedra Pintada, com reservatórios atuais de hidrocarbonetos, de modo a compreender melhor o funcionamento de tais reservatórios. Além disso, foi possível verificar a diferença dos métodos de análise (laboratoriais e de campo) de modo a tentar correlacioná-los.

3. JUSTIFICATIVA

O presente projeto se justifica tendo em mente que criou um conjunto de dados de interesse tanto acadêmico quanto para áreas de exploração de hidrocarbonetos. Isso aconteceu devido ao fornecimento de parâmetros para melhor avaliar o potencial de unidades não aflorantes e de difícil acesso, formadas por sistemas deposicionais análogos aos analisados.

4. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo está localizada na porção Sul do estado do Rio Grande do Sul, nos entornos da cidade de Caçapava do Sul. Esta localidade tem acesso pela rodovia BR-392, e pela rodovia BR-153.

Os afloramentos estudados estão localizados em cortes na beira da estrada, sentido Pelotas, na BR-392.



Figura 01: Localização da cidade de Caçapava do Sul (BR-392 e BR-153).

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. Revisão Conceitual Sobre Ambientes Fluviais e Eólicos

Para a realização das análises de fácies e elementos arquiteturais que serão apresentadas ao longo deste trabalho, foi importante a consulta a livros sobre sedimentologia e ambientes deposicionais. A revisão sobre ambientes fluviais foi baseada nos conceitos difundidos por Miall (2010) que são citados abaixo, já a revisão sobre ambientes eólicos foi realizada através dos conceitos atribuídos por Brookfield (2010), sendo estes dois autores ícones nestas áreas de pesquisa.

→ Ambientes Fluviais

Como características de depósitos fluviais, temos a boa porosidade e permeabilidade, gerando excelentes reservatórios de modo que muitos dos atuais reservatórios de óleo e gás estão situados em unidades fluviais e detalhes de suas heterogeneidades internas podem ser usados como incremento na descoberta de novas áreas petrolíferas.

Rochas tipicamente encontradas em depósitos fluviais são conglomerados grossos a lamitos, que refletem amplas variações de sub-ambientes. A maior parte dos sedimentos é transportada por correntes trativas, e suas características podem ser inferidas a partir dos tamanhos de grãos e estruturas presentes nos depósitos resultantes.

Existem algumas subdivisões naturais de unidades deposicionais que são hierárquicas baseadas nas dimensões, taxas de sedimentação e escala de tempo. Na

geologia de reservatórios de petróleo, são usadas apenas as heterogeneidades que possuem fins para cálculos de volume e taxas de produção, estas são apresentadas na figura 2. São elas microscópicas, que dizem sobre a porosidade e permeabilidade das rochas segundo os grãos de areia que a compõem; mesoscópicas que relacionam as formas de leito e estruturas sedimentares; e megascópicas que inclui a variabilidade associada a canais ou barras.

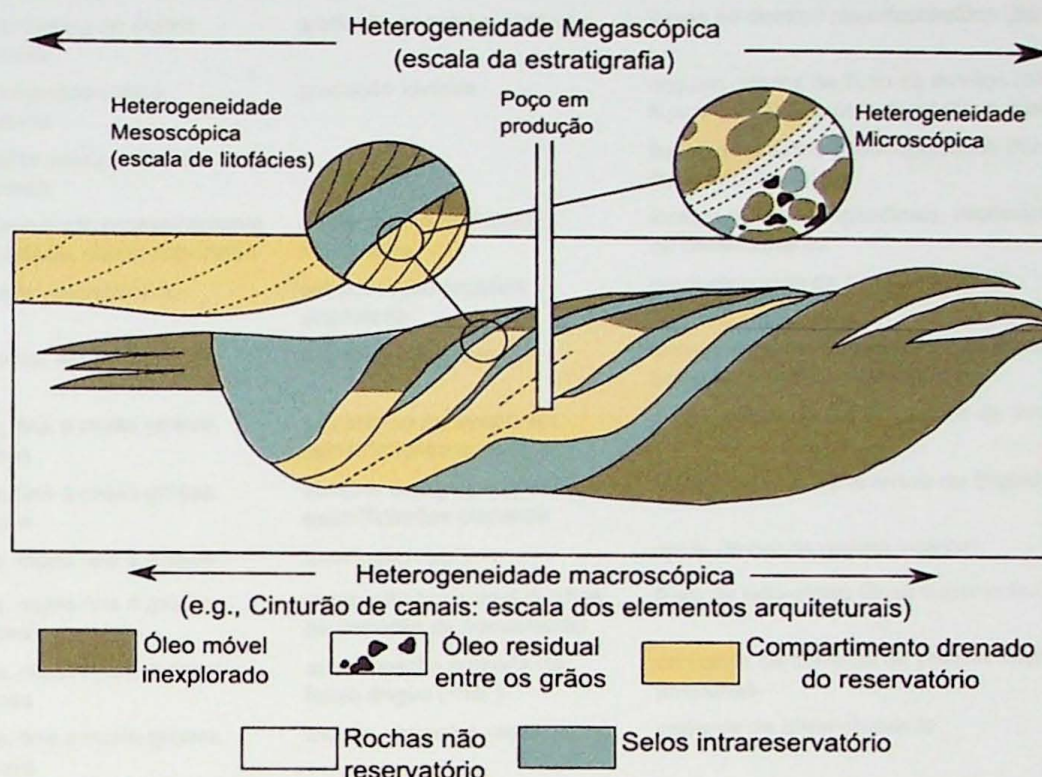


Figura 02: Perfil esquemático de um complexo de canais meandranes, mostrando as várias escalas de heterogeneidades, e a relação destas com a distribuição de fluidos no reservatório (Tyler, 1988).

Rios entrelaçados apresentam baixa sinuosidade, canais múltiplos, alta variabilidade de descarga, deste modo estão presentes mudanças sazonais na competência destes rios. Um rio muda de meandrante para entrelaçado com o aumento da descarga de sedimentos. Um dos pré-requisitos primários dos rios entrelaçados é uma larga quantidade de grãos grosseiros e materiais não coesivos.

Sedimentos são transportados em rios basicamente por dois processos, correntes trativas e fluxos gravitacionais que transportam sedimentos menos coesos e grãos dispersos, que se movem individualmente, já os blocos e matacões são movidos por ou rolamento ao longo do leito, e também grãos menores são transportados por saltação ou suspensão. A maior parte dos sedimentos é depositada por tração, porém também podem ocorrer fluxos gravitacionais que são grandes quantidades de massas de sedimentos sendo mobilizadas por falhas e liquefação na superfície, e estes depósitos são muito caóticos.

As classificações de fácies descritas por Miall (1978) estão ilustradas na tabela 1 a seguir. Foram utilizados os parâmetros de tamanho de grãos, textura e estruturas sedimentares. A classificação foi proposta fazendo o uso de um código de duas letras

representativas da fácies, e para a descrição dos afloramentos selecionados, foram seguidos os mesmos critérios descritos por Miall (1978).

Classificação de litofácies

Código fácies	Litofácies	Estruturas sedimentares ou organização textural	Interpretação
Gmm	matriz-suportado, cascalho maciço	fraca organização	fluxos de detrito plástico (alta energia, viscoso)
Gmg	conglomerado de matriz suportada	gradação inversa a normal	fluxos de detritos pseudoplásticos (baixa energia, viscoso)
Gci	conglomerado clasto-suportado	gradação inversa	rico em clastos de fluxo de detritos (alta energia) ou fluxos de detritos pseudoplásticos (baixa energia)
Gcm	cascalho maciço clasto-suportado	-	fluxos de detritos pseudoplásticos (forma de leito inercial, fluxo turbulento)
Gn	conglomerado grosseiramente acamadado, clasto-suportado	acamamento horizontal, imbricação	formas de leito longitudinais, depósitos tardios, depósitos de peneiramento
Gt	cascalho, estratificado	estratificação cruzada acanalada	preenchimento de canais menores
Gp	cascalho, estratificado	estratificação planar	formas de leito transversas, crescimento de deltas sobre barras antigas remanescentes
St	areia, fina a muito grossa, seixosa	solitário ou agrupado em estratificações cruzadas	cristas sinuosas em linguoides de dunas (3D)
Sp	areia, fina a muito grossa, seixosa	solitário ou agrupado em estratificações planares	formas de leito transversas ou linguoides (dunas 2D)
Sr	areia, muito fina a grossa	laminação ripple	ripple (fluxo de regime inferior)
Sh	areia, muito fina a grossa, seixosa	laminação horizontal dividida, ou lineação de transmissão	fluxo de leito-plano (fluxo super crítico)
Sl	areia, muito fina a grossa, seixosa	estratificação cruzada de baixo ângulo (<15°)	corcunda de corrente de preenchimento, dunas lavadas, antidunas
Ss	areia, fina a muito grossa, seixosa	amplo, correntes rasas	corrente de preenchimento
Sm	areia, fina a grossa	maciça, ou fraca laminação	sedimentos de depósitos de fluxo gravitacional
Fl	areia, silte, argila	fina laminação, pequenas ripples	sobre barras, canais abandonados, ou depósitos de água minguantes
Fsm	silte, argila	maciço	pântanos ou depósitos de canais abandonados
Fm	argila, silte	maciço, gretas de dissecação	sobre barras, canais abandonados ou finos depósitos de lama
Fr	argila, silte	maciço, raízes, bioturbação	camada de raízes, solo incipiente
C	carvão, argila carbonácea	plantas, filmes de lama	depósitos de pântanos vegetados
P	paleossolos carbonáticos (calcita, siderita)	horizontes pedogênicos, nódulos, filamentos	solo com precipitação química

modificado de Miall (1978)

Tabela 01: Classificação de litofácies, retirado de Miall (2010).

Um elemento arquitetural pode ser definido como um componente de sistemas deposicionais equivalente em tamanho ou ao menor canal ou maior que a menor fácies, caracterizada por uma assembleia distinta de fácies, geometria interna, forma externa e perfil vertical. Os elementos arquiteturais são necessários para construir uma classificação genética com a composição de suas litofácies, os componentes propostos por Miall (1985) para a separação destes elementos são: natureza da superfície deposicional, geometria externa, escala, litologia, geometria interna e paleocorrentes, e estão representados na tabela 2.

Classificação básica dos elementos arquiteturais de preenchimento de canais em depósitos fluviais

Elemento	Símbolo	Principal assembleia de fácies	Geometria e relações
Canais	CH	qualquer combinação	indicadores, lentes ou lençóis, côncavos para cima de base erosiva, escala e camadas de alta variabilidade, concavidades internas para cima erosão de 3ª ordem em superfícies comuns
Barras cascalhentas e formas de leito	GB	Gm, Gp, Gt	lentes, coberturas, corpos tabulares usuais, comumente intercalados com SB
Formas de leito arenosas	SB	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	lentes, camadas, coberturas, cunha, ocorrem em preenchimentos de canais, crevasse splay, barras menores
Macroformas de acreção rio acima	UA	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	lentes, repousadas em barras remanescentes ou depósitos LA/DA. Superfícies de acreção mergulhando delicadamente rio acima
Macroformas de acreção rio abaixo	DA	St, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Lentes repousando em leitos planos ou bases de cana, com convexidade para cima de 3ª ordem, superfícies de erosão interna e 4ª ordem acima delimitadora de superfície. Superfícies de acreção orientadas rio abaixo
Macroforma de acreção lateral	LA	St, Sp, Sh, Sl, Se, Ss, menos comum Gm, Gt, Gp	Cunha, lençol, lobada; caracterizada por acreção lateral interna em superfícies de 3ª ordem. Superfícies de acreção orientadas através do canal. Mergulhos tipicamente para superfícies erosionais de leitos basais.
Cavidades escavadas	HO	Gh, Gt, St, Sl	cavidades escavadas com preenchimento assimétrico
Fluxos gravitacionais de sedimentos	SG	Gmm, Gmg, Gci, Gmc	lobado, lençol, tipicamente intercalado com GB
Lençol de areia laminado	LS	Sh, Sl, menos comum Sp, Sr	Lençol, cobertura

Modificado de Miall (1985). Classificação de fácies de Miall (1996).

Tabela 02: Classificação básica dos elementos arquiteturais, retirado de Miall (2010).

➔ Ambiente Eólico

O transporte de areias pelo vento tem forma de um tapete, que se move para a frente por conta do impacto de grãos, ou saltação destes, a poeira (silte e argila) é normalmente transportada em suspensão e se acumula em topografias baixas, quando a velocidade do vento diminui.

A maior parte das areias eólicas é enriquecida em quartzo por conta do rápido processo físico de quebra destes minerais nas clivagens, porém a composição das areias pode refletir a área fonte dos minerais, clima e distância de transporte.

A textura de areias eólicas geralmente cai em três grupos: bem selecionada a muito bem selecionada nas dunas de areia costeiras, de moderadamente selecionada a bem selecionada em dunas de areia, e pobremente selecionada em interdunas.

Camadas com laminação planar e *ripples* de interdunas podem ser constituídas por areias bem arredondadas (porém dependem da distância de transporte para altos graus de arredondamento), muitas interdunas são bimodais entre areia e silte/argila. Em regimes multidirecionais, a areia se acumula nas dunas e tem baixas taxas de migração. Por conta das condições flutuantes, a crista da duna tende a ter mais divergência de tamanhos de grãos do que em regimes unidirecionais de vento.

A área fonte de areia pode ser determinada por sua composição e arredondamento. A maturidade de areias eólicas pode indicar a quantidade de transporte do grão, sendo que

quanto menor o transporte, mais imaturo é o sedimento.

Segundo Hunter (1977) são propostos 4 tipos de estruturas eólicas: (i) laminação de leito plano, produzidas por velocidades de vento muito altas para a formação de *ripples*, que são análogas a leitos planos aquosos de regime superior, ocorrem apenas em arenitos grossos e grânulos, os grãos são comumente muito bem arredondados e sofrem alta abrasão; (ii) laminação *climbing ripple*, reservada a variações de nível de água, porém são difíceis de reconhecer por conta do baixo relevo, podem ser divididas naquelas que possuem altas taxas de sedimentação durante o retrabalhamento, e outras com baixas taxas de sedimentação; (iii) laminação de *grainfall* (chuva de grãos), que ocorrem tipicamente no sotavento de obstáculos como as dunas, é difícil distinguir segregação de grãos e laminação, tem empacotamento aberto, com porosidades de 40%, a gradações nos estratos são produzidas pelas mudanças na velocidade dos ventos que controlam o tamanho das areias em transporte (iv) laminação de *grainflow* (fluxo de grãos) causada pelo escorregamento e consequente *grainflow* em direção ao mergulho, estas feições possuem empacotamento muito aberto, com porosidade de 45%.

Estruturas eólicas internas são estratificações cruzadas de grande escala, formadas por *grainflow* e *grainfall*, porém o tamanho das estruturas internas destas estratificações é controlado pelo raio do cavalgamento da forma de leito; estruturas internas secundárias dão informações de condições pós deposicionais. Estratificações eólicas deformadas podem ser causadas por escorregamentos por saturação de água (*slump*), interdunas são parte integral de formas de leito eólicas.

Lençóis de areia consistem em áreas planas de estratos planos de areia grossa sobreposta de material fino e são depósitos de materiais remanescentes em uma zona de transporte. Estas formas de leito tendem a ser pequenas. Estratificações cruzadas tabulares simples envolvem sistemas de migração de dunas simples.

5.2. Bacia do Camaquã

A Bacia do Camaquã possui seu embasamento composto por crátons e faixas móveis, que formam um cinturão de rochas metamórficas pré-cambrianas (Robertson, 1966). Esta bacia é composta por depósitos sedimentares e vulcânicos, posteriores ao evento de deformação dúctil do Neoproterozoico, e é recoberta por depósitos sedimentares da Bacia do Paraná (Robertson, 1966). De acordo com isso, as rochas da Bacia do Camaquã são marcadas por deformações rúpteis e ausência de metamorfismo (e.g. Marconato, 2010).

A Bacia do Camaquã está situada no estado do Rio Grande do Sul. Esta é composta por sub-bacias residuais (Fragoso-Cesar et al., 2000) sendo elas: Camaquã Ocidental, Central e Oriental. Estas subdivisões são marcadas pelas intercalações com altos estruturais, respectivamente de oeste para leste, Alto Caçapava do Sul e Alto Serra das

Encantadas, delimitados por falhas de direção NNE (Figura 3). Com Fragoso-Cesar *et al.*, (2000) a Formação Guaritas foi elevada a Grupo (por conta de suas dimensões), e passou a constituir uma unidade do Supergrupo Camaquã. Este, que é integrado pelos (i) Grupos Maricá - composto por rochas siliciclásticas que repousam sobre as rochas metamórficas do Terreno Rio Vacacaí; (ii) Grupo Bom Jardim – composto por rochas sedimentares subaéreas e vulcânicas e vulcanoclásticas subaquosas; (iii) Formação Acampamento Velho – , composta por rochas vulcânicas e vulcanoclásticas (iv) Grupo Santa Bárbara – composto por rochas depositadas em ambientes sedimentares diversos, que erodem o topo da formação sobreposta ; (v) Grupo Guaritas e Suíte Intrusiva Rodeio Velho, composto por rochas siliciclásticas de ambientes deposicionais eólicos, de leques aluviais e marinhos intercalados a rochas vulcânicas, depositadas sobre discordância angular (Fragoso-Cesar *et al.*, 2000; Janikian *et al.*, 2003; Almeida, 2005; Marconato, 2007).

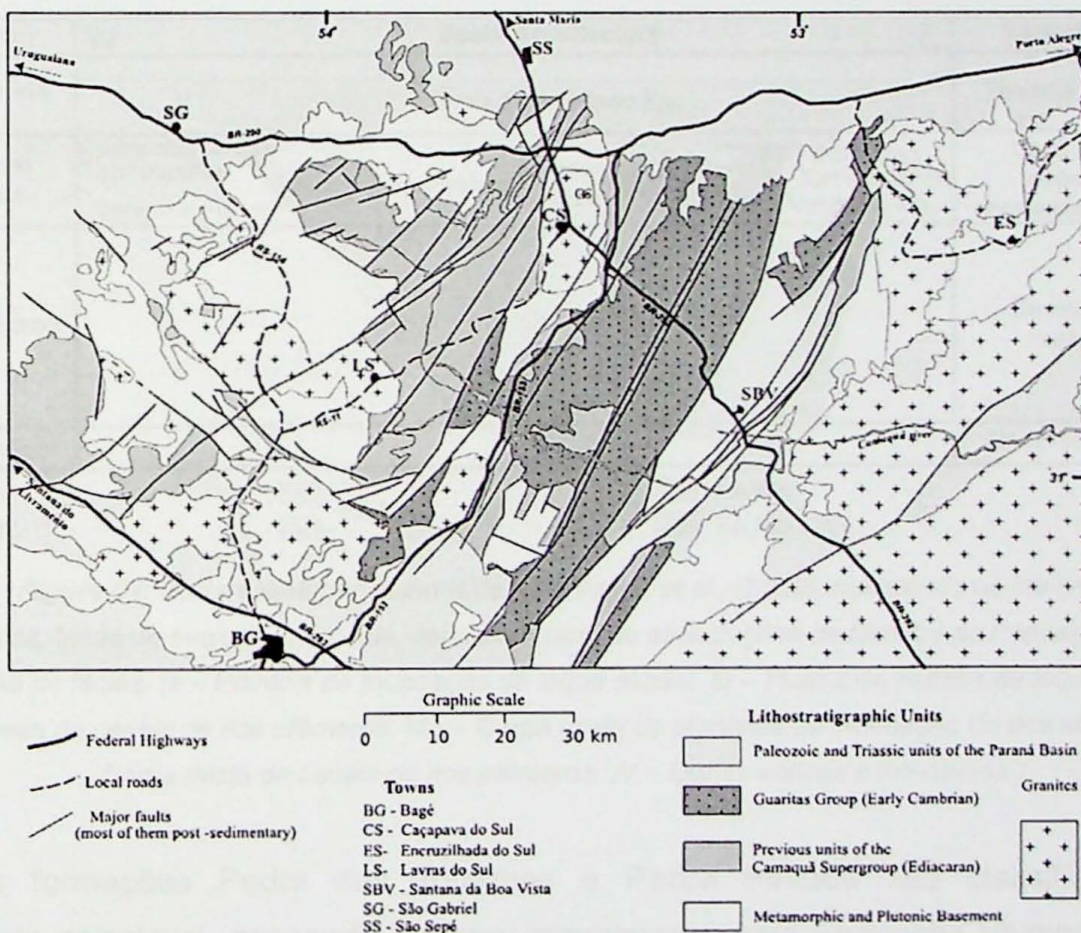


Fig. 2. Schematic map of the Camaquã Supergroup and surrounding areas, showing the area of occurrence of the Guaritas Group.

Figura 03: Mapa esquemático do Supergrupo Camaquã e áreas próximas, mostrando a área de ocorrência do Grupo Guaritas e também as falhas mestras que subdividem a Bacia do Camaquã em três, oriental, central e ocidental (fonte: Almeida, 2010).

Devido às grandes espessuras de cada uma das sucessões citadas (até 6000m, segundo Fambrini *et al.*, 2002) e diferenças de distribuição espacial de suas áreas de ocorrência, cada uma destas unidades deve representar um evento de subsidência mecânica (Almeida, 2005; Marconato, 2010)

O Grupo Guaritas, onde estão incluídas as Formações Varzinha e Pedra Pintada,

alvos do presente projeto, é composto por depósitos siliciclásticos, reconhecidos inicialmente por Ribeiro *et al.*, (1966) como depósitos de leques aluviais, deltas lacustres e fluviais. Para este grupo, a idade de deposição é cerca de $535,2 \pm 1,1$ Ma (método Ar-Ar por Almeida, 2005), definida por rochas da intrusão de diques e sills da Suíte Intrusiva Rodeio Velho. A maior área de ocorrência do Grupo Guaritas é na sub-bacia Camaquã Central, e tem espessura estimada de 800m (Paim, 1994), porém, Almeida *et al.*, (2009) consideram para esta unidade uma espessura superior a 1500m.

Segundo Almeida *et al.*, (2009), o Grupo Guaritas pode ser subdividido em seis unidades estratigráficas, representando sistemas deposicionais continentais, sendo elas, da base para o topo: Formação Guarda Velha, Formação Varzinha, Formação Pedra das Araras, Formação Pedra Pintada, Formação Pedra das Torrinhas e Formação Serra do Apertado (Figura 4).

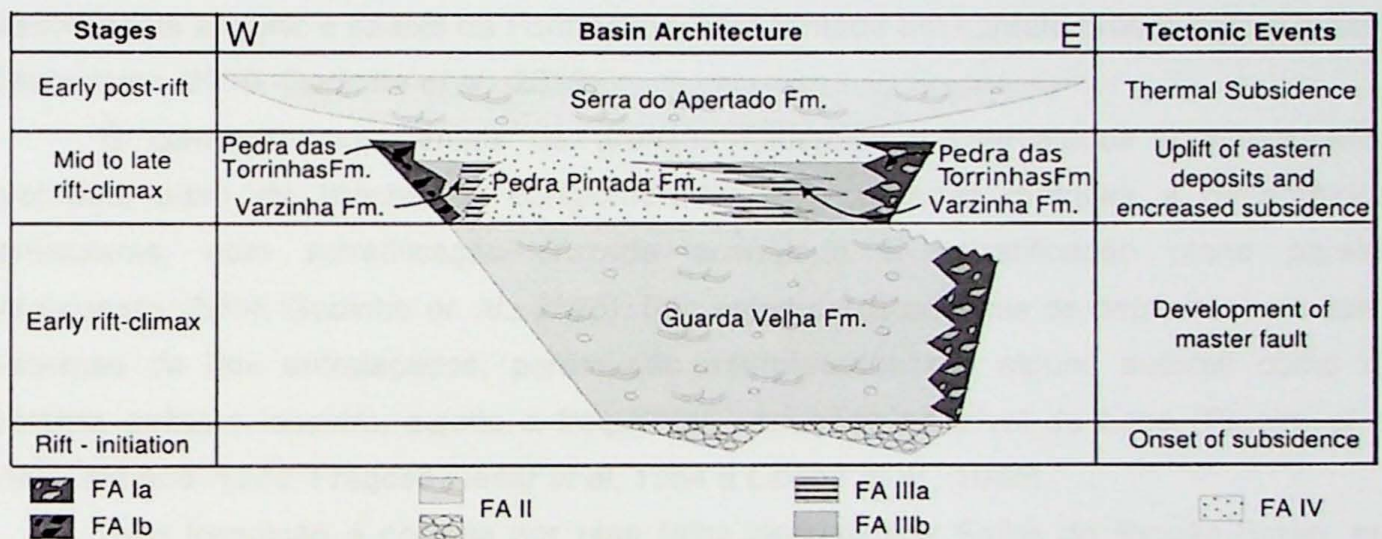


Figura 04: Carta estratigráfica extraída de Almeida *et al.*, (2009), mostrando os maiores eventos tectônicos, fases de evolução da bacia, variação lateral de associações de fácies e as Formações. (FA – associação de fácies. Ia – Planície de Inundação de leque aluvial. Ib – Fluxos de detritos de leque aluvial. II – Carga de leito de canais de rios efêmeros. IIIa – Carga mista de planícies de inundação de rios efêmeros. IIIb – Carga mista de canais de rios efêmeros. IV – Dunas eólicas e interdunas.)

As formações Pedra das Torrinhas e Pedra Pintada são classificadas como lateralmente correlatas, passando também lateralmente para Formação Varzinha (Almeida, 2005).

A Formação Pedra das Torrinhas é composta por conglomerados e brechas de leques aluviais que ocorrem junto as bordas da bacia (*e.g.* Godinho *et al.*, 2013), são equivalentes aos Ruditos Pedra das Torrinhas, descritos por Fragoso-Cesar em 1991. O que caracteriza esta formação é a composição de ciclos granodecrescentes métricos, relativos aos conglomerados que variam até pelitos gretados (Marconato *et al.*, 2009; Godinho *et al.*, 2013).

5.2.1. Formação Pedra Pintada

A Formação Pedra Pintada, inicialmente chamada de Formação Santa Bárbara

(Ribeiro *et.al.*, 1966) aflora no morro de nome homônimo, e possui contato erosivo com a formação sobreposta (Almeida, 2005).

É composta por um pacote espesso de arenitos feldspáticos com estratificação cruzada de grande porte, arenitos com estratificação plano paralela e intercalações com pelitos gretados (Almeida, 2005; Marconato, 2007, Godinho *et.al.*, 2013). Esses registros são característicos de depósitos de dunas eólicas com interações de interdunas com aporte aluvial (Almeida, 2005), porém já foram interpretados como registros costeiros por Faccini, Paim e Fragoso-Cesar (1987).

5.2.2. Formação Varzinha

A Formação Varzinha, descrita na literatura primeiramente como Camada Varzinha (Ribeiro e Lichtenberg, 1978), está disposta sobre a Formação Guarda Velha por discordância angular e abaixo da Formação Pedra Pintada em contato brusco com a mesma (Marconato, 2010, Godinho *et.al.*, 2013).

É composta por ritmitos de arenitos feldspáticos intercalados a siltitos/pelitos gretados, além de brechas e conglomerados em camadas métricas a decamétricas lenticulares, com estratificação cruzada acanalada e estratificação plano paralela (Marconato, 2014, Godinho *et. al.*, 2013). São estas características de depósitos aluviais e sistemas de rios entrelaçados, porém são interpretados por alguns autores como um sistema deltaico lacustre, sujeito a frequentes variações no nível de base (Ribeiro *et al.* 1966, Ribeiro, 1970, Fragoso-Cesar *et al.* 1984 e Lavina *et al.*, 1985).

Esta formação é cortada por uma falha denominada Falha do Rincão Bravo, que apresenta componente vertical de abatimento do bloco oeste (Godinho *et. al.*, 2013), esta unidade apresenta espessura mínima de 200m.

6. METODOLOGIA

Os métodos utilizados no presente trabalho compreendem quatro etapas, sendo uma relativa a (i) análise de fácies e elementos arquiteturais baseada na metodologia de Miall (1985), bem como aquisição de dados de permeabilidade, em trabalhos de campo (ii) análise petrográfica e petrofísica para aquisição de dados de microescala, (iii) comparação de dados de heterogeneidades de micro e mesoescala e, por fim (iv) tratamento destes dados obtidos com o uso de programas de geoestatística e análises de petrofísica.

Os estudos de mesoescala foram feitos a partir do levantamento de fácies em um afloramento já estudado anteriormente por Almeida (2005), Marconato (2007), tendo-se realizado posteriormente a comparação das fácies levantadas no campo com as seções colunares levantadas nestes trabalhos. Além destas descrições, foi adicionado um novo afloramento relativo a Formação Pedra Pintada em que se realizou a análise de fácies e de

elementos arquiteturais.

Os estudos de microescala, que envolveram a caracterização dos tipos de porosidade existentes nas fácies estudadas, foram realizados através de dados de análises petrofísicas e petrográficas. Estas análises geraram dados relativos a porosidade e a permeabilidade das rochas em questão. Os métodos para obtenção destes dados foram os de análise petrofísica convencional a gás (de onde se obtém tanto porosidade quanto permeabilidade em análises laboratoriais), obtenção de dados de permeabilidade através de um permeâmetro de campo, e quantificação de porosidade através de lâminas petrográficas para eventuais comparações.

O método de coleta de amostras para estas análises foi a plugagem com perfuratriz a gasolina, com uma broca de ponta diamantada de 1 polegada de diâmetro, e comprimento de 8 cm.

As análises petrográficas de amostras foram realizadas em um microscópio de luz polarizada, com o objetivo de identificar e classificar a rocha quanto a sua maturidade mineral e textural de feições diagenéticas, caracterizar o tipo de porosidade, além de contabilizar a porosidade a partir de um analisador de imagens, capaz de identificar os poros de acordo com sua coloração nas lâminas delgadas previamente impregnadas com corante. A granulação destas rochas foi classificada a partir de escalas granulométricas. Com o intuito de obter um quadro representativo, para cada fácies, uma amostra foi coletada, permitindo assim observar a cimentação, argilosidade e distribuição da porosidade tridimensionalmente.

Para os estudos de petrofísica convencional, com o objetivo de se avaliar a porosidade e permeabilidade, foi utilizado o Laboratório da empresa Weatherford, no Rio de Janeiro. O método consistiu na análise das amostras em um sistema de encaixe e vedação do tubo metálico com o corpo de prova, sendo que as amostras com argila foram aquecidas previamente até 65°C e, em seguida, resfriadas a vácuo para serem analisadas. Para os estudos de porosidade, mediu-se a porosidade efetiva (que é a porosidade que possui interconectividade, e assim o fluxo de fluidos). A porosidade absoluta foi obtida através de 3 parâmetros: volume total, volume do poro e volume dos sólidos presentes na rocha, sendo a determinação destes parâmetros feita por injeção de gás inerte.

Para a obtenção da porosidade efetiva e absoluta foram realizadas medições por métodos de expansão/compressão de gás; posteriormente os dados obtidos foram tratados em histogramas. Para estudos de permeabilidade foram utilizados os procedimentos descritos por Hurst & Goggin (1995), utilizando um permeâmetro a gás em um sistema de encaixe e vedação do tubo metálico com o corpo de prova.

Além destes dados de porosidade e permeabilidade, também foi analisada a granulometria das amostras, com medição a de aproximadamente 800 grãos por lâmina, - o que permitiu comparar como a granulometria interfere na formação de poros e também na

permeabilidade das rochas.

7. RESULTADOS

7.1. Afloramentos Analisados

Após o levantamento e descrição das fácies realizadas nestes dois afloramentos, foram obtidos dados de permeabilidade a vácuo em campo, por um aparelho denominado *Tiny Perm II*, destes mesmos locais. Estes locais de onde foram obtidos tais dados foram os locais de coleta de amostras, assim, algumas delas foram enviadas para laboratórios de petrofísica onde foi medida a permeabilidade a gás, e então foi possível a calibração dos dados de campo com os dados laboratoriais (tabelas 11 e 13, gráfico 1).

Além disso, as amostras foram localizadas espacialmente com alta precisão por um GPS diferencial, que necessita no mínimo 5 satélites para obter a localização dos pontos, deste modo as amostras conseguem ser diferenciadas centimetricamente. Os dados obtidos pelo DGPS foram corrigidos para o dia de coleta, através do programa Trimble Business Center, e geraram um arquivo de planilha em Excel.

Os dados de campo estão apresentados numa tabela anexada.

7.1.1. Formação Varzinha

O afloramento da Formação Varzinha é mostrado por meio de seus fotomosaicos (1 a 4), além disso também são interpretados os elementos arquiteturais e as estruturas presentes em cada um, estes dados são mostrados na figura 05, e tabela 03.

Os elementos arquiteturais apresentados nos fotomosaicos 1 a 4, foram definidos com base na interpretação de Almeida (2005), de maneira simplificada. Deste modo foi possível distinguir 4 elementos arquiteturais principais, são eles: **FA** (Formas de Leito Arenosas), composto por camadas métricas, lateralmente contínuas, geradas pela superposição de dunas subaquáticas, pacotes estes que são truncados pelo elemento de Canais de Rios Efêmeros (**CE**), que é composto de corpos lenticulares métricos, preenchidos por arenitos em ciclos de maior energia, podendo transportar grânulos a seixos que marcam a base de festões, estas camadas podem tornar-se mais contínuas, transitando para o elemento **LA** (Lençóis de Arenito Laminados) gerado pela migração de formas de leito em correntes rasas, e, por fim, aparece o elemento **PE** (Finos de Planícies Distais de Rios Efêmeros), que marcam o fim dos processos trativos.

PONTO	DESCRIÇÃO	NOME FÁCIES	ELEMENTO ARQUITETURAL
TP01	1,16m abaixo do topo da camada de pelito da seção c (Marconato, 2010), arenito muito grosso com seixo	Ce	LA
TP02	64 cm abaixo, camada lenticular de ~2,5cm de espessura, branco, arenito fino	Al	LA
TP03	Arenito com laminação plano paralela	Al	LA
TP04	45cm abaixo do topo da mesma cama de pelito, arenito grosso com grânulos e seixos esparsos (Ama da seção H de Marconato, 2010)	Ce	LA
TP05	Lateralmente paralelo ao TP 04, está na camada Ama, 46cm abaixo do topo da camada de pelito, arenito fino a médio, plano paralelo que transiciona lateralmente da Ama do Tp 04.	Ce	LA
TP06	Na base do pacote de arenito seixoso com cruzada acanalada tangencial na base (com intraclastos de argila na porção basal), Aga	Aa	FA
TP07	Arenito médio a fino, micáceo, parece o topo do set do TP 06. Fica 51 cm acima do topo da camada de pelito.	At	FA
TP08	É a mesma fácies to TP 07, mesmo nível estratigráfico, mas é acima do TP 06.	At	FA
TP09	Aga semelhante ao TP 06	Aa	LA
TP10	Aga lateral do TP 09 (mesmo set)	Aa	LA
TP11	Arenito fino a médio com seixos esparsos mais cruzadas de baixo ângulo tabular. Logo acima da fácies do TP 10, bem embaixo do telhadinho, na seção C (Marconato, 2010)	At	LA
TP12	Mesmo set e fácies do TP-11	At	LA
TP13	Mesma fácies do TP 12, cerca de 50cm acima do TP 12.	At	LA
TP14	Na base da seção D1 (Marconato, 2010) em camada de arenito fino a médio com cruzadas tabulares de baixo ângulo (onde o pelito faz uma cunha) com alternância de coloração verdes/vermelhas (medição na vermelhinha)	At	CE
TP15	É o arenito logo acima da cunha de pelito. Arenito muito grosso com grânulo e concentração de seixos na base do set com cruzadas. TP 15 esta 41cm acima do TP 14.	Aa	LA
TP16	TP 16 está 55cm acima do TP 15. Parece ser semelhante à facies do TP 14.	At	LA
TP17	No topo, concentração de grânulos e seixos. Arenito fino a médio, com grânulos, camada acima da TP 16 (Obs.: ver mosaico, pois também é a mesma camada, mesmo nível). TP 17 está 55cm abaixo da camada de heterolítica (intercalações de sets com arenito com pelito). Renato tirou foto (sentido Caçapava → Santana) e o GPS está na no perfil do ponto 14 e 15.	At	LA
TP18	Arenito fino, laminado, com cruzadas de baixo ângulo	At	LA
TP19	Camada de arenito no meio do pelito	At	LA
TP20	Camada de areia, que fica abaixo do espesso pacote de lamito com greta de contração.	At	PE
TP21	arenito médio, com intraclastos de lama verde, com estratificação acanalada	Aa	PE
TP22	arenito com estratificação cruzada e seixos esparsos	At	FA
TP23	arenito fino a médio, em series grandes de cruzadas tabulares	At	FA
TP24	arenito médio a grosso com seixos com cruzada (base do canal, que erode as camadas pelíticas heterolíticas da base)	Aa	FA
TP25	arenito médio a grosso com cruzadas acanaladas e lentes visíveis de segregação de arenito médio a grosso segregado na areia fina (base erodida com intraclastos de argila é o canal d etopo do afloramento, localizado na placa amarela)	Aa	FA
TP26	arenito médio a grosso com cruzada acanalada	Ce	LA
TP27	arenito grosso com acanalada com intraclasto de argila e seixos esparsos	Ce	LA
TP28	arenito fino a médio com cruzada de baixo ângulo que tangencia a base do canal	Aa	FA
TP29	arenito fino a médio com cruzada acanalada	Aa	FA
TP31	arenito com ripple ou com cruzada (Intercalado com lama)	Aa	FA
TP32	arenito fino a médio com cruzada acanalada	Aa	FA
TP33	finos intercalados	At	CE
TP34	conglomerado de seixos subangulosos que variam de 0,5cm a 7cm, aparentemente maciço	Ce	LA

TP35	Arenito medioa grosso com granulos e seixos esparsos, com cruzada acanaladas que tangenciam na base, aqui é a fácies mais fina da camada do TP35	Ce	LA
TP36	Base de set de arenito médio com seixos esparsos dispostos ao longo dos estratos cruzados. Sets dcm (15-25cm esp) de cruzadas acanaladas tangencial na base e intraclastos de argila	Ce	LA
TP37	Arenito médio, com granulos (além de poucos seixos esparsos, vazio 0.5cm a localmente 3cm) parece maciço.	Ce	LA
TP38	Arenito fino a medio com grânulos esparsos e estratificação plano paralela (há lentes com concentrações maiores de grânulos)	Al	LA
TP39	arenito fino a médio com cruzadas de baixo ângulo e internamente há lentes com matéria orgânica	Al	LA
TP40	arenito fino com lente com concentrações de grânulos com cruzadas de baixo ângulo.	Aa	FA
TP41	Base de set de arenito médio com seixos esparsos dispostos ao longo dos estratos cruzados. Sets dcm (15-25cm esp) de cruzadas acanaladas tangencial na base e intraclastos de argila	Aa	FA
TP42	Base de set de arenito médio com seixos esparsos dispostos ao longo dos estratos cruzados. Sets dcm (15-25cm esp) de cruzadas acanaladas tangencial na base e intraclastos de argila	Aa	FA
TP43	arenito fino com lente com concentrações de grânulos com cruzadas de baixo ângulo.	Aa	FA
TP44	mesmo conglomerado do TP-01, este é o topo	Ce	LA
TP45	mesmo conglomerado do TP-01, este é o topo	Ce	LA

Tabela 03: Fácies descritas no afloramento da Fm. Pedra Pintada, e correlação de elementos arquiteturais

As fácies correspondentes aos elementos acima descritos são: **Aa** (arenitos médios com estratificação cruzada acanalada, com seixos esparsos ou concentrados nas estratificações, interpretados como depósitos de migração de dunas subaquáticas), **At** (arenitos com estratificação cruzada tabular, com grânulos esparsos, interpretada como produto da migração de formas de leito), **Al** (arenitos com laminação plano-paralela, centimétricos a decimétricos, interpretados como depósitos de leito plano) e **Ce** (Conglomerados estratificados, de camadas tabulares métricas, com seixos a calhaus de quartzo milonitos, interpretados como depósito de fluxo não canalizado).

No elemento CE foi descrita apenas a fácies **At**, no elemento PE foram descritas as fácies **At** e **Aa**, no FA as fácies **Aa** e **At**, e por fim no elemento LA estão associadas as fácies **Aa**, **Al** e **Ce**. A interpretação destes dados em relação ao afloramento estão representados na Figura 09.

Os elementos arquiteturais foram interpretados com base nas fácies levantadas durante o trabalho de campo, além da visualização de estruturas persistentes por todo o afloramento. Nestes fotomosaicos estão representados os locais de onde foram coletadas amostras em plugues e também de onde foram coletados os dados de permeabilidade em campo.

7.1.2. Formação Pedra Pintada

O afloramento da Formação Pedra Pintada é mostrado por meio de seus

fotomosaicos (5 a 7), além disso também são interpretados os elementos arquiteturais e as estruturas presentes em cada um (figuras 06 a 08), estes dados são mostrados na figura 09.

PONTO	DESCRIÇÃO DA ROCHA EM CAMPO	NOME FÁCIES	ELEMENTO ARQUITETURAL
TP46	arenito fino a médio com estratificação cruzada de baixo ângulo grande porte, acanalada	Afba	Base da Duna
TP47	arenito fino a médio com estratificação cruzada de baixo ângulo grande porte, acanalada	Afba	Base da Duna
TP48	plano paralelo abaixo da duna (eólico)	Afpp	Interduna
TP49	arenito fino a médio com estratificação cruzada de baixo ângulo grande porte, acanalada	Afba	Base da Duna
TP50	arenito fino a médio com estratificação cruzada de grande porte, acanalada	Afca	Dunas Eólicas
TP51	arenito fino a médio com estratificação cruzada de grande porte, acanalada	Afca	Dunas Eólicas
TP52	arenito fino a médio com estratificação cruzada de baixo ângulo grande porte, acanalada	Afba	Base da Duna
TP53	arenito fino a médio com estratificação cruzada de grande porte, acanalada	Afba	Base da Duna
TP54	arenito fino a médio com estratificação cruzada de grande porte, acanalada	Afca	Dunas Eólicas
TP55	arenito fino a médio com estratificação cruzada de grande porte, acanalada	Afca	Dunas Eólicas
TP56	arenito fino a médio com estratificação cruzada de grande porte, acanalada	Afca	Dunas Eólicas
TP57	interduna	Afba	Interduna
TP58	interduna	Afba	Interduna
TP59	arenito fino a médio com estratificação cruzada de grande porte, acanalada	Afca	Dunas Eólicas
TP60	transladante (interduna)	Afba	Base da Duna
TP61	grain flow vermelho	Afba	Base da Duna

Tabela 04: Fácies descritas no afloramento da Fm. Pedra Pintada, e correlação de elementos arquiteturais.

As fácies descritas para este afloramento foram apenas 3 (figura 09, tabela 04) sendo elas **Afba** (arenito fino a médio com estratificação cruzada acanalada de baixo ângulo, métrica a decimétrica, interpretado como zona de migração das frentes de duna), **Afpp** (arenito fino com estratificação plano paralela, abaixo da frente da duna, interpretado como zona de interduna) e **Afca** (arenito fino a médio com estratificação cruzada acanalada métrica a decimétrica, interpretada como a frente da duna).

Os elementos arquiteturais interpretados foram Base de Duna, que é caracterizado pelas frentes de dunas barcanas migrando, e a fácies correlacionada a este elemento é a **Afba**. Elemento de Dunas Eólicas, que corresponde aos próprios topos de dunas , cuja

fácies representativa é a **Afca**. E, por fim, o elemento de Interduna, que é caracterizado pela fácies **Afpp**, composta por arenitos mais finos, que são erodidos mais facilmente devido a granulação, e podem representar interdunas úmidas.

7.2. Petrografia Sedimentar

7.2.1. Impregnação de amostras

A preparação das amostras para destaque de porosidade por meio de resina, consistiu em rotinas de impregnação destas com resina azul, sendo o procedimento:

(i) coloca-se as amostras de aproximadamente 1 cm³ dentro de recipientes e levar estas a estufa, onde ficaram por pelo menos 24 horas;

(ii) no equipamento de vácuo, deixa-se as amostras a aproximadamente 300mbar por 1 hora;

(iii) prepara-se a mistura utilizada como meio impregnante, que consiste de 50,0g de resina Epoxiglass 1204 (XGY 1109), 5,0g de endurecedor Epoxiglass, 7,0g de álcool etílico (C₂H₆O) e 1,0g de corante azul de Orasol;

(iv) inicia-se o gotejamento desta mistura no recipiente que contém as amostras, de modo que goteje ao lado destas, e não em cima, a velocidade ideal é de 1 gota por segundo;

(v) após recobrir a amostra por completo, deixa-se por cerca de duas horas dentro do recipiente com vácuo (Figura 10);

(vi) retira-se a amostra do vácuo e deixa-se por mais duas horas fora deste para depois colocá-la na estufa;

(vii) coloca-se a amostra na estufa por aproximadamente 24horas a temperaturas entre 50-60°C.

Após a preparação em laboratório destas amostras, foram realizadas as lâminas delgadas das mesmas.



Figura 10: Equipamento de vácuo utilizado para impregnação de amostras



Figura 11: Resultado das amostras após a impregnação



Fotomosaico 01: Afloramento da Formação Varzinha NE-SW (1 de 4).



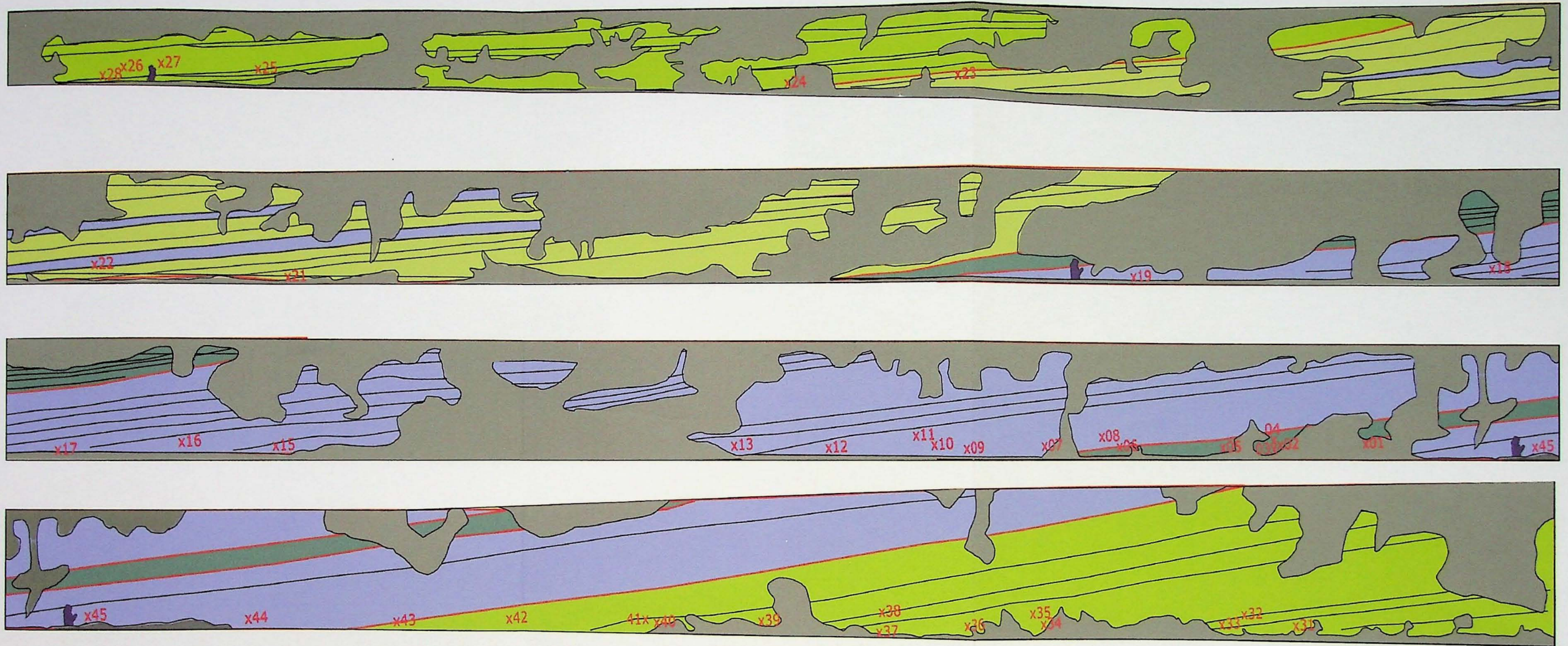
Fotomosaico 02: Afloramento da Formação Varzinha NE-SW (2 de 4).



Fotomosaico 03: Afloramento da Formação Varzinha NE-SW (3 de 4).



Fotomosaico 04: Afloramento da Formação Varzinha NE-SW (4 de 4).

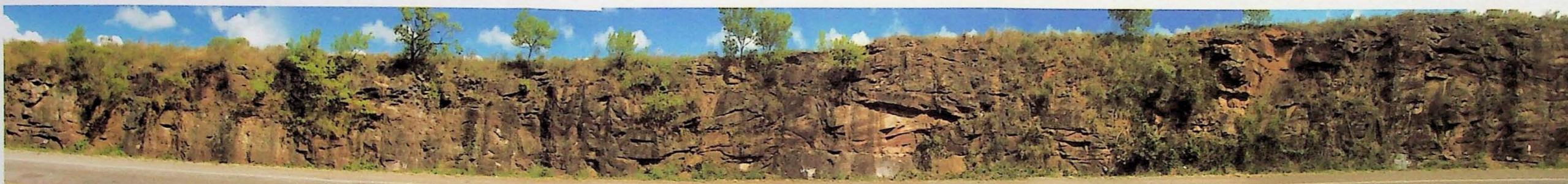


- CE (Canais de rios efêmeros)
- FA (Formas de leito arenosas)
- LA (Lençóis de arenitos laminados)
- PE (Finos de planícies distais de rios efêmeros)
- Limites erosivos
- Superfície de abandono
- escala

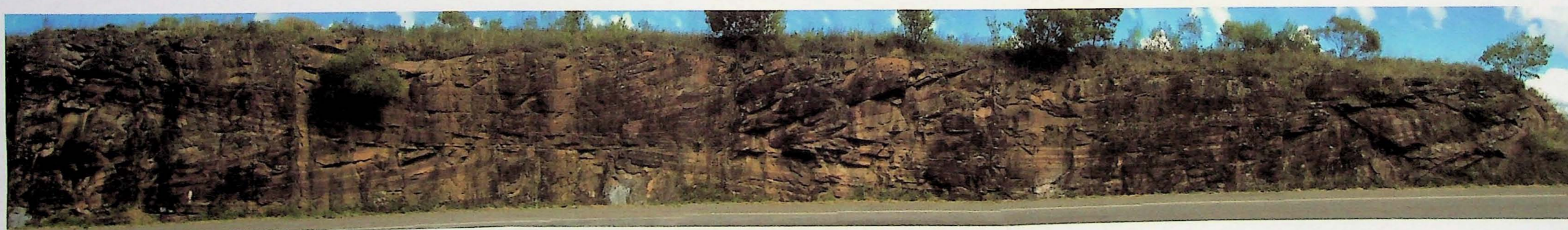
Figura 09: Interpretações de elementos arquiteturais do afloramento da Formação Varzinha



Fotomosaico 05: Afloramento da Formação Pedra Pintada SW-NE (1 de 3)



Fotomosaico 06: Afloramento da Formação Pedra Pintada SW-NE (2 de 3)



Fotomosaico 07: Afloramento da Formação Pedra Pintada SW-NE (3 de 3)

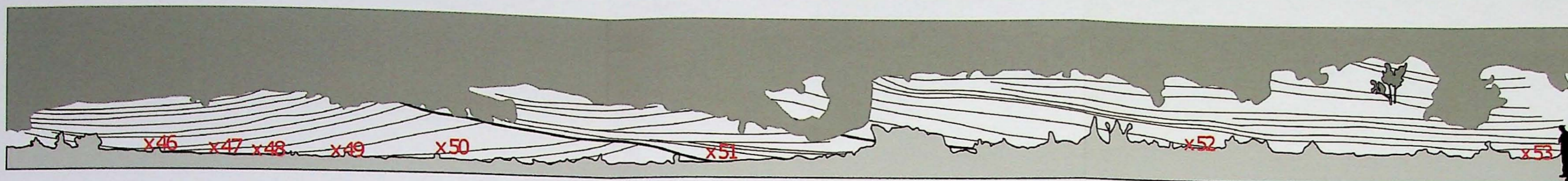


Figura 06: Interpretação de estruturas eólicas da Formação Pedra Pintada, com sets de dunas, interdunas e pés de dunas SW-NE (1 de 3). Na figura encontram-se as posições das fácies plugadas e analisadas

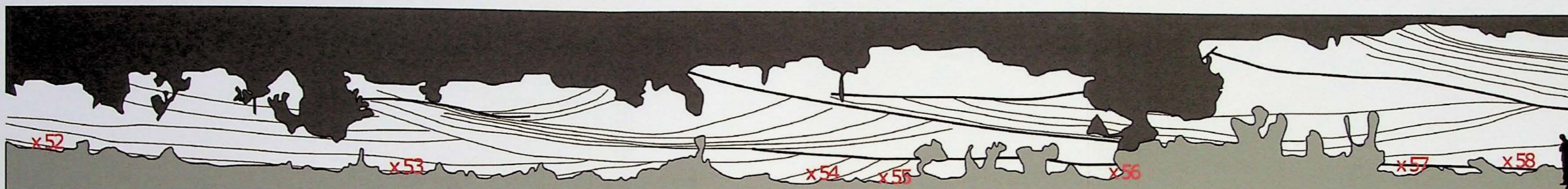


Figura 07: Interpretação de estruturas eólicas da Formação Pedra Pintada, com sets de dunas, interdunas e pés de dunas SW-NE (2 de 3). Na figura encontram-se as posições das fácies plugadas e analisadas

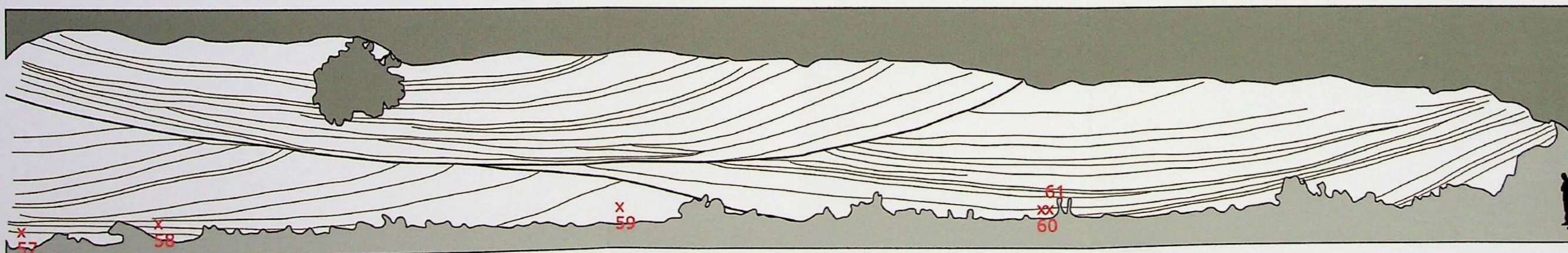


Figura 08: Interpretação de estruturas eólicas da Formação Pedra Pintada, com sets de dunas, interdunas e pés de dunas SW-NE (3 de 3). Na figura encontram-se as posições das fácies plugadas e analisadas



- Interduna
- Duna
- Base da duna
- Interduna (não aparece no fotomosaico)
- Escala
- x
58 - Localização de amostras

Figura 09: Interpretações de elementos arquiteturais do afloramento da Formação Pedra Pintada

7.2.2. Descrição Petrográfica

Foram descritas no total 32 lâminas petrográficas, onde se observou o contato entre os grãos, o tipo de empacotamento e arranjo de grãos, os tipos de porosidade existentes nestas rochas e os tipos de cimentos, foram feitas estimativas visuais (qualitativas) para os tipos minerais encontrados e tipo de empacotamento.

Como característica geral de todas as lâminas a porosidade primária é o que predomina na rocha, e estes poros podem ser destacados nas lâminas petrográficas a partir da impregnação, entretanto, a presença de porosidade secundária, aquela formada pela dissolução de grãos, não é desprezível, havendo também dissoluções de cimento quartzoso ou carbonático.

Em algumas lâminas foi possível observar que o processo de impregnação não foi eficiente, as causas disso foram a forte presença de cimentos combinados aos tamanhos de grãos, tornando difícil a percolação do fluido impregnante. Porém em análises laboratoriais foi possível obter valores maiores tanto para porosidade quanto para permeabilidade, devido ao tipo de fluido que percolou a rocha.

7.2.2.1. Formação Varzinha

Para este afloramento, foram descritas no total 22 lâminas petrográficas, uma caracterização sucinta de suas características será apresentada na tabela 05, abaixo:

Ponto	Porosidade (%)	Granulometria	Qtz	Felds	Frag. líticos	Outros minerais	Empacotamento	Contato Entre os Grãos	Cimentação	Tipo de Porosidade
TP-01=V	1,123	0,5-1,5mm/2,3mm	40%	15%	40%	Turmalina (1%), Opacos (2%)	Aberto	Planar a côncavo convexo	Carbonática	Primária interpartícula e secundária de dissolução de cimento
TP-02-B=H1	-	0,2-0,5mm	70%	10%	15%	Turmalina (1%), Monazita (1%), Muscovita (2%), Opacos (1%)	Fechado	Côncavo convexo a suturado	Óxidos de Fe, carbonática	Primária interpartícula
TP-07-D=H1	-	0,2-0,5mm	70%	15%	10%	Muscovita (2%), Turmalina (1%)	Fechado	Côncavo convexo a suturado	Carbonática, óxido de Fe, quartzo	ausente
TP-11=H1	-	0,7-1,5mm	70%	10%	17%	Turmalina (2%), Biotita (1%)	Fechado	Planar a suturado	Carbonática, quartzo	Primária interpartícula e secundária (baixas taxas de dissolução de cimento)

TP-12-A1-H1	0,003	0,1-0,25mm/0,5-1mm	65%	10%	10%	Muscovita (7%), biotita (6%), turmalina (1%), epídoto (1%)	Fechado	Tangencia la saturados	Carbonáti ca, quartzo, óxidos de Fe	ausente
TP-13-B2=H1	-	0,2-0,5mm	80%	10%	13%	Turmalina (1%), Biotita (1%)	Fechado	Planar a saturado	Carbonáti ca	ausente
TP-14A-H1	0,375	0,3-0,7mm/ 2mm	80%	4%	16%	Biotita	Fechado	Planar a saturado	Carbonáti ca	Primária interpartícul a
TP-16-B=V	2,168	0,2-2mm	40%	10%	50%	-	Fechado	Planar a saturado	Quartzo, carbonátic a, óxidos de Fe	Primaria interpartícul a e Secundária (dissolução de grãos e cimento)
TP-17B-H1	7,924	0,4-0,75mm/2,5 mm	80%	1%	19%	-	Aberto	Planar a Saturado	Quartzo e Óxidos de Fe	Primaria interpartícul a e Secundária (dissolução de grãos e cimento)
TP-19-B2-H1	0,	0,5-1,0mm	80%	5%	15%	Biotita e Muscovita	Fechado	Saturado	Quartzo, Carbonáti ca	Ausente
TP-21-B1=H1	3,013	0,3-0,8mm	70%	10%	20%	Biotita	Fechado	Tangencia l	Quartzo, Carbonáti ca	Secundria (dissolução de cimento e grãos) e primária interpartícul a
TP-22=H1	-	0,2-0,5mm/0,5-0,8mm	75%	10%	15%	Biotita (1%)	Fechado	Tangencia la planar	Carbonáti ca, óxido de Fe	Ausente
TP-24-A1-H1	0,019	0,6-1,0mm	60%	10%	20%	Muscovita (10%)	Aberto	Tangencia la saturados	Carbonáti ca, quartzo, óxidos de Fe	Primária interpartícul a
TP-25-B=H1	14,14	0,2-1,0mm	70%	15%	15%	-	Aberto	Saturado	Carbonáti ca, óxido de Fe	Primária interpartícul a
TP-26-H1	8,551	0,2-0,6mm	85%	7%	8%	Muscovita	Aberto	Tangencia la planar	Óxidos de Fe	Primária interpartícul a e secundária (dissolução de grãos)

TP-28A-H1	5,36	0,2-0,4mm	82%	7%	5%	Biotita (3%), Muscovita (3%)	Fechado	Tangencia la planar	Carbonáti ca, quartzo, óxidos de Fe	Primária interpartícu la e secundária (dissolução de grãos)
TP-29X-H1	3,108	0,1-0,4mm	55%	7%	30%	Biotita (4%), Muscovita (4%)	Aberto	Tangencia la planar	Óxidos de Fe	Primária interpartícu la e secundária (dissolução de grãos e cimento)
TP-33-B=H1	-	0,2-0,5mm	80%	10%	7%	Biotita (2%), Muscovita (1%)	Aberto	Planar a Suturado	Carbonáti ca, óxido de Fe	Secundária (baixas taxas de dissolução de cimento)
TP-34-B=H1	-	0,2- 0,6mm/1- 2,5mm	50%	5%	45%	Biotita e Muscovita	Fechado	Planar	Carbonáti ca	ausente
TP-39-A2-H1	7,114	0,4-1mm	50%	10%	30%	Biotita (3%), Muscovita (4%)	Aberto	Tangencia la planar	Quartzo e Óxidos de Fe	Primária interpartícu la
TP-40-A1-H1	0,019	0,5- 1,3mm/2m m	55%	15%	20%	Muscovita (10%, Turmalina (1%)	Aberto	Pontual a suturado	Carbonáti ca, quartzo, óxidos de Fe	Primária interpartícu la e Secundária (baixas taxas de dissolução de cimento)

Tabela 05: Descrição petrográfica sucinta das lâminas da Formação Varzinha

As fácies desta formação são caracterizadas por arenitos muito finos a finos (0,1-0,25mm) com intercalações de arenitos médio a grossos (0,5-1,0mm), e arenitos médio a grossos (0,3-1,0mm) com grânulos esparsos (2,5mm).

São compostas geralmente por quartzo (40 - 85%), feldspato (1 - 15%), fragmentos líticos (4 - 45% de quartzo milonitos, xistos, migmatitos, gnaisses – Fotomicrografias 1, 2, 3 e 4), biotita (6-7%) e muscovita (6-9%), aparecem por vezes turmalinas, monazitas, zircões e epídotos, também são visíveis minerais opacos (3%), provavelmente de magnetita.

Os grãos de quartzo que compõem esta rocha podem apresentar extinção ondulante, evidenciando assim que sofreram metamorfismo na fonte antes da erosão e sedimentação, e são pouco desgastados pelo transporte e geralmente angulosos, diferente dos feldspatos, que geralmente estão dissolvidos, arredondados e fraturados. Os fragmentos líticos compostos por xistos e quartzo milonitos, por vezes aparecem achatados, formando uma pseudomatriz devido a compactação.

Existe em 12 das 22 lâminas que caracterizam este afloramento, porosidade dentro dos grãos (Fotomicrografia 5), caracterizando a porosidade de dissolução, portanto secundária. E a mais frequente é a porosidade primária, entre os grãos, devido a empacotamentos abertos, como é evidenciado na Fotomicrografia 6. Algumas das rochas possuem empacotamento fechado devido as diferenças de granulometria que ocorrem.

O contato entre os grãos é em geral tangencial a planar, com alguns contatos suturados, evidenciando a compactação. São observados também contatos côncavo-convexos, porém esta ocorrência não é homogênea.

A cimentação mais frequente é a de carbonatos (Fotomicrografias 7), mas também aparece cimentação de óxido de Fe (Fotomicrografia 8 e 9), que aparece como películas nos grãos de quartzo, além disso é bastante observável a cimentação de quartzo, que ocorre como sobrecrescimento (Fotomicrografia 10), evidenciando assim processos de mesodiagênese.

Estas rochas, apesar de originalmente serem bastante porosas, por possuírem graus de seleção moderados a bem selecionados, tem seus poros fechados devido aos processos diagenéticos posteriores, que levaram a cimentação e compactação, processos estes relacionados a eodiagênese e mesodiagênese. Os processos de telodiagênese nesta rocha, também responsáveis pela formação de porosidade secundária, não foram muito eficientes, mas também estão presentes em alguns locais, como apresentado acima.

Comparando as descrições realizadas com as fácies (Tabela 04) no qual foram encaixadas as rochas, não foi possível observar claramente uma correlação entre elas, ou seja, rochas de mesma fácies não apresentam sempre as mesmas características após a diagênese, e mesmo comparando elementos que não são tão afetados com a diagênese, como a porcentagem de QFL (Quartzo, Feldspato, Fragmentos Líticos), não existe correlação. Os minerais acessórios em geral são os mesmos para toda a rocha, mas não são diferenciados nas fácies ou elementos arquiteturais, deste modo não seria possível determinar uma área fonte e correlacioná-la a determinado elemento arquitetural ou fácies. O único fator que foi consistente na caracterização petrográfica foi a granulação, que é um dos fatores que são utilizados para determinar as fácies, portanto era esperado que ocorresse esta consistência.

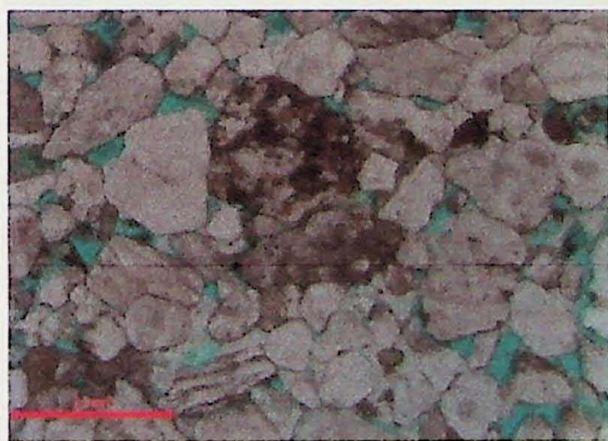
Numa escala maior de visualização, de elementos arquiteturais (tabela 05), é observada que as variações granulométricas são próximas para os diferentes tipos de elementos, e as variações entre QFL são diferentes para cada um dos elementos, os minerais acessórios em geral são os mesmos, sendo que o elemento LA consegue transportar alguns minerais pesados, como a Monazita e o Epidoto, enquanto os outros elementos não.

Fácies	Granulação	Q	F	L	Minerais Acessórios	Empacotamento (Aberto, Fechado)	Tipos de Contato	Cimento	Tipo de Porosidade
Aa	0,1-2,0mm	55-82%	7-15%	5-30%	Ms, Bt, Turm	4 A, 2 F	Tang, Sut, Planar	qz, óxido de Fe, carb.	prim, sec
Al	0,2-1,0mm	50-70%	10%	15-30%	Turm, Mnz, Ms, Bt	1A, 1F	conc-conv, sut, tang, planar	qz, óxido de Fe, carb.	prim
At	0,1-2,5mm	40-80%	1-15%	7-50%	Bt, Ms, turm, Epd	2A, 7F	conc-conv, sut, tang, planar	qz, óxido de Fe, carb.	sec, prim, ausente
Ce	0,2-2,5mm	40-85%	5-15%	8-45%	Bt, Ms, turm, Epd	2A, 1F	planar, convexo, tang	carb, ox Fe	sec, prim, ausente

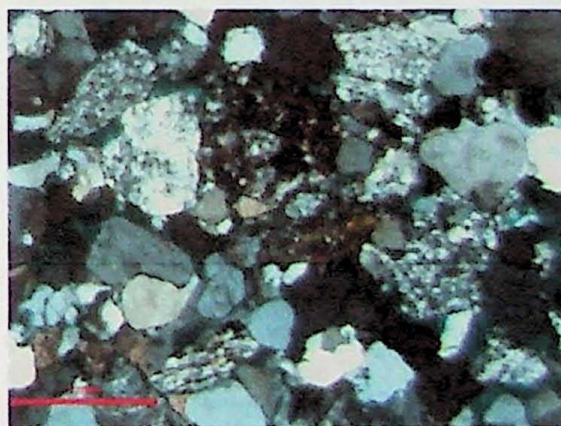
Tabela 06: Caracterização geral das fácies da Formação Varzinha, foram considerados os valores máximos e mínimos encontrados para cada um dos fatores descritos, e também os tipos de contatos, ou empacotamento, cimento e porosidade.

Elem. Arquitetural	Granulação	Q	F	L	Minerais Acessórios	Empacotamento (Aberto, Fechado)	Tipos de Contato	Cimento	Tipos de Porosidade
CE	0,2-2,0 mm	80%	4-10%	7-16%	Bt, Ms	1A, 1F	Planar a Suturado	Carb, Óxido Fe	Prim, sec
FA	0,1 -2mm	55-82%	7-15%	5-30%	Ms, Bt, turm	4A, 3F	Tang, Sut, Planar, Conc-Conv	Carb, Óxido Fe, Qzo	Prim, sec, ausente
LA	0,1-2,5mm	40-85%	1-15%	8-45%	Turm, Mnz, Ms, Bt, Ept	4A, 7F	Conc-conv, Sut, Plan, Tang	Carb, Óxido Fe, Qzo	Prim, sec, ausente
PE	0,3-0,8mm	70%	10%	20%	Biotita	F	Tangencial	Quartzo, Carbonática	Prim, sec

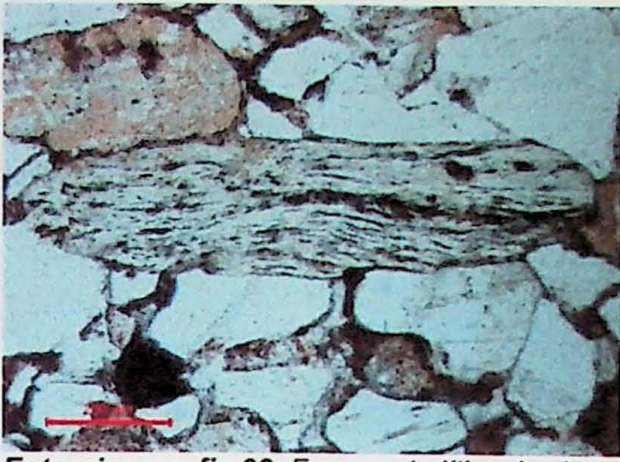
Tabela 07: Caracterização geral dos elementos arquitetural da Formação Varzinha, foram considerados os valores máximos e mínimos encontrados para cada um dos fatores descritos, e também os tipos de contatos, ou empacotamento, cimento e porosidade.



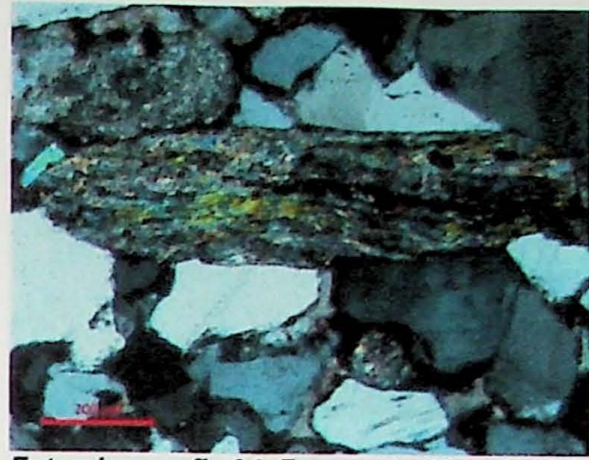
Fotomicrografia 01: Fragmento lítico de quartzo milonito na parte superior a esquerda e de granitos, no centro (Lâmina TP-17B-H1).



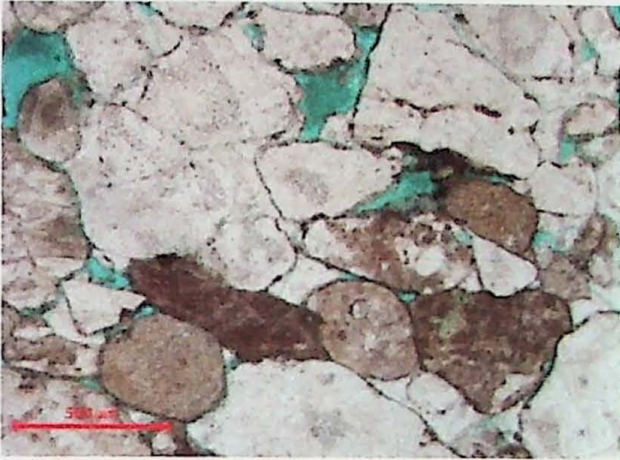
Fotomicrografia 02: Fragmento lítico de quartzo milonito na parte superior a esquerda e de granitos, no centro, com polarizadores cruzados (Lâmina TP-17B-H1).



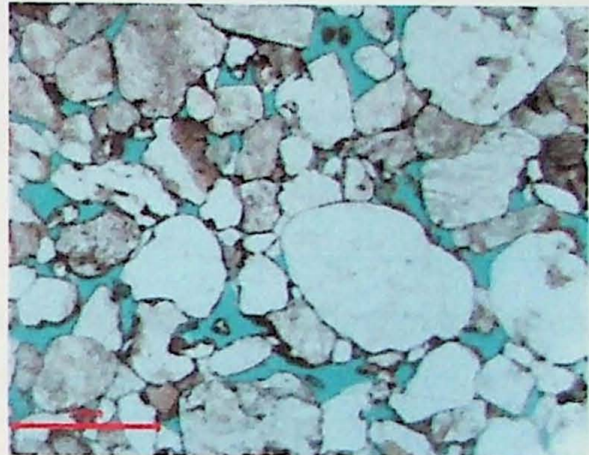
Fotomicrografia 03: Fragmento lítico de xisto (Lâmina TP-19-B2).



Fotomicrografia 04: Fragmento lítico de xisto (Lâmina TP-19-B2), com polarizadores cruzados.



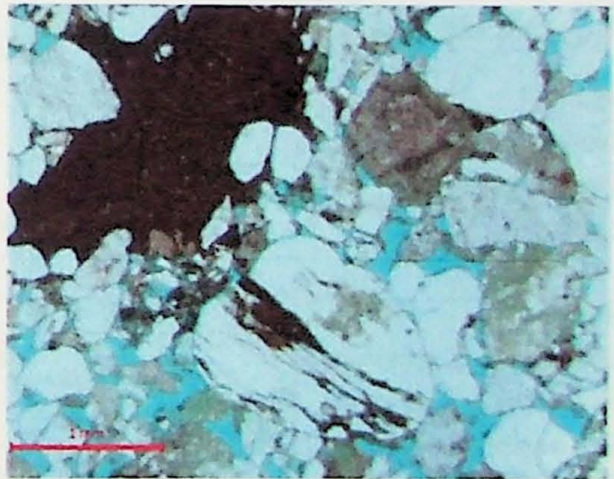
Fotomicrografia 5: Com os polarizadores descruzados, é possível observar alguma porosidade secundária no canto superior esquerdo, onde houve impregnação pelo corante.



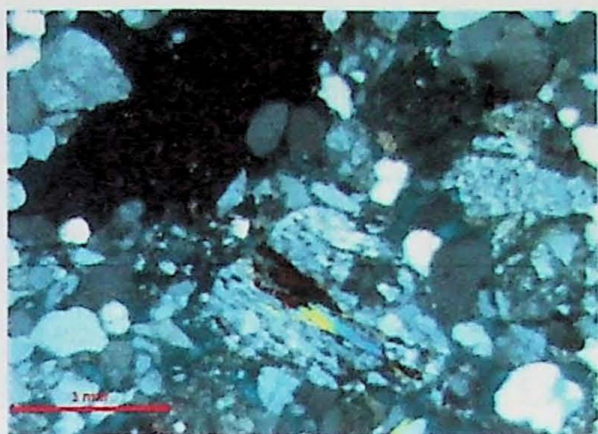
Fotomicrografia 6: Observa-se neste arenito o empacotamento aberto, gerador de grandes porosidades (Lâmina TP-39A2-H1)



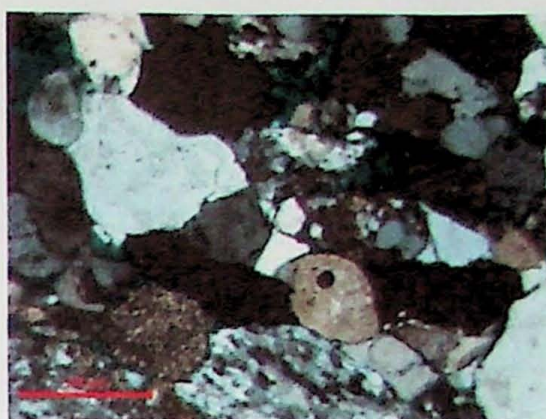
Fotomicrografia 07: Diferenças de porosidade devido a cimentação carbonática na granulação mais fina. Observa-se também presença de óxidos de Fe, como película nos grãos (Lâmina TP-29X-H1)



Fotomicrografia 08: Notar cimentação por óxidos de Fe, além dos fragmentos líticos de quartzo milonito e granito (Lâmina TP-26-H1). É possível observar a porosidade intergranular deste arenito.



Fotomicrografia 09: Notar cimentação por óxidos de Fe, além dos fragmentos líticos de quartzo milonito e granito, com polarizadores cruzados (Lâmina TP-26-H1).



Fotomicrografia 10: Sobrecrescimento de quartzo nos poros, evidencia a cimentação pós compactação (Lâmina TP-17B-H1).

7.2.2.2. Formação Pedra Pintada

Para este afloramento, foram descritas no total 9 lâminas petrográficas, uma caracterização sucinta de suas características será apresentada na tabela 08, abaixo:

Ponto	Porosidade (%)	Granulometria	Qtz	Felds.	Frag. líticos	Outros minerais	Empacotamento	Contato Entre os Grãos	Cimentação	Tipo de Porosidade
TP-47-B2=H1	-	0,2-0,4mm	60%	10%	30%	-	Fechado	Planar a Surturado	Quartzo, óxido de Fe, Carbonato	ausente
TP-49-A1-H1	0,939	0,5-0,7mm	60%	15%	15%	Muscovita (4%), Biotita (3%), Opacos (3%)	Fechado	Tangencia I a surturado	Quartzo e Óxidos de Fe	Primária e Secundária (dissolução de cimento)
TP-51-A2-H1	6,2	0,5-0,7mm	55%	10%	35%	Muscovita (2%)	Aberto	Tangencia I a surturados	Carbonática, quartzo	Primária e secundária (dissolução de grãos e cimento)
TP-53-B1=H1	-	0,1-1mm	70%	10%	20%	-	Fechado	Planar a Surturado	Carbonática, óxido de Fe	Secundária (Dissolução de grãos, baixas taxas)
TP-54A-H1	6,368	0,2-0,5mm	70%	10%	20%	-	Aberto	Planar a Surturado	Carbonática, quartzo	Primária e secundária (dissolução de grãos)
TP-55-C1=H1	5,558	0,1-1mm	60%	10%	30%	-	Aberto	Tangencia I a surturados	Carbonática	Primária e secundária (dissolução de cimento e grãos)
TP-57-A=V	-	0,7-1mm	70%	20%	10%	Muscovita e biotita	Fechado	Tangencia I	Carbonática, óxido de Fe	ausente

TP-60-A1-H2	2,026	0,25-0,7mm	55%	10%	33%	Muscovita (2%)	Aberto	Tangencia I	Carbonática	Primária e secundária (dissolução de grãos)
TP-61-A1-H1	0,051	0,5-1,0mm	55%	15%	25%	-	Aberto	Planar	Carbonática, quartzo, óxidos de Fe	Secundária (dissolução de grãos e cimento em baixas taxas)

Tabela 08: Descrição petrográfica sucinta das lâminas da Formação Pedra Pintada

As rochas deste afloramento são arenitos a litoarenitos, que apresentam granulação fina a média (0,2-0,5mm) e média a grossa (0,5-1,0mm), nota-se esta variação bimodal por tratar-se de um arenito de ambiente deposicional eólico, uma característica coerente desta rocha com o ambiente.

São compostos por quartzo (55-70%), feldspato (10-20%), fragmentos líticos (15-35% de quartzo milonito, granito muito fino, gnaisses), opacos (3%, magnetita ou óxidos de Mn), muscovita (2-5%) e biotita (2%).

Os grãos de quartzo podem aparecer fraturados, resultado da compactação mecânica, e o contato entre os grãos é geralmente tangencial, resultando desse mesmo tipo de compactação, porém podem aparecer contatos planares a suturados, também característicos de compactação mecânica. Os grãos de feldspato por vezes aparecem corroídos devido a interação com fluidos na diagênese, e fraturados devido ao transporte.

As rochas podem apresentar empacotamento fechado e em porções onde há bimodalidade granulométrica, mas no geral é mais observado o empacotamento aberto (Fotomicrografia 11 e 12), essa variação entre os tipos de empacotamento é resultante dos tipos de fácies aos quais cada um dos arenitos está associado.

Apresentam cimentação carbonática que recobre grãos e preenche poros grandes, de modo a formar grãos de calcita com clivagens (Fotomicrografia 13 e 14), há também em alguns locais a substituição de alguns grãos que já foram dissolvidos, formando pseudomorfos. Além disso, está presente cimentação de óxido de Fe, que é observada como uma cutícula nos grãos. Foi pouco observada a cimentação de quartzo nestes arenitos.

Alguns podem apresentar porosidade secundária, devido a corrosão de feldspatos e de grãos de fragmentos líticos, isso é representativo da telodiagênese, que foi mais eficiente nos arenitos eólicos do que nos fluviais, comparativamente.

Podem ser observadas porções da rocha em que ocorreu mais cimentação, devido a granulometrias menores e maior facilidade de dissolução de grãos, e locais com ausência de cimentação, gerando grandes poros formados entre o contato dos grãos maiores.

Comparando as descrições petrográficas com as fácies e consecutivamente elementos arquiteturais (Tabela 09), foi possível observar correlação entre as descrições

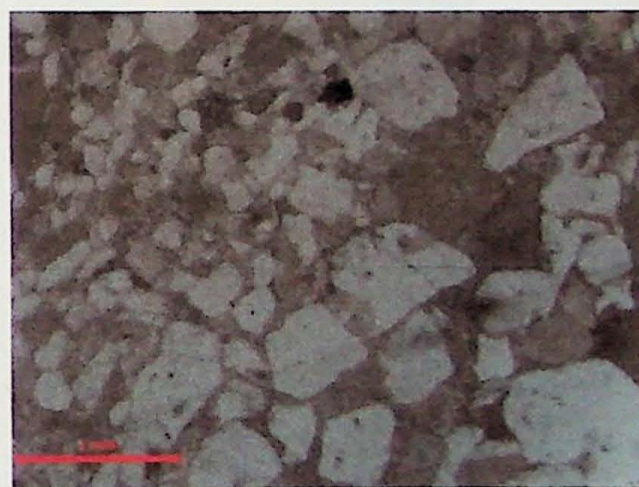
petrográficas e descrições de campo, comparando as porcentagens de QFL (Quartzo, Feldspato, Fragmentos Líticos), observa-se que a fácies de frente de duna apresentam maiores proporções de fragmentos líticos do que a fácies de base das dunas, isso pode ser explicado por conta da interação das frentes de dunas com interdunas úmidas, capazes de transportar mais quartzo e feldspato, e assim diluir as proporções de fragmentos líticos. Os minerais acessórios em geral são os mesmos para toda a rocha. Quanto aos tipos de cimento, estes não são correlacionados com o ambiente deposicional.

Elementos Arquiteturais	Fácies	Granulometria	Q	F	L	Outros minerais	Empacotamento	Contatos Entre os Grãos	Cimentação	Tipo de Porosidade
Base da Duna	Afba	0,1-1mm	55-70%	10-20%	10-33%	Ms, Bt	2A, 4F	3 Plan, 3 Tang, 3 Sut	Qz, Ox. Fe, Carb	Prim, Sec, Aus
Dunas Eólicas	Afca	0,1-1mm	55-70%	10%	20-35%	Ms	3A	3Sut, 2 Tang, 1 Plan	Carb, Qz	Prim, Sec

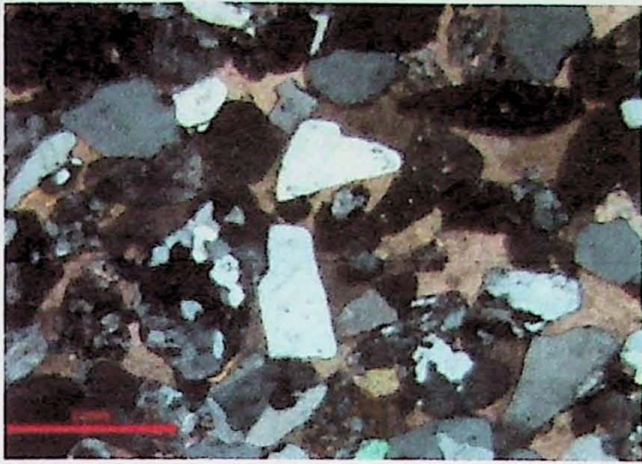
Tabela 09: Caracterização geral das fácies e elementos arquiteturais da Formação Pedra Pintada, foram considerados os valores máximos e mínimos encontrados para cada um dos fatores descritos, e também os tipos de contatos, ou empacotamento, cimento e porosidade.



Fotomicrografia 11: Notar bimodalidade granulométrica deste arenito, depositado a partir de um grain flow/grain fall eólico (Lâmina TP-61A1-H1), polarizadores cruzados. Com menores granulações o empacotamento é mais fechado do que com maiores. Em ambos a porosidade é fechada pela presença de cimentação de carbonato.



Fotomicrografia 12: Notar bimodalidade granulométrica deste arenito, depositado a partir de um grainflow/grainfall eólico (Lâmina TP-61A1-H1). Com menores granulações o empacotamento é mais fechado do que com maiores. Em ambos a porosidade é fechada pela presença de cimentação de carbonato.



Fotomicrografia 13: Arenito eólico, com cimentação calcítica bastante evidente, de modo a formar clivagens neste cimento, devido também ao tamanho original dos poros (Lâmina TP-61-A1-H1)



Fotomicrografia 14: Notável cimentação calcítica responsável pelo fechamento dos poros (Lâmina TP-51-A2-H1).

7.3. Análises de Permeabilidade

Os valores de permeabilidades obtidos em campo, foram coletados pelo equipamento TinyPerm II, mostrado na figura 12.



Figura 12: Permeâmetro de campo, TinyPerm.

Para iniciar a coleta de dados, puxa-se o pistão na parte traseira do equipamento, e depois empurra-se este mesmo pistão sobre uma superfície de rocha plana. Ao empurrar o pistão do equipamento sobre a rocha, este procedimento gera um vácuo que “suga” o ar que pode circular pelo afloramento, e visualiza-se a diminuição do vácuo através do leitor.

Foram coletados aproximadamente três valores de permeabilidade para cada local, de modo que foi utilizada a média dos valores. Os dados coletados por este equipamento são apresentados em uma tabela de escala logarítmica, e são transformados para valores de mDarcy pela equação 1, em que, T é o valor lido no equipamento, e K é o valor de permeabilidade.

$$T = -0.8206 \times \log_{10}(K) + 12,8737 \text{ (Equação 1)}$$

Os valores obtidos estão representados pela segunda coluna da Tabela 10, e os valores já corrigidos estão na quarta coluna da mesma tabela.

PONTO	VALORES (T) DE PERMEABILIDADE			MÉDIA	VALORES DE PERMEABILIDADE CORRIGIDOS (K=mD)
TP01	11.28	11.22	11.18	11,226	101,84062
TP02	11.93	11.70	11.98	11,87	16,7158866
TP03	10.08	10.08	10.81	10,323	1283,32119
TP04	12.07	11.90	11.91	11,96	12,9853473
TP05	11.60	11.45	11.40	11,483	49,5148604
TP06	10.64	10.75	10.74	10,71	433,240674
TP07	12.58			12,58	2,27986351
TP08	12.34			12,34	4,4707231
TP09	10.81	10.71	10.69	10,736	402,758847
TP10	10.94	10.94	10.93	10,936	229,784635
TP11	11.46			11,46	52,8157962
TP12	12.06			12,06	9,80824981
TP13	11.64	11.92	11.87	11,81	19,7809274
TP14	11.75	11.93	11.83	11,836	18,3891864
TP15	11.43	11.51	11.48	11,473	50,9239127
TP16	11.78			11,78	21,5181665
TP17	11.76			11,76	22,7602839
TP18	11.57	11.74	11.89	11,733	24,5516356
TP19	12.14			12,14	7,83613441
TP20	10.31	10.32	10.36	10,33	1258,36034
TP21	11.69	11.56	11.39	11,546	41,4918182
TP22	11.38	11.33	11.34	11,527	43,7639241
TP23	11.83			11,83	18,7014051
TP24	11.52	11.47	11.63	11,54	42,1962823
TP25	10.76	10.82	10.76	10,78	355,980154
TP26	10.71	10.71	10.80	10,74	398,263592
TP27	10.43	10.34	10.45	10,406	1016,69306
TP28	11.21	11.32	11.45	11,293	84,386594
TP29	11.48	11.38	11.29	11,383	65,5537607
TP30	-		-	-	-
TP31	12.22			12,22	6,26054635

PONTO	VALORES (t) DE PERMEABILIDADE			MÉDIA	VALORES DE PERMEABILIDADE CORRIGIDOS (K=mD)
TP32	11.98			11,98	12,2766863
TP33	12.47			12,4	3,10425296
TP34	12.27			12,27	3,10425296
TP35	12.30			12,3	5,00175705
TP36	12.23			12,23	6,08731856
TP37	11.99			11,99	11,9369934
TP38	12.02			12,02	10,9732769
TP39	10.49	10.47	10.46	10,47	842,446414
TP40	11.34	11.52	11.64	11,5	47,2083705
TP41	11.98			11,98	12,2766863
TP42	12.15			12,15	7,61931049
TP43	11.74	11.83	11.74	11,77	22,1305124
TP44	11.97			11,97	12,6260459
TP45	11.42	11.30	11.33	11,35	71,9137753
TP46	12.07			12,07	9,53685793
TP47	11.87	12.06		11,96	12,8044364
TP48	12.24			12,24	5,91888394
TP49	11.46	11.61	11.70	11,59	36,6727235
TP50	11.41	11.53	11.48	11,47	51,3543961
TP51	11.35	11.41	11.49	11,41	59,7562223
TP52	12.16			12,16	7,40848603
TP53	11.93	11.83	12.16	11,97	12,6260459
TP54	11.54	11.56	11.70	11,6	35,6579982
TP55	11.35	11.36		11,35	70,9118778
TP56	12.64			12,64	1,92660027
TP57	11.79			11,79	20,9227641
TP58	11.71			11,71	26,188384
TP59	11.10	11.14	11.00	11,08	153,40504
TP60	11.84	12.03	11.85	11,90	15,1098126
TP61	11.60	11.56	11.57	11,57	38,1420342

Tabela 10: Dados de permeabilidade obtidos com TinyPerm e corrigidos

Além das medidas tomadas em campo, também foram enviadas 10 amostras para o Laboratório Weatherford, para análises de porosidade e permeabilidade a gás, e com a obtenção destes dados, foi realizada mais uma correção para os valores de permeabilidade, que são considerados mais próximos do real. O procedimento de correção consistiu em

verificar a existência de correlação linear entre os dados, foram retirados os dados espúrios, e a partir disso gerou-se a equação desta curva de correlação. Esta apresentada a equação 2, resultante destes procedimentos.

$$Y = - 0,216 \ln (x) + 11,567 \text{ (Equação 2)}$$

Desta equação, x é o novo valor obtido pela correção, e y é o valor de leitura no TinyPerm. Com essa correção, os novos valores obtidos foram (tabela 11):

PONTO	VALORES DE PERMEABILIDADE CORRIGIDOS (K=mD)	Nova Permeabilidade (y=-0,216ln(x)+11,567)
TP01	101,8406197	4,848666427
TP02	16,71588665	0,245912923
TP03	1283,321187	317,1133431
TP04	12,98534733	0,16211579
TP05	49,51486044	1,475340615
TP06	433,2406737	52,8571289
TP07	2,279863508	0,009188388
TP08	4,470723103	0,027911857
TP09	402,758847	46,86270808
TP10	229,7846346	18,56533805
TP11	52,81579622	1,641105944
TP12	9,808249807	0,102038263
TP13	19,78092739	0,324652467
TP14	18,38918641	0,287834283
TP15	50,92391265	1,54524919
TP16	21,51816654	0,373024525
TP17	22,7602839	0,409213392
TP18	24,55163556	0,463699522
TP19	7,83613441	0,070455232
TP20	1258,360336	307,00126
TP21	41,49181822	1,102105259
TP22	43,76392412	1,203441279
TP23	18,70140513	0,295941762
TP24	42,19628234	1,133148453
TP25	355,9801535	38,22609962
TP26	398,2635924	46,00286622
TP27	1016,693065	215,9398723
TP28	84,38659403	3,555581131
TP29	65,55376071	2,343983545

PONTO	VALORES DE PERMEABILIDADE CORRIGIDOS (K=mD)	Nova Permeabilidade (y=-0,216ln(x)+11,567)
TP30	-	
TP31	6,260546346	0,048647826
TP32	12,27668634	0,147779048
TP33	3,104252965	0,015290011
TP34	3,104252965	0,038595113
TP35	5,001757053	0,033590281
TP36	6,08731856	0,046446952
TP37	11,93699343	0,141093381
TP38	10,97327692	0,122797058
TP39	842,4464143	158,3511151
TP40	47,20837054	1,363677624
TP41	12,27668634	0,147779048
TP42	7,619310487	0,067267769
TP43	22,13051241	0,390700181
TP44	12,62604594	0,154781514
TP45	71,91377529	2,730895643
TP46	9,536857934	0,097421953
TP47	12,80443642	0,158406211
TP48	5,918883944	0,044345646
TP49	36,67272346	0,898991696
TP50	51,35439605	1,566860717
TP51	59,75622231	2,011888985
TP52	7,408486029	0,06422451
TP53	12,62604594	0,154781514
TP54	35,65799817	0,858320438
TP55	70,91187782	2,66840651
TP56	1,926600266	0,006959883
TP57	20,92276414	0,356148533
TP58	26,18838404	0,515799561
TP59	153,4050405	9,531762374
TP60	15,10981262	0,208160795
TP61	38,14203417	0,959189457

Tabela 11: Dados de permeabilidade corrigidos após análises com dados laboratoriais

7.4. Análises de Porosidade

A descrição de porosidade de lâminas foi realizada a partir das rotinas de análise de cores das fotomicrografias destas, em que foram tiradas cerca de 25 fotos por lâmina. Foi utilizada a lente de 2,5x de aumento, e as fotos foram tiradas com espaçamento de 3mm entre elas na horizontal e 3mm na vertical, deste modo que a sobreposição de fotos foi mínima.

A análise de porosidade por imagens é realizada com o software LAS (Leica Application Suite), que é capaz de distinguir nas fotografia retiradas, alguns tons de azul selecionados, que estão presentes devido a impregnação prévia. A partir disso, este mesmo software é capaz de fazer a medição por área de imagem com aquela mesma coloração, e assim para todas as outras imagens, de modo a gerar uma porcentagem de áreas medidas para toda a lâmina, e este valor é o que caracteriza a porosidade por imagem.

Os valores obtidos para as rochas em questão estão mostrados na Tabela 12, abaixo:

Ponto	Valor de Porosidade (%)	Porosidade Laboratório
TP-01=V	1,123	-
TP-03A	-	5,2
TP-09B	0	5,2
TP-12-A1-H1	0,003	5,5
TP-14A-H1	0,375	-
TP-16-B=V	2,168	8,2
TP-17B-H1	7,924	-
TP-21-B1=H1	3,013	-
TP-24-A1-H1	0,019	-
TP-25-B=H1	14,174	13,5
TP-26-H1	8,551	-
TP-28A-H1	5,36	10,6
TP-29X-H1	3,108	-
TP-39-A2-H1	7,114	-
TP-40-A1-H1	0,019	2,9
TP-47-B2=H1	0	9,7
TP-49-A1-H1	0,939	-
TP-51-A2-H1	6,2	-
TP-54A-H1	6,368	-
TP-55-C1=H1	5,558	10,4
TP-60-A1-H2	2,026	-
TP-61-A1-H1	0,051	6,9

Tabela 12: Dados de porosidade das lâminas analisadas

Além dos valores obtidos por análise de imagens, também foram feitos testes laboratoriais para obtenção de porosidade, deste modo foi possível corrigir os valores a partir de correlações lineares e obtenção das devidas equações, do mesmo modo como foi realizada a correção dos dados de permeabilidade, e estes dados estão apresentados no gráfico 1, abaixo:

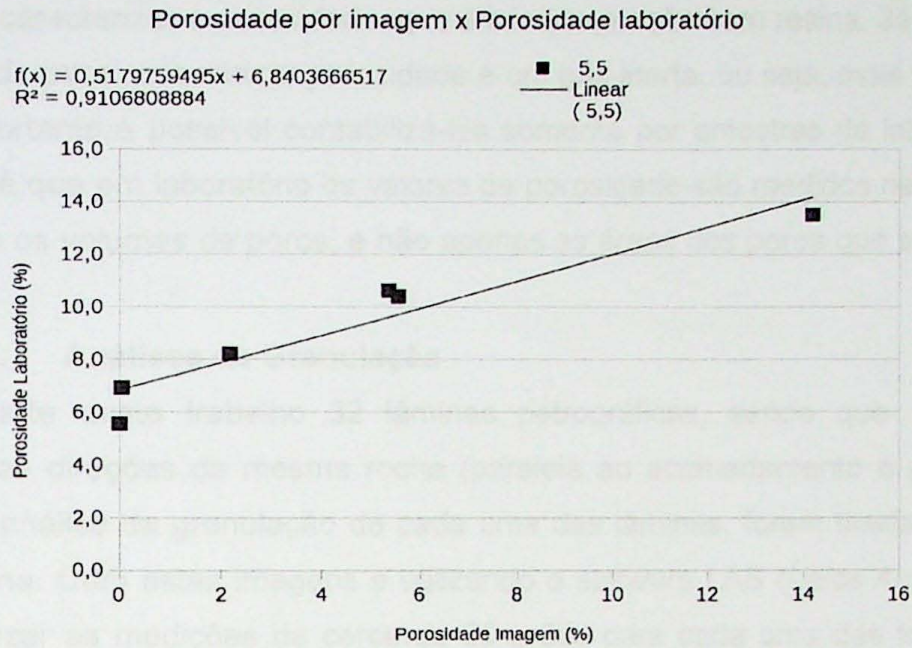


Gráfico 01: Porosidade por imagem x Porosidade Laboratório

A equação utilizada para a conversão dos outros valores está representada abaixo, em que x são os valores obtidos pela análise de imagens, e f(x) são os valores estimados por técnicas laboratoriais.

$$f(x) = 0,517975949x + 6,8403666517$$

Ponto	Valor de porosidade (%)	Valores corrigidos porosidade
TP-01=V	1,123	7,422182087
TP-02-B=H1	-	6,840366652
TP-03A	-	5,192876653
TP-07-D=H1	-	6,840366652
TP-09B	-	5,192876653
TP-11=H1	-	6,840366652
TP-12-A1-H1	0,003	6,841772013
TP-13-B2=H1	-	6,840366652
TP-14A-H1	0,375	7,034716853
TP-16-B=V	2,168	7,963327572
TP-17B-H1	7,924	10,94504248
TP-19-B2-H1	-	6,840366652
TP-21-B1=H1	3,013	8,401026818
TP-22=H1	-	6,840366652
TP-24-A1-H1	0,019	6,850225207

Ponto	Valor de Porosidade (%)	Valores corrigidos porosidade
TP-26-H1	8,551	11,2693913
TP-28A-H1	5,36	9,61657623
TP-29X-H1	3,108	8,45028
TP-33-B=H1	-	6,84036665
TP-34-B=H1	-	6,84036665
TP-39-A2-H1	7,114	10,5254156
TP-40-A1-H1	0,019	6,85002752
TP-47-B2=H1	-	9,7
TP-49-A1-H1	0,939	7,32688985
TP-51-A2-H1	6,2	10,0515838
TP-53-B1=H1	-	6,84036665
TP-54A-H1	6,368	10,1386596
TP-55-C1=H1	5,558	9,71936349
TP-57-A=V	-	6,84036665
TP-60-A1-H2	2,026	7,88961068
TP-61-A1-H1	0,051	6,86668753

Tabela 13: Novos valores obtidos para porosidade

Os novos valores estão apresentados na terceira coluna da tabela 13.

Segundo esta nova equação, rochas em que antes não era observada porosidade,

agora passam a ter um valor mínimo de 6,8%, isso ocorre pois existem nestas rochas microporosidades que não são identificadas em lâminas petrográficas devido ao método utilizado para caracterizar a porosidade, que é a impregnação com resina. Já em laboratório, o fluido utilizado para caracterizar porosidade é um gás inerte, ou seja, mais penetrativo nos microporos, portanto é possível contabilizá-los somente por amostras de laboratório. Outro fator também é que em laboratório os valores de porosidade são medidos nas 3 dimensões, contabilizando os volumes de poros, e não apenas as áreas dos poros que são visualizadas nas imagens.

7.5. Análises de Granulação

São parte deste trabalho 32 lâminas petrográficas, sendo que algumas foram estudadas duas direções da mesma rocha (paralela ao acamadamento e perpendicular a este). Para a análise da granulação de cada uma das lâminas, foram tiradas em média 25 fotos por lâmina. Com estas imagens e utilizando o software LAS (*Leica Application Suite*), foi possível fazer as medições de cerca de 30 grãos para cada uma das fotos, sendo por volta de 800 grãos por lâmina, e no total 24 mil grãos medidos. Para realizar as comparações de granulação com porosidade e permeabilidade, foi utilizado o valor de mediana (D50), que representa o valor do meio de uma distribuição normal, não foi utilizada a média por esta não ser uma medida robusta, deste modo seria influenciada por valores de granulometria maiores e porém menos expressivos.

Os valores das medianas estão apresentados na tabela 14 abaixo.

Amostras	Mediana da Granulação (micrometros)	Valores corrigidos porosidade
TP-01	473,2119957	7,42
TP-02	288,1554514	6,84
TP-07	258,6181665	6,84
TP-11=H1	369,1620526	6,84
TP-12	205,6013464	6,84
TP-13	310,7734971	6,84
TP-14	280,9401812	7,03
TP-16	481,9230134	7,96
TP-17	356,3355615	10,95
TP-19	325,9483886	6,84
TP-21	309,8528398	8,40
TP-22	312,5380209	6,84
TP-24	308,7874118	6,85
TP-25	341,4243522	14,18
TP-26	316,4041061	11,27
TP-28	251,9238271	9,62
TP-29	250,0194189	8,45
TP-33	217,1729449	6,84
TP-34	353,2481156	6,84
TP-39	413,9744408	10,53
TP-40	314,7850241	6,85
TP-47	323,1662035	9,70
TP-49	397,3392518	7,33
TP-51	360,0834256	10,05
TP-53	418,8141245	6,84
TP-54	386,8891906	10,14
TP-55	379,3413693	9,72
TP-57	327,1128609	6,84
TP-60	346,7013848	7,89
TP-61	505,4635428	6,87

Tabela 14: Medianas das medidas de granulação

7.6. Correlações

Com a coleta dos dados mostrados acima, e feitas as devidas correções, serão apresentados agora gráficos que tentam correlacionar as variáveis presentes neste trabalho, são elas: porosidade, permeabilidade, granulação, elementos arquiteturais e fácies.

→ Porosidade x Permeabilidade:

Foram utilizados ao todo 30 valores de cada variável para verificar a existência de correlação.

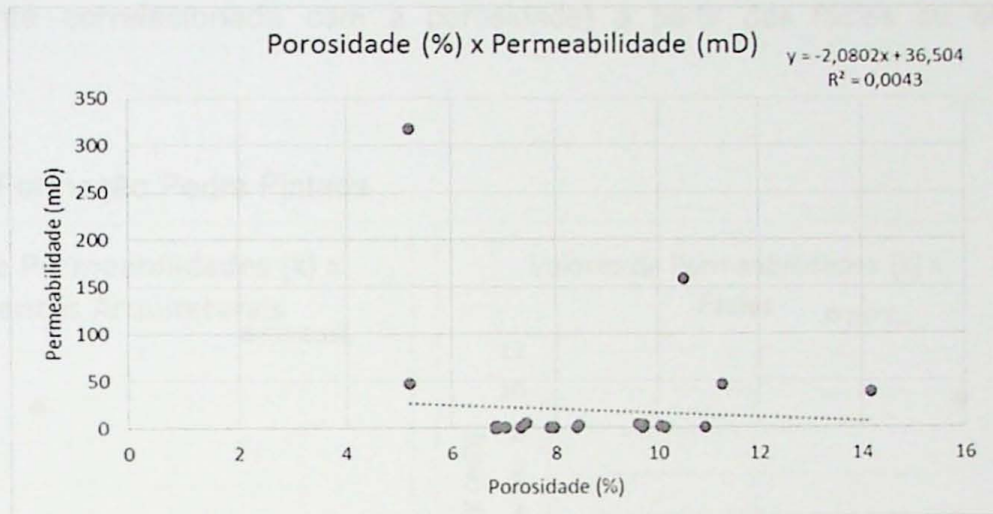


Gráfico 02: Porosidade x Permeabilidade

A partir do gráfico 02, observa-se que não existe correlação entre os dados de porosidade e permeabilidade, porém é sabido também que o que controla a permeabilidade é a existência de interconectividade entre os poros. Portanto, obteve-se um resultado esperado para este tipo de correlação, ou seja, ausência da mesma.

→ Permeabilidade x Fácies e Permeabilidade x Elementos Arquiteturais:

- Formação Varzinha

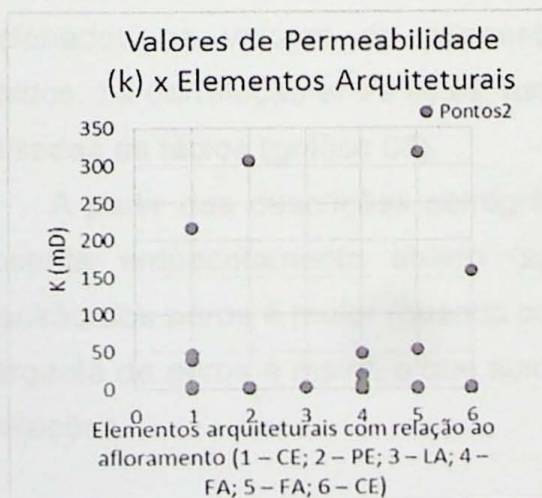


Gráfico 03: Permeabilidade x Elementos Arquiteturais (Fm. Varzinha)

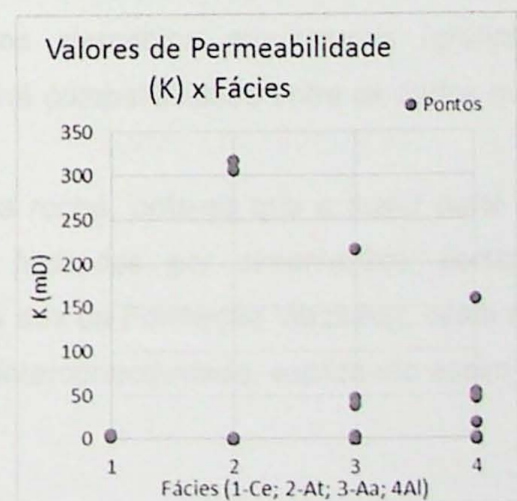


Gráfico 04: Permeabilidade x Fácies (Fm. Varzinha)

Para a Formação Varzinha, analisando os dados de permeabilidade comparativos tanto aos elementos arquiteturais (gráfico 3) quanto às fácies (gráfico 4), não é notável correlação entre eles.

A partir de lâminas petrográficas, foi identificado que para as rochas desta formação, há um fator muito importante de fechamento de poros, que é a cimentação. E a abertura de novos poros só é encontrada na dissolução de cimentos e poucas vezes a partir da porosidade primária. Deste modo não é possível definir um controle da permeabilidade (que está diretamente correlacionada com a porosidade) a partir das fácies ou elementos arquiteturais.

- Formação Pedra Pintada

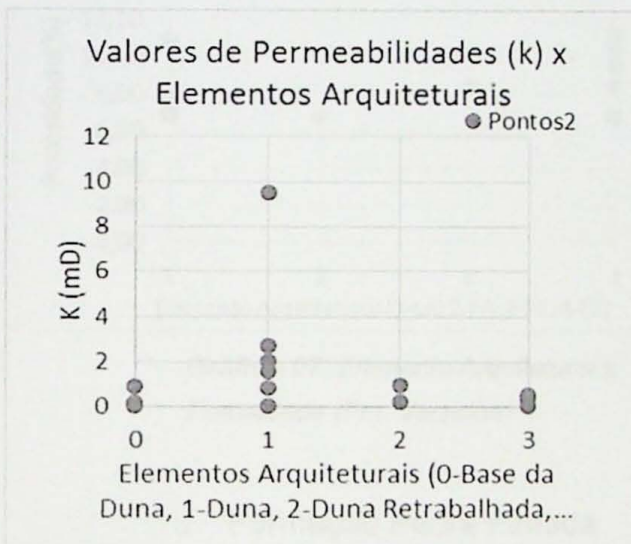


Gráfico 05: Permeabilidade x Elementos Arquiteturais (Fm. Pedra Pintada)

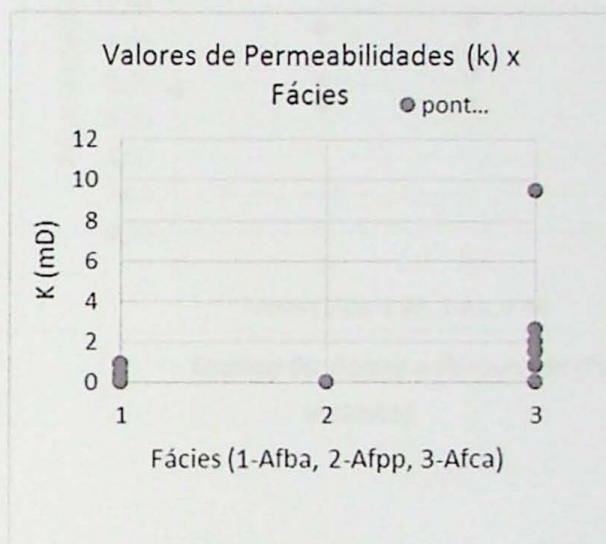


Gráfico 06: Permeabilidade x Fácies (Fm. Pedra Pintada)

Para a Formação Pedra Pintada, unidade eólica, foi possível observar que se relacionados os valores de permeabilidade aos elementos arquiteturais (gráfico 05) definidos, há correlação entre estes, assim como há compatibilidade entre os dados quando analisadas as fácies (gráfico 06).

A partir das descrições petrográficas desta rocha, nota-se que a maior parte delas apresenta empacotamento aberto (apesar de fechados por cimentação), portanto a dimensão dos poros é maior (quando comparados aos da Formação Varzinha), deste modo, a garganta de poros é maior, o que aumenta sua interconectividade, explicando assim estas correlações.

→ Porosidade x Fácies e Porosidade x Elementos Arquiteturais

- Formação Varzinha

Os gráficos de correlação apresentados abaixo são relativos ao afloramento da Formação Varzinha. Verifica-se que as variações de valores de porosidade, tanto para

elementos arquiteturais (gráfico 07) quanto para fácies (gráfico 08), tem dispersão de valores próximo a 50%, ou seja, há muita variação entre os valores para a mesma característica analisada.

Deste modo não existe homogeneidade de porosidades para a Formação Varzinha como um todo, portanto não existe correlação entre valores de porosidade e fácies, isso pode ser justificado pelos altos níveis de cimentação presentes na rocha.

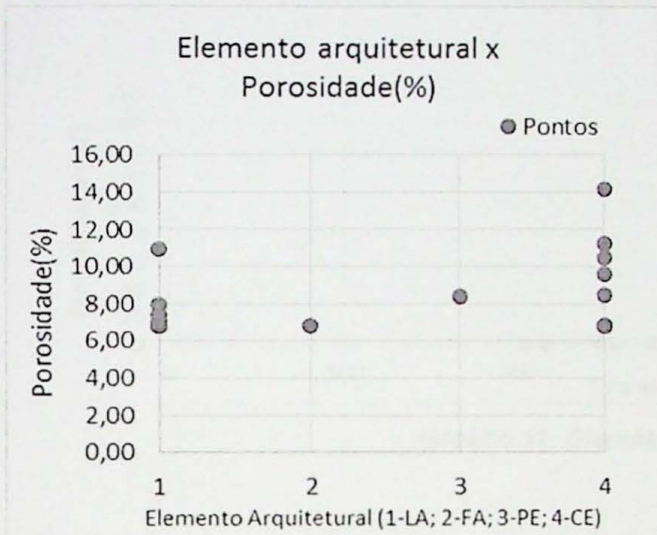


Gráfico 07: Elemento Arquitetural x Porosidade (Fm. Varzinha)

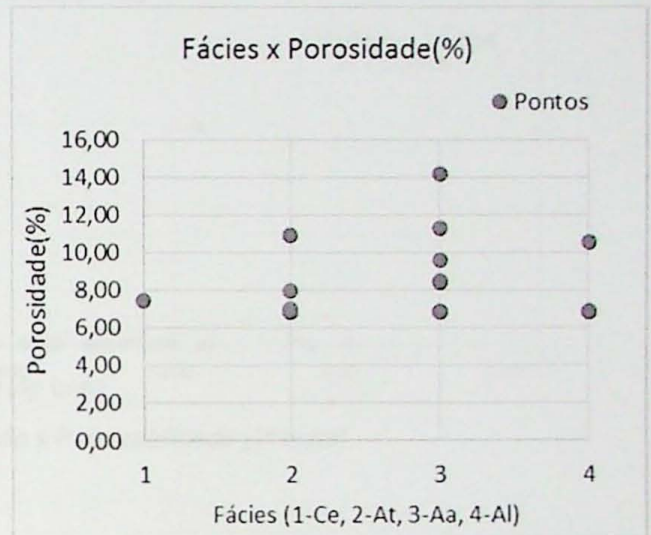


Gráfico 08: Fácies x Porosidade (Fm. Varzinha)

o Formação Pedra Pintada

Esta correlação também foi testada para a Formação Pedra Pintada (gráficos 9 e 10), e para esta também foi observada correlação entre estes valores. Naturalmente a correlação positiva é esperada, porém neste caso, como há muita cimentação que fecha os poros destas rochas, os valores não necessariamente estão associados às estruturas primárias da rocha.

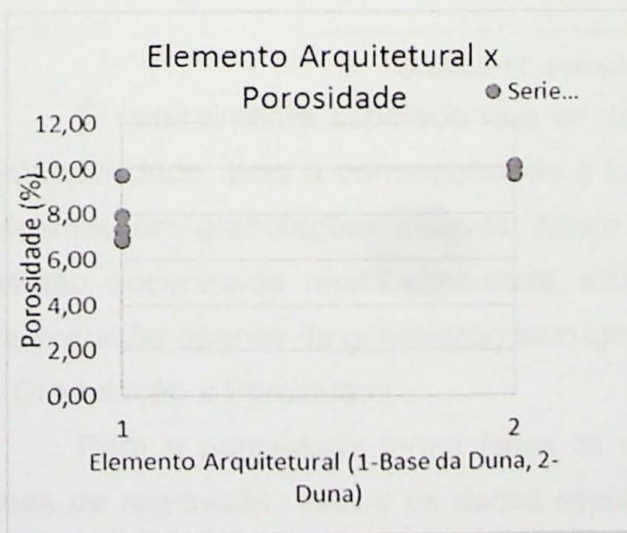


Gráfico 09: Elemento Arquitetural x Porosidade (Fm. Pedra Pintada)

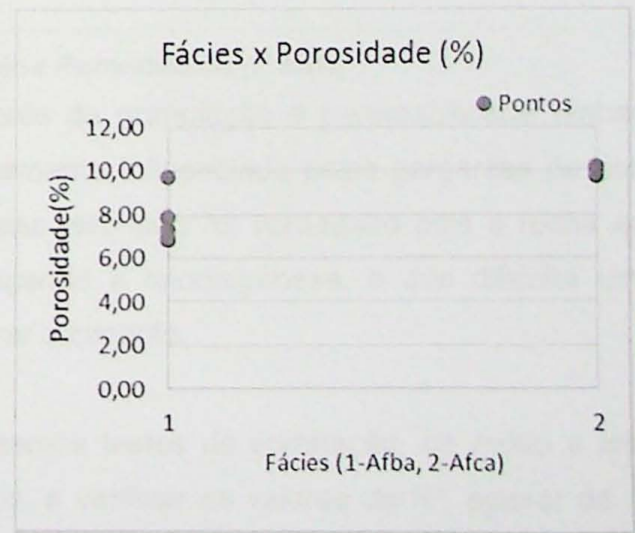


Gráfico 10: Fácies x Porosidade (Fm. Pedra Pintada)

→ Granulação x Permeabilidade

O gráfico que correlaciona granulação com permeabilidade está representado abaixo (gráfico 11), assim como a linha de regressão que representaria sua curva, e o valor de R^2 (coeficiente de correlação). Obteve-se um valor de R^2 muito pequeno, para isso retirou-se os valores muito discrepantes na tentativa de uma melhor correlação (gráfico 12), porém estes valores de R^2 continuaram muito próximos de 0.

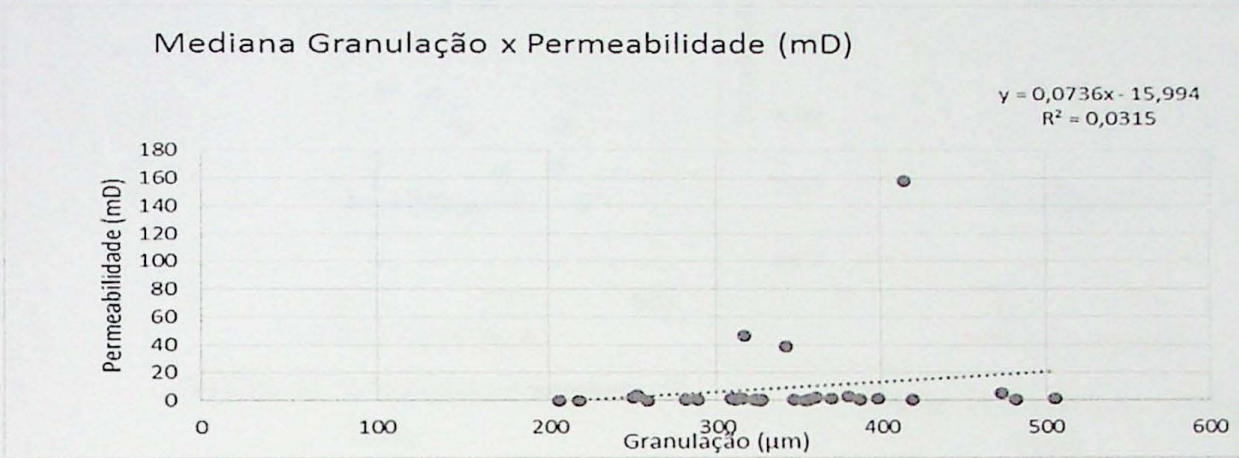


Gráfico 11: Granulação x Permeabilidade (1º teste)

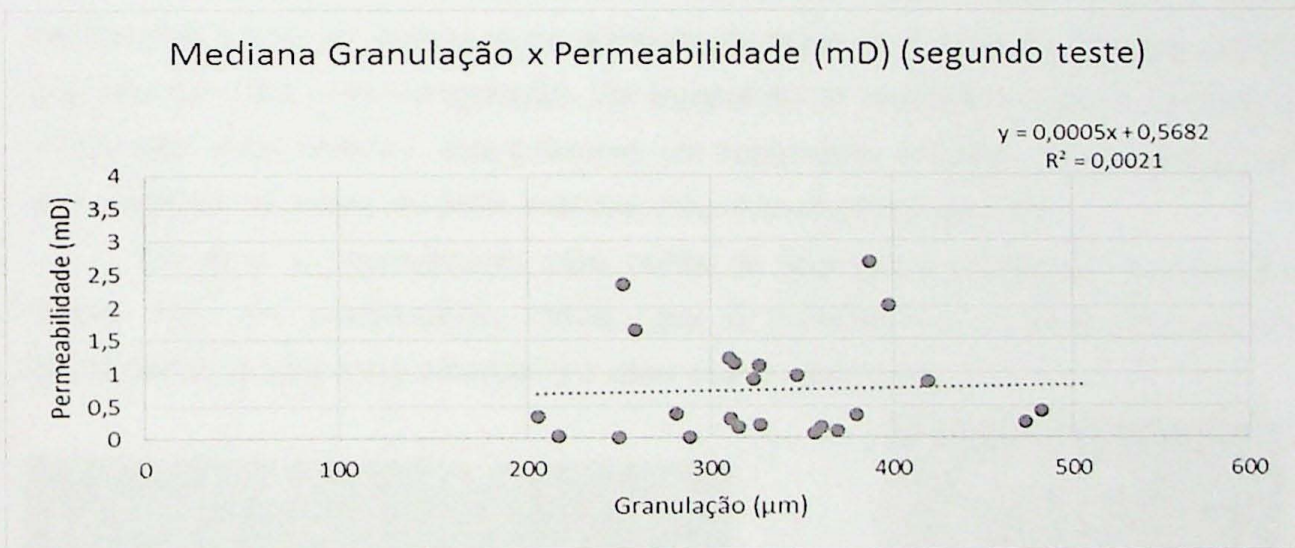


Gráfico 12: Granulação x Permeabilidade (2º teste)

É naturalmente esperado que os valores de granulação e permeabilidade tenham compatibilidade, pois a permeabilidade é fortemente influenciada pelas gargantas de poro presentes em granulações maiores. Neste caso isso não foi verdadeiro pois a rocha em questão encontra-se muito cimentada, alcançando a telodiagênese, o que dificulta uma interpretação apenas de granulação sem ignorar o cimento.

→ Granulação x Porosidade

Para a porosidade foram feitos os mesmos testes de correlação, de modo a criar linhas de regressão, excluir os dados espúrios, e verificar os valores de R^2 , apesar de na literatura não ser descrito que a correlação é esperada. Porém confirmou-se que os valores de porosidade também não tem correlação com a granulação, estes dados estão

apresentados nos gráficos 13 e 14, abaixo:

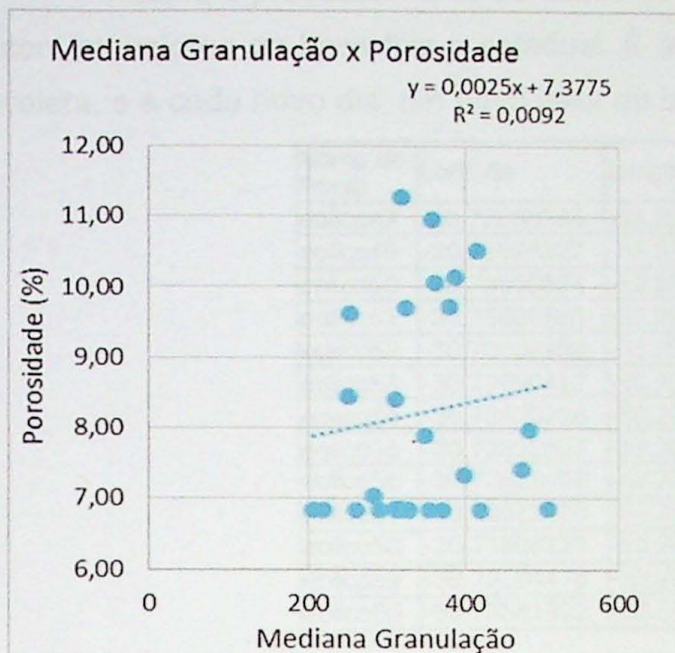


Gráfico 13: Granulação x Porosidade (1º Teste)

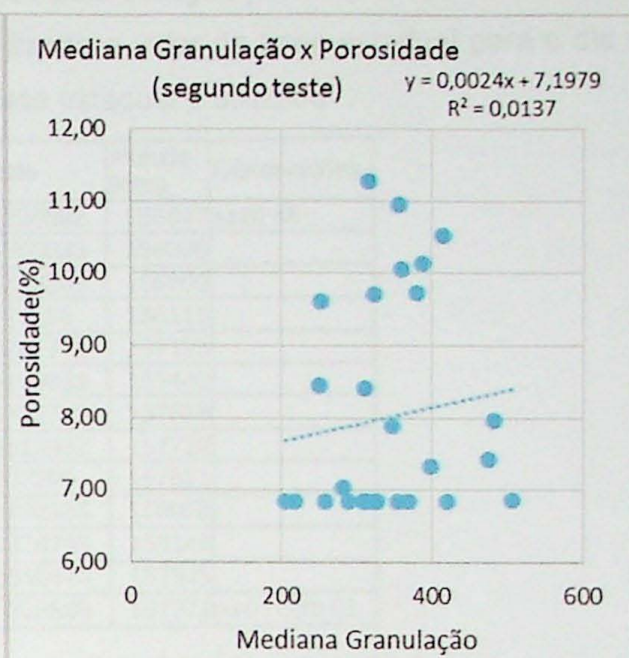


Gráfico 14: Granulação x Porosidade (2º Teste)

7.7. Dados DGPS

O funcionamento do aparelho Trimble 5700, utilizado para coletar a localização precisa das amostras, baseia-se na obtenção de dados de localização com três pontos, para que seja possível uma triangulação. Os equipamentos necessários para a obtenção destes dados são: duas antenas, dois coletores, um controlador, um tripé, um monopé, fita métrica e os respectivos cabos de cada uma das máquinas citadas (figura 13)

Ou seja, o procedimento para coleta de dados é a montagem de uma base fixa (figura 14), um equipamento móvel (que é colocado na posição das amostras no afloramento) e uma base estadual (no caso a de Santa Maria).



Figura 13: Equipamentos utilizados para montar a estação total. Constam antenas, base receptora e rover da marca Trimble 5700.

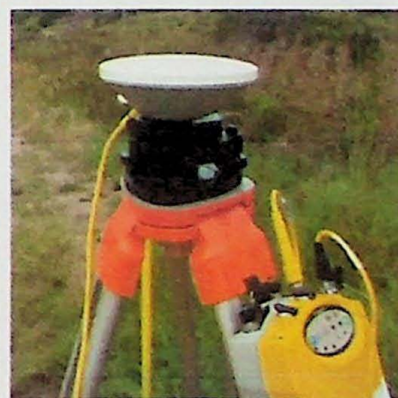


Figura 14: Base receptora do DGPS, montada e em uso.

Os valores coletados pelo equipamento móvel necessitam de no mínimo 5 satélites para serem lidos, e ficam expostos ao recebimento de dados por no mínimo 5 minutos. A base fixa (figura 15) coleta dados durante todo o tempo de leitura dos valores móveis, e a base estadual trata-se de uma base maior que coleta dados durante 24 horas, todos os dias.

Assim, o processamento de dados se faz pela triangulação daquele ponto amostrado com os valores da base fixa e estadual. É utilizado o valor da base estadual para o dia da coleta, e a cada novo dia, um novo valor da base estadual é utilizado.

Nome do Ponto	Latitude	Longitude	Altitude (mm)	Observações
eolico47	-30.73698384	-53.20256392	155647	junto 48
eolico49	-30.73694327	-53.20260033	156008	
eolico50	-30.73690524	-53.20263268	156209	
eolico51	-30.73680585	-53.2027186	156115	
eolico52	-30.73662939	-53.20287775	157195	
eolico53	-30.73650412	-53.20299036	157440	
eolico54	-30.73635216	-53.20312748	157619	
eolico55	-30.73632657	-53.20315337	157732	
eolico56	-30.73623458	-53.2032306	157821	
eolico57	-30.73612308	-53.20333185	158058	
eolico58	-30.73608225	-53.20336765	158146	
eolico59	-30.73594475	-53.20348474	157945	
eolico60	-30.73581922	-53.20359589	157373	junto com 61

Tabela 15: Dados corrigidos com Base Estadual de Santa Maria.

Com o programa *Trimble Business Center* os dados podem ser processados, este programa corrige os valores obtidos com relação aos da base do estado, e gera os novos valores de localização, com precisão de milímetros, tanto em latitude, longitude e altitude, como pode ser visto na Tabela 15.

Os pontos obtidos a partir da coleta de dados com o DGPS estão representados nas figuras 16 e 17. Sabe-se que a distância entre os pontos é, muitas vezes, de razões centimétricas a métricas, devido as escalas em que são apresentados muitas vezes eles aparecem sobrepostos.

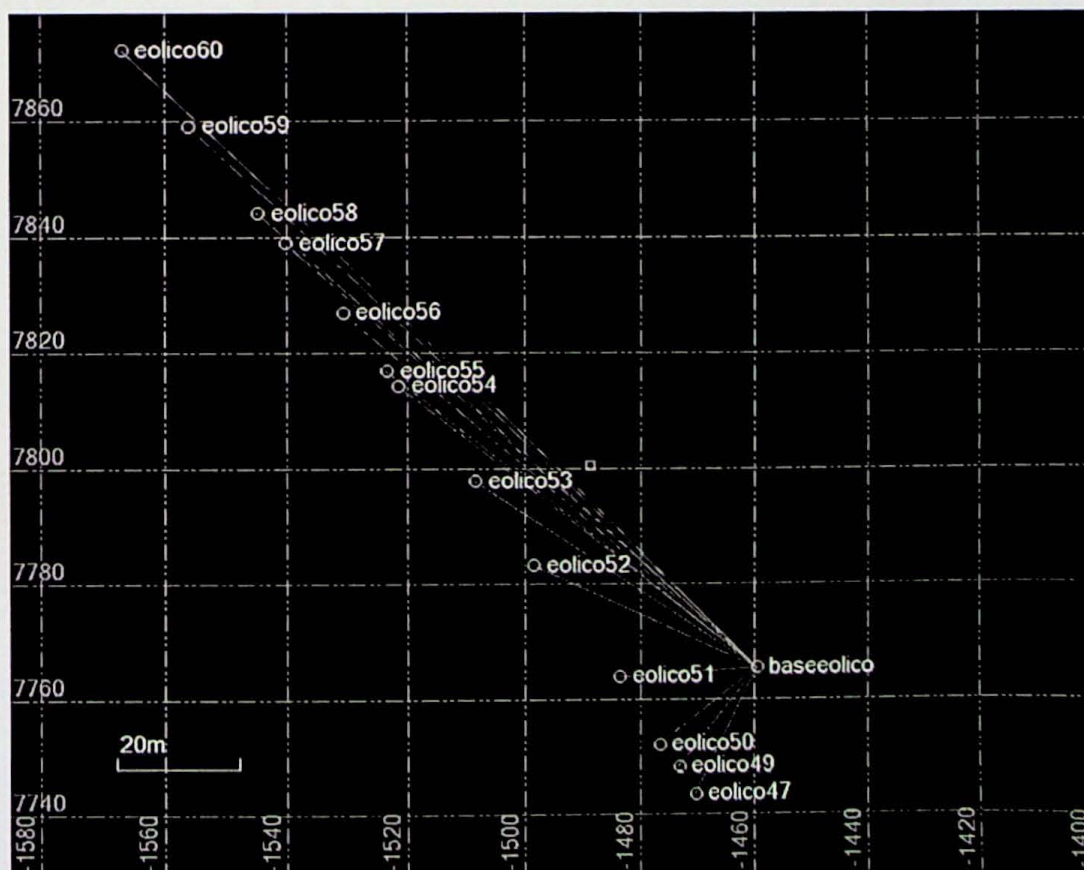


Figura 15: Dados adquiridos a partir do DGPS, visualização espacial dos pontos.

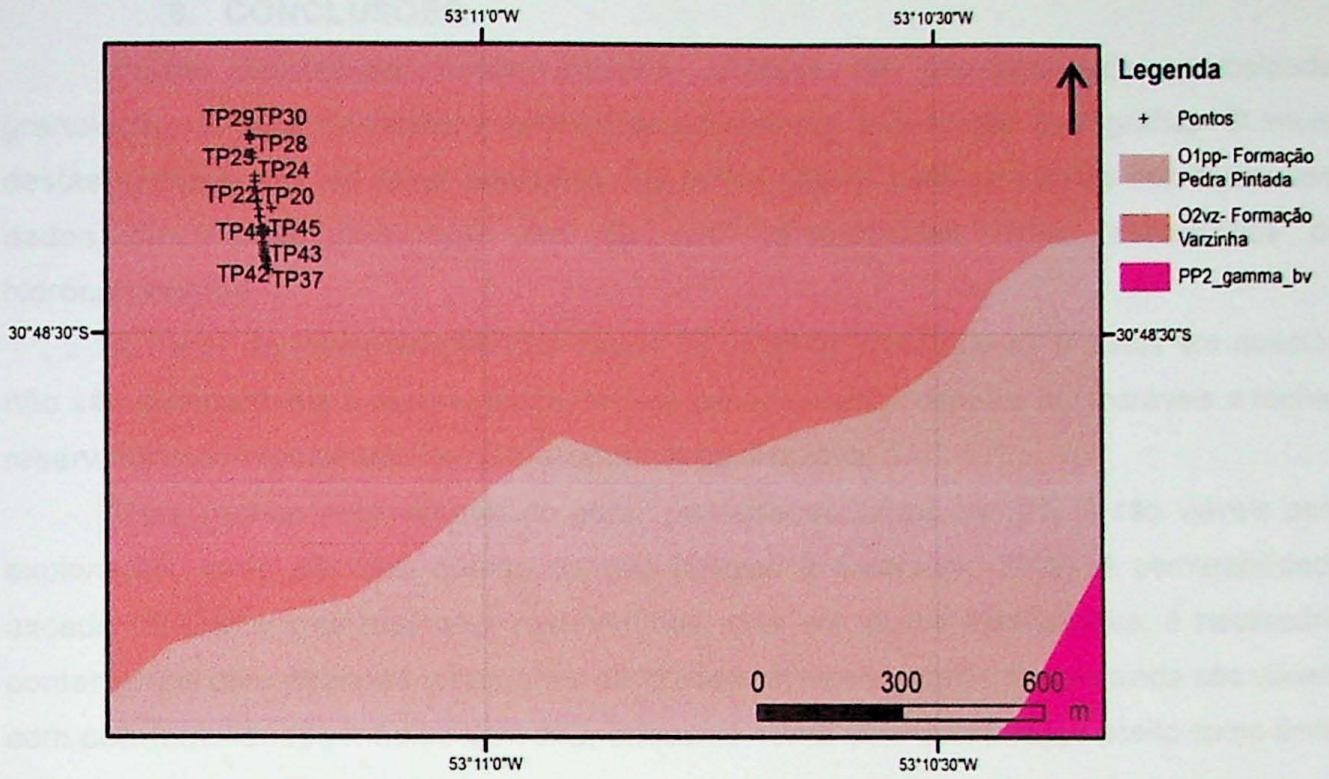


Figura 16: Mapa de pontos do afloramento da Formação Varzinha.

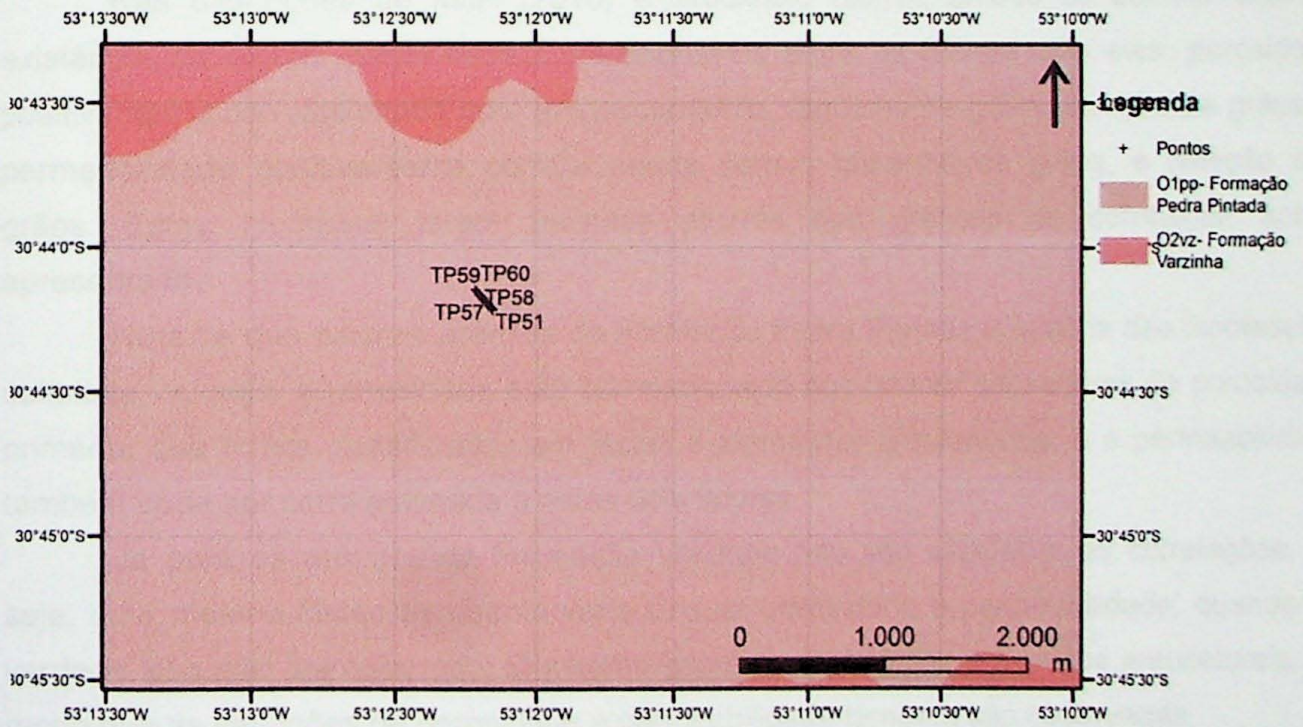


Figura 17: Mapa de pontos do afloramento da Formação Pedra Pintada.

8. CONCLUSÕES

Foram realizadas neste trabalho análises de permeabilidade, porosidade, granulação, análise de fácies e elementos arquiteturais e descrição petrográfica. O intuito destas análises era de fazer analogias dos dados obtidos para os arenitos estudados com dados de rochas que hoje em dia são caracterizadas como reservatórios de hidrocarbonetos.

A partir da interpretação dos dados foi possível inferir que os arenitos em questão não são comparáveis a reservatórios de óleo pesado, mas podem ser comparáveis a rochas reservatório convencionais de gás, e também de óleo leve.

Para rochas reservatório, no geral, porosidades baixas de 10% já são viáveis para exploração, tanto de óleo quanto de gás (Gluyas & Swarbrick, 2005). A permeabilidade excede 10 Darcy nos melhores reservatórios, mas em muitos reservatórios, é necessário contentar-se com dezenas a centenas de milidarcys. Reservatórios de gás ainda são viáveis com permeabilidades médias de 1 mD, enquanto 10mD são muitas vezes aceito como limite inferior de óleo leve.

Para reservatórios convencionais de gás, espera-se que exista nessas rochas porosidades próximas de 10% e permeabilidades mínimas de 1mD. Para os arenitos estudados os valores obtidos de porosidade foram de 7 a 14%, e de permeabilidade 0,03 a 315,00mD.

Nas descrições de Miall (2010) e Brookfield (2010), ambos os autores citam a existência de alguns parâmetros correlacionáveis entre as rochas, são eles: porosidade positivamente correlacionada com empacotamento, tamanho de grãos, seleção de grãos, e permeabilidade positivamente correlacionada com o tamanho de grãos, e seleção dos grãos. Estas hipóteses foram testadas através dos gráficos de correlação acima apresentados.

Nota-se que para os arenitos da Formação Pedra Pintada a maioria das hipóteses é satisfeita, ou seja, a porosidade está correlacionada aos fatores causadores de porosidade primária, que foram classificados em fácies e elementos arquiteturais, e a permeabilidade também pode ser correlacionada a estes dois fatores.

Já para os arenitos da Formação Varzinha não são satisfeitas as correlações, ou seja, uma mesma fácies apresenta variações de porosidade e permeabilidade, quando na verdade isso não era esperado. O mesmo acontece dentro dos elementos arquiteturais, de modo que as variações de porosidade e permeabilidade também são observadas.

A diferença entre haverem correlações entre fácies de um arenito eólico e não haverem estas correlações para arenitos fluviais pode ser justificada a partir dos processos que depositam estes tipos de rocha. Ou seja, leitos de rio tem graus de seleção de sedimento menor que o vento, e portanto desde a sedimentação essas correlações podem não existir.

Foi testada a correlação entre permeabilidade de granulação, que também foi descrita pelos autores citados como positiva. Porém, no caso dos valores obtidos para as rochas em questão, estes valores não obtiveram uma correlação positiva, com valores de R^2 próximos a zero. Para a permeabilidade ser boa, é necessário que se tenham grandes gargantas de poro, ou seja, com altas granulações, o que não foi observado. Além disso, em arenitos mais grosseiros descritos, ao invés de serem encontrados poros abertos, a maioria destes estava fechada por cimento, o que também reduz o tamanho da garganta de poro.

O mesmo pode ser observado para correlação entre porosidade e granulação. A proporção de poros entre arenitos finos e arenitos grossos seria a mesma para granulações semelhantes, ou seja, para um valor alto de granulação deveria se obter o mesmo valor de porosidade do que para um baixo valor de granulação. Isso não é verificado, devido aos graus de seleção dos arenitos, de modo que alguns possuem bimodalidades granulométricas, responsáveis por fechar poros. Estas interpretações são comprovadas por baixos valores de R^2 . Outro fator que influencia na porosidade também é a alta taxa de cimentação.

O último teste realizado foi de correlação entre porosidade e permeabilidade, que espera-se que não sejam correlacionáveis uma vez que a permeabilidade é dependente de garganta de poro, e porosidade dependente do grau de seleção dos arenitos, e de fato os valores não foram correlacionáveis.

Por fim, as características de porosidade e permeabilidade desta rocha a enquadram em bons reservatórios de gás, mas não é possível inferir sobre fluxos de óleo nestas Formações, para isso seria necessário realizar o modelo em 3D destes afloramentos, e também adquirir mais dados que trariam consistência a este modelo.

9. VIABILIDADE DE EXECUÇÃO

O referente trabalho conta com o auxílio da Instituição FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo), inserido no projeto nº 2013/01825-3 e também com o apoio do Projeto de Formação e Recursos Humanos (PFRH-241) da Petrobrás.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, P. A., Allen, J.R. (2005). *Basin Analysis: principles and applications*, (2^a ed), Blackwell Publishing Ltd, p.549
- Almeida, R.P. (2005). *Tectônica e sedimentação do Ediacarano ao Ordoviciano: exemplos do Supergrupo Camaquã (RS) e do Grupo Caacupé (Paraguai Oriental)*. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 203p.
- Almeida, R.P., Janikian L., Fragoso-Cesar A.R., Marconato A. (2009). *Evolution of a rift basin dominated by subaerial deposits: The Guaritas Rift, Early Cambrian, Southern Brazil*. *Sedimentary Geology*, 217: 30-51.

- Almeida, R.P., Janikian L., Fragoso-Cesar A.R.S., Fambrini, G.L. (2010). *The Ediacaran to Cambrian rift system of Southeastern South America: tectonic implications. The Journal of Geology*, v. 118, p. 145-161.
- Brookfield, M. E., Silvestro S. (2010). *Eolian Systems*, em Noel P. James and Robert W. Dalrymple, *Facies Models 4*, (4ª ed), Geological Association of Canada, GEOText 6 p. 575
- Fambrini, G., Janikian, L., Paes-de-Almeida, R., Fragoso-Cesar, A.R., Fonseca, A.R. (2002). *Seqüências da Formação Santa Bárbara (Neoproterozóico III-Cambriano Inferior) na sub-bacia Camaquã Central, RS. In: SBG–Núcleo Nordeste, Congresso Brasileiro de Geologia*, 41, João Pessoa, Anais, p. 660
- Folk, R.L. (1968). *Petrology of Sedimentary Rocks*. The University of Texas, Austin, Hemphill's, 170 p.
- Fragoso-Cesar, A.R.S. (1991). *Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul*. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, SP, 366p.
- Fragoso-Cesar, A. R. S., Fambrini, G. L., Almeida, R. P., Pelosi, A. P. M. R., Janikian, L., Riccomini, C., Saes, G. S. (2000). *The Camaquã extensional basin: Neoproterozoic to early Cambrian sequences in southernmost Brazil. Revista Brasileira de Geociências*, 30(3): 438–441.
- Gluyas J., Swarbrick R. (2005). *Petroleum Geoscience*. (2ª ed.) Blackwell Publishing Ltd, p.359.
- Godinho, L. P. S., Almeida, R. P., Marconato, A., Santos, M. G. M., & Fragoso-Cesar, A. R. S. (2013). *Análise de proveniência dos arenitos conglomeráticos do Grupo Guaritas (RS): implicações para o paleoclima e a paleogeografia da sub-bacia Camaquã Central no Eocambriano. Geologia USP. Série Científica*, 13: 123–144.
- Hunter, R. E. (1977), Basic types of stratification in small eolian dunes, *Sedimentology*, 24, 361-387.
- Hurst, A.; Goggin, D. (1995) *Probe permeametry: an overview and bibliography*. AAPG Bull 79, 3: 463-471
- Hyne, N. J. (2001). *Nontechnical Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling, and Production* (2ª ed.). Tulsa, Oklahoma: PennWell.
- Janikian, L., Almeida, R. P., Fragoso-Cesar, A. R. S., & Fambrini, G. L. (2003). *Redefinição do Grupo Bom Jardim (Neoproterozóico III) em sua área-tipo: litoestratigrafia, paleogeografia e significado tectônico das sucessões vulcano-sedimentares do Supergrupo Camaquã, RS. Revista Brasileira de Geociências*, 33(4): 349–362.
- Manual de Procedimentos Analíticos – Instituto de Geociências da USP, Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, LabSed – Laboratório de Sedimentologia, São Paulo 2004 – Instituto de Geociências
- Marconato, A. (2007). *Interações entre paleossistemas deposicionais aluviais e eólicos da Formação Pedra das Torrinhas (Grupo Guaritas, Cambriano - RS): arquitetura deposicional e modelamento análogo de reservatórios de água e hidrocarbonetos*. Monografia de Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências da Universidade de São

Paulo.

- Marconato, A., Almeida R.P., Santos M.G.M., Nóbrega J.E.S., Souza R.B. (2009). *Alluvialeolian interaction in a Cambrian rift margin: the Pedra das Torrinhas and Pedra Pintada formations (Guaritas Group, RS)*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 81(4): 819-836.
- Marconato, A. (2010). *A influência da evolução de altos estruturais em sucessões aluviais: exemplos do Ediacarano e do Cambriano da Bacia Camaquã (RS)*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- Miall, A.D. 1978. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: A summary. In A.D. Miall (Ed.), *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 5, p. 597-604.
- Miall, A.D., 1985, Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Sci. Rev.*, 22: 261-308.
- Miall, A. (2010). *Alluvial Deposits*, em Noel P. James and Robert W. Dalrymple, *Facies Models 4*, (4^a ed), Geological Association of Canada, GEOText 6, p. 575
- Paim, P.S.G. (1994). *Depositional Systems and Paleogeographical Evolution of the Camaquã and Santa Bárbara Basins, Brazil*. Phil. Doctor Thesis, Oxford. v.1, 277 p
- Ribeiro, M., Bocchi P.R., Figueiredo Filho P.M. & Tessari R.I. (1966). *Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul*. Boletim 127, DNPM/DFPM, Rio de Janeiro, RJ, 232p.
- Robertson J.F. (1966). *Revision of Stratigraphy and nomenclature of rock units in Caçapava-Lavras Region*. Notas e Estudos, IG-UFRGS, Porto Alegre, 1(2): 41-54.
- Ribeiro, M., Lichtenberg, E. (1978). Síntese da Geologia do Rio Grande do Sul. In: *XXX Congresso Brasileiro de Geologia* (Vol. 6, p. 2451–2463). Recife, PE.
- Robertson, J. F. (1966). *Revision of Stratigraphy and nomenclature of rock units in Caçapava-Lavras Region*. Notas E Estudos, IG-UFRGS, 1(2): 41–54.

Pontos	Formação	TinyPerm	Valores de Permeabilidade (TP)	Permeabilidade e Laboratório	Permeabilidade corrigida laboratório	Porosidade imagem	Porosidade e Laboratório	Porosidade corrigida	Granulação (milim)	Orientação Amostra	Paleo-orrente	Descrição	Elementos Arquiteturais	Fácies	Latitude	Longitude	Altitude	Amostragem petrográfica	Amostragem Laminadas
TP01	Fm. Varzinha	11,28 11,22 11,18	101,8	-	4,85	1,12	-	7,42	473,21	-	-	1,16m abaixo do topo da camada de pelito da seção c (do Marconato (2010)), arenito muito grosso com seixo	LA	Ce	0.806667	187180	244,5 62m		x
TP02	Fm. Varzinha	11.70	16,72	-	0,25	-	-	6,84	288,16	079/02 (A)	049/06	64 cm abaixo, camada lenticular de ~2,5cm de espessura, branco, arenito fino	LA	AI	0.806683	187080	210,5 29m		x
TP03	Fm. Varzinha	10.08 10.08 19.81	1283	#	317	-	5,2	5,2	-	95/sub horizontal	049/06	Arenito com laminação plano paralela	LA	AI	30.80662	187220	3,966	x	
TP04	Fm. Varzinha	12.07 11.90 11.91	12,99	-	0,16	-	-	-	-	-	-	45cm abaixo do topo da mesma cama de pelito, arenito grosso com grânulos e seixos esparsos (Ama da seção H do Marconato (2010))	LA	Ce	362; -30	386; -53	243,7 94m; 243,8 68m		

Pontos	Formação	TinyPerm	Valores de Permeabilidade (TP)	Permeabilidade Laboratório	Permeabilidade corrigida laboratório	Porosidade imagem	Porosidade Laboratório	Porosidade corrigida	Granulação (milim)	Orientação Amostra	Paleo oriente	Descrição	Elementos Arquiteturais	Fácies	Latitude	Longitude	Altitude	Amostradas por petrografia	Amostradas Laminadas
TP05	Fm. Varzinha	11.60 11.45 11.40	49,51	-	1,48	-	-	-	-	080/05 (A)	046/07	Lateralmente paralelo ao TP 04, está na camada Ama, 46cm abaixo do topo da camada de pelito, arenito fino a médio, plano paralelo que transiciona lateralmente da Ama do Tp 04.	LA	Ce	D.806189.18727		244,162m		
TP06	Fm. Varzinha	10.64 10.75 10.74	433,2	-	52,9	-	-	-	-	-	-	Na base do pacote de arenito seixoso com cruzada acanalada tangencial na base (com intraclastos de argila na porção basal), Aga	FA	Aa	D.805865.187314	243,681m			
TP07	Fm. Varzinha	12.58	2,28	-	0,01	-	-	6,84	258,62	098/07 (C); 098/07 (E)	035/11	Arenito médio a fino, micáceo, parece o topo do set do TP 06. Fica 51 cm acima do topo da camada de pelito.	FA	At	D.805484.187361	243		x	

Pontos	Formação	TinyPerm	Valores de Permeabilidade (TP)	Permeabilidade Laboratório	Permeabilidade corrigida laboratório	Porosidade imagem	Porosidade Laboratório	Porosidade corrigida	Granulação (milim)	Orientação Amostra	Paleo-orrente	Descrição	Elementos Arquiteturais	Fácies	Latitude	Longitude	Altitude	Amostragem petrográfica	Amostragem Laminadas
TP08	Fm. Varzinha	12.34	4,471	-	0,03	-	-	-	-	-	-	É a mesma fácies do TP 07, mesmo nível estratigráfico, mas é acima do TP 06.	FA	At	0.805174	187398	241,727m		
TP09	Fm. Varzinha	10.81, 10.71, 10.69	402,8	#	46,9	-	5,2	5,2	-	104/06 (A), 092/06 (B)	001/27	Aga semelhante ao TP 06	LA	Aa	0.805104	187408	241,080m	x	
TP10	Fm. Varzinha	10.94, 10.94, 10.93	229,8	-	18,6	-	-	-	-	-	-	Aga lateral do TP 09 (mesmo set)	LA	Aa		240,920m			
TP11	Fm. Varzinha	11.46	52,82	-	1,64	-	6,84	6,84	369,16	-	-	Arenito fino a médio com seixos esparsos mais cruzadas de baixo ângulo tabular. Logo acima da fácies do TP 10, bem embaixo do telhadinho, na seção C do Marconato (2010).	LA	At	0.806692	187204	244,547m		x
TP12	Fm. Varzinha	12.06	9,808	#	0,1	0	5,5	6,84	205,6	073/04	051/06	Mesmo set e fácies do TP-11	LA	At		244,327m	x	x	
TP13	Fm. Varzinha	11.64, 11.92, 11.87	19,78	-	0,32	-	6,84	6,84	310,77	082/05 (A)	060/06	Mesma fácies do TP 12, cerca de 50cm acima do TP 12.	LA	At	0.806620	187210	244,279m		x

Pontos	Formação	TinyPerm	Valores de Permeabilidade (TP)	Permeabilidade Laboratório	Permeabilidade corrigida laboratório	Porosidade imagem	Porosidade Laboratório	Porosidade corrigida	Granulação (milim)	Orientação Amostra	Paleoocorrente	Descrição	Elementos Arquitecturais	Fácies	Latitude	Longitude	Altitude	Mostras analisadas petrográfica	Amostr	
TP14	Fm. Varzinha	11.75, 11.93, 11.83	18,39	-	0,29	0,38	-	7,03	280,94	186/12 (C)	080/2 2, 080/2 2 (14C)	Na base da seção D1 do Marconato (2010) em camada de arenito fino a médio com cruzadas tabulares de baixo ângulo (onde o pelito faz uma cunha) com alternância de coloração verdes/vermelhas (medição na vermelhinha)	CE	At			244,599m		x	
TP15	Fm. Varzinha	11.43, 11.51, 11.48	50,92	-	1,55	-	-	-	-	-	-	É o arenito logo acima da cunha de pelito. Arenito muito grosso com grânulo e concentração de seixos na base do set com cruzadas. TP 15 esta 41cm acima do TP 14.	LA	Aa	0.806302	18703	209,942m			
TP16	Fm. Varzinha	11.78	21,52	#	0,37	2,17	8,2	7,96	481,92	256/03 (A)	003/08; 256/3 (16A)	TP 16 está N de 55cm acima do TP 15. Parece ser semelhante à facies do TP 14.	LA	At	0.806445	18723	2245,096m	x	x	

Pontos	Formação	TinyPerm	Valores de Permeabilidade (TP)	Permeabilidade Laboratório	Permeabilidade corrigida laboratório	Porosidade image m	Porosidade Laboratório	Porosidade corrigida	Granulação (milim)	Orientação Amostra	Paleocorrente	Descrição	Elementos Arquiteturais	Fácies	Latitude	Longitude	Altitude	Amostragem das perfis petrográfica	Amostragem Laminadas
TP17	Fm. Varzinha	11.76	22,76	-	0,41	7,92	-	10,9	356,34	103/07 (A)	07/1/17	No topo, concentração de grânulos e seixos. Arenito fino a médio, com grânulos, camada acima da TP 16 (Obs.: ver mosaico, pois também é a mesma camada, mesmo nível). TP 17 está 55cm abaixo da camada de heterolítica (intercalações de sets com arenito com pelito). Renato tirou foto (sentido Caçapava → Santana) e o GPS está na no perfil do ponto 14 e 15.	LA	At	D.806741B.18719	244,726m			x
TP18	Fm. Varzinha	11.57, 11.74, 11.89	24,55	-	0,46	-	-	-	-	-	-	Arenito fino, laminado, com cruzadas de baixo ângulo	LA	At	D.806317.187250	243,741m			
TP19	Fm. Varzinha	12.14	7,836	-	0,07	-	-	6,84	325,95	101/01 (A)	187/06	Camada de arenito no meio do pelito	LA	At	D.806183.187268	243,747m			x

Pontos	Formação	TinyPerm	Valores de Permeabilidade (TP)	Permeabilidade e Laboratório	Permeabilidade corrigida laboratório	Porosidade imagem	Porosidade e Laboratório	Porosidade corrigida	Granulação (milim)	Orientação Amostra	Paleoocorrente	Descrição	Elementos Arquiteturais	Fácies	Latitude	Longitude	Altitude	Amostradas por petrografia	Amostradas Laminadas
TP20	Fm. Varzinha	10.31, 10.32, 10.36	1258	-	307	-	-	-	-	-	-	Camada de areia, que fica abaixo do espesso pacote de lamito com greta de contração.	PE	At	D.806026	18728	244,268m		
TP21	Fm. Varzinha	11.69, 11.56, 11.39	41,49	-	1,1	3,01	-	8,4	309,85	-	025/06	arenito médio, com intraclastos de lama verde, com estratificação acanalada	PE	Aa			244,585m		x
TP22	Fm. Varzinha	12.06, 11.33, 11.34, 11.38	43,76	-	1,2	-	6,8	6,84	312,54	037/10 (A); 051/06 (B)	194/02 (A); 083/26 (B)	arenito com estratificação cruzada e seixos esparsos	FA	At	D.805777	18731	243,495m		x
TP23	Fm. Varzinha	11.83	18,7	-	0,3	-	-	-	-	125/04 (23A)	145/08	arenito fino a médio, em series grandes de cruzadas tabulares	FA	At			244,515m		
TP24	Fm. Varzinha	11.52, 11.47, 11.63	42,2	-	1,13	0,02	-	6,85	308,79	092/03 (A); 104/01 (B)	347/15	arenito médio a grosso com seixos com cruzada (base do canal, que erode as camadas pelíticas heterolíticas da base)	FA	Aa	D.805399	18735	243,142m		x

Pontos	Formação	TinyPerm	Valores de Permeabilidade (TP)	Permeabilidade Laboratório	Permeabilidade corrigida laboratório	Porosidade imagem	Porosidade e Laboratório	Porosidade corrigida	Granulação (milim)	Orientação Amostra	Paleocorrente	Descrição	Elementos Arquitecturais	Fácies	Latitude	Longitude	Altitude	Amostragem para análise petrográfica	Amostragem para Laminadas
TP25	Fm. Varzinha	10.76, 10.82, 10.76	356	##	38,2	14,2	13	14,2	341,42	071/05 (A); 069/02 (B)	004/26 (A)	arenito médio a grosso com cruzadas acanaladas e lentes visíveis de segregação de arenito médio a grosso segregado na areia fina (base erodida com intraclastos de argila e o canal do etopo do afloramento, localizado na placa amarela)	FA	Aa	D.805167	187381	241,623m	x	x
TP26	Fm. Varzinha	10.71, 10.71, 10.80	398,3	-	46	8,55	-	11,3	316,4	-	358/27	arenito médio a grosso com cruzada acanalada	LA	Ce			241,823m	x	
TP27	Fm. Varzinha	10.43, 10.34, 10.45	1017	-	216	-	-	-	-	-	-	arenito grosso com acanalada com intraclasto de argila e seixos esparsos	LA	Ce			242,373m		
TP28	Fm. Varzinha	11.21, 11.32, 11.45	84,39	#	3,56	5,36	11	9,62	251,92	100/02 (A), 094/00 (B)	073/07 (A)	arenito fino a médio com cruzada de baixo ângulo que tangencia a base do canal	FA	Aa	D.805105	187396	240,609m	x	x

Pontos	Formação	TinyPerm	Valores de Permeabilidade (TP)	Permeabilidade Laboratório	Permeabilidade corrigida laboratório	Porosidade imagem	Porosidade e Laboratório	Porosidade corrigida	Granulação (milim)	Orientação Amostra	Paleocorrente	Descrição	Elementos Arquiteturais	Fácies	Latitude	Longitude	Altitude	Amostragem petrofísica	Amostragem Laminadas
TP29	Fm. Varzinha	11.48, 11.38, 11.29	65,55	-	2,34	3,11	-	8,45	250,02	-	016/16	arenito fino a médio com cruzada acanalada	FA	Aa	D.805125,187391		242,091m		x
TP30	Fm. Varzinha	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-			-30.805107,187391			241,919m		
TP31	Fm. Varzinha	12.22	6.261	-	0,05	-	-	-	-	068/03 (A)	353/11	arenito com ripple ou com cruzada, verificar amostra (Intercalado com lama)	FA	Aa	D.807313,187079		238,379m		
TP32	Fm. Varzinha	11.98	12,28	-	0,15	-	-	-	-	-	-		FA	Aa			238,019m		
TP33	Fm. Varzinha	12.47	3,104	-	0,02	-	-	6,84	217,17	105/16 (A)	078/09	finos intercalados					238,279m	x	
TP34	Fm. Varzinha	12.27	3,104	-	0,04	-	-	6,84	353,25	066/09 (A)	-	conglomerado de seixos subangulosos que variam de 0,5cm a 7cm, aparentemente maciço	LA	Ce	D.807240,187109		2343,198m		x

Pontos	Formação	TinyPerm	Valores de Permeabilidade (TP)	Permeabilidade Laboratório	Permeabilidade corrigida laboratório	Porosidade imagem	Porosidade e Laboratório	Porosidade corrigida	Granulação (milim)	Orientação Amostra	Paleoocorrente	Descrição	Elementos Arquitecturais	Fácies	Latitude	Longitude	Altitude	Amostragem petrográfica	Amostragem Laminadas
TP35	Fm. Varzinha	12.30	5.002	-	0,03	-	-	-	-	-	-	Arenito medioa grosso com granulos e seixos esparsos, com cruzada acanaladas que tangenciam na base, aqui é a fácies mais fina da camada do TP35	LA	Ce			242,798m		
TP36	Fm. Varzinha	12.23	6.087	-	0,05	-	-	-	-	-	-	Base de set de arenito médio com seixos esparsos dispostos ao longo dos estratos cruzados. Sets dcm (15-25cm esp) de cruzadas acanaladas tangencial na base e intraclastos de argila	LA	Ce			243,738m		

Pontos	Formação	TinyPerm	Valores de Permeabilidade (TP)	Permeabilidade Laboratório	Permeabilidade corrigida laboratório	Porosidade imagem	Porosidade Laboratório	Porosidade corrigida	Granulação (milim)	Orientação Amostra	Paleo oriente	Descrição	Elementos Arquiteturais	Fácies	Latitude	Longitude	Altitude	Amostragem para análise petrográfica	Amostragem Laminadas
TP37	Fm. Varzinha	11.99	11,94	-	0,14	-	-	-	-	-	-	Arenito médio, com grânulos (além de poucos seixos esparsos, vazios 0.5cm a localmente 3cm) parece maciço.	LA	Ce	0.807190	187121	243,103m		
TP38	Fm. Varzinha	12.02	10,97	-	0,12	-	-	-	-	-	-	Arenito fino a médio com grânulos esparsos e estratificação plano paralela (há lentes com concentrações maiores de grânulos)	LA	AI		243,653m			
TP39	Fm. Varzinha	10.49, 10.47, 10.46	842,4	-	158	7,11	-	10,5	413,97	088/08 (A)	050/16	arenito fino a médio com cruzadas de baixo ângulo e internamente há lentes com matéria orgânica	LA	AI	0.807151	187128	243,937m		x
TP40	Fm. Varzinha	11.34, 11.52, 11.64	47,21	#	1,36	0,02	2,9	6,85	314,79	086/04 (A)	037/13	arenito fino com lente com concentrações de grânulos com cruzadas de baixo ângulo.	FA	Aa	0.807118	187135	242,835m	x	x

Pontos	Formação	TinyPerm	Valores de Permeabilidade (TP)	Permeabilidade Laboratório	Permeabilidade corrigida laboratório	Porosidade imagem	Porosidade Laboratório	Porosidade corrigida	Granulação (milim)	Orientação Amostra	Paleocorrente	Descrição	Elementos Arquiteturais	Fácies	Latitude	Longitude	Altitude	Amostras analisadas por petrografia	Amostras laminadas
TP41	Fm. Varzinha	11.98	12,28	-	0,15	-	-	-	-	-		Base de set de arenito médio com seixos esparsos dispostos ao longo dos estratos cruzados. Seis dcm (15-25cm esp) de cruzadas acanaladas tangencial na base e intraclastos de argila	FA	Aa			242,705m		
TP42	Fm. Varzinha	12.15	7,619	-	0,07	-	-	-	-	-		Base de set de arenito médio com seixos esparsos dispostos ao longo dos estratos cruzados. Seis dcm (15-25cm esp) de cruzadas acanaladas tangencial na base e intraclastos de argila	FA	Aa	D.807088.187164		239,536m		

Pontos	Formação	TinyPerm	Valores de Permeabilidade (TP)	Permeabilidade Laboratório	Permeabilidade corrigida laboratório	Porosidade imagem	Porosidade e Laboratório	Porosidade corrigida	Granulação (milim)	Orientação Amostra	Paleo corrente	Descrição	Elementos Arquiteturais	Fácies	Latitude	Longitude	Altitude	Amostradas por petrografia	Amostradas Laminadas
TP43	Fm. Varzinha	11,74, 11,83, 11,74	22,13	-	0,39	-	-	-	-	-	-	arenito fino com lente com concentrações de grânulos com cruzadas de baixo ângulo.	FA	Aa	0.807038	18715	243,0 95m		
TP44	Fm. Varzinha	11,97	12,63	-	0,15	-	-	-	-	-	-	mesmo conglomerado do TP-01, este é o topo	LA	Ce	0.806988	18716	243,9 41m		
TP45	Fm. Varzinha	11,42, 11,30, 11,33	71,91	-	2,73	-	-	-	-	-	-	mesmo conglomerado do TP-01, este é o topo	LA	Ce	0.80692	18717	244,0 60m		
TP46	Fm. Pedra Pintada	12,07	9,537	-	0,1	-	-	-	-	-	215/0 9	arenito fino a médio com estratificação cruzada de baixo ângulo grande porte, acanalada	eólico perto do pé da duna	Afba	-	-	-		
TP47	Fm. Pedra Pintada	11,87, 12,06	12,8	#	0,16	-	9,7	9,7	323,17	218/09 (47A)	208/2 1	arenito fino a médio com estratificação cruzada de baixo ângulo grande porte, acanalada	eólico perto do pé da duna	Afba	-30,74	-53,2	154,9 67m	x	x
TP48	Fm. Pedra Pintada	12,24	5,919	-	0,04	-	-	-	-	-	302/1 5	plano paralelo abaixo da duna (eólico)	pé da duna	Afpp	-	-	154,9 67m		

Pontos	Formação	TinyPerm	Valores de Permeabilidade (TP)	Permeabilidade Laboratório	Permeabilidade corrigida laboratório	Porosidade imagem	Porosidade e Laboratório	Porosidade corrigida	Granulação (milim)	Orientação Amostra	Paleocorrente	Descrição	Elementos Arquitecturais	Fácies	Latitude	Longitude	Altitude	Amostragem petrográfica	Amostragem Laminadas
TP49	Fm. Pedra Pintada	11.46, 11.61, 11.70	36,67	-	0,9	0,94	-	7,33	397,34	238/06 (49A)	180/20	arenito fino a médio com estratificação cruzada de baixo ângulo grande porte, acanalada	ebólico perto do pé da duna	Afba	-30,74	-53,2	155,408m		x
TP50	Fm. Pedra Pintada	11.41, 11.53, 11.48	51,35	-	1,57	-	-	-	-	-	210/25	arenito fino a médio com estratificação cruzada de grande porte, acanalada	ebólico	Afca	-30,74	-53,2	155,329m		
TP51	Fm. Pedra Pintada	11.35, 11.41, 11.49	59,76	-	2,01	6,2	-	10,1	360,08	250/07 (51A)	272/15	arenito fino a médio com estratificação cruzada de grande porte, acanalada	ebólico	Afca	-30,74	-53,2	154,935m		x
TP52	Fm. Pedra Pintada	12.16	7,408	-	0,06	-	-	-	-	-	255/16	arenito fino a médio com estratificação cruzada de baixo ângulo grande porte, acanalada	ebólico perto do pé da duna	Afba	-30,74	-53,2	156,665m		

Pontos	Formação	TinyPerm	Valores de Permeabilidade (TP)	Permeabilidade Laboratório	Permeabilidade corrigida laboratório	Porosidade imagem	Porosidade Laboratório	Porosidade corrigida	Granulação (milim)	Orientação Amostra	Paleocorrente	Descrição	Elementos Arquiteturais	Fácies	Latitude	Longitude	Altitude	Amostragem para análise petrofísica	Amostragem Laminadas
TP53	Fm. Pedra Pintada	11.93, 11.83, 12.16	12,63	-	0,15	-	-	6,84	418,81	243/03 (53A); 237/010 (53B); 241/06 (53C); 231/09 (53D)	212/24	arenito fino a médio com estratificação cruzada de grande porte, acanalada	eólico	Afca	-30,74	-53,2	156,930m		x
TP54	Fm. Pedra Pintada	11.54, 11.56, 11.70	35,66	-	0,86	6,37	-	10,1	386,89	235/01 (54A); 223/08 (54B)	191/21	arenito fino a médio com estratificação cruzada de grande porte, acanalada	eólico	Afca	-30,74	-53,2	156,899m		x
TP55	Fm. Pedra Pintada	11.35, 11.36	70,91	#	2,67	5,56	10	9,72	379,34	243/09 (55A); 226/07 (55B); 230/07 (55C); 226/07 (55D)	146/24	arenito fino a médio com estratificação cruzada de grande porte, acanalada	eólico	Afca	-30,74	-53,2	157,282m	x	x

Pontos	Formação	TinyPerm	Valores de Permeabilidade (TP)	Permeabilidade Laboratório	Permeabilidade corrigida laboratório	Porosidade imagem	Porosidade Laboratório	Porosidade corrigida	Granulação (milim)	Orientação Amostra	Paleocorrente	Descrição	Elementos Arquiteturais	Fácies	Latitude	Longitude	Altitude	Amostradas para análise petrográfica	Amostradas Laminadas
TP56	Fm. Pedra Pintada	12.64	1,927	-	0,01	-	-	-	-	-	221/13	arenito fino a médio com estratificação cruzada de grande porte, acanalada	eólico	Afca	-30,74	-53,2	157,221m		
TP57	Fm. Pedra Pintada	11.79	20,92	-	0,36	-	-	6,84	327,11	245/07 (57A); 250/09 (57B)	337/02	interduna	interduna	Afba	-30,74	-53,2	157,758m		x
TP58	Fm. Pedra Pintada	11.71	26,19	-	0,52	-	-	-	-	-	277/03	interduna	interduna	Afba	-30,74	-53,2	157,506m		
TP59	Fm. Pedra Pintada	11.10, 11.14, 11.00	153,4	-	9,53	-	-	-	-	236/04 (59A); 235/07 (59B); 237/08 (57C); 219/06 (59D)	186/24	arenito fino a médio com estratificação cruzada de grande porte, acanalada	Duna	Afca	-30,74	-53,2	156,845m		
TP60	Fm. Pedra Pintada	11.84, 12.03, 11.85	15,11	-	0,21	2,03	-	7,89	346,7	198/02	198/02	transladante (interduna)	transladante (interduna)	Afba	-30,74	-53,2	156,373m		x

Pontos	Formação	TinyPerm	Valores de Permeabilidade (TP)	Permeabilidade e Laboratório	Permeabilidade corrigida laboratório	Porosidade imagem	Porosidade e Laboratório	Porosidade corrigida	Granulação (milim)	Orientação Amostra	Paço oriente	Descrição	Elementos Arquiteturais	Fácies	Latitude	Longitude	Altitude	Amostradas por petrográfica	Amostradas Laminadas
TP61	Fm. Pedra Pintada	11.60, 11.56, 11.57	38,14	#	0,96	0,05	6,9	6,87	505,46	252/14 (61A); 244/11 (61B)		grain flow vermelho	grain flow vermelho	Afba			156,3 73m	x	x

