

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MÁRGIA CARVALHO DE SOUZA

LITOFÁCIES, GEOQUÍMICA INORGÂNICA E QUIMIOESTRATIGRAFIA DAS  
ROCHAS CARBONÁTICAS DO MEMBRO ASSISTÊNCIA DA FORMAÇÃO IRATI -  
PERMIANO DA BACIA DO PARANÁ

CURITIBA

2012

MÁRGIA CARVALHO DE SOUZA

LITOFÁCIES, GEOQUÍMICA INORGÂNICA E QUIMIOESTRATIGRAFIA DAS  
ROCHAS CARBONÁTICAS DO MEMBRO ASSISTÊNCIA DA FORMAÇÃO IRATI -  
PERMIANO DA BACIA DO PARANÁ

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geologia Exploratória, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Geologia,

Orientador: Prof. Dr. José Manoel dos Reis Neto.

Co-orientador: Prof. Dr. Fernando Farias Vesely.

CURITIBA

2012

Souza, Márgia Carvalho de

Litofácies, geoquímica inorgânica e quimioestratigrafia das rochas carbonáticas do Membro Assistência da Formação Irati - Permiano da Bacia do Paraná / Márgia Carvalho de Souza. – Curitiba, 2012.

229 f. : il., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciência da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geologia.

Orientador: José Manoel dos Reis Neto

Coorientador: Fernando Farias Vesely

1. Rochas carbonáticas. 2. Bacias sedimentares. 3. Geologia estratigráfica. I. Reis Neto, José Manoel dos. II. Vesely, Fernando Farias. III. Título.


CDD 552.58

## TERMO DE APROVAÇÃO

# MÁRGIA CARVALHO DE SOUZA

**“LITOFÁCEIS, GEOQUÍMICA INORGÂNICA E  
QUÍMIOESTRATIGRAFIA DAS ROCHAS  
CARBONÁTICAS DO MEMBRO ASSISTÊNCIA DA  
FORMAÇÃO IRATI - PERMIANO DA BACIA DO  
PARANÁ”.**

Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Exploratória, da Universidade Federal do Paraná, Comissão formada por:



Dr. Laury Medeiros de Araujo - PETROBRAS



Dr. Almério Barros França - PETROBRAS



Prof. Dr. José Manoel dos Reis Neto - UFPR  
Presidente

Curitiba, 10 de agosto de 2012.

Dedico este trabalho aos meus pais, Joaquim e Antonia, e a minha irmã, Máira, que apesar de distantes se mantiveram sempre ao meu lado. Obrigada pelos incentivos e por nunca me deixar desanimar. Sem vocês eu não teria conseguido.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado forças para superar momentos difíceis e vencer os obstáculos que me foram impostos.

Aos meus pais, Joaquim e Antonia, e minha irmã Máira pela confiança e apoio em todas as minhas escolhas, sustentando as bases que me mantiveram de pé e determinada a alcançar mais esse objetivo profissional. Sem vocês certamente nada disso seria possível.

À minha tia Irismar, por estar sempre ao meu lado me incentivando.

À minha avó Alice, pelas palavras de carinho e incentivo.

À Fabiana Galina e sua família, por ter me apoiado e me aceitado em sua casa quando cheguei a Curitiba.

Ao meu orientador, José Manoel dos Reis Neto, pela oportunidade de fazer mestrado nesta Universidade (UFPR).

Ao meu co-orientador Fernando Farias Vesely, pelo apoio e discussões científicas.

À toda equipe LAMIR, Suely, Evely, Francielle, Keije, Carlos, Clarice, Elisiane, Aurea, Carlos Michael e Madalena, pelo auxílio durante as análises, pelo carinho e atenção. Em especial ao Rodrigo Secchi, pelas discussões científicas e pela amizade.

À Ângela Pacheco, pelo apoio e amizade.

À Bárbara Trzaskos e Almério França pela disponibilidade e discussões.

À dona Luiza, pelo carinho, pela companhia e por ter estado ao meu lado em momentos difíceis.

À Débora Carvalho pela disponibilidade e apoio.

Aos colegas da pós, em especial a Ariadne Borgo, Talita, Ana e Laís. A estas últimas meus sinceros agradecimentos pela ajuda no momento em que mais precisei.

As professoras Eleonora Vasconcellos e Cristina Vega, pelas discussões e pelo apoio.

Aos professores Eduardo Salamuni e Maria Cristina, pelo apoio.

À prof. Rosemarie Ronh (Unesp), pela receptividade na Unesp, pela disponibilidade em acompanhar uma etapa de campo, pelas discussões e pela contribuição científica do seu parecer na qualificação deste trabalho.

Ao prof. Dimas Brito, por abrir as portas da Unesp e pela oportunidade que me foi dada de acompanhar o curso de rochas carbonáticas ministrado nessa universidade.

Ao Laury Medeiros de Araújo, pela disponibilidade e sugestões, bem como pela contribuição científica através de seu parecer na qualificação deste trabalho.

Ao Lauro Pizzato, pela receptividade e por abrir as portas da CPRM em Araraquara disponibilizando o testemunho utilizado no trabalho para amostragem.

Ao Daniel Mittelbach, secretário da pós-graduação, pela disponibilidade e amizade.

À Capes, pelo auxílio financeiro.

Ao projeto Petrocal II, pelo auxílio financeiro nas etapas de campo.

À UFPR, pela oportunidade de alcançar mais um título na minha área profissional.

Enfim, a todas as pessoas que me receberam em Curitiba e na Universidade Federal do Paraná, e que de certa forma contribuíram para o andamento e conclusão do trabalho.

Cada um tem de mim exatamente o que cativou, e cada um é responsável pelo que cativou, não suporto falsidade e mentira, a verdade pode machucar, mas é sempre mais digna. Bom mesmo é ir a luta com determinação, abraçar a vida e viver com intensidade. Perder com classe e vencer com ousadia, pois o triunfo pertence a quem mais se atreve e a vida é muito para ser insignificante. Eu faço e abuso da felicidade e não desisto dos meus sonhos. O mundo está nas mãos daqueles que tem coragem de sonhar e correr o risco de viver seus sonhos.

Charles Chaplin



## RESUMO

A Formação Irati, Permiano da Bacia do Paraná, é subdividida em dois membros: Taquaral (inferior) e Assistência (Superior). Segundo a literatura, o Membro Taquaral é caracterizado por folhelhos depositados em ambiente marinho de águas calmas, abaixo do nível de ação das ondas. Enquanto que o Membro Assistência é definido por intercalações rítmicas de folhelhos pretos betuminosos e calcários, depositados em ambiente marinho de águas rasas. O presente trabalho consiste na caracterização mineralógica, química e isotópica, bem como correlação quimioestratigráfica das rochas carbonáticas do Membro Assistência. O trabalho baseou-se em dois perfis, um localizado na Pedreira Vitti (Saltinho-SP), e o outro no testemunho de furo de sondagem da CPRM (FP-01-PR) localizado no município de Ibaiti (PR). A caracterização mineralógica, realizada por análises petrográficas e por Difractometria de Raios X (DRX), possibilitou classificar as rochas carbonáticas como dolomíticas e margosas, identificar o grupo de argilominerais encontrados, além de individualizar cinco litofácies: *mudstone* laminado, *mudstone* maciço, *mudstone* a *wackestone* bioclástico peloidal, brecha intraformacional e *mudstone* laminado brechado. Os argilominerais predominantes nas rochas carbonáticas estudadas são aqueles do grupo da esmectita. Estes ocorrem nos *mudstones* da seção rítmica da Pedreira Vitti, naqueles da seção rítmica inferior e também na litofácies *mudstone* laminado brechado do testemunho. Nesta última litofácies predominam interestratificados clorita/esmectita. A ocorrência e predominância de argilominerais do grupo da esmectita foram interpretadas como consequência das condições paleoambientais e químicas reinantes durante a deposição das rochas do Membro Assistência. Enquanto que os interestratificados foram interpretados como argilas autigênicas resultantes do aumento da diagênese. Através das análises químicas inorgânicas, realizadas por Fluorescência de Raios X (FRX) foram individualizadas quatro unidades químicas (A, B, C e D) no perfil da Pedreira Vitti, e quatro unidades químicas no testemunho estudado (1, 2, 3 e 4), sendo apenas duas das unidades do testemunho representativas do Membro Assistência, as unidades químicas 2 e 3. Os dados obtidos mostraram correlação entre as unidades químicas da Pedreira Vitti com a unidade química 3 do testemunho, sendo então esta última redenominada 3A e 3BC. As assinaturas dos isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  e  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  do Membro Assistência se diferenciam das consideradas típicas do Permiano e Neopermiano, evidenciando ou uma composição diferenciada do mar Irati ou superposição de eventos diagêneticos que provocaram alterações na assinatura isotópica. A assinatura dos  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  foi interpretada como resultante de diagênese por soterramento. Não se descarta a ideia da presença de assinaturas primárias nas rochas do banco dolomítico. As assinaturas isotópicas do  $\delta^{13}\text{C}$  se tornam mais complexas a partir da seção rítmica, podendo ser resultante da atuação e interação de processos inorgânicos (precipitação de carbono leve a partir de água meteórica) e orgânicos (metanogênese). A correlação dos dados obtidos neste trabalho com os disponíveis na literatura mostrou similaridades faciológicas e correspondência em interpretações deposicionais, além da relação entre as unidades químicas individualizadas com as unidades determinadas por Araújo (2001) e Hachiro *et. al.*, (1993).

Palavras-chave: Rochas carbonáticas. Geoquímica inorgânica. Membro Assistência

## ABSTRACT

The Irati Formation, Permian of the Paraná Basin is subdivided into two members: Taquaral (lower) and Assistência (upper). The Taquaral Member is characterized by marine shales deposited in calm waters, below the level of wave action. The Assistência Member is defined by rhythmic intercalations of black shales bituminous and limestones deposited in shallow marine environment. This research consists in the mineralogical, chemical and isotopic characterization and chemostratigraphic correlation of the carbonate rocks of the Assistência Member, based on two profiles. One located in the Vitti Quarry (Saltinho-SP), and the other in the borehole FP-01-PR of the CPRM Company (FP-01-PR) in Ibaiti (PR). The mineralogical characterization was performed by petrographic and X-ray diffraction (XRD), allowing the classification of carbonate rocks as dolomite and marls, identification the group of clay minerals in addition to individualize five lithofacies: laminated mudstone, massive mudstone, bioclastic peloidal mudstone to wackestone, Carbonate flat pebble breccia and laminated mudstone breccia. The predominant clay minerals in the studied carbonate rocks are those of the smectite group. The clay minerals occur in mudstones of the rhythmic section of the Vitti Quarry, and in the rhythmic section of the lower and also laminated mudstone breccia lithofacies of the borehole. In the mudstone breccia lithofacies, predominate interstratified chlorite / smectite. The predominance of clay minerals of smectite group has been interpreted as a consequence of chemical and paleoenvironmental conditions prevailing during deposition of the rocks of the Assistência Member. The interstratified clays were interpreted as resulting from increased diagenesis. Based on inorganic chemical analysis carried out by X-Ray Fluorescence (XRF) it is possible to individualize four chemical units (A, B, C and D) in the Vitti Quarry profile and four chemical units in the borehole (1, 2, 3 and 4), with only two units representing the Assistência Member, the chemical units 2 and 3. The data showed a correlation between the chemical units of the Vitti Quarry and the chemical unit 3 of the borehole, then the latter being renamed to 3A and 3BC. The signatures of stable isotopes of  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  and  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  of the Assistência Member differ from those considered typical in the Permian and Late Permian, showing a different composition of either sea Irati or superposition of diagenetic events that caused changes in the isotopic signature. The  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  was interpreted as resulting from diagenesis by burial. There is evidence of primary signatures in carbonate rocks of the bank. The isotopic signatures of the  $\delta^{13}\text{C}$  become more complex from the rhythm section, and it may be due to the action and interaction of inorganic processes (precipitation of light carbon from meteoric water) and organic (methanogenesis). The correlation of data obtained in this research and in those available in literature showed faciological similarities and correspondence in depositional interpretations as well as the relation between the individual chemical units and the units determined by Araújo (2001) and Hachiro *et. al.*, (1993).

Keywords: Carbonate rocks. Inorganic geochemistry. Assistência Member

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MAPAS COM A LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA.....	22
FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS ESTUDADOS.....	24
FIGURA 3 - ETAPAS DE PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DA PEDREIRA VITTI PARA AS ANÁLISES QUÍMICAS, MINERALÓGICAS E ISOTÓPICAS.....	29
FIGURA 4 - ETAPAS DE PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DO TESTEMUNHO FP-01-PR ÚMIDAS E/OU IMPREGNADAS POR BETUME .....	30
FIGURA 5 - ETAPAS DE PREPARAÇÃO DA MAIORIA DAS AMOSTRAS DO TESTEMUNHO FP-01-PR, PARA AS ANÁLISES QUÍMICAS, MINERALÓGICAS E ISOTÓPICAS.....	31
FIGURA 6 - BLOCO DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DAS FASES DE PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS. ....	32
FIGURA 7 - PROGRAMA X'PERT HIGHSORE UTILIZADO PARA INTERPRETAÇÕES DE DADOS DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	34
FIGURA 8 - DIFRATÔMETRO DA PHILIPS MODELO PW 1830.....	35
FIGURA 9 - DIFRATÔMETRO DA PANALYTICAL, MODELO EMPYREAN.....	36
FIGURA 10 - EXEMPLO DE DIFRATOGRAMA.....	37
FIGURA 11 - EQUIPAMENTO DA PHILIPS MODELO PW 2510 .....	38
FIGURA 12 - ESPECTRÔMETRO DE FONTE GASOSA DE MARCA DELTA V ADVANTAGE. ....	41
FIGURA 13 - COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARANÁ .....	44
FIGURA 14 - CARTA LITOESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARANÁ. ....	46
FIGURA 15 - CLASSIFICAÇÃO DA UNIDADE ESTRATIGRÁFICA IRATI SEGUNDO HACHIRO <i>ET AL.</i> (1993). ....	47
FIGURA 16 - LITOESTRATIGRAFIA E GEOCRONOLOGIA DA BACIA DO PARANÁ.....	48
FIGURA 17 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO PARANÁ. FONTE: MODIFICADO DE ZALÁN <i>ET AL.</i> , 1990.....	49
FIGURA 18 - BACIA DO PARANÁ EM AMARELO A ESQUERDA E DISTRIBUIÇÃO DAS SUPERSEQUÊNCIAS NA BACIA DO PARANÁ. ....	51
FIGURA 19 - SUPERSEQUÊNCIA GONDWANA I.....	52
FIGURA 20 – DOMÍNIOS DEPOSICIONAIS, PRODUTOS E FEIÇÕES SEDIMENTARES DOMINANTES NA FORMAÇÃO IRATI .....	53

FIGURA 21 - ARCABOUÇO TECTONO-SEDIMENTAR DO GONDWANA SUL OCIDENTAL PARA O PERMIANO, QUANDO A REGIÃO ERA SUBMETIDA AO CAMPO DE TENSÕES LIGADO À OROGENIA SANRAFAÉLICA.....	54
FIGURA 22 - CONFIGURAÇÃO DA SUPERSEQUÊNCIA GONDWANA I DA BACIA DO PARANÁ.	56
FIGURA 23 – DOMÍNIOS DEPOSICIONAIS RELACIONADOS A FASE FINAL DO TSMA DA SEQUÊNCIA IRATI 1 (SI1).....	58
FIGURA 24 – ISÓPACAS DA SI1 .....	59
FIGURA 25 - ISÓPACAS DA SI2.....	60
FIGURA 26 - DOMÍNIOS DEPOSICIONAIS RELACIONADOS À FASE INTERMEDIÁRIA DOS TRATOS DE SISTEMAS TRANSGRESSIVO (TST) E DE MAR ALTO (TSMA) DA SI2	62
FIGURA 27 - ISÓPACAS DA SI3.....	63
FIGURA 28 - DOMÍNIOS DEPOSICIONAIS RELACIONADOS A FASE INTERMEDIÁRIA E FINAL DOS TRATOS DE SISTEMAS TRANSGRESSIVOS (TST) E MAR ALTO (TSMA) DA SEQUÊNCIA IRATI 3 (SI3).....	65
FIGURA 29 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DE FÁCIES PELÍTICAS E EVAPORÍTICAS DO MEMBRO MORRO DO ALTO. ....	67
FIGURA 30 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DE FÁCIES PELÍTICAS E CARBONÁTICAS DO MEMBRO IPEÚNA.....	68
FIGURA 31 - AFLORAMENTO OCORRENTE NA PEDREIRA VITTI.....	70
FIGURA 32 - BANCO DOLOMÍTICO COMPOSTO POR DOLOLUTITOS A DOLOARENITO COM LAMINAÇÃO PLANO-PARALELA.....	70
FIGURA 33 - CAMADAS DE DOLOLUTITOS LENTICULARIZADOS DA SEÇÃO RÍTMICA.....	71
FIGURA 34 - PERFIL LITOLÓGICO DA PEDREIRA VITTI COM INDICAÇÕES DOS NÍVEIS AMOSTRADOS E LAMINADOS. ....	72
FIGURA 35 - PERFIL LITOLÓGICO DO TESTEMUNHO FP-01-PR COM INDICAÇÕES DOS NÍVEIS AMOSTRADOS E LAMINADOS. ....	74
FIGURA 36 - TESTEMUNHOS ILUSTRANDO O CONTATO DOS MEMBROS TAQUARAL E ASSISTÊNCIA .....	75
FIGURA 37 - ROCHA MARROM ACINZENTADA DE COMPOSIÇÃO BETONÍTICA. ....	76
FIGURA 38 - BANCO DOLOMÍTICO .....	77
FIGURA 39 - AMOSTRA DE NÍVEL BRECHADO RICO EM BIOCLASTOS FOSFATIZADOS. ....	78
FIGURA 40 - DISPONIBILIDADE DAS FÁCIES INDIVIDUALIZADAS NA CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS CARBONÁTICAS, BASEADA NA TEXTURA DEPOSICIONAL .....	78

FIGURA 41 - ASPECTO MESOSCÓPICO DA LITOFÁCIES <i>MUDSTONE</i> LAMINADO .....	82
FIGURA 42 - BIOCLASTOS DE MESOSSAUROS.....	83
FIGURA 43 - LITOFÁCIES <i>MUDSTONE</i> LAMINADO.....	84
FIGURA 44 - TESTE DE TINGIMENTO COM ALIZARINA COM FERRICIANETO DE POTÁSSIO ....	86
FIGURA 45 - ASPECTO MESOSCÓPICO DA FÁCIES <i>MUDSTONE</i> MACIÇO .....	89
FIGURA 46 - FOTOMICROGRAFIA DA LITOFÁCIES <i>MUDSTONE</i> MACIÇO.....	90
FIGURA 47 - PORÇÃO DO TESTEMUNHO DE SONDAGEM FP-01-PR COM A LITOFÁCIES <i>MUDSTONE</i> A <i>WACKSTONE</i> BIOCLÁSTICO PELOIDAL .....	92
FIGURA 48 - DETALHE DO BANCO DOLOMÍTICO ONDE PODE-SE VERIFICAR OS DOLOLUTITOS A DOLARENITOS FINOS MARROM AVERMELHADOS ALTERNADOS COM BRANCO ACINZENTADOS. ....	93
FIGURA 49 - ASPECTO MESOSCÓPICO DA LITOFÁCIES <i>WACKSTONE</i> BICLÁSTICO PELOIDAL .....	94
FIGURA 50 - FOTOMICROGRAFIAS DA LITOFÁCIES <i>WACKSTONE</i> BIOCLASTICO PELOIDAL..	95
FIGURA 51 – TINGIMENTO DAS ROCHAS DA LITOFÁCIES <i>MUDSTONE</i> A <i>WACKSTONE</i> BIOCLÁSTICO PELOIDAL.....	97
FIGURA 52 - ASPECTO MESOSCÓPICO DA FÁCIES BRECHA INTRAFORMACIONAL.....	98
FIGURA 53 - FOTOMICROGRAFIAS DA LITOFÁCIES BRECHA INTRAFORMACIONAL .....	100
FIGURA 54 - ASPECTO MESOSCÓPICO DA LITOFÁCIES <i>MUDSTONE</i> LAMINADO BRECHADO. .....	102
FIGURA 55 - LITOFÁCIES <i>MUDSTONE</i> LAMINADO BRECHADO .....	103
FIGURA 56 - DIFRATOGRAMAS REPRESENTATIVOS DAS AMOSTRAS ANALISADAS.....	105
FIGURA 57 – PERFIL MINERALÓGICO GERADO A PARTIR DAS ANÁLISES DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X. ....	106
FIGURA 58 - DIFRATOGRAMAS DAS AMOSTRAS DO BANCO DOLOMÍTICO DA PEDREIRA VITTI. .....	107
FIGURA 59 - DIFRATOGRAMAS DAS ROCHAS CARBONÁTICAS DA SEÇÃO RÍTMICA DA PEDREIRA VITTI .....	108
FIGURA 60 - TRATAMENTO DE ARGILOMINERAIS .....	109
FIGURA 61 - DIFRATOGRAMAS DA AMOSTRA MAVT-42 CORRELACIONADOS COM DIFRATOGRAMAS COM TRATAMENTO .....	110
FIGURA 62 - RELAÇÃO DOS ÓXIDOS DE CÁLCIO E MAGNÉSIO DAS AMOSTRAS DA PEDREIRA VITTI.....	111

FIGURA 63 - RELAÇÃO DOS ÓXIDOS DE CA, MG, SI E AL (EIXO X) COM A COTA (EIXO Y) DAS AMOSTRAS DA PEDREIRA VITTI.....	112
FIGURA 64 - ASSINATURA DOS ISÓTOPOS DE $\Delta^{13}\text{C}$ E $\Delta^{18}\text{O}$ DAS AMOSTRAS DA PEDREIRA VITTI.....	113
FIGURA 65 - PERFIL QUIMIOESTRATIGRÁFICO DAS ROCHAS DA PEDREIRA VITTI COM A VARIAÇÃO DOS ÓXIDOS MAIORES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO, SILÍCIO, ALUMÍNIO, FERRO E PERDA AO FOGO .....	115
FIGURA 66 - PERFIL QUIMIOESTRATIGRÁFICO DAS ROCHAS DA PEDREIRA VITTI.....	116
FIGURA 67 - COMPORTAMENTO DOS $\Delta^{13}\text{C}$ E $\Delta^{18}\text{O}$ DAS UNIDADES QUÍMICAS INDIVIDUALIZADAS NO PERFIL LEVANTADO NA PEDREIRA VITTI.....	117
FIGURA 68 - RELAÇÃO DOS ÓXIDOS MAIORES E ELEMENTOS TRAÇOS DA UNIDADE QUÍMICA A COM A COTA. ....	119
FIGURA 69 - RELAÇÃO DOS ÓXIDOS MAIORES E ELEMENTOS TRAÇOS DA UNIDADE QUÍMICA B COM A COTA DO PERFIL LEVANTADO NA PEDREIRA VITTI.....	121
FIGURA 70 - RELAÇÃO DOS ÓXIDOS MAIORES E ELEMENTOS TRAÇO COM COTA DO PERFIL AMOSTRADO NA UNIDADE QUÍMICA C.....	123
FIGURA 71 - RELAÇÃO DOS ÓXIDOS MAIORES E ELEMENTOS TRAÇOS DAS AMOSTRAS DA UNIDADE QUÍMICA D. ....	125
FIGURA 72 - PERFIL INTEGRADO DOS DADOS DAS ROCHAS DA PEDREIRA VITTI. ....	129
FIGURA 73 - PERFIL MINERALÓGICO GERADO A PARTIR DAS ANÁLISES DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X NAS ROCHAS DO TESTEMUNHO DE SONDAÇÃO FP-01-PR.....	131
FIGURA 74 - DIFRATOGRAMAS DAS AMOSTRAS DE ROCHAS CARBONÁTICAS DA LITOFÁCIES <i>MUDSTONE</i> LAMINADO BRECHADO DO TESTEMUNHO DE SONDAÇÃO FP-01-PR .....	132
FIGURA 75 - DIFRATOGRAMAS DAS AMOSTRAS DO BANCO DOLOMÍTICO DO TESTEMUNHO DE SONDAÇÃO FP-01-PR. ....	133
FIGURA 76 - DIFRATOGRAMAS DAS AMOSTRAS DE ROCHAS CARBONÁTICAS DA SEÇÃO RÍTMICA INFERIOR DO TESTEMUNHO DE SONDAÇÃO FP-01-PR .....	134
FIGURA 77 - DIFRATOGRAMAS DAS AMOSTRAS DE ROCHAS CARBONÁTICAS DA SEÇÃO RÍTMICA SUPERIOR. ....	134
FIGURA 78 - DIFRATOGRAMAS DAS AMOSTRAS DE ROCHAS CARBONÁTICAS DA SEÇÃO RÍTMICA INFERIOR, SUBMETIDAS AO TRATAMENTO PARA ARGILOMINERAL.....	136

FIGURA 79 - DIFRATOGRAMAS DAS AMOSTRAS DE ROCHAS CARBONÁTICAS DA LITOFÁCIES <i>MUDSTONE</i> LAMINADO BRECHADO SUBMETIDAS AO TRATAMENTO PARA ARGILOMINERAL .....	137
FIGURA 80 - DIFRATOGRAMAS DAS AMOSTRAS DE ROCHAS CARBONÁTICAS DA LITOFÁCIES <i>MUDSTONE</i> LAMINADO BRECHADO SUBMETIDAS AO TRATAMENTO PARA ARGILOMINERAL, ONDE SE OBSERVA AS REFLEXÕES TÍPICAS DOS INTERESTRATIFICADOS CLORITA/ESMECTITA. ....	138
FIGURA 81 - RELAÇÃO ÓXIDOS DE CÁLCIO E MAGNÉSIO DAS AMOSTRAS DO TESTEMUNHO FP-01-PR. ....	139
FIGURA 82 - RELAÇÃO DOS ÓXIDOS DE Ca, Mg, Si e Al (EIXO X) COM A PROFUNDIDADE (EIXO Y) DAS AMOSTRAS DO TESTEMUNHO DE SONDAAGEM FP-01-PR. ....	141
FIGURA 83 - ASSINATURA DOS ISÓTOPOS DE $\Delta^{13}\text{C}$ E $\Delta^{18}\text{O}$ DAS ROCHAS DO TESTEMUNHO DE SONDAAGEM FP-01-PR. ....	142
FIGURA 84 - PERFIL QUIMIOESTRATIGRÁFICO DAS ROCHAS DO TESTEMUNHO DE SONDAAGEM FP-01-PR COM A VARIAÇÃO DOS ÓXIDOS MAIORES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO, SILÍCIO, ALUMÍNIO, FERRO E PERDA AO FOGO . ....	145
FIGURA 85 - PERFIL QUIMIOESTRATIGRÁFICO DAS ROCHAS DO TESTEMUNHO DE SONDAAGEM FP-01-PR COM AS RAZÕES ENTRE ALGUNS ÓXIDOS E ELEMENTOS-TRAÇO.....	146
FIGURA 86 - COMPORTAMENTO DOS $\Delta^{13}\text{C}$ E $\Delta^{18}\text{O}$ DAS UNIDADES QUÍMICAS INDIVIDUALIZADAS NO PERFIL LEVANTADO NO TESTEMUNHO DE SONDAAGEM FP-01-PR. ....	147
FIGURA 87 - RELAÇÃO DOS ÓXIDOS E ELEMENTOS-TRAÇO COM A PROFUNDIDADE DAS AMOSTRAS DA UNIDADE QUÍMICA 2.....	150
FIGURA 88 - RELAÇÃO DOS ÓXIDOS E ELEMENTOS-TRAÇO COM A PROFUNDIDADE DAS AMOSTRAS DA UNIDADE QUÍMICA 3.....	152
FIGURA 89 - PERFIL INTEGRADO DOS DADOS GERADOS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X, FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X E ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE $\Delta^{13}\text{C}$ E $\Delta^{18}\text{O}$ DAS ROCHAS DO TESTEMUNHO DE SONDAAGEM FP-01-PR.....	157
FIGURA 90 – RELAÇÃO ESTRE OS DADOS QUÍMICOS PRINCIPAIS DAS ROCHAS OCORRENTES NO BANCO DOLOMÍTICO DA PEDREIRA VITTI E DO TESTEMUNHO DE SONDAAGEM FP-01-PR. ....	159

FIGURA 91 - RELAÇÃO ESTRE OS DADOS QUÍMICOS PRINCIPAIS DOS <i>MUDSTONES</i> OCORRENTES NA SEÇÃO RÍTMICA DA PEDREIRA VITTI E DO TESTEMUNHO DE SONDAÇÃO FP-01-PR. ....	161
FIGURA 92 - CORRELAÇÃO QUÍMICA DOS ÓXIDOS DE CA, MG, SI, AL E FE DOS PERFIS LEVANTADOS NA PEDREIRA VITTI E TESTEMUNHO FP-01-PR. ....	163
FIGURA 93 - CORRELAÇÃO QUÍMICA DOS ÓXIDOS DE NA, K, TI, MN E P DOS PERFIS LEVANTADOS NA PEDREIRA VITTI E TESTEMUNHO FP-01-PR ....	164
FIGURA 94 - CORRELAÇÃO QUÍMICA DOS ELEMENTO-TRAÇOS SR, BA, S E CL DOS PERFIS LEVANTADOS NA PEDREIRA VITTI E TESTEMUNHO FP-01-PR ....	165
FIGURA 95 - CORRELAÇÃO DOS ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE $\Delta^{13}\text{C}$ E $\Delta^{18}\text{O}$ DOS PERFIS LEVANTADOS NA PEDREIRA VITTI E TESTEMUNHO FP-01-PR. ....	167
FIGURA 96 - RELAÇÃO ESTRE OS DADOS ISOTÓPICOS DOS <i>MUDSTONES</i> OCORRENTES NA PEDREIRA VITTI E NO TESTEMUNHO DE SONDAÇÃO FP-01-PR. ....	168
FIGURA 97 - CONTEXTUALIZAÇÃO DO PERFIL DO TESTEMUNHO DE SONDAÇÃO FP-01-PR NOS DOMÍNIOS DEPOSICIONAIS RELACIONADOS A FASE FINAL DO TSMA DA SI1 DE ARAÚJO (2001).....	171
FIGURA 98 - CONTEXTUALIZAÇÃO DOS PERFIS DO TESTEMUNHO DE SONDAÇÃO FP-01-PR E PEDREIRA VITTI NOS DOMÍNIOS DEPOSICIONAIS RELACIONADOS À FASE INTERMEDIÁRIA DOS TST E TSMA DA SI2 DE ARAÚJO (2001).....	173
FIGURA 99 - CONTEXTUALIZAÇÃO DOS PERFIS DO TESTEMUNHO DE SONDAÇÃO FP-01-PR E DA PEDREIRA VITTI NOS DOMÍNIOS DEPOSICIONAIS RELACIONADOS À FASE INTERMEDIÁRIA E FINAL DOS TST E TSMA DA SI3 DE ARAÚJO (2001). ....	175
FIGURA 100 – CORRELAÇÃO DOS PERFIS ESTUDADOS COM O EMPILHAMENTO VERTICAL E DISTRIBUIÇÃO LATERAL DAS LITOFÁCIES DA FORMAÇÃO IRATI ESTUDADAS POR ARAÚJO (2001). ....	176
FIGURA 101 - SUBDIVISÃO LITOESTRATIGRÁFICA DO SUBGRUPO IRATI SEGUNDO HACHIRO <i>ET AL.</i> 1993 RELACIONANDO AS ROCHAS ESTUDADAS.....	177
FIGURA 102 - CONTEXTUALIZAÇÃO DO TESTEMUNHO DE SONDAÇÃO FP-01-PR E PEDREIRA VITTI NOS MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO DE FÁCIES PELÍTICAS E CARBONÁTICAS DO MEMBRO MORRO DO ALTO (ESQUERDA) E MEMBRO IPEÚNA (DIREITA) DE HACHIRO (1996).....	180



FIGURA 103 - CORRELAÇÃO DAS UNIDADES QUÍMICAS INDIVIDUALIZADAS NOS PERFIS ESTUDADOS (TESTEMUNHO DE SONDAGEM FP-01-PR E PEDREIRA VITTI) COM AS UNIDADES DE ARAÚJO (2001) E HACHIRO <i>ET AL.</i> , (1993).....	181
FIGURA 104 – COMPARAÇÃO DA ASSINATURA DO $\Delta^{13}\text{C}$ E $\Delta^{18}\text{O}$ DAS ROCHAS ESTUDADAS COM A FAIXA DO $\Delta^{18}\text{O}$ POUCO ALTERADO DE INVERTEBRADOS E CIMENTOS CARBONÁTICOS MARINHOS DO PERMIANO .....	187
FIGURA 105 - DIAGRAMAS MOSTRANDO A RELAÇÃO DAS ASSINATURAS DOS ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE $\Delta^{13}\text{C}$ E $\Delta^{18}\text{O}$ DAS ROCHAS ESTUDADAS COM OS CARBONATOS MARINHO NEOPERMIANOS DE VEIZER <i>ET AL.</i> , 1999.....	188
FIGURA 106 – CORRELAÇÃO DOS DADOS DOS PERFIS ESTUDADOS COM AS DOLOMITAS DE ALTA E BAIXA TEMPERATURA DEFINIDAS POR ALLAN E WIGGINS (1993). .....	189
FIGURA 107 – CONTEXTUALIZAÇÃO DA ASSINATURA DO $\Delta^{13}\text{C}$ DOS PERFIS ESTUDADOS NO GRÁFICO DE WIGGINS <i>ET. AL.</i> , (1993) .....	191
FIGURA 108 - DIAGRAMA $\Delta^{13}\text{C}$ VERSUS $\Delta^{18}\text{O}$ COM OS DIFERENTES CAMPOS PARA ROCHAS CARBONÁTICAS PROPOSTOS POR HUDSON (1977).....	193

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RESUMO DESCRITIVO DAS LITOFÁCIES.....	79
--	----

## LISTA DE SIGLAS

DRX – Difração de raios X

FRX – Fluorescência de raios X

MAVT - Denominação utilizada para as amostras da Pedreira Vitti

MASP - Denominação utilizada para as amostras do testemunho de furo de sondagem FP-01-PR

TSMA – Tratos de Sistemas de Mar Alto

TSMB – Tratos de Sistemas de Mar Baixo

TST – Tratos de Sistemas Transgressivo

SIM – Superfície de Inundação Máxima

ST – Superfície Transgressiva

SI1 – Sequência Irati 1

SI2 – Sequência Irati 2

SI3 – Sequência Irati 3

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	21
1.1	APRESENTAÇÃO.....	21
1.2	JUSTIFICATIVA.....	25
1.3	OBJETIVOS .....	25
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	27
2.1	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.2	TRABALHOS DE CAMPO .....	27
2.3	ANÁLISES MINERALÓGICAS E QUÍMICAS .....	28
2.3.1	Petrografia .....	33
2.3.2	Difratometria de Raios X .....	34
2.3.3	Fluorescência de Raios X .....	38
2.4	ANÁLISES DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE <sup>13</sup> C E <sup>18</sup> O.....	40
2.5	ANÁLISE DE UNIDADES QUÍMIOESTRATIGRÁFICAS.....	42
<b>3</b>	<b>GEOLOGIA REGIONAL</b> .....	43
3.1	INTRODUÇÃO .....	43
3.2	FORMAÇÃO IRATI NO CONTEXTO DEPOSICIONAL DA BACIA DO PARANÁ .....	49
3.3	CONTEXTO DEPOSICIONAL DAS ROCHAS DO MEMBRO ASSISTÊNCIA.....	57
<b>4</b>	<b>LITOFÁCIES CARBONÁTICAS</b> .....	69
4.1	INTRODUÇÃO .....	69
4.2	LITOFÁCIES <i>MUDSTONE</i> LAMINADO.....	81
4.3	LITOFÁCIES <i>MUDSTONE</i> MACIÇO .....	87
4.4	LITOFÁCIES <i>MUDSTONE</i> A <i>WACKESTONE</i> BIOCLÁSTICO PELOIDAL.....	92
4.5	LITOFÁCIES BRECHA INTRAFORMACIONAL .....	98
4.6	<i>MUDSTONE</i> LAMINADO BRECHADO.....	101

<b>5 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA POR DRX, QUÍMICA POR FRX E DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE <math>\delta^{13}\text{C}</math> E <math>\delta^{18}\text{O}</math></b> .....	104
5.1 PEDREIRA VITTI.....	104
5.1.1 Caracterização mineralógica por DRX.....	104
5.1.2 Caracterização química e isotópica.....	111
5.1.2.1 Unidade química A.....	118
5.1.2.2 Unidade química B.....	120
5.1.2.3 Unidade química C.....	122
5.1.2.4 Unidade química D.....	124
5.1.3 Integração dos resultados.....	126
5.2 TESTEMUNHO DE SONDAGEM FP-01-PR.....	130
5.2.1 Caracterização mineralógica por DRX.....	130
5.2.2 Caracterização química e isotópica.....	139
5.2.2.1 Unidade química 2 .....	148
5.2.2.2 Unidade química 3 .....	151
5.2.3 Integração dos resultados.....	153
<b>6 CORRELAÇÃO QUIMIOESTRATIGRÁFICA</b> .....	158
<b>7 DISCUSSÃO</b> .....	169
7.1 CORRELAÇÃO COM TRABALHOS ANTERIORES .....	169
7.2 ISOTOPOS ESTAVES DE $\delta^{13}\text{C}$ E $\delta^{18}\text{O}$ .....	185
<b>8 CONCLUSÕES</b> .....	195
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	202
<b>APÊNDICE 1</b> .....	207
<b>APÊNDICE 2</b> .....	207
<b>APÊNDICE 3</b> .....	209

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

A proposta de estudo litofaciológico, químico e isotópico além da correlação quimioestratigráfica apresentada visa detalhar e compreender as condições deposicionais e pós-deposicionais das rochas carbonáticas do Membro Assistência da Formação Irati.

De acordo com os dados disponíveis dessa unidade estratigráfica (Formação Irati), sua faixa de afloramentos no Brasil se estende desde os Estados do Rio Grande do Sul até Goiás (FIGURA 1). No contexto do preenchimento sedimentar da Bacia do Paraná, está compreendida na Seqüência Gondwana I (Neocarbonífero – Eotriássico), constituindo a base do grupo Passa Dois no Permiano (Neo-artinskiano) (SANTOS *et al.*, 2006).

Esta Formação corresponde a um intervalo de sedimentação química-siliciclástica, sendo subdividida em dois Membros: Taquaral (inferior) e Assistência (Superior), sendo este último objeto deste estudo. No Membro Taquaral ocorrem folhelhos com rochas carbonáticas e silexíticas subordinadas (HACHIRO, 1996), depositados em ambiente marinho de águas calmas, abaixo do nível de ação das ondas. O Membro Assistência é marcado por intercalações rítmicas de folhelhos pretos betuminosos e calcários, depositadas em ambientes marinhos de águas rasas (ARAÚJO, 2001).

De maneira geral, a quimioestratigrafia visa caracterizar e correlacionar estratos a partir de dados de geoquímica orgânica e inorgânica (RODRIGUES, 2005). No entanto, aqui se propõe a definição e correlação de unidades químicas, embasadas na geoquímica inorgânica das rochas carbonáticas do Membro Assistência.

Foram desenvolvidas análises químicas por Fluorescência de Raios X (FRX), mineralógicas por Difractometria de Raios X (DRX), análises petrográficas e de isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  e  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  que, integradas, embasaram a correlação quimioestratigráfica dos perfis estudados.

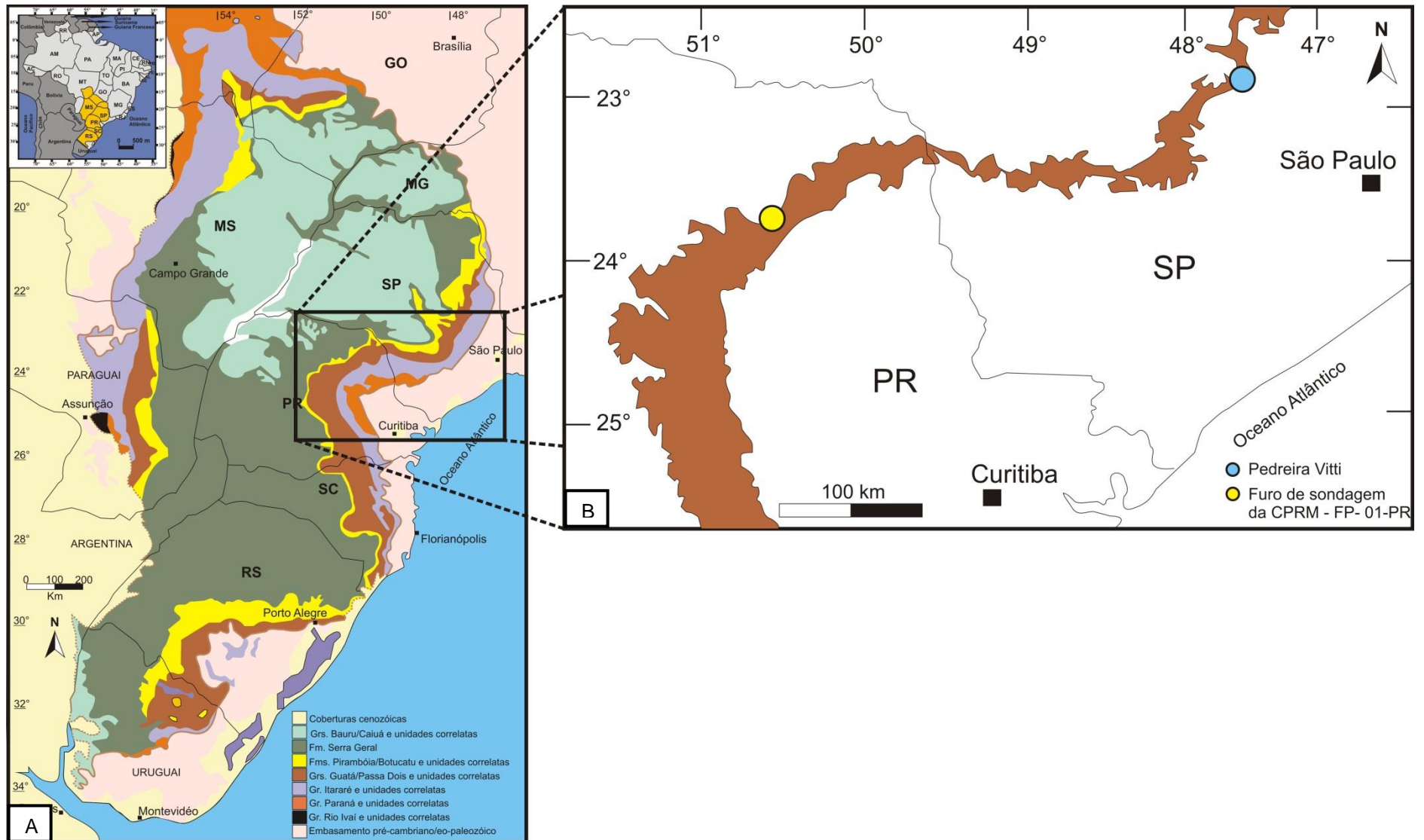


FIGURA 1 - Mapas com a localização da área estudada. A) mapa de localização da Bacia do Paraná extraído de Vesely (2006); B) Localização do afloramento amostrado e do furo de sondagem no grupo passa dois, bacia do paraná (modificado de Lages, 2004).

Os perfis escolhidos para amostragem apresentam rochas carbonáticas representativas do Membro Assistência e estão separados por uma distância aproximada de 312 Km. Rochas de duas localidades foram estudadas (FIGURA 2): 1) Pedreira Vitti (município de Saltinho - SP), localizada a 20 km de Piracicaba (SP), nas coordenadas geográficas W 47°43'15" e S 22°54'23"; 2) Testemunho de furo de sondagem da CPRM denominado FP-01-PR, situado no município de Ibaiti, norte do Paraná, nas coordenadas geográficas W 50°23'31.47" e S 23°38'56.44".

Existe consenso na literatura quanto à subdivisão das rochas do Irati em duas unidades, Taquaral e Assistência. Porém, basicamente dois modelos hierárquicos de nomenclaturas são propostos para essas rochas.

Considerando o trabalho de Araújo (2001) e as últimas atualizações quanto a litoestratigrafia e geocronologia da Bacia do Paraná (MILANI *et al.*, 2007), as rochas estudadas, pertencem ao Membro Assistência da Formação Irati (nomenclatura adotada nesse trabalho).

Tendo por base as definições de Hachiro (1996), as rochas se enquadram no Membro Morro do Alto e Membro Ipeúna, pertencente à Formação Assistência do Subgrupo Irati.



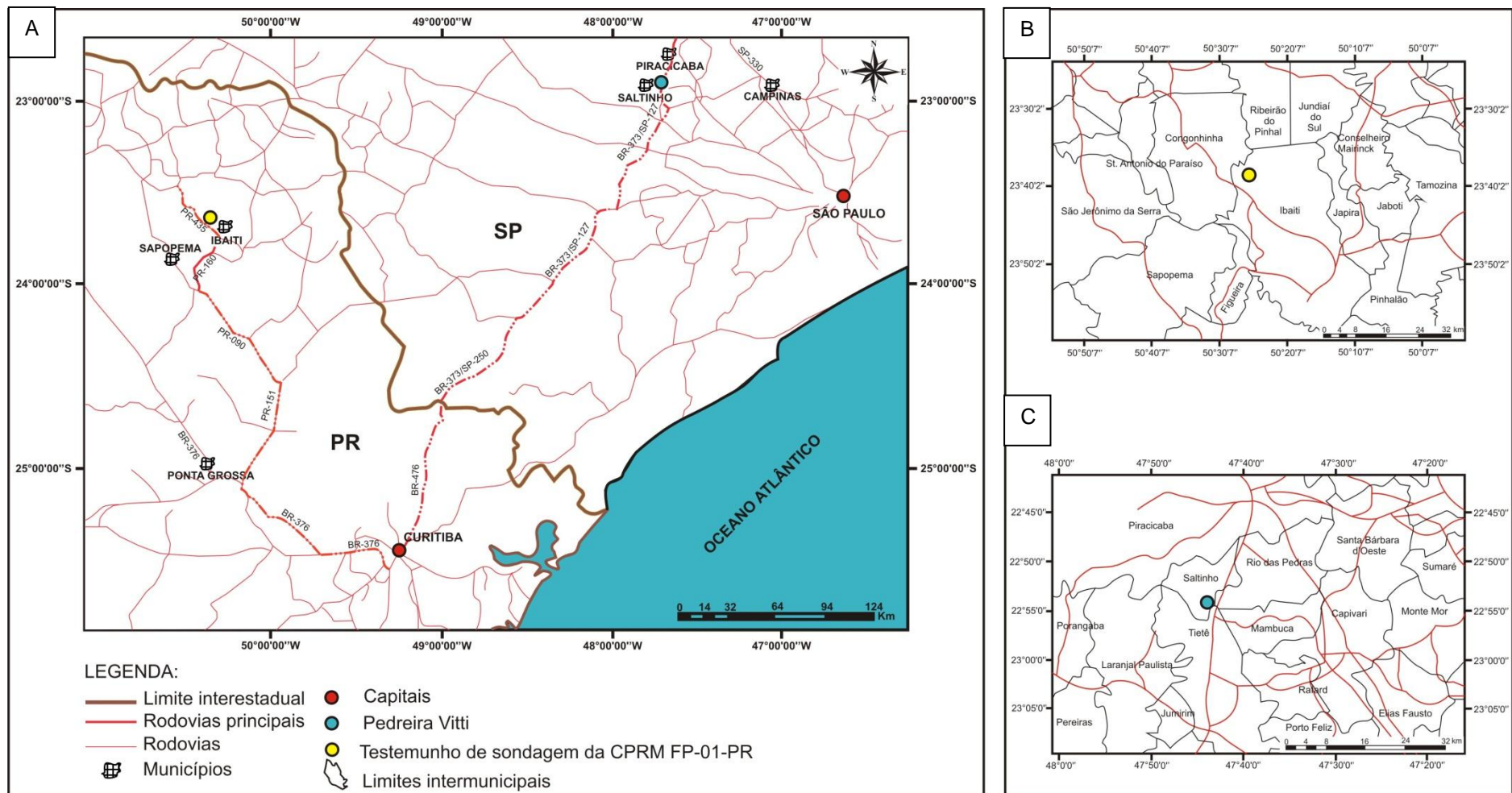


FIGURA 2 – Localização dos perfis estudados. A) Principais vias de acesso; B) Detalhe da disposição do Testemunho FP-01-PR e; C) Detalhe da região onde se encontra a Pedreira Vitti.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A geoquímica orgânica e inorgânica tem demonstrado ser uma ferramenta importante para caracterização estratigráfica, sobretudo em rochas carbonáticas.

A quimioestratigrafia busca individualizar intervalos com base no padrão vertical de comportamento dos elementos químicos. As variações químicas em rochas carbonáticas refletem mudanças mineralógicas de difícil caracterização através de análises mesoscópicas, bem como condições paleoambientais deposicionais e alterações diagenéticas.

A Formação Irati já foi estudada com enfoque quimioestratigráfico por Araújo (2001), onde a abordagem foi predominantemente orgânica e regional a partir de testemunhos de sondagem. Neste trabalho, busca-se a aplicação da geoquímica inorgânica nas rochas carbonáticas do Membro Assistência, com base em análises mineralógicas, químicas de elementos maiores e traços, isótopos de carbono e oxigênio inorgânico. A utilização de duas áreas distintas visa buscar elementos de correlação estratigráfica baseada na assinatura química do intervalo estudado.

Dessa forma, a quimioestratigrafia inorgânica proposta, aliada aos dados químicos orgânicos, fossilíferos e palinológicos publicados até então, pode contribuir na interpretação das condições paleoambientais reinantes na época da deposição das rochas carbonáticas do Membro Assistência.

## 1.3 OBJETIVOS

Considerando o estágio de conhecimento da Formação Irati, o objetivo geral deste trabalho é detalhar as rochas carbonáticas do Membro Assistência a partir da abordagem faciológica e mineralógica e propor unidades químicas com base na geoquímica inorgânica buscando compreender os condicionantes paleoambientais.

Com a finalidade de alcançar tais resultados, esse trabalho visa atingir os seguintes objetivos específicos:

- a) Caracterizar mineralógicamente as rochas carbonáticas do Membro Assistência a partir de análises de DRX e análises petrográficas, visando

identificar os minerais principais e individualizar litofácies de acordo com o aspecto textural;

- b) Caracterizar os perfis levantados de acordo com a assinatura dos óxidos e elementos-traço considerados;
- c) Individualizar unidades químicas em ambos os perfis estudados;
- d) Caracterizar os perfis de acordo com as assinaturas dos isótopos estáveis  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  e  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ ;
- e) Estabelecer uma correlação entre os perfis estudados;
- f) Correlacionar os dados obtidos com aqueles disponíveis na literatura.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Consistiu no levantamento bibliográfico referente ao preenchimento sedimentar da Bacia do Paraná com foco na Formação Irati (sedimentologia, estratigrafia e geoquímica) a fim de avaliar o atual estado de conhecimento sobre essas rochas. Também foram pesquisadas referências na área de geoquímica de rochas carbonáticas, bem como aplicação e interpretação dos dados adquiridos pelas técnicas neste trabalho.

### 2.2 TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo consistiram na amostragem de rochas em uma pedreira (Pedreira Vitti) localizada em São Paulo (Saltinho) e do testemunho de sondagem FP-01-PR no norte do Paraná (Ibaiti).

A amostragem visou análises geoquímicas, descrições petrográficas mesoscópicas e microscópicas das rochas carbonáticas do Membro Assistência. Para isso, foram priorizados afloramentos e testemunho que não apresentavam diques e soleiras de diabásio. Esse critério foi estabelecido na tentativa de obter resultados geoquímicos que fossem mais representativos de processos sedimentares, e não de processos pós-deposicionais decorrentes de intrusões associadas ao magmatismo Eocretáceo (Serra Geral).

A amostragem na Pedreira Vitti foi realizada em um perfil vertical com espaçamento de 30 cm, de modo a detalhar os 16 m de rochas carbonáticas que ocorrem alternadas com folhelhos e um banco carbonático dolomítico de 3 m. Foi realizada uma descrição litológica e das estruturas sedimentares encontradas, a fim de entender a disposição das litofácies carbonáticas e as relações entre elas. Vale ressaltar que das 54 amostras coletadas dentro do intervalo amostrado foram coletadas quatro amostras de folhelho e uma de argilito, sendo as restantes de rochas carbonáticas.

As rochas carbonáticas ocorrem com menor frequência no testemunho de sondagem do furo FP-01-PR do que na Pedreira Vitti. Dessa forma, não foi possível padronizar o intervalo amostrado, priorizando-se as ocorrências de rochas carbonáticas. Foram coletadas 56 amostras, desde o intervalo pertencente ao Membro Taquaral até a Formação Serra Alta, que sobrepõe o Membro Assistência. Destas amostras, 32 são de rochas carbonáticas e 24 compreendem folhelhos e siltitos, que foram coletados para manter uma referência ao longo do testemunho.

### 2.3 ANÁLISES MINERALÓGICAS E QUÍMICAS

As análises mineralógicas e químicas foram realizadas no Laboratório de Minerais e Rochas da UFPR (LAMIR), com exceção da confecção das lâminas que foi executada no centro de laminação do Departamento de Geologia da UFPR (LAMIN/DEGEL/UFPR).

No LAMIR, as amostras foram fotografadas, descritas em detalhe e preparadas para as análises químicas, mineralógicas e isotópicas. A fase de preparação das amostras consiste numa parte importante do trabalho, que condiciona os resultados das análises a serem confiáveis.

Na fase de preparação das rochas da Pedreira Vitti, as amostras foram fragmentadas manualmente, tendo-se o cuidado de retirar os fragmentos que continham óleo, para não comprometer as demais etapas. Foram quarteadas a fim de homogeneizá-las e separadas 30 gramas de amostras. Devido à umidade das amostras e quantidade considerável de óleo, os 30 gramas de amostras quarteadas foram submetidos à estufa a 50°C por aproximadamente 12 horas para só então serem pulverizados. A pulverização se deu em panela de ferro com revestimento de Nitreto de Titânio, em moinho da marca AMEF de disco orbital (marca *Marconi*), durante 60 segundos (FIGURA 3).

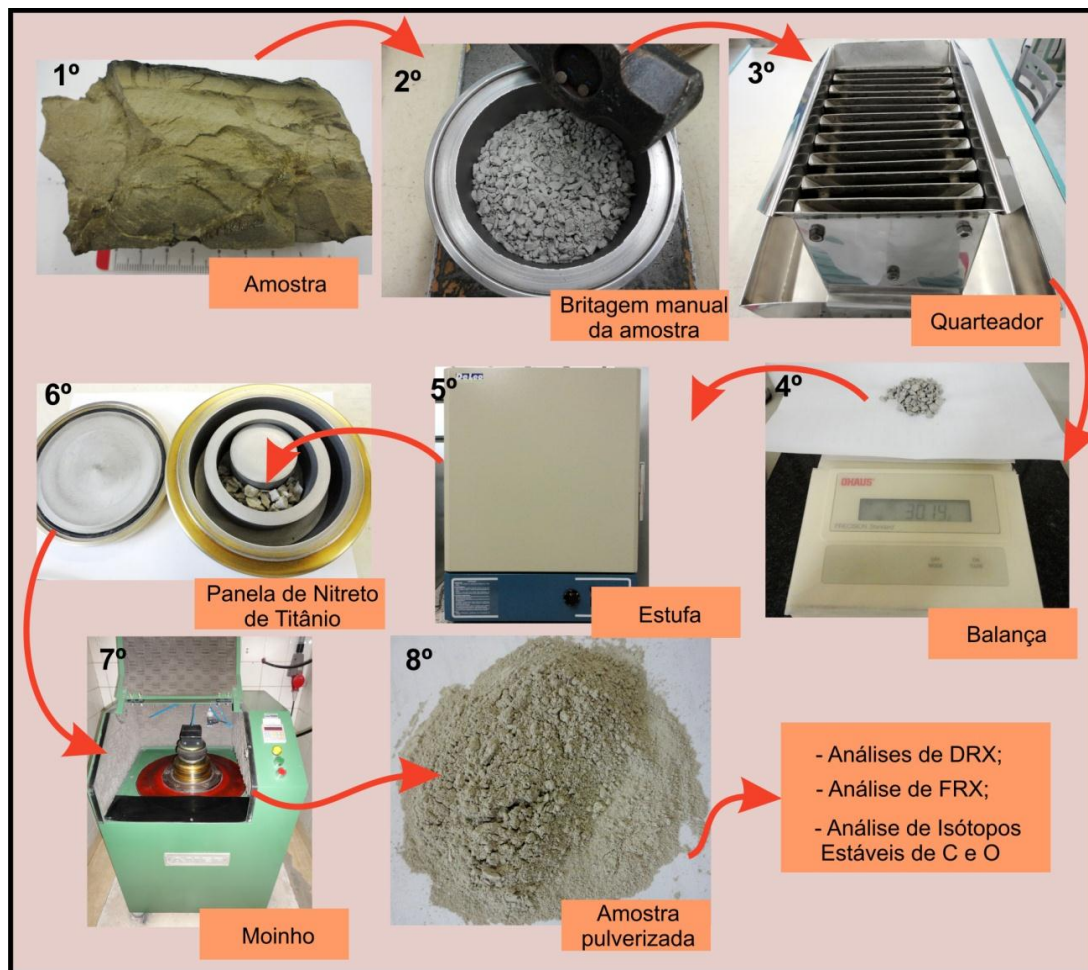


FIGURA 3 - Etapas de preparação das amostras da Pedreira Vitti para as análises químicas, mineralógicas e isotópicas.

A etapa de preparação das rochas do testemunho de sondagem FP-01-PR foi mais simples e mais rápida, pois na maioria das vezes as amostras eram muito pequenas, não alcançando 30 gramas. Dispensando, dessa forma, a etapa de quarteamento para separação dessa quantidade de material. Somente algumas amostras estavam úmidas e impregnadas por hidrocarboneto viscoso (betume), como aquelas da Pedreira Vitti, dessa forma foram submetidas à britagem manual e a estufa a 50°C por aproximadamente 12 horas e logo em seguida pulverizadas de acordo com as fases explicitadas na FIGURA 4.

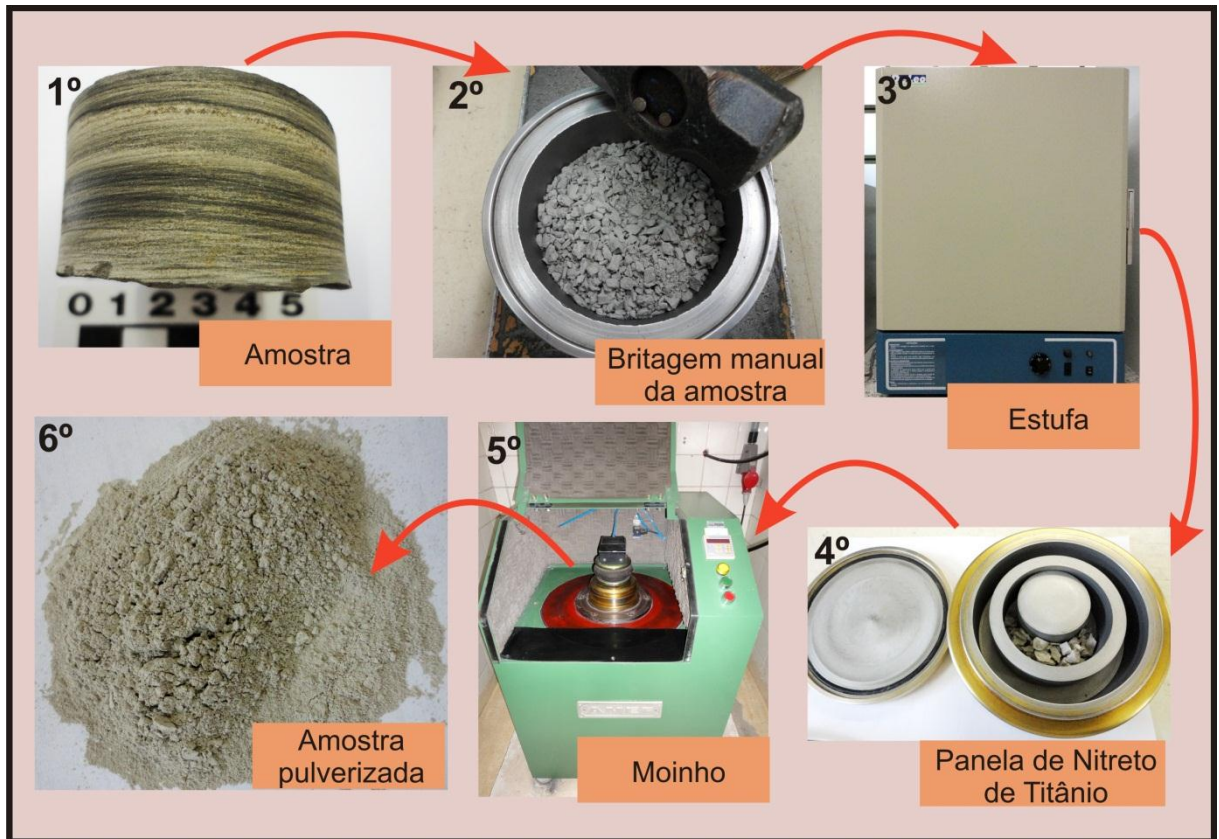


FIGURA 4 - Etapas de preparação das amostras do testemunho FP-01-PR úmidas e/ou impregnadas por betume, para as análises químicas, mineralógicas e isotópicas.

A maioria das amostras do testemunho FP-01-PR não estavam úmidas e tão pouco impregnadas por betume, dessa forma as etapas de preparação das mesmas para as análises químicas, mineralógicas e isotópicas se reduziram as seguintes: britagem manual das amostras, pulverização em panela de nitreto de titânio em moinho da marca AMEF de disco orbital (marca *Marconi*), durante 60 segundos (FIGURA 5)

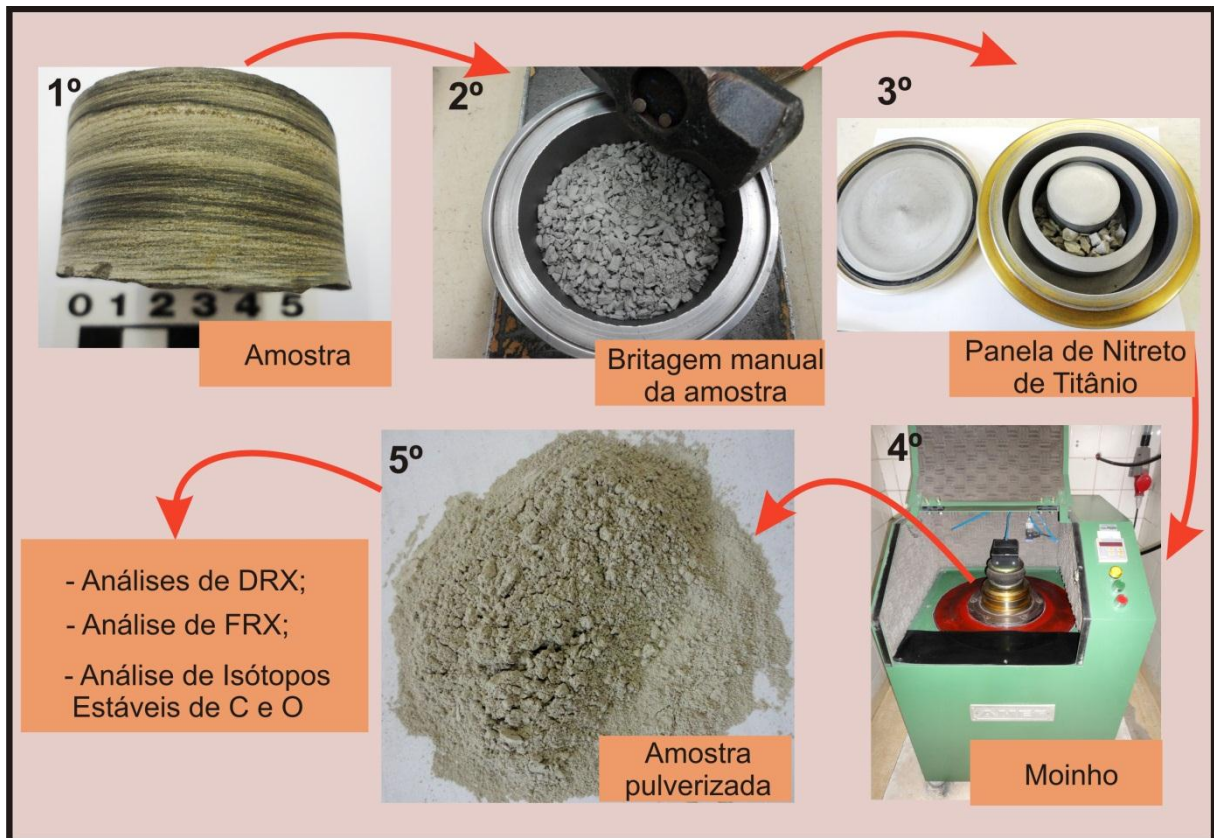


FIGURA 5 - Etapas de preparação da maioria das amostras do testemunho FP-01-PR, para as análises químicas, mineralógicas e isotópicas.

Depois das amostras pulverizadas os passos seguintes dependeram das análises que foram realizadas (FIGURA 6).

Para análises de difração de raios X, utilizou-se pó prensado, onde aproximadamente um grama de amostra foi prensado em placa de alumínio para então ser lida no difratômetro de raios X.

Para análises de Fluorescência de raios X, aproximadamente 10 gramas de cada amostra (pó) foi colocado em um frasco e posteriormente na estufa por 24 horas a 50°C. Depois de frio foi pesado 7 gramas de amostra e 1.4 gramas de cera para confecção das pastilhas. Essa mistura foi prensada em prensa da marca *Pfaff* e submetida ao programa convencional para calcários. Para complementar os dados, foram feitas análises de perda ao fogo.

A análise de perda ao fogo consiste na pesagem de 2 gramas de amostras em cadinhos de porcelana (que também são pesados sem amostra), sendo levados



a mufla por duas horas a uma temperatura de 1000°C. Depois os cadinhos são colocados no dessecador até esfriar e pesados novamente a fim de verificar quanto de voláteis foi perdido.

Para as análises isotópicas usa-se pouca amostra, cerca de 300 microgramas, isso reflete a importância de homogeneizar bem as amostras, para as leituras serem as mais representativas possíveis. A amostra é colocada em recipiente de vidro ("vial"), com septo de silicone e analisada no espectrômetro de massa da marca Delta V Plus, acoplado a um Gas Bench II.

A seguir, serão detalhadas as análises mineralógicas (petrografia e difratometria de raios X) e químicas (fluorescência de raios X) desenvolvidas nesse trabalho.

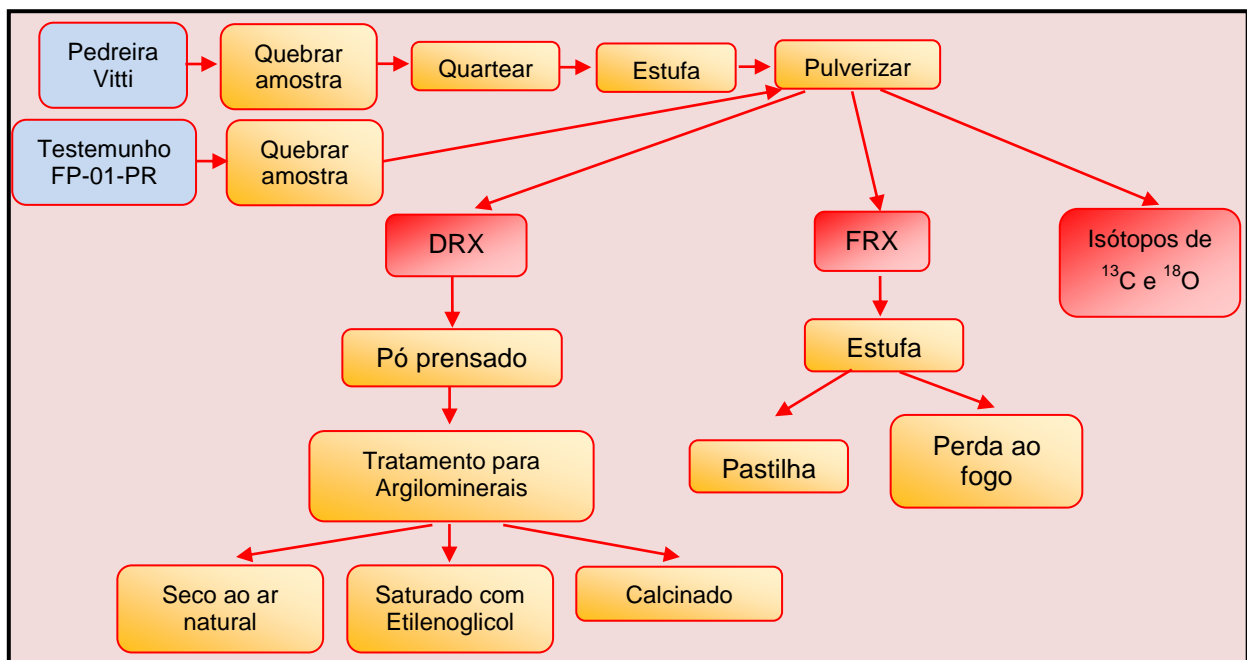


FIGURA 6 - Bloco diagrama esquemático das fases de preparação das amostras.

### 2.3.1 Petrografia

Esta etapa consistiu na análise mesoscópica das amostras de rochas carbonáticas (foco do trabalho) incluindo descrição das características faciológicas, quanto à cor, textura, mineralogia e estruturas sedimentares. Incluindo também a classificação segundo a granulometria das mesmas de acordo com Grabau (1904).

As análises microscópicas foram realizadas com base na textura deposicional segundo a classificação de Dunham (1962) modificada de Embry e Klovan (1971). Para tanto foi utilizado microscópio Olympus BX-60 de luz transmitida. As seções delgadas consistem de lâminas sem cobertura de verniz e lamínula. Dessa forma, utilizou-se óleo mineral nas lâminas para melhorar a qualidade das observações microscópicas e das fotos adquiridas. As análises petrográficas compreenderam 30 lâminas das rochas carbonáticas encontradas na Pedreira Vitti e 15 lâminas dessas rochas no testemunho do furo FP-01-PR.

As fotomicrografias foram adquiridas através do software DinoCapture e as escalas inseridas no software Image-ProPlus.

A fim de identificar os minerais carbonáticos presentes, nas rochas em que as análises de DRX apontaram para presença de dolomita e calcita e algumas vezes ankerita, foram realizados testes de colorimetria com alizarina com ferricianeto de potássio.

O teste de tingimento consiste em colocar parte da superfície da lâmina delgada em contato com a solução (alizarina+ ferricianeto de potássio) por aproximadamente 2 minutos. Posteriormente lava-se a lâmina e observa-se a mudança ou não de tonalidade dos minerais. Dessa forma, as dolomitas não sofrem mudanças de cor, a calcita fica vermelha, a dolomita ferrosa torna-se azul e a calcita ferrosa lilás a azul escuro. Observam-se então os minerais sob o microscópio petrográfico e a relação entre os minerais identificados.

### 2.3.2 Difractometria de Raios X

As análises de difratometria de raios X foram realizadas no Laboratório de Minerais e Rochas da UFPR (LAMIR). Todas as rochas amostradas coletadas (rochas carbonáticas, folhelhos, argilitos e siltitos) foram analisadas. Estas análises objetivaram a identificação de fases minerais e quantificação destas.

A quantificação das fases minerais envolve fatores como, a preparação da amostra, concentração e orientação preferencial dos minerais e do tempo de aquisição dos difratogramas.

A quantificação adotada no trabalho foi realizada através do método semi-quantitativo do Software *X'Pert HighScore* da PHILIPS (FIGURA 7). Esta é alcançada utilizando o fator de escala e o RIR (Reference Intensity Ratio - Razão das Intensidades de Interferência), para executar o cálculo do banco de dados que é realizado automaticamente pelo Software. Dessa forma, são estimadas as frações de massa das fases minerais identificadas.

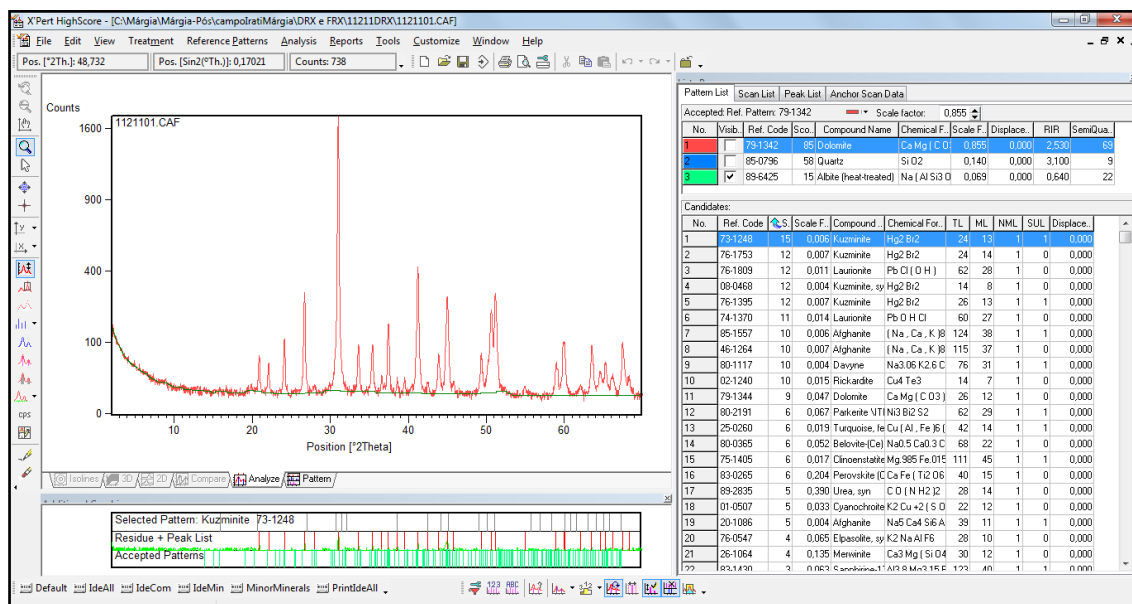


FIGURA 7 - Programa X'pert Highscore utilizado para interpretações de dados de difração de raios X.

As análises foram realizadas através de pó prensado e em duas etapas.

Na primeira etapa foram analisadas as rochas carbonáticas e pelíticas da Pedreira Vitti. O equipamento utilizado trata-se de um difratômetro de raios X da

Philips modelo PW 1830, com ânodo de Cu ( $\text{CuK}\alpha_{\text{=}} 1.54186 \text{ \AA}$ ) e gerador de tensão e corrente ajustados para 40 kV e 30 mA, respectivamente (FIGURA 8). O intervalo de varredura foi de  $3^\circ$  a  $70^\circ 2\theta$ . O tempo de aquisição dos difratogramas foi de 28,20 minutos.



FIGURA 8 - Difratômetro da Philips modelo PW 1830, no detalhe (canto esquerdo) placa com pó prensado.

Na segunda etapa foram realizadas as análises de DRX das amostras do testemunho FP-01-PR. Devido a disponibilidade de um novo equipamento no laboratório, foi utilizado um difratômetro da PANalytical, modelo EMPYREAN, Detector X'Celerator, também com ânodo de Cu ( $\text{CuK}\alpha_{\text{=}} 1.54186 \text{ \AA}$ ) e gerador de tensão 40 kV e corrente 30 mA e com mesmo intervalo de varredura ( $3^\circ - 70^\circ$ ). A adição neste equipamento do detector X'Celerator diminui o tempo de aquisição dos difratogramas para 3,08 minutos, aumentando a qualidade dos mesmos (FIGURA 9).



FIGURA 9 - Difratorômetro da PANalytical, modelo EMPYREAN, no detalhe (canto esquerdo) placa com pó prensado.

A técnica de difração de raios X consiste na incidência de radiação em uma amostra e na detecção dos fótons difratados. Cada composto cristalino apresenta um padrão difratométrico característico, permitindo sua identificação através das posições angulares e intensidades relativas dos picos difratados.

Nas estruturas cristalinas dos minerais, o fenômeno da difração de raios-X ocorre nas direções de espalhamento que satisfazem a Lei de Bragg. Onde, admitindo-se que um feixe monocromático de determinado comprimento de onda ( $\lambda$ ) incide sobre um cristal com o ângulo  $\theta$  (ângulo de Bragg), tem-se:

$$n \lambda = 2d \text{ sen } \theta$$

Sendo que:

$\lambda$ : corresponde ao comprimento de onda da radiação incidente;

$n$ : a ordem de difração;

$d$ : a distância interplanar para o conjunto de planos  $hkl$  (índice de Miller) da estrutura cristalina e;

$\theta$ : o ângulo medido entre o feixe incidente e determinados planos do cristal.

O feixe difratado é expresso através de picos registrados num espectro de intensidade *versus* ângulo  $2\theta$  ou “d”, constituindo o padrão difratométrico ou difratograma (FIGURA 10).

As intensidades obtidas em ângulo  $2\theta$  correspondem a difração do feixe incidente por um determinado conjunto de planos do cristal que possuem a mesma distância interplanar.

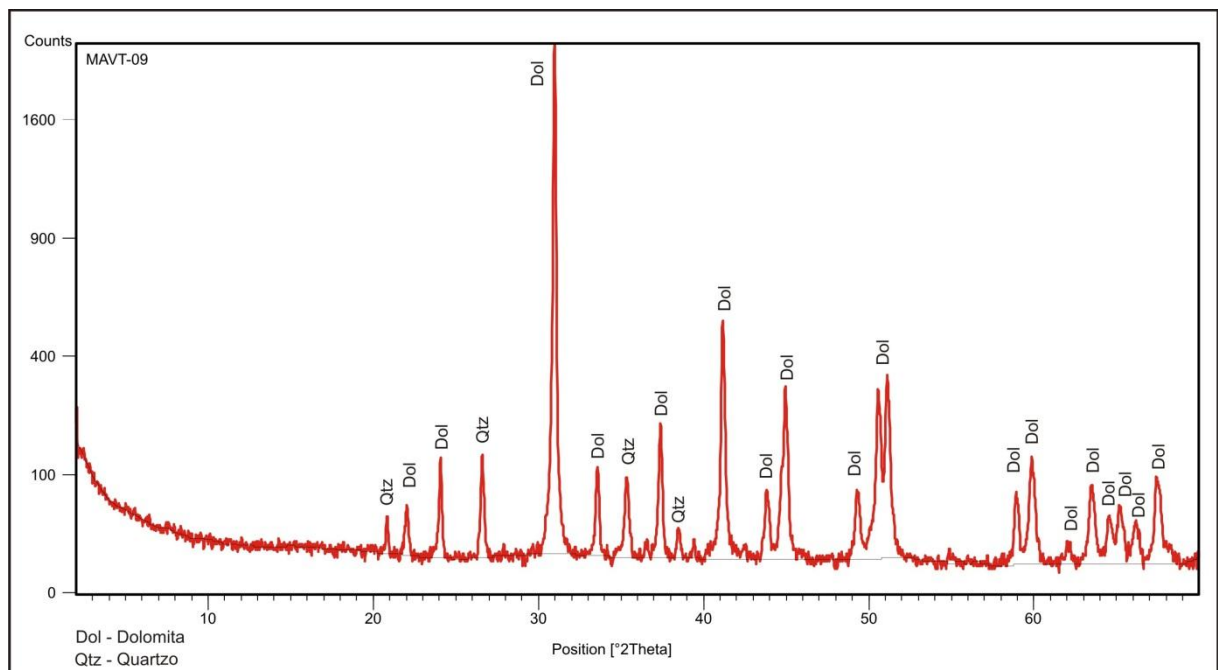


FIGURA 10 - Exemplo de difratograma.

As rochas com presença de argilominerais passaram por um tratamento a fim de definir o grupo dos argilominerais a que pertencem.

O tratamento consiste na dissolução do pó de rocha (20 gramas), em 250 ml de água deionizada com adição de dispersante (Pirofosfato de Sódio), para acelerar a decantação dos mais pesados. Depois de 2 horas o material sobrenadante é

coletado com uma pipeta, e colocado em lâminas de vidro. São três lâminas para cada amostra, onde serão realizadas as análises em lâmina com material seco ao ar natural, lâmina com material saturado com etileno glicol, e com amostra calcinada a 550°C por duas horas. A análise do argilomineral nessas três condições aponta para respostas ligadas à expansão ou não dos seus planos cristalinos que refletem propriedades particulares permitindo sua identificação.

Os resultados obtidos nas análises de difração de raios X foram plotados no *software Grapher* gerando-se perfis mineralógicos para comparação com os dados químicos e isotópicos.

### 2.3.3 Fluorescência de Raios X

As análises químicas desenvolvidas nesse trabalho foram realizadas por fluorescência de raios X, em equipamento da Philips modelo PW 2510 a partir de pastilhas prensadas (FIGURA 11).



FIGURA 11 - Equipamento da PHILIPS modelo PW 2510, em destaque (canto esquerdo) pastilha que é submetida à análise.

De maneira geral, a análise multielementar por fluorescência de raios X é baseada na medida das intensidades dos raios X, emitidos pelos elementos químicos de uma amostra, quando excitados através de uma fonte de radiação gama (radiação X de elevada energia). Essa radiação causa uma mudança no nível de energia dos elétrons que passam a emitir radiação fluorescente, tendo cada elemento um comportamento específico.

Foram feitas análises quantitativas e semiquantitativas nas amostras. As análises quantitativas se limitaram as rochas carbonáticas, sendo desenvolvidas através de um programa analítico quantitativo para estas rochas, denominado “Rocha Carbonática Prensa”. Nestas análises, as rochas carbonáticas são comparadas a padrões internacionais estabelecidos para este tipo de rocha.

Esta linha analítica quantifica dez óxidos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e quatro elementos-traço (S, Sr, Ba e Cl). Sendo que o laboratório (LAMIR) trabalha nesses casos com curvas de calibração para cada elemento a ser quantificado. Estes dados quantitativos embasarão o trabalho.

As amostras de folhelhos, siltitos e argilito foram analisadas pelo método semiquantitativo. O laboratório onde foram desenvolvidas as análises não apresenta uma linha quantitativa para folhelhos e siltitos. Já o argilito poderia ser analisado pela linha para argila, disponível, porém a concentração considerável de enxofre impossibilitou a aplicação dessa técnica quantitativa.

Para realizar a análise quantitativa pela linha da argila, utiliza-se a técnica da pérola, que é um procedimento diferente do adotado para análise de rochas carbonáticas por pastilha prensada. A confecção de pérolas se baseia na análise de uma mistura de amostra com tetraborato de Lítio ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) e nitrato de amônio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). Essa mistura é colocada em um cadinho de platina e submetida a uma fusora alcançando  $1300^\circ\text{C}$ . Rochas que contem enxofre não podem ser analisadas, devido este elemento ao ser submetido a tais condições reagir com a platina do cadinho corroendo-o.

A análise semiquantitativa consiste em uma varredura química para verificar a presença de elementos químicos, estes são interpretados numa faixa de ocorrência, não podendo ser assumidos valores percentuais exatos. Neste trabalho



os dados semiquantitativos quando utilizados serão indicados em meio aos quantitativos.

As amostras de rochas carbonáticas que não apresentaram fechamento no programa analítico quantitativo “Rocha Carbonática Prensa” foram reanalisadas e interpretadas no programa analítico semiquantitativo (varredura química), para verificar a presença de outros elementos químicos não detectados no programa analítico.

A qualidade das análises quantitativas é avaliada pelo fator de normalização. Pela metodologia adotada no laboratório, são consideradas análises confiáveis quanto mais próximo de 1 estiver o fator de normalização, sendo no entanto aceitável análises com fator de normalização de até 1,10. Quando este fator excede este valor, significa que o fechamento da análise se deu bem abaixo de 100%. Isso geralmente ocorre quando a rocha contém algum elemento que não pôde ser detectado na linha quantitativa.

Em algumas rochas carbonáticas onde o fator de normalização foi excedido, foram feitas análises semiquantitativas. Sendo que, os dados assumidos para geração dos perfis químicos foram os dados quantitativos independente do fator de normalização.

Os resultados quantitativos de rochas carbonáticas e semiquantitativo de folhelhos, siltitos e argilito, obtidos nas análises de fluorescência de raios-X foram plotados no *software Grapher* gerando-se perfis químicos para comparação com os dados mineralógicos por difração de raios X e isotópicos.

## 2.4 ANÁLISES DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE $^{13}\text{C}$ E $^{18}\text{O}$

As análises inorgânicas de isótopos estáveis de  $^{13}\text{C}$  e  $^{18}\text{O}$  foram realizadas utilizando espectrômetro de fonte gasosa de marca Delta V Advantage, acoplado a um Gás Bench II (FIGURA 12).

As análises foram realizadas em relação ao padrão de  $\text{CO}_2$  calibrado internacionalmente. O método consiste basicamente na análise da reação de ácido fosfórico com a amostra a uma temperatura de  $72^\circ\text{C}$  pelo espectrômetro de massa, onde é liberado  $\text{CO}_2$ , e definida as razões de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ .

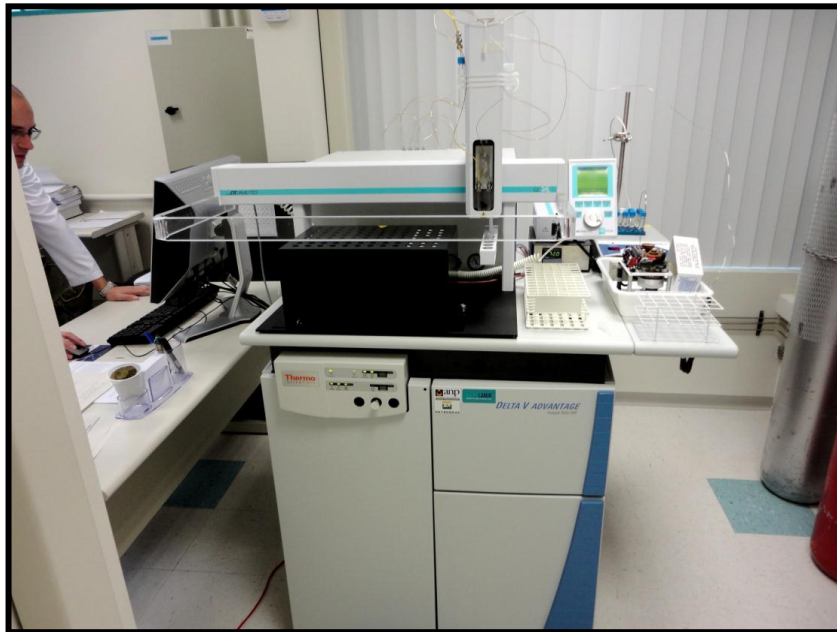


FIGURA 12 - Espectrômetro de fonte gasosa de marca Delta V Advantage.

Os resultados são emitidos em relação ao padrão internacional PDB da Universidade de Chicago (CRAIG, 1957). O PDB refere-se a um fóssil particular de *Belemnite* da Formação *Pee Dee* da Carolina do Sul. O desvio por mil, referido como  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ , é expresso pela relação (RODRIGUES, 1995):

$$\delta^{13}\text{C} \text{ e } \delta^{18}\text{O} = \left[ \left( \frac{\delta^{13}\text{C}}{\delta^{12}\text{C}} \text{ e } \frac{\delta^{18}\text{O}}{\delta^{16}\text{O}} \right)_{\text{amostra}} - \left( \frac{\delta^{13}\text{C}}{\delta^{12}\text{C}} \text{ e } \frac{\delta^{18}\text{O}}{\delta^{16}\text{O}} \right)_{\text{padrão}} / \text{padrão PDB} \right] \times 1000$$

Para realização das análises são utilizados aproximadamente 300 microgramas de amostra, colocadas em recipiente de vidro ("vial") com septo de silicone.

Na primeira fase tem-se a injeção de gás hélio com um fluxo de  $100 \text{ mL min}^{-1}$ , através de uma seringa com duplo orifício, por  $\geq 480 \text{ s}$ . Esta etapa, conhecida como *flush*, ou limpeza dos vials, visa eliminar gases atmosféricos e eventual excesso de umidade. É realizada porque a razão  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  é afetada pela presença de  $\text{CO}_2$  atmosférico, afetando a precisão das análises.

Posteriormente é introduzido ácido fosfórico nos "vials" por meio de uma agulha, a uma temperatura de  $72^\circ\text{C}$ . A reação do ácido com a amostra libera  $\text{CO}_2$ , que é analisado pelo espectrômetro de massa, definindo as razões de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ . As rochas analisadas são dolomíticas, sendo passadas na linha de dolomita com tempo de reação de 120 minutos.

## 2.5 ANÁLISE DE UNIDADES QUÍMIOESTRATIGRÁFICAS

A estratigrafia química ou quimioestratigrafia envolve a aplicação dos dados de geoquímica na caracterização e correlação de camadas em sequências sedimentares carbonáticas e siliciclásticas (OLIVEIRA *et. al.*, 2005).

De acordo com Rodrigues (2005) são considerados dados de geoquímica orgânica e inorgânica que embasam a subdivisão de unidades estratigráficas a partir do comportamento da assinatura geoquímica possibilitando uma correlação de alta resolução sobre uma ampla área.

Apesar de questionado a utilização de análises isotópicas em rocha total devido alterações diagenéticas, segundo Rodrigues (2005) geralmente esses dados apresentam a mesma tendência de dados isotópicos baseados em fósseis que não foram afetados pela diagênese. Sendo essa técnica frequentemente utilizada.

A análise quimioestratigráfica proposta neste trabalho se baseia em análises inorgânicas químicas, mineralógicas e isotópicas em rocha total, posto que as rochas carbonáticas tratam-se de *mudstones* predominantemente homogêneos. Teve-se o cuidado de não incluir veios e fraturas preenchidas quando presentes.

As oscilações verticais nas assinaturas geoquímicas embasaram a individualização de unidades. Estas foram definidas principalmente a partir das assinaturas dos elementos maiores: CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Foram analisadas 110 amostras, sendo 56 amostras do Testemunho FP-01-PR e 54 amostras da Pedreira Vitti.

Os perfis químicos analisados são baseados principalmente em dados quantitativos, porém alguns semiquantitativos foram utilizados com a finalidade de manter uma amarração amostral e mesmo observar o quão diferente são as assinaturas químicas e mineralógicas das rochas carbonáticas e siliciclásticas ocorrentes. Dessa forma, os dados semiquantitativos estão identificados nos perfis de maneira a facilitar a análise.

Por fim a definição de unidades quimioestratigráficas objetivou partindo-se da característica química relacionar também o comportamento mineralógico e a assinatura isotópica.

### 3 GEOLOGIA REGIONAL

#### 3.1 INTRODUÇÃO

As rochas da Formação Irati vêm sendo estudadas desde o século XIX. A identificação dessas rochas em unidades estratigráficas sofreram reflexos das modificações impostas a Bacia do Paraná desde a proposta de White (1908).

Segundo Araújo (2001) os conceitos estratigráficos passaram por uma série de modificações que acompanharam a evolução dos modernos conceitos da análise estratigráfica propostos por Sloss (1963), Chang (1975), Mitchum *et al.* (1977), Vail *et al.* (1977), Haq *et al.* (1988) e Posamentier *et al.* (1988).

Um dos trabalhos mais antigos sobre a Formação Irati refere-se ao de Oliveira<sup>1</sup> (1889 citado por HACHIRO, 1996). Segundo Hachiro (1996) este autor foi o primeiro a propor uma coluna geológica separando essas rochas em unidades litoestratigráficas. As rochas que compõe a unidade denominada de Assistência atualmente, na época foram incluídas na então “Série de Itapetininga”, considerando-as compreendidas no Neocarbonífero ou Eopermiano.

Posteriormente, dentre muitos trabalhos realizados, destacou-se o de White (1908), com a denominação de “xisto preto de Irati” para folhelho preto, fossilífero que ocorria dos estados de São Paulo ao Rio Grande do Sul. Este autor estudou de modo pormenorizado, a composição química da fração betuminosa desta Formação. Definindo, de maneira geral, a constituição das Séries São Bento, Passa Dois e Tubarão na Bacia do Paraná, estabelecendo sua primeira coluna estratigráfica (FIGURA 13).

---

<sup>1</sup> OLIVEIRA, F.P. **Reconhecimento geológico do vale do Rio Paranapanema**. Transcrito na revista O.I.G.G. Ano VIII, nº 3, p. 219-241, Secr. Agric. São Paulo. 1889.

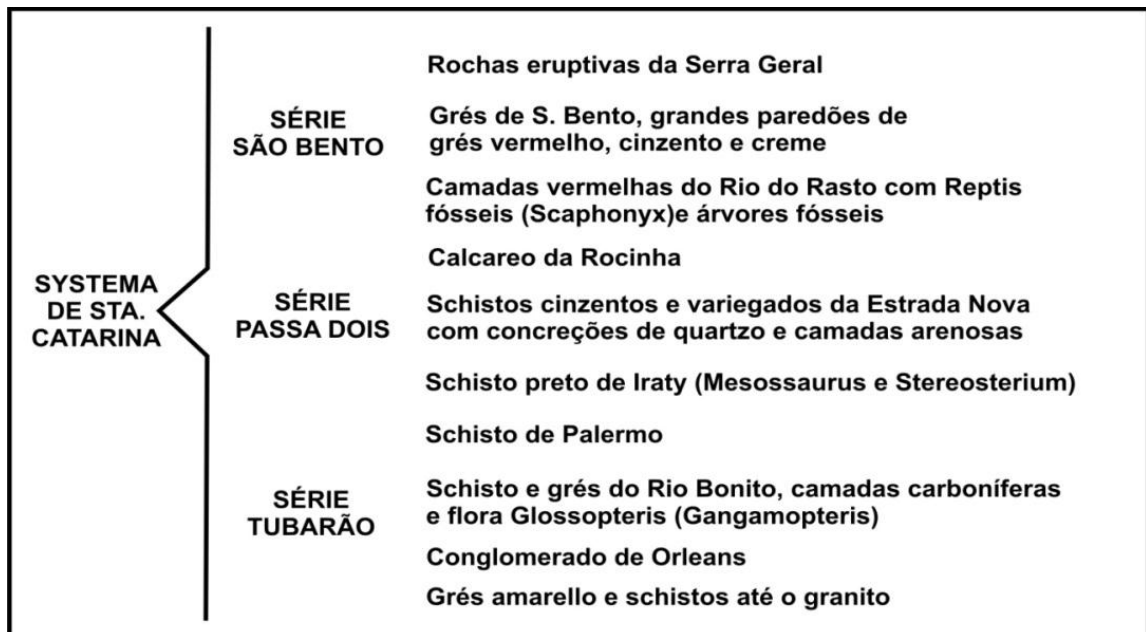


FIGURA 13 - Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná. Fonte: White (1908).

Seguidamente, surgiu a designação “Folhelho preto de Irati” fazendo parte do então denominado “Grupo Irati”, posicionado no Neopermiano de acordo com Oliveira<sup>2</sup>, Du Toit<sup>3</sup>, Washburne<sup>4</sup>, Rego<sup>5</sup>, Oppenheim<sup>6</sup>, Guimarães<sup>7</sup> (1927, 1927, 1930, 1930, 1934, 1936 citado por ROCHA e SCORZA 1940).

A denominação Formação Irati foi adotada primariamente por Pacheco (1939). Posteriormente foi subdividida em dois membros por Barbosa e Gomes (1958): Taquaral e Assistência. O membro Taquaral, constituído por pelitos pobres em carbono orgânico, compondo a seção basal da formação. Enquanto o Membro Assistência situa-se na parte superior e abrange uma sucessão rítmica pelítica-carbonática, rica em carbono orgânico.

<sup>2</sup> OLIVEIRA, E.P. **Geologia e recursos minerais do estado do Paraná**. Serv. Geol. Min. Brasil, Monografia VI, 172p, 1927.

<sup>3</sup> DU TOIT, A. L. **A Geological Comparison of South America with South Africa**. Carnegie Institution, Washington, 157 pp, 1927.

<sup>4</sup> WASHBURNE, C. W. **Petroleum geology of the state of São Paulo**. Com. Geogr. Geol. São Paulo, Brasil. p. 1-282. (Bol. 22). 1930.

<sup>5</sup> MORAES REGO, L. F. **A geologia do petróleo no Estado de São Paulo**. Bol. Serv. Geol. Miner. Brasil, Rio de Janeiro, n. 46, 105 p, 1930.

<sup>6</sup> OPPENHEIN V. **Nota sobre o sílex (chert) no sul do Brasil**. An. Acad. bras. Ciênc. VI: 83-87. 1934.

<sup>7</sup> GUIMARÃES, D. 1936. **Relatório da Diretoria do Serviço de Fomento da Produção Mineral**. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Serviço de Fomento da Produção Mineral, 118 p. (Boletim 14). 1933-1934.

Essa subdivisão em membros foi adotada por Schneider *et al.* (1974), quando publicaram a primeira carta estratigráfica da Bacia do Paraná com as unidades litoestratigráficas, distribuídas no tempo e no espaço, separadas por hiatus temporais (FIGURA 14). Isso foi possível graças à exploração de petróleo na Bacia do Paraná, que possibilitaram uma fase inicial de reorganização estratigráfica e reconhecimento de descontinuidades interregionais, suportados por correlação bioestratigráfica (DAEMON e QUADROS, 1970).

Hachiro *et al.* (1993) propõem a elevação da Formação Irati à hierarquia de subgrupo e os membros Taquaral e Assistência à categoria de formação (FIGURA 15). Neste trabalho a denominada Formação Assistência, foi subdividida nos membros Morro do Alto (inferior) e Ipeúna (superior).

Hachiro (1996), utilizando amarração litológica de afloramentos da borda setentrional da bacia e dez perfis de poços reconhece e hierarquiza três sequências deposicionais de 4º ordem, todas constituídas por Tratos de Sistemas de Mar Baixo (TSMB), Tratos de Sistemas Transgressivos (TST) e Tratos de Sistemas de Mar Alto (TSMA).

Araújo *et al.* (1996) voltam a denominar a unidade como Formação Irati, e individualizam três sequências deposicionais de 4º ordem a exemplo de Hachiro (1996). No entanto, essas sequências são organizadas internamente como, Tratos de Sistemas Transgressivos (TST) e Tratos de Sistemas de Mar Alto (TSMA). Os limites de sequências são superpostos pelas superfícies transgressivas.

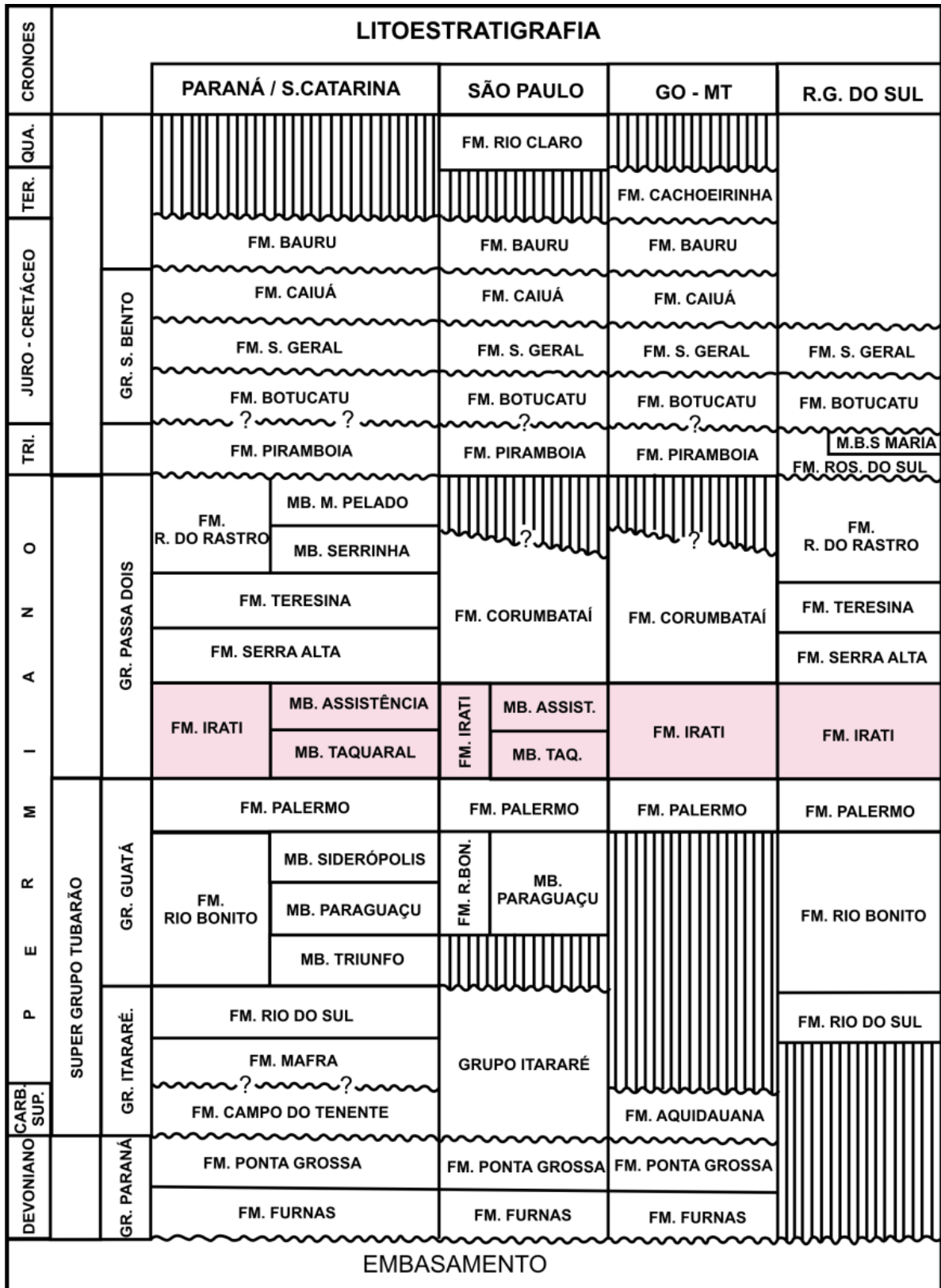


FIGURA 14 - Carta litoestratigráfica da Bacia do Paraná. Fonte: Schneider *et.al.* (1974).

		NORTE DO ARCO DE PONTA GROSSA		SUL DO ARCO DE PONTA GROSSA	
		Fms. SERRA ALTA / CORUMBATAÍ		Fm. SERRA ALTA	
SUBGRUPO          <b>IRATI</b>	Fm.      <b>ASSISTÊNCIA</b> (~40m)	Mb. IPEÚNA	RITMITOS SUPERIORES	'CAMADA SUPERIOR DE FOLHELHOS BETUMINOSOS'	
			RITMITOS DELGADOS	'CAMADA INTERESTRATIFICADA SUPERIOR'	
			CAMADA BAIRRINHO		
		Mb. MORRO DO ALTO	CAMADA LAJE AZUL	CAMADA LAJE AZUL ('CAMADA INTERMEDIÁRIA')	
			RITMITOS INFERIORES	'CAMADA INFERIOR DE FOLHELHOS BETUMINOSOS'	
			CAMADA DE BRECHAS EVAPORÍTICAS	'CAMADA INTERESTRATIFICADA INFERIOR'	
			CAMADA DE FOLHELHOS BETUMINOSOS		
	Fm. TAQUARAL (~30m)		Fm. TAQUARAL		
	Fms. PALERMO / TATUÍ		Fm. PALERMO		

FIGURA 15 - Classificação da unidade estratigráfica Irati segundo Hachiro *et al.* (1993).

Estudos regionais realizados por Milani (1997) a fim de organizar a Bacia do Paraná em unidades aloestratigráficas resultaram na definição de seis unidades de 2º ordem ou superseqüências (superseqüência Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Neocarbonífero - Eotriássico), Gondwana II (Triássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Eo-Neocretáceo). Nesse contexto a Formação Irati está inserida na Superseqüência Gondwana I. Este autor elaborou uma das mais utilizadas cartas estratigráficas da bacia. A configuração da Formação Irati dentro do contexto da bacia, está de acordo com o mais aceito atualmente. Posteriormente essa carta estratigráfica foi atualizada por Milani *et al.* (2007) (FIGURA 16).

Araújo (2001), reconhecendo o posicionamento da Formação Irati dentro da Bacia do Paraná de acordo com o estabelecido por Milani (1997), manteve as três seqüências deposicionais como já havia definido Araújo *et al.* (1996), porém modificando o posicionamento dos limites de seqüências coincidentes com as superfícies transgressivas.



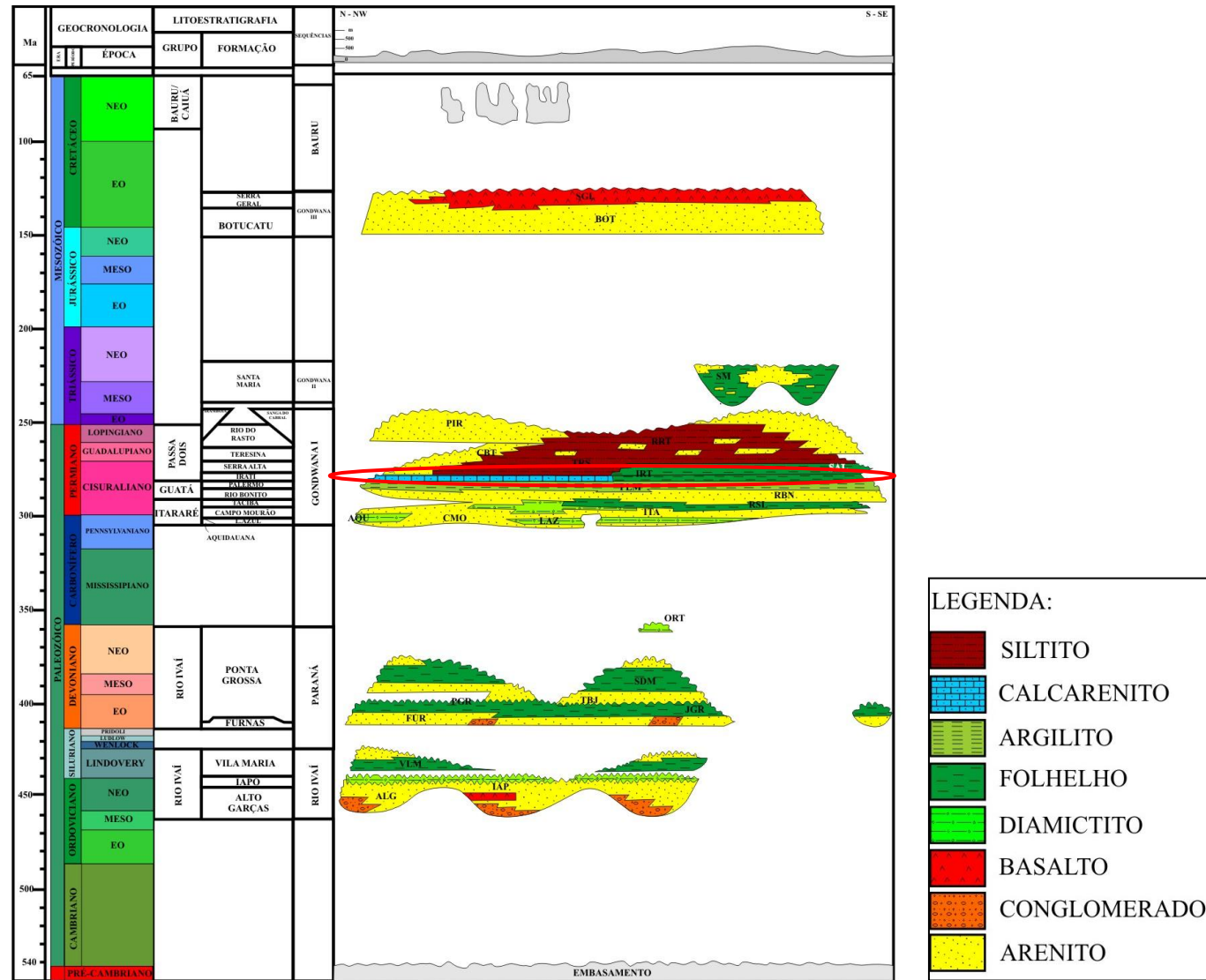


FIGURA 16 - Litoestratigrafia e geocronologia da Bacia do Paraná, destacando a disposição da Formação Irati. Fonte: Milani *et al.* (2007).

### 3.2 FORMAÇÃO IRATI NO CONTEXTO DEPOSICIONAL DA BACIA DO PARANÁ

A Bacia do Paraná abrange uma ampla região sedimentar localizada no continente Sul-Americano. Fazem parte desta bacia porções territoriais do Brasil (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), Paraguai oriental e nordeste da Argentina, onde recebe o nome de Bacia do Chaco-Paraná (ZALÁN *et al.*, 1990; FIGURA 17), além do norte do Uruguai. A área total abrangida se aproxima dos 1,5 milhões de quilômetros quadrados (MILANI *et al.*, 2007).



FIGURA 17 - Mapa de localização da Bacia do Paraná. Fonte: modificado de Zalán *et al.*, 1990.

O registro estratigráfico dessa bacia compreende um pacote sedimentar-magmático com uma espessura total máxima em torno dos 7 mil metros, com o depocentro da sinéclise coincidindo com a região da calha do rio que lhe empresta o nome (MILANI *et.al.*, 2007).

De acordo com Milani (1997), o preenchimento sedimentar dessa bacia que inclui estratos que se distribuem do Neo-Ordoviciano (~450 Ma) ao Neocretáceo (~65 Ma) abrange uma multiplicidade de condições tectono-sedimentares. Segundo este autor o posicionamento geotectônico da Bacia do Paraná contribuiu para uma dinâmica tectono-sedimentar dependente dos campos tensoriais derivados do contexto predominantemente compressivo atuante no domínio sul ocidental do *Gondwana* que em associação às variações no nível do *Panthalassa*, produziram um registro estratigráfico cíclico. Dessa forma, a análise do registro sedimentar deve ser realizada considerando-se a história geotectônica dessa bacia.

No estudo regional da Bacia do Paraná realizado por Milani (1997) o preenchimento desta sinéclise foi tratado como um conjunto de seis unidades aloestratigráficas de 2º ordem ou supersequências (FIGURA 18). Sendo estas unidades, compreendidas por associações de rochas que materializam intervalos temporais com alguns milhões de anos e que são marcadas por superfícies de discordâncias de caráter inter-regional.

Como mencionado anteriormente, as unidades propostas foram designadas de Supersequência Rio Ivaí (Caradociano – Landoveriano), Supersequência Paraná (Lockoviano – Frasniano), Supersequência Gondwana I (Westphaliano – Scythiano), Supersequência Gondwana II (Neo-Anisiano – Eonoriano) Supersequência Gondwana III (Neojurássico – Berriasiano) e Supersequência Bauru (Aptiano – Maatrichtiano).

As três primeiras unidades aloestratigráficas representam ciclos transgressivo-regressivos paleozóicos. Enquanto as três restantes compreendem o arcabouço sedimentar continental e magmático mesozóico, acomodado em três ciclos de subsidência (ARAÚJO, 2001).

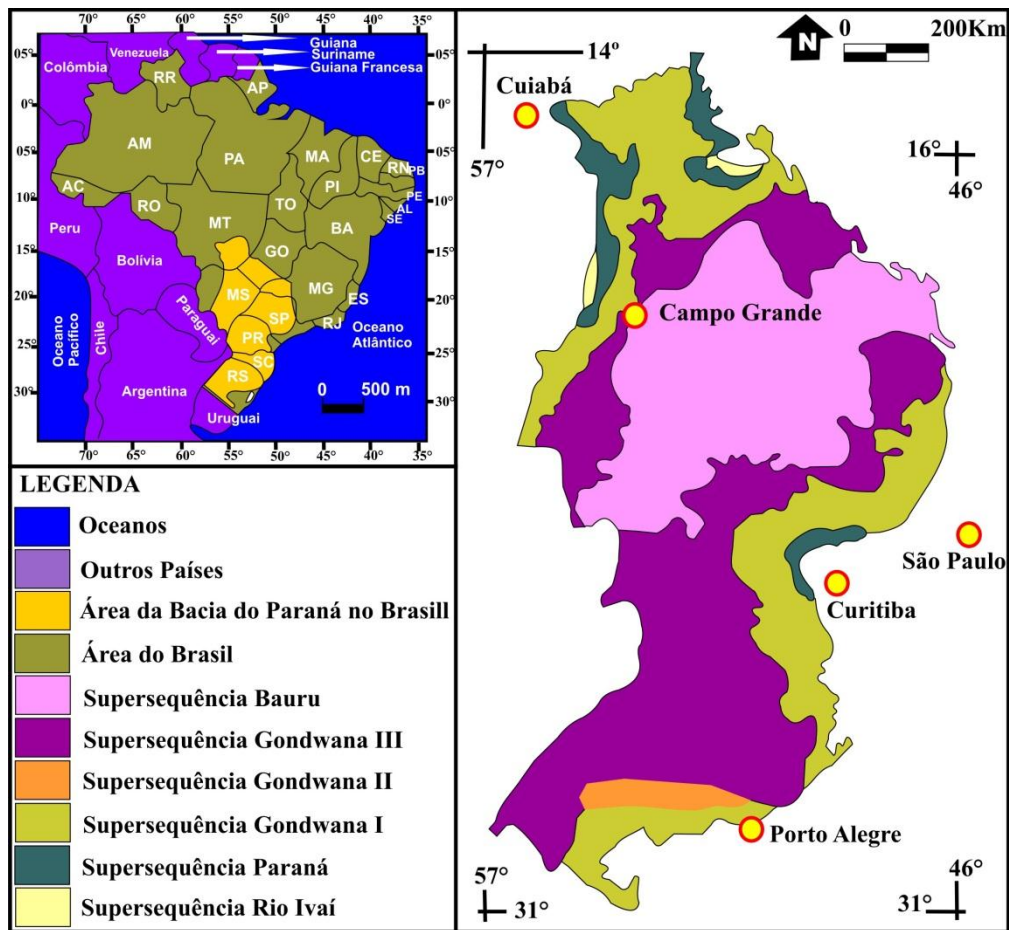


FIGURA 18 - Bacia do Paraná em amarelo a esquerda e distribuição das Supersequências na Bacia do Paraná (direita). Fonte: adaptado de Milani, 1997.

Dentro do contexto litoestratigráfico e aloestratigráfico definido até então para a Bacia do Paraná, a Formação Irati está estabelecida na Supersequência Gondwana I (Carbonífero - Eotriássico), na base do Grupo Passa Dois (Neo-Artinskiano  $278.4 \pm 2.2$  Ma, Santos *et al.*, 2006, FIGURA 19). É caracterizada por uma faciologia bastante complexa, com margas, folhelhos, carbonatos e anidrita (MILANI *et al.*, 1994), indicativos de uma geometria de bacia igualmente complexa.

De acordo com Araújo (2001) as diversas e antagônicas interpretações paleoambientais para as rochas da Formação Irati, estão relacionadas às peculiaridades ambientais originadas durante a crescente restrição a comunicação com o *Panthalassa*. Segundo este autor, durante a deposição destas rochas juntamente com a restrição oceânica, ocorre uma sazonal variação climática, com a atuação de cinturões climáticos úmido/árido e subúmido/seco na Bacia do Paraná.

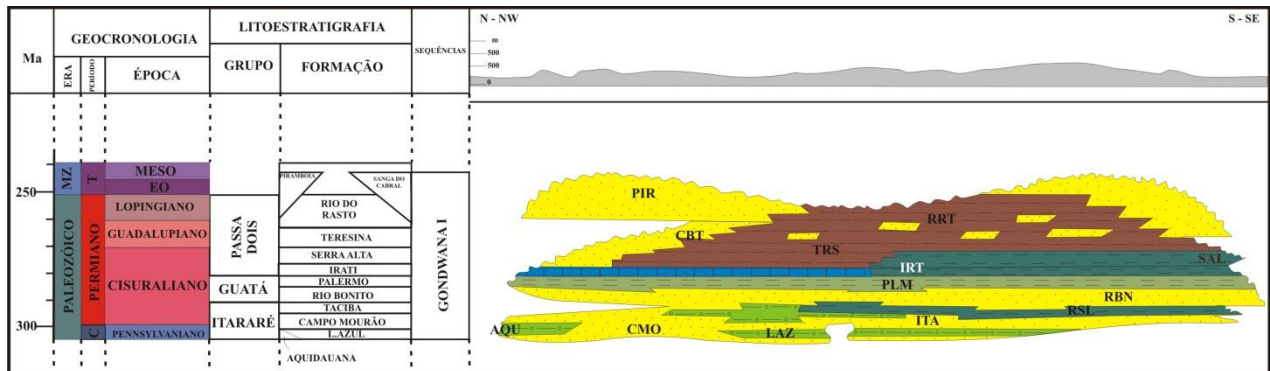


FIGURA 19 - Supersequência gondwana I. Fonte: modificado de Milani *et al.*(2007).

Segundo Araújo (2001), a acomodação da Formação Irati, se deu em resposta a três ciclos de 4° ordem de variação do nível do mar, arranjados segundo um empilhamento retrogradacional, progradacional e agradacional.

Estas rochas de acordo com esse autor compreendem associações de litofácies de rampa interna, intermediária e distal (FIGURA 20), caracterizando-se exclusivamente por tratos de sistemas transgressivo e tratos de sistemas de mar alto. As variáveis paleoambientais e paleogeográficas favoreceram a ocorrência de folhelhos depositados em ambiente marinho de águas calmas, abaixo do nível de ação das ondas do Membro Taquaral (Inferior). Além de intercalações rítmicas de folhelhos pretos betuminosos e calcários do Membro Assistência (superior), depositadas em ambientes marinhos de águas rasas com extensão ao longo de toda borda leste da bacia (SCHNEIDER *et al.*, 1976; DAEMON *et al.*, 1996).

De acordo com Araújo (2001) a superposição dos ciclos de acomodação Irati, de alta frequência, em um segmento do ciclo de acomodação de 2° ordem da Supersequência Gondwana I (~65 Ma), demanda uma abordagem focalizada às principais fases da evolução tectono-sedimentar deste ciclo transgressivo-regressivo (FIGURA 21). Este ciclo foi desenvolvido sobre influência do ciclo Orogênico Gondwânico que inclui as orogenias Chánicas, relacionada ao terreno Chilenia (embasamento da Argentina central e os Andes chilenos - Hercianiana) e Sanrafaélica ou Cabo-la Ventana, associada ao terreno da Patagônia.

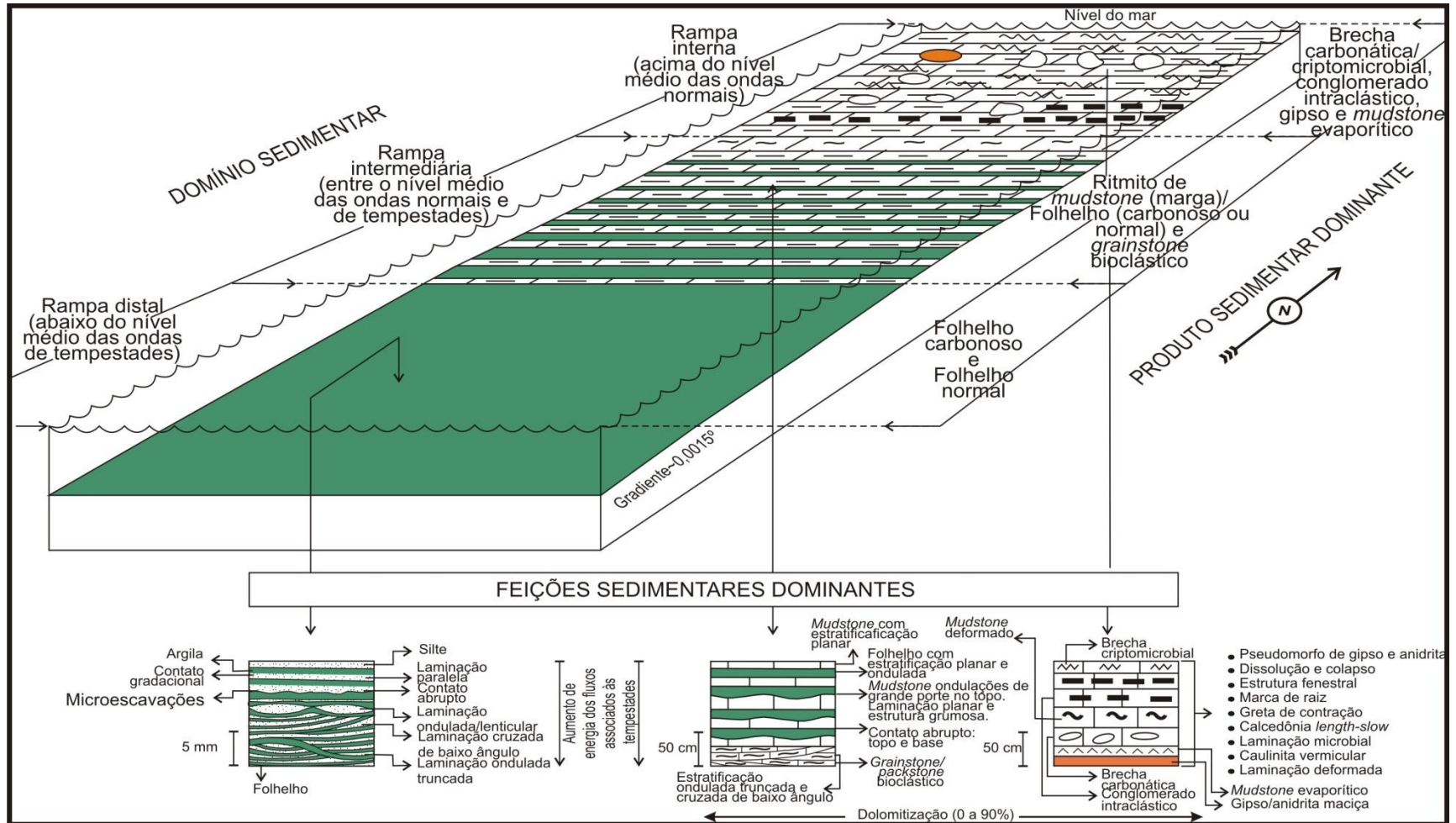


FIGURA 20 – Domínios deposicionais, produtos e feições sedimentares dominantes na Formação Irati. Fonte: Araújo (2001).

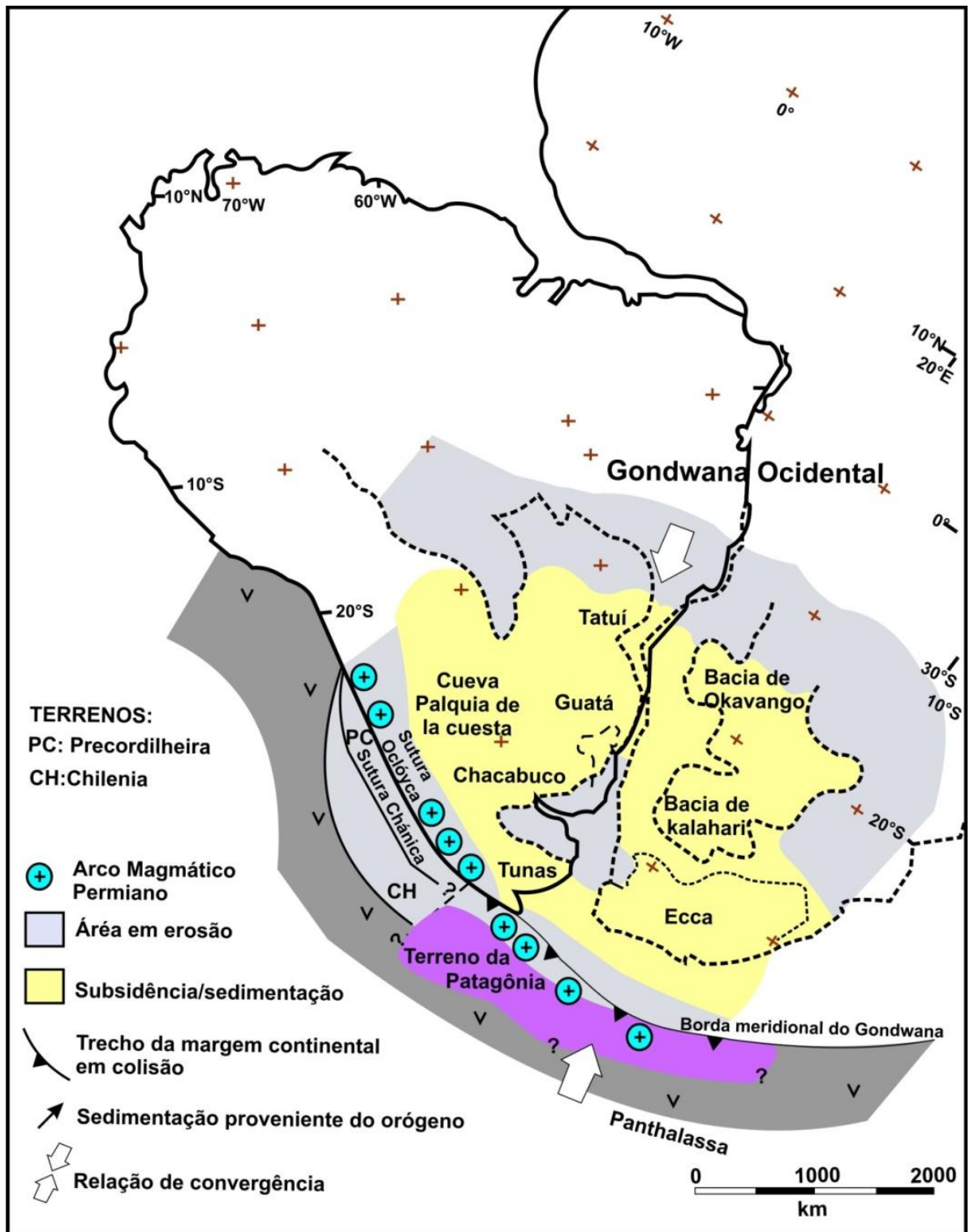


FIGURA 21 - Arcabouço tectono-sedimentar do Gondwana Sul Ocidental para o Permiano, quando a região era submetida ao campo de tensões ligado à Orogenia Sanrafaélica. Fonte: Milani (1997).

A Orogenia Sanrafaélica compreende o último episódio de deformação compressiva da margem meridional do Gondwana. Sendo responsável pela implantação e desenvolvimento do Arco Magmático Permiano (280 a 245 Ma). Este por sua vez, restringiu o acesso do oceano Panthalassa nas áreas continentais, instalando as condições ambientais reinantes durante a deposição da Formação Irati.

A definição da Orogenia Sanrafaélica divide os estudiosos em duas correntes. Existem aqueles que acreditam que o episódio de deformação se desenvolveu em resposta a aproximação e colisão do Terreno Patagônia RAMOS<sup>8</sup> (1984, citado por MILLANI *et al.*, 2007). Em contraposição há uma segunda corrente que o relaciona ao desenvolvimento do tipo andino ULIANA *et al.*<sup>9</sup>, COBBOLD *et al.*<sup>10</sup>, LOPEZ-GAMUND *et al.*<sup>11</sup> (1985, 1986, 1994, 1995, citado por Millani *et al.*, 2007).

Segundo Milani *et al.*, (2007), a evolução tectono-estratigráfica da bacia esteve relacionada a colisões de ativos cinturões em interação com a convergência entre o Gondwana e a litosfera oceânica do *Panthalassa*.

De acordo com Milani (1997) e Araújo (2001), a configuração da Bacia do Paraná no final do Carbonífero e início do Permiano, se deu como uma plataforma basculada para noroeste com *onlap* dos estratos sobre o substrato de uma paleoborda a sudeste na região meridional, base da Supersequência Gondwana I (FIGURA 22).

O início da deposição no domínio meridional da Bacia do Paraná coincide com uma importante fase de rearranjo estrutural do substrato da sinéclise, evento contemporâneo ao clímax da Orogenia Sanrafaélica MILANI<sup>12</sup> (2000, citado por

<sup>8</sup> RAMOS, V. A. **Patagonia: un continente paleozóico a la deriva?**. In: Congreso Geológico Argentino, 9, San Carlos de Bariloche, 1984. Actas...Buenos Aires: Asociacion Geológica Argentina, v.2, p. 311 – 325. 1984.

<sup>9</sup> ULIANA, M. A., BIDDLE, K. T., PHELPS, D.W., GUST, D.A. **Significado del vulcanismo y extension mesojurásicas en el extreme meridional de sudamérica**. Revista de La Asociación Argentina. V. 49, n. 314, p. 231-243. 1985.

<sup>10</sup> COBBOLD, P.R., MASSABIE, A.C., ROSSELLO, E.A. **Hercynian wrenching and thrusting in the Sierras Australes Foldbelt, Argentina**. *Hercynica*, 2: 135-148. 1986.

<sup>11</sup> LÓPEZ-GA NBMUNDI O.R., CONAGUAN, P.J., ROSSELLO, E. A., COBBOLD, P.R. **The tunas formação (Permian) in the Sierras Australes foldsbest, east central Argentina: evidence for syntectonic sedimentation in a foreland basin**. *Journal of South American Earth Sciences*, Columbia, v.8, n.2, p.129-142. 1995.

<sup>12</sup> MILANI, E. J. **Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana sul-ocidental e a Evolução Geológica da Bacia do Paraná**. In: Holz, M. & De Ros, L. F. *Geologia do Rio Grande do Sul*. Edição CIGO/UFRGS. Porto Alegre, p. 275-302. 2000.



ARAÚJO, 2001). O eixo de basculamento NW-SE migra quase 90° e a bacia assume a configuração de uma plataforma, com a geometria em rampa de direção NE-SW, basculada a sudoeste e com *onlap* dos estratos para norte, correspondente ao intervalo de tempo de 290-260 Ma (FIGURA 22).

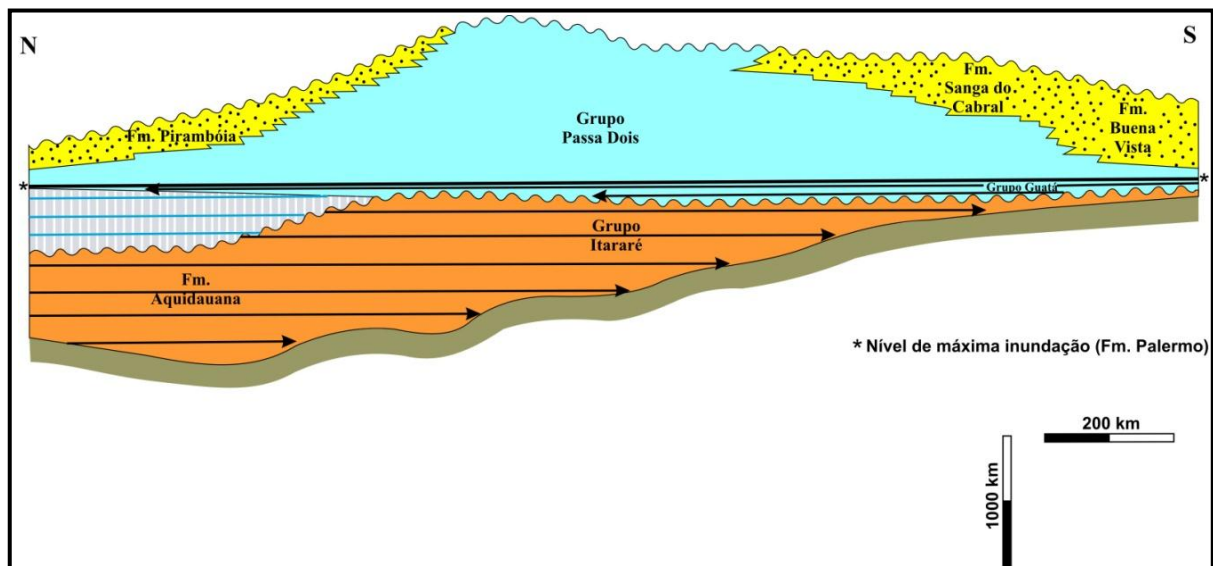


FIGURA 22 - Configuração da Supersequência Gondwana I da Bacia do Paraná. Fonte: Milani (2000).

A partir do Artinskiano/kunguriano (280-270 Ma) a subsidência tectônica na bacia evolui progressivamente a uma fase acelerada, propiciando com a subida relativa do nível do mar o desenvolvimento da superfície de inundação máxima da Supersequência Gondwana I expressa na Formação Palermo. Esta representando a máxima expansão da área de acumulação da bacia. A partir daí inicia o ciclo regressivo, compreendendo a fase de transição do ambiente marinho para o lacustre.

A Formação Irati, unidade sobreposta à superfície de máxima inundação, insere-se num contexto de mar alto do ciclo Gondwânico I, superposto por ciclos de acomodação de alta frequência, sob a influência presumível de oscilações climáticas, da escala de Milankovitch, e da subsidência tectônica da bacia (ARAÚJO, 2001).

Nesse contexto, segundo Araújo (2001), a fisiografia deposicional que acomodou a sedimentação Irati, foi provavelmente herdada do rearranjo estrutural

do substrato da sinéclise, ocorrido durante o clímax da Orogenia Sanrafaélica. Sendo reflexo da implantação do Arco Magmático Permiano em episódio de deformação compressiva paleozóica, de natureza colisional ou de subducção, na margem meridional do Gondwana.

Ainda segundo este último autor, esta tendência de basculamento, iniciada a partir da sedimentação Guatá, é compatível com o desenvolvimento da sedimentação carbonática Irati, de águas rasas na porção norte da bacia. A correlação temporal entre o mínimo eustático (VAIL *et.al.*, 1977) e a superfície de inundação máxima da Supersequência Gondwana I, reforça as evidências de que a dinâmica de preenchimento, desta fase sedimentar, é desvinculada do controle relacionado aos ciclos globais e sugestivamente associado à geodinâmica compressiva atuante no Gondwana meridional.

### 3.3 CONTEXTO DEPOSICIONAL DAS ROCHAS DO MEMBRO ASSISTÊNCIA

As rochas do Membro Assistência serão abordadas aqui de acordo com as unidades estratigráficas e considerações paleoambientais de Araújo (2001) e Hachiro (1996).

De acordo com Araújo (2001) a análise faciológica das rochas pertencentes à Formação Irati assegura a inexistência de depósitos de Tratos de Sistemas de Mar Baixo (TSMB), condicionando a justaposição da Superfície Transgressiva (ST) ao limite de sequências. Esta característica embasou a definição de três sequências constituídas por Tratos de Sistemas Transgressivos (TST) e Tratos de Sistemas de Mar Alto (TSMA), denominadas, da base para o topo, de Sequência Irati 1 (SI1), Sequência Irati 2 (SI2) e Sequência Irati 3 (SI3).

Dentro do contexto estratigráfico definido por Araújo (2001) para a Formação Irati, o Membro Assistência compreende a parte superior da SI1 (TSMA), a SI2 e a SI3.

A SI1 pertencente ao Membro Taquaral em sua base (TST) é caracterizado por depósitos siliciclásticos finos (folhelhos) no domínio de rampa distal, enquanto que na borda ocidental coexistem arenitos e siltitos do domínio de rampa interna e intermediária com depósitos distais. A porção correspondente ao TSMA dessa sequência, onde se tem a base do Membro Assistência, é caracterizada pela

inversão do padrão deposicional retrogradante para progradante. Concomitante ao sistema carbonático que domina a rampa interna, expande-se o domínio siliciclástico com progradação areno-pelítica na borda ocidental (FIGURA 23). Enquanto na rampa interna ocorrem episódicas exposições, na rampa intermediária *mudstones* delgados alternam-se a folhelhos carbonosos.

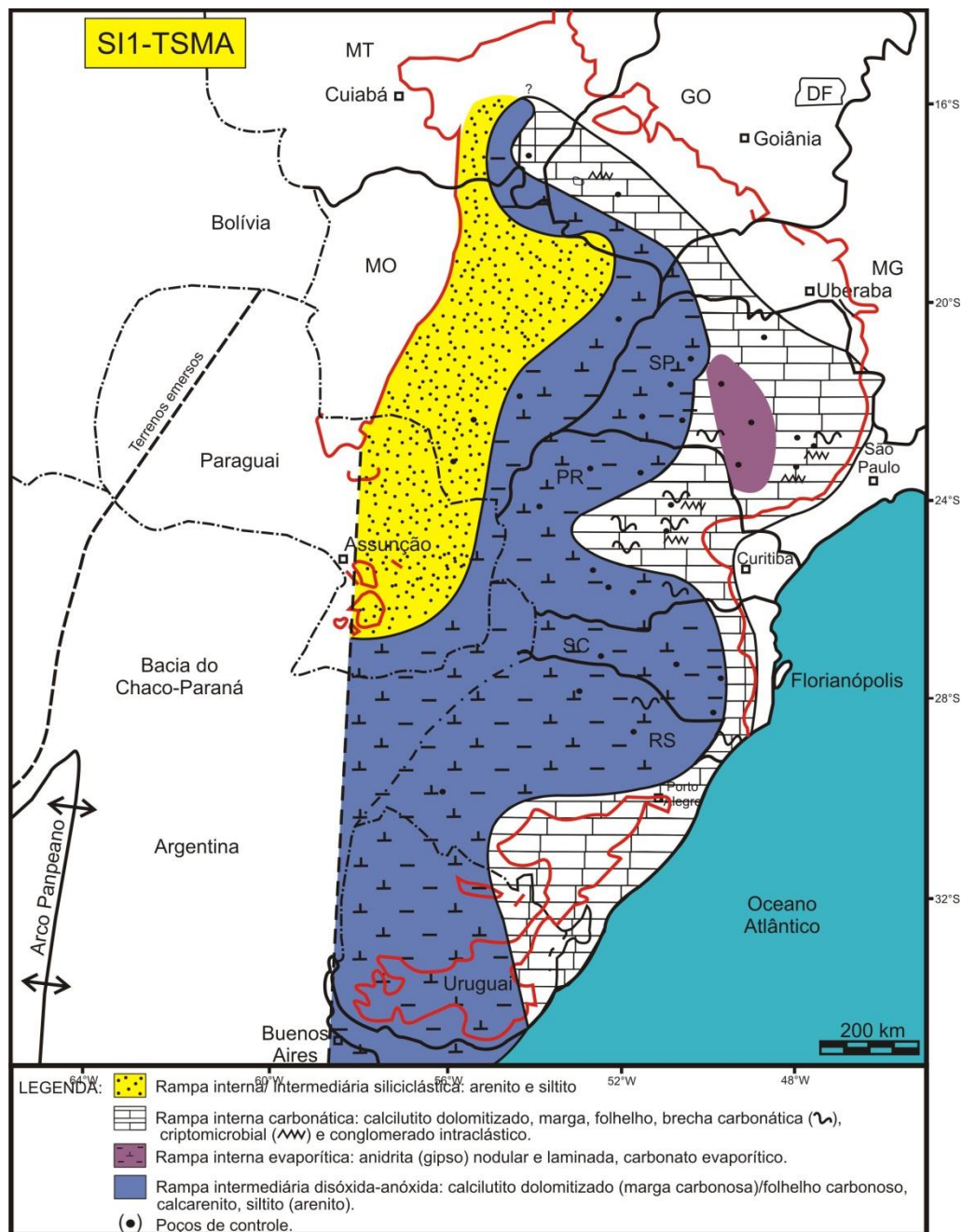


FIGURA 23 – Domínios deposicionais relacionados a fase final do TSMa da Sequência Irati 1 (SI1).  
Fonte: Araújo (2001).

De acordo com Araújo (2001) a paleofisiografia que acomodou a SI1, compreende uma rampa com inclinação regional de norte para sul aproximadamente de  $0,0011^\circ$ . A rampa é caracterizada por cinco importantes sub-bacias arranjadas sob diversas orientações (FIGURA 24).

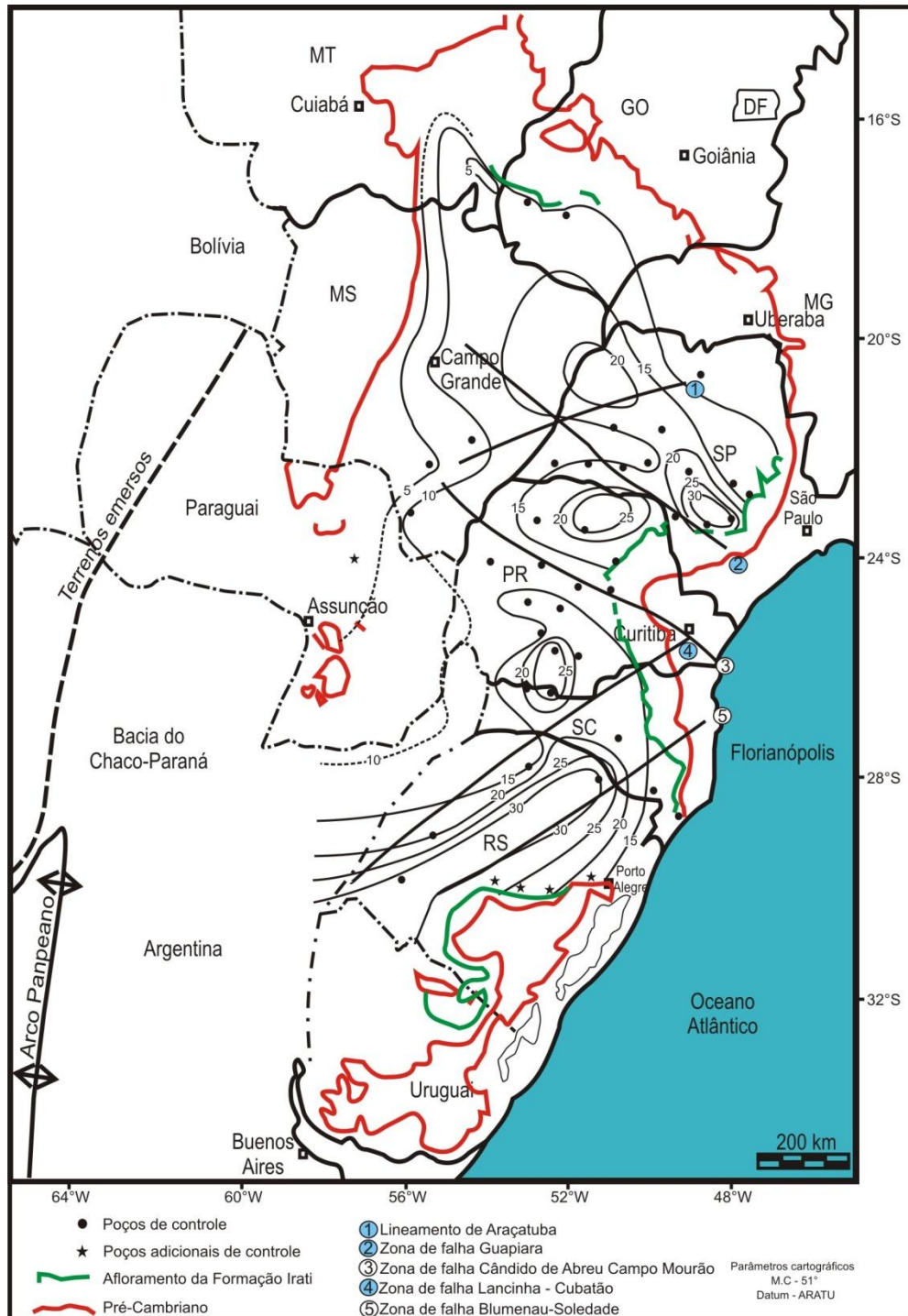


FIGURA 24 – Isópacas da SI1. Elementos paleotectônicos compilados de Zalán *et al.*, (1990), Marques *et al.*, (1994) e López-Gamundi *et al.*, (1994). Fonte: Araújo (2001).

A zona de falha Cândido de Abreu-Campo Mourão ocorre como um alto estrutural, limitando a nordeste o predomínio de sedimentação carbonática, e a sudeste desse a sedimentação siliciclástica.

No SI2 ocorre migração do depocentro para sul na porção meridional da bacia, e no restante da bacia desenvolvem-se novas depressões intra-rampa, estando estas deslocadas em relação a SI1 (FIGURA 25).

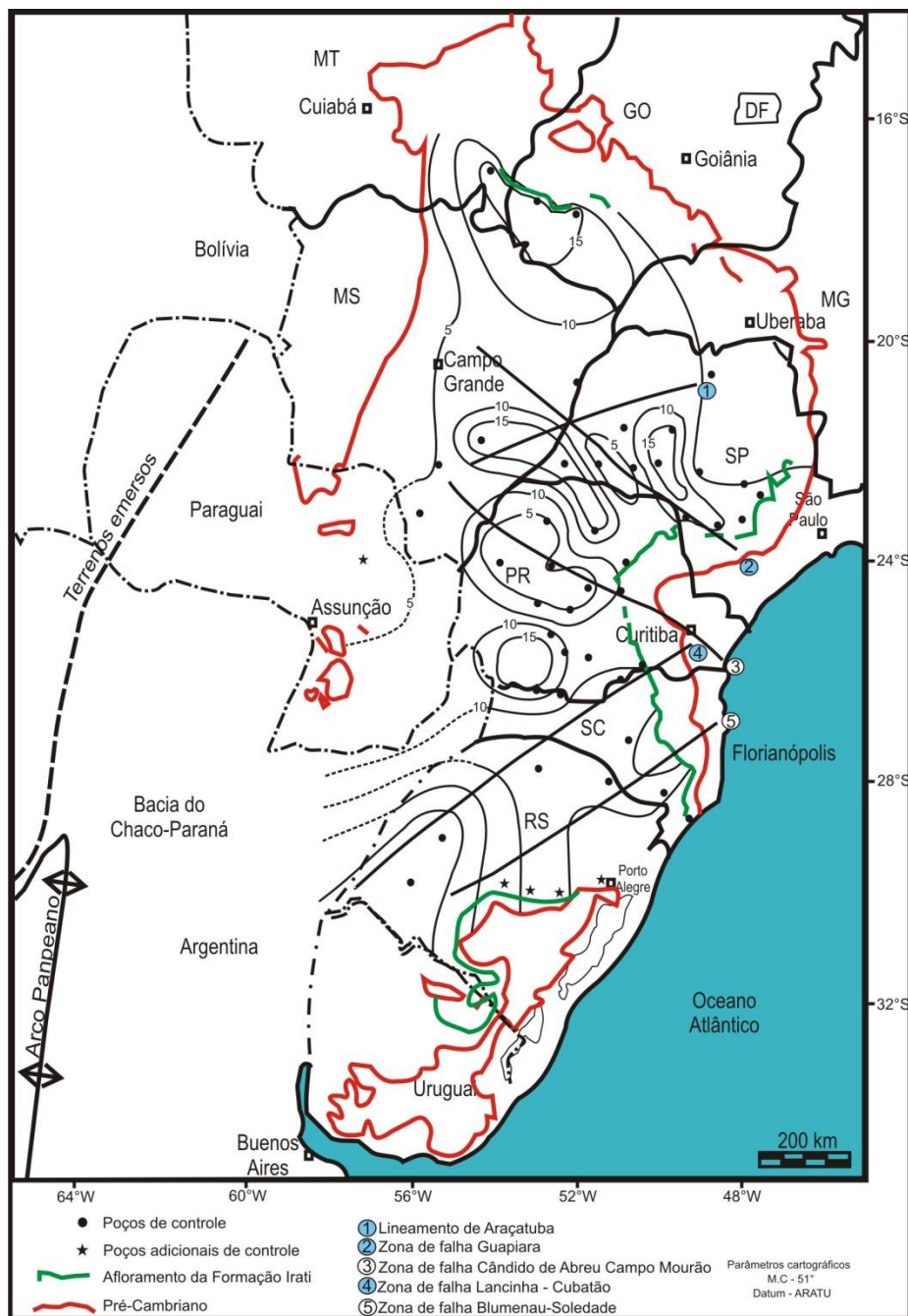


FIGURA 25 - Isópacas da SI2. Elementos paleotectônicos compilados de Zalán *et al.*, (1990), Marques *et al.*, (1994) e López-Gamundi *et al.*, (1994). Fonte: Araújo (2001).

A zona de falha Cândido de Abreu-Campo Mourão ocorre como um alto interno que parece ter contribuído para a compartimentação da sedimentação Irati, com a predominância do sistema carbonático a NE do alto, e do sistema siliciclástico a SW. A partir da superfície transgressiva, de acordo com Araújo (2001), ocorre progressiva retração da fábrica carbonática, com o predomínio dos folhelhos carbonosos sobre as margas, nos domínios de rampa distal e intermediária, sugerindo migração da fábrica para a porção setentrional da bacia (FIGURA 26) e, provavelmente também para a borda oriental.

O TSMA é caracterizado pela migração da fábrica carbonática da borda oriental, concomitante progradação do sistema siliciclástico arenoso na área ocidental e na porção extrema meridional o predomínio de folhelhos normais (FIGURA 26).

Segundo Araújo (2001) na SI3 houve a migração dos depocentro intra-rampa, rearranjados espacialmente sob diferentes geometria e dimensão (FIGURA 27). O incremento no gradiente de basculamento a SW, em relação ao ciclo sedimentar anterior, favoreceu o desaparecimento dos depocentro adjacentes ao alto interno, coincidente com a direção da zona de falha Cândido de Abreu-Campo Mourão.

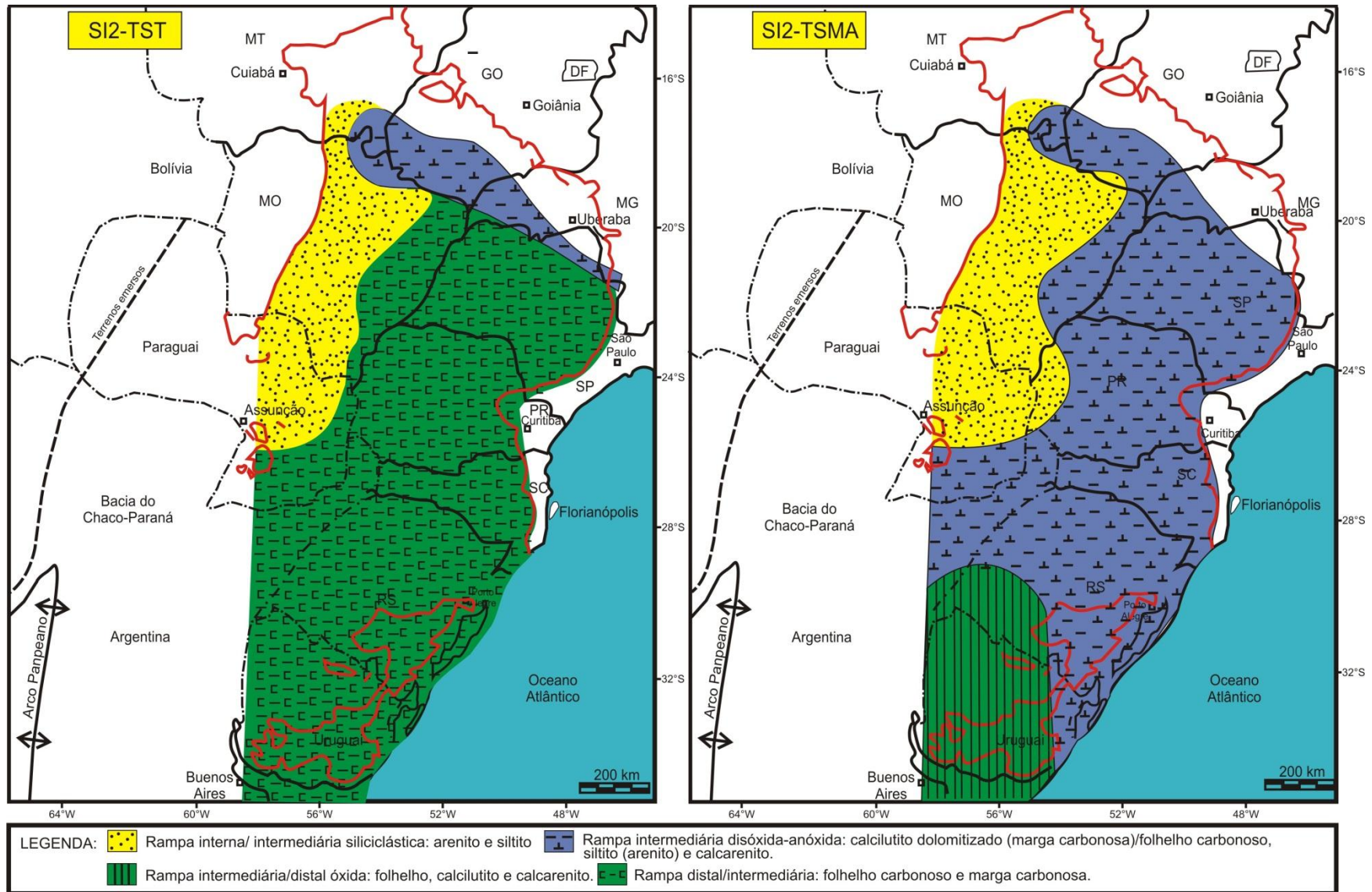


FIGURA 26 - Domínios deposicionais relacionados à fase intermediária dos tratos de sistemas transgressivo (TST) e de mar alto (TSMA) da SI2. Fonte: Araújo (2001).

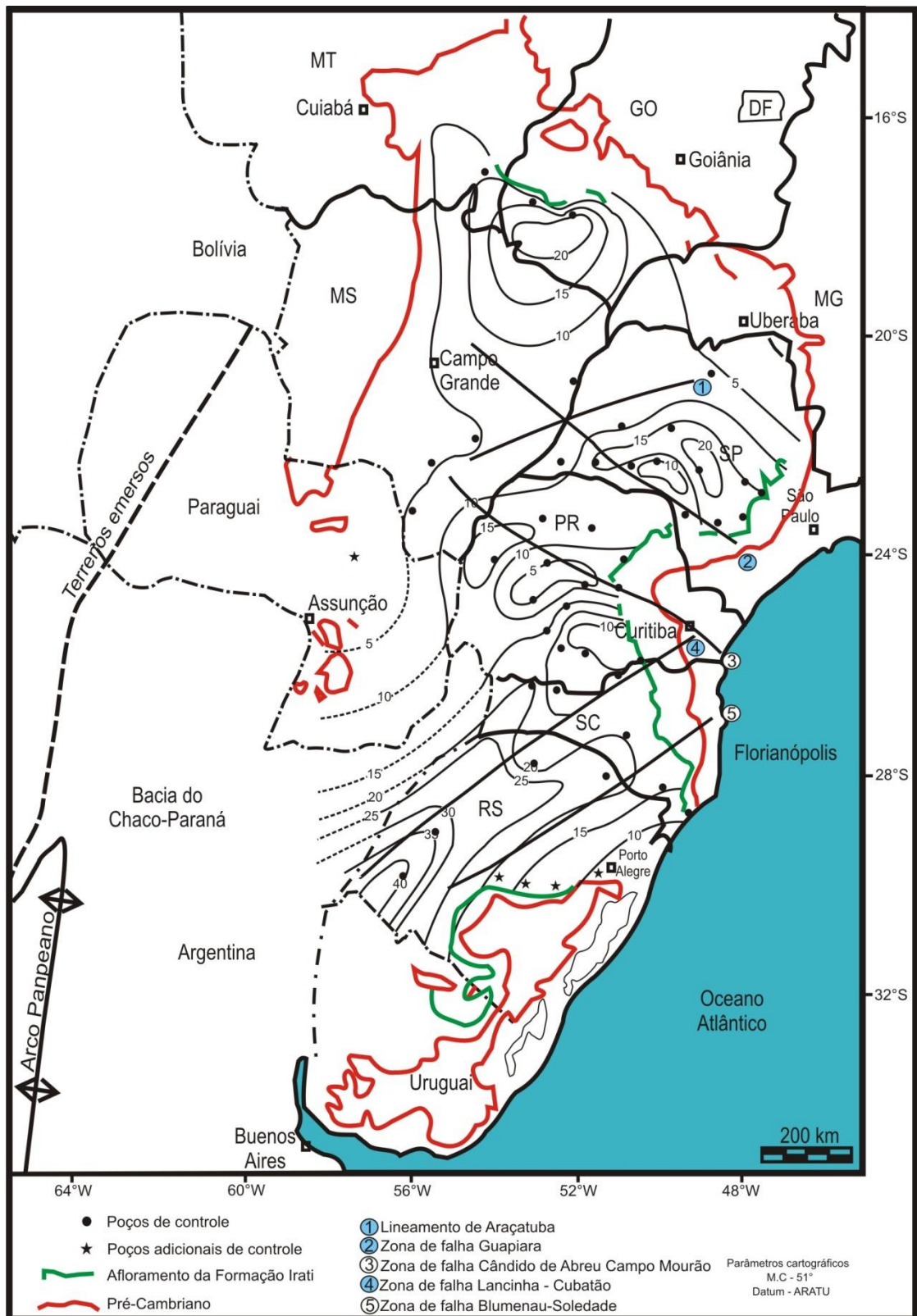


FIGURA 27 - Isópacas da SI3. Elementos paleotectônicos compilados de Zalán *et al.*, (1990), Marques *et al.*, (1994) e López-Gamundi *et al.*, (1994). Fonte: Araújo (2001).



A partir da superfície transgressiva, com o aumento da taxa de criação do espaço de acomodação, há a retração da fábrica carbonática para as porções setentrional e oriental da bacia, com o represamento do sistema siliciclástico na borda ocidental. No domínio meridional o sistema siliciclástico pelítico predomina sobre o carbonático. No extremo nordeste da porção setentrional da bacia (FIGURA 28), o TST se caracteriza por um padrão agradacional, expresso pela alternância de delgadas camadas de *mudstones* e folhelhos carbonosos.

Após a Superfície de Inundação Máxima (SIM) ocorre súbita alteração do regime de oxigenação do substrato deposicional anaeróbico para aeróbico, com folhelhos normais sobrepondo folhelhos carbonosos (betuminosos). No TSMA, enquanto o sistema siliciclástico prograda na porção meridional, na setentrional no domínio de rampa intermediária, alternam-se o sistema carbonático e siliciclástico, segundo um padrão de empilhamento estratal agradacional, caracterizado por camadas relativamente mais espessas (ARAÚJO, 2001).

Partindo agora para a subdivisão litoestratigráfica de Hachiro *et al.*, (1993) e as considerações de Hachiro (1996), verifica-se que a unidade então tratada por estes autores como Formação Assistência é subdivida em Membro Morro do Alto e Membro Ipeúna (FIGURA 15). O Membro Morro do Alto, porção inferior da Formação Assistência, compreende da base para o topo, calcilutitos dolomitizados e silicificados intercalados por folhelhos pretos betuminosos (camada de folhelhos betuminosos) sobrepostos no nordeste do Paraná e centro sul de São Paulo por evaporitos, anidrita e gipsita (camada de brecha evaporítica). Voltando a ocorrer folhelhos betuminosos, sendo que a nordeste, estes estão intercalados ritmicamente por camadas de calcilutitos dolomitizados (ritmitos inferiores). Sobrepostos ocorrem folhelhos siltosos não betuminosos e lamitos cinza esverdeados geralmente com pelotilhas de glauconita e restos de peixes denominados por Hachiro *et al.* (1993) da “camada laje azul”.

Para o topo desta unidade no intervalo definido por Hachiro *et al.*, (1993) de Membro Ipeúna, a norte da bacia, ocorre um “banco dolomítico” formado por dololutitos e doloarenitos e subordinamente delgados níveis de brecha intraformacional sendo frequente a presença de lentes de sílex (camada bairrinho).

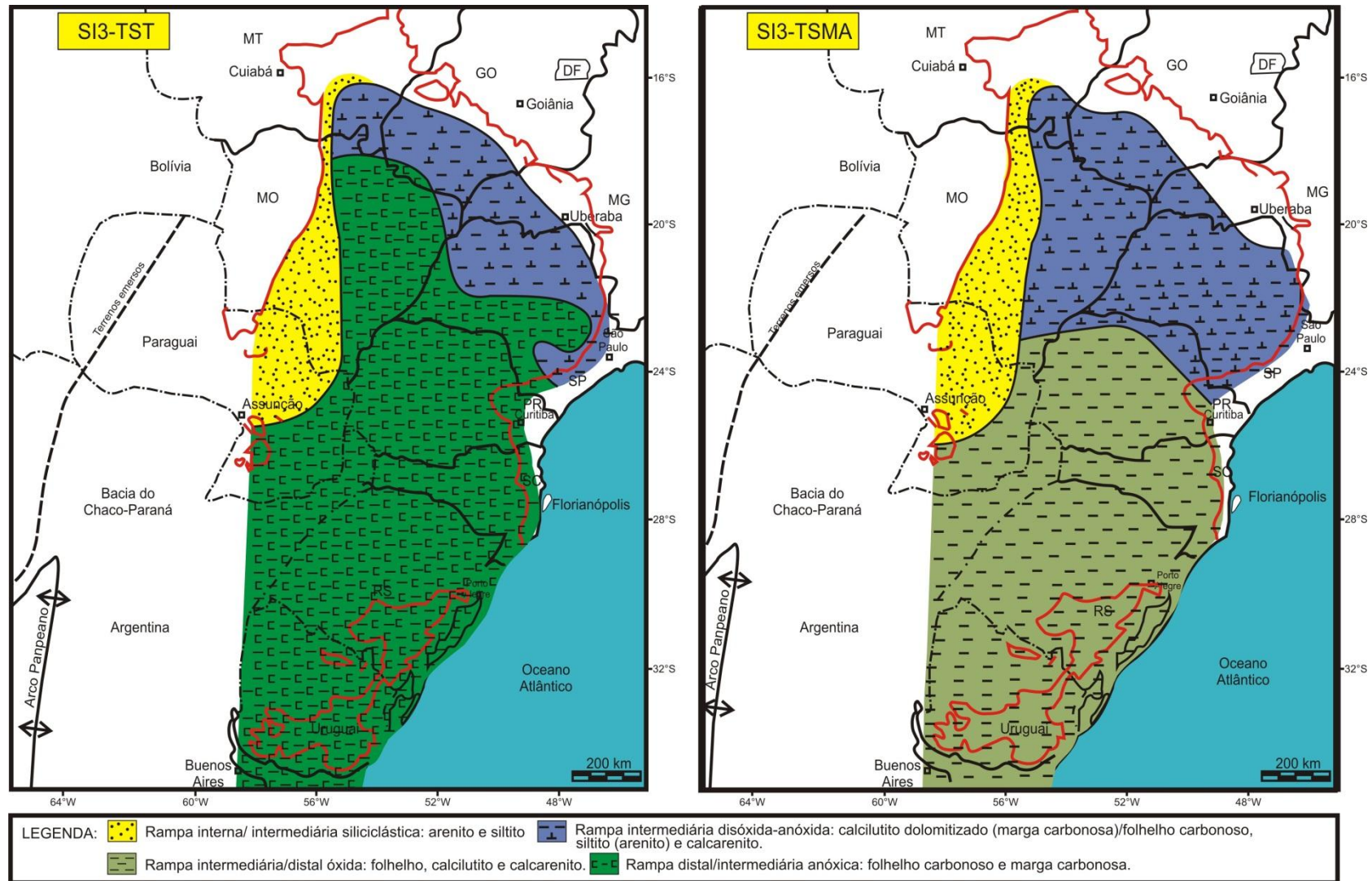


FIGURA 28 - Domínios deposicionais relacionados a fase intermediária e final dos tratos de sistemas transgressivos (TST) e mar alto (TSMA) da Sequência Irati 3 (SI3). Fonte: Araújo (2001).

Essas rochas são sobrepostas por ritmitos delgados e regulares de folhelhos betuminosos e rochas carbonáticas que para o topo se tornam mais espessos e boudinados (ritmitos delgados e superiores).

Segundo Hachiro (1996) no início da deposição das rochas da “Formação Assistência” na base do “Membro Morro do Alto” (FIGURA 15), o ambiente era mais restrito no centro-sul do Estado de São Paulo e extremo nordeste do Estado do Paraná. Isto propiciou a ocorrência de fácies evaporítica caracterizada pela presença de gipsita e/ou anidrita laminada a nodular em geral brechadas, intercaladas por leitos deformados e silicificados, além de rochas carbonáticas e folhelhos. No restante da bacia, o ambiente menos restrito atuou de modo mais generalizado, propiciando a ocorrência de fácies caracterizadas por folhelhos betuminosos e folhelhos intercalados por calcilutitos (FIGURA 29).

Segundo Hachiro (1996), essa fase regressiva resultou na maior restrição já imposta à Bacia do Paraná durante a evolução do mar Irati, culminando na formação de um mar hipersalino menos propenso a intercâmbios com o restante da bacia. Nesta porção a norte do Arco de Ponta Grossa, o recuo da linha de costa possibilitou a exposição, retrabalhamento e transporte de material carbonático procedente de estromatólitos e esteiras algáceas que passaram a florescer na borda oriental da bacia, principalmente na borda nordeste. Posteriormente uma lenta elevação eustática propiciou a deposição dos ritmitos inferiores a norte do arco de Ponta Grossa e a camada inferior de folhelhos betuminosos a sul do arco. Subsequentemente depositaram-se as rochas da camada Laje Azul, caracterizadas por pelitos lamosos esverdeados, ricos em restos de peixes e presença conspícua de pelotilhas retrabalhadas de glauconita.

Uma nova tendência regressiva permitiu o desenvolvimento, na borda nordeste da bacia, de uma associação faciológica predominantemente carbonática (FIGURA 30). Isso permitiu o retrabalhamento do material carbonático presente nas partes mais rasas da borda oriental da bacia e a instalação das condições necessárias para a formação do “banco dolomítico” do Membro Ipeúna denominado de “Camada Bairrinho” (HACHIRO, 1996). Esta unidade é formada por dololutitos laminados e doloarenitos finos a médios e subordinadamente, delgados níveis de brecha intraformacional. O estabelecimento de um ambiente tectônico calmo, com estabilidade no nível das águas associados a variações climáticas propiciou a

formação dos ritmitos delgados e superiores mais espessos, seguindo, de maneira geral, um padrão que indica regularidade nos períodos de clima úmido e mais secos.

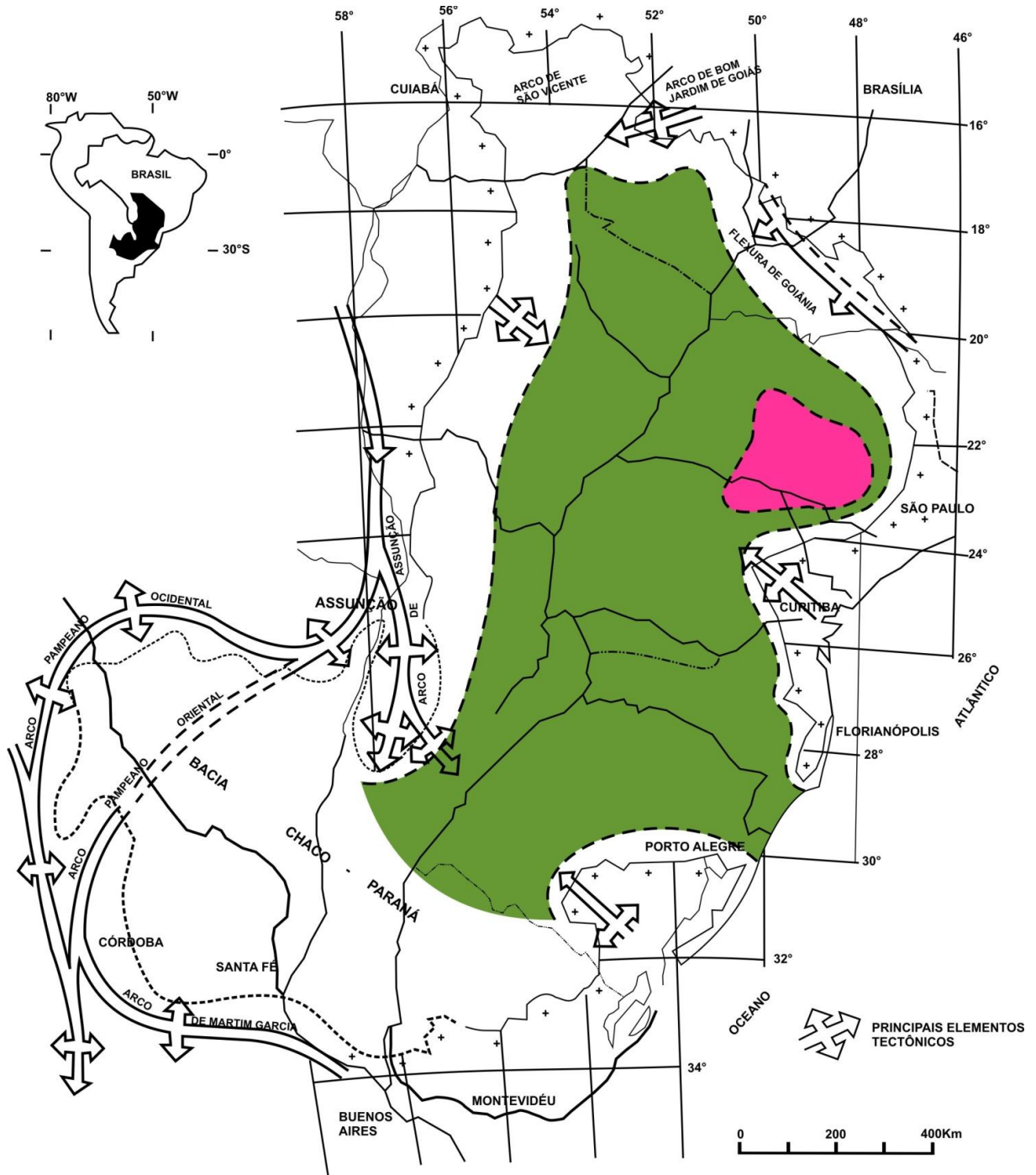
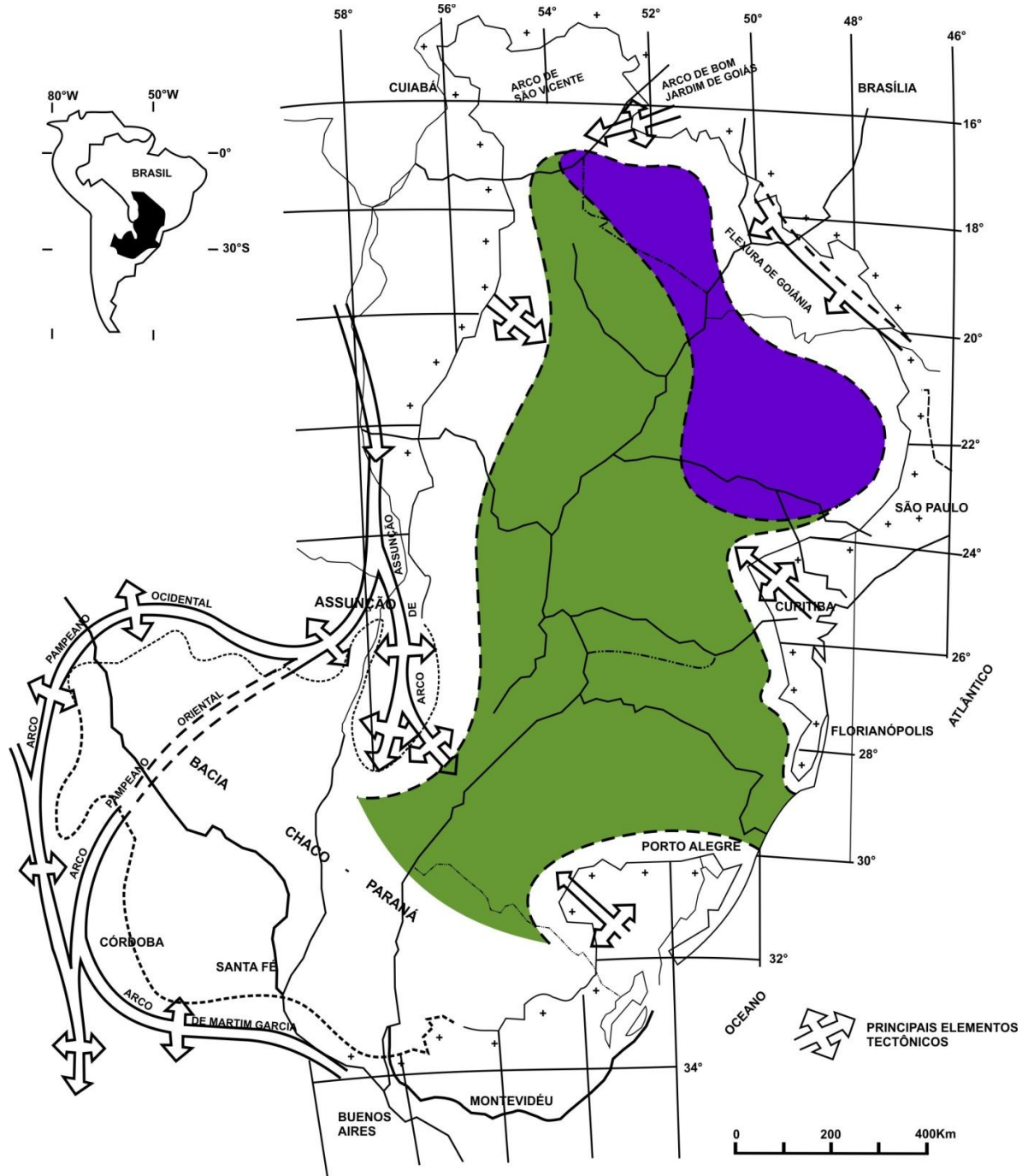


FIGURA 29 - Mapa de distribuição de fácies pelíticas e evaporíticas do Membro Morro do Alto. Fonte: Hachiro (1996).



Verde: folhelhos betuminosos e folhelhos intercalados por calcilutitos.  
Azul: doloarenito do banco carbonático (coincidente à área de ritmitos).

FIGURA 30 - Mapa de distribuição de fácies pelíticas e carbonáticas do Membro Ipeúna. Fonte: Hachiro (1996).

## 4 LITOFÁCIES CARBONÁTICAS

### 4.1 INTRODUÇÃO

Para descrição petrográfica foram consideradas as rochas aflorantes na Pedreira Vitti, município de Saltinho (SP), e testemunho do furo de sondagem FP-01-PR, no município de Ibaiti (PR).

Tanto as rochas da pedreira quanto as do testemunho não estão afetadas por intrusões de diques e soleiras, frequentemente presentes nas rochas dessa formação.

Os afloramentos da Pedreira Vitti são caracterizados por grandes paredões, onde ocorrem as rochas do Membro Assistência. Enquanto que o Testemunho do furo de sondagem FP-01-PR além de rochas de outras Formações da Bacia do Paraná, abrange rochas do Membro Assistência e do Membro Taquaral. Como o foco deste trabalho são as rochas carbonáticas do Membro Assistência, aquelas pertencentes ao Membro Taquaral não foram descritas detalhadamente, porém, algumas camadas de rochas carbonáticas encontradas foram analisadas a fim de verificar a diferença entre essas unidades.

O perfil estudado na Pedreira Vitti é caracterizado por uma seção basal constituída por um banco carbonático dolomítico com espessura de aproximadamente 3 m, seguido de uma associação rítmica de aproximadamente 16 m de espessura composta por intercalações de dolomitos e folhelhos (FIGURA 31).

O banco dolomítico é composto por dololutitos a doloarenitos finos, laminados, cinza esbranquiçados com laminação plano-paralela. Estas rochas são alternadas por doloarenitos marrom avermelhados (FIGURA 32). Ocorrem ainda intercaladas a essas rochas três níveis centimétricos (2 cm a 4 cm) de brechas intraformacionais.



FIGURA 31 - Afloramento ocorrente na Pedreira Vitti.

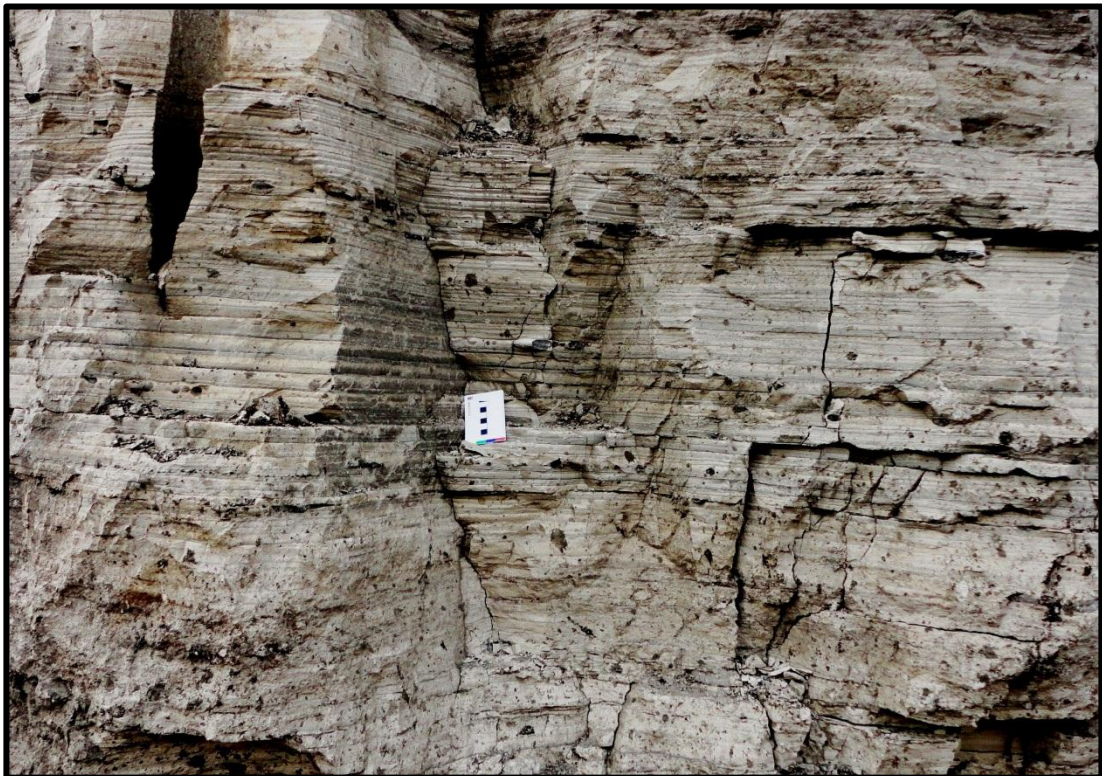


FIGURA 32 - Banco dolomítico composto por dololitos a doloarenito com laminação plano-paralela.

Na seção rítmica da Pedreira Vitti, ocorrem dololutitos e folhelhos que variam em espessura de 15 a 50 cm, se tornando mais espessos para o topo, onde atingem 1 m a 1,50 m. Os dololutitos inferiores são maciços sem laminação evidente, apresentam nódulos de sílex, enquanto que na porção intermediária a superior do afloramento, os dololutitos são predominantemente laminados, com laminação plano-paralela, por vezes levemente ondulada. Apresentam camadas lenticularizadas refletindo deformação por sobrecarga (FIGURA 33), como evidenciado por Hachiro (1996) ao analisar essas feições nas rochas dessa formação, atribuindo origem por compactação. Ocorrem ainda lentes e nódulos de sílex.



FIGURA 33 - Camadas de dololutitos lenticularizados da seção rítmica.

A análise petrográfica microscópica permitiu a individualização das rochas carbonáticas do Membro Assistência ocorrentes na Pedreira Vitti em quatro litofácies: *mudstone* laminado, *mudstone* maciço, *wackestone* bioclástico peloidal e brecha intraformacional. Estas litofácies foram identificadas com base em 30 lâminas petrográficas distribuídas ao longo do perfil levantado (FIGURA 34).



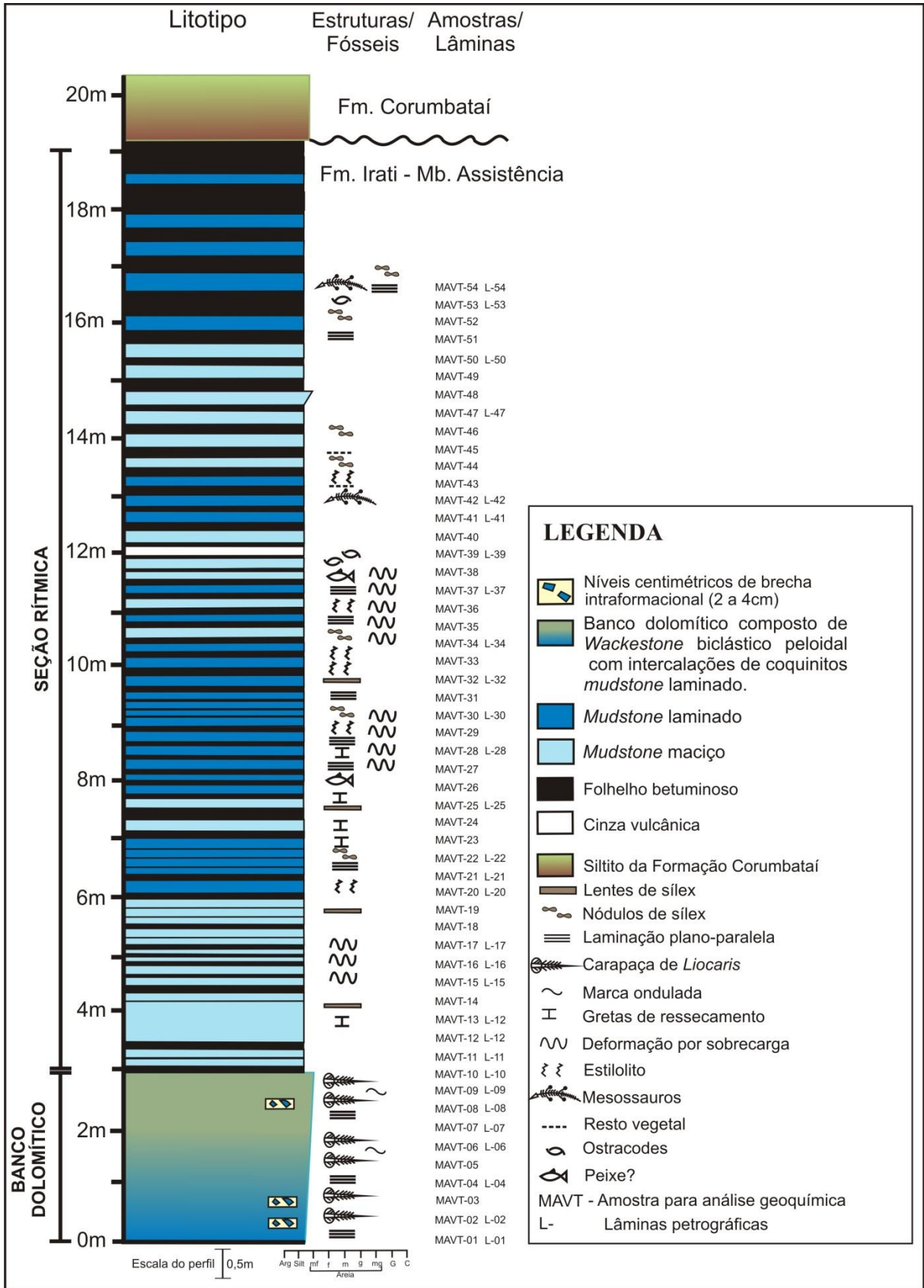


FIGURA 34 - Perfil litológico da Pedreira Vitti com indicações dos níveis amostrados e laminados.

O perfil analisado no Testemunho do furo FP-01-PR compreende uma seção completa do Membro Assistência.

Da mesma forma que na pedreira Vitti, as análises petrográficas das rochas carbonáticas do testemunho FP-01-PR possibilitaram individualizar quatro fácies no Membro Assistência. Foram descritos também níveis carbonáticos ocorrentes no Membro Taquaral, onde duas fácies foram identificadas (FIGURA 35).

Na porção do testemunho correspondente ao Membro Assistência, foram identificadas as litofácies: *mudstone* maciço, *mudstone* laminado, *mudstone a wackestone* bioclástico peloidal e *mudstone* laminado brechado. Estas litofácies foram identificadas com base em 13 lâminas delgadas distribuídas ao longo do testemunho (FIGURA 35).

Os intervalos de rochas carbonáticas do Membro Taquaral amostrados foram individualizados como *mudstone* maciço e *packstone* bioclástico (pelecípodes) (FIGURA 35; APÊNDICE 1. 1).

No testemunho o Membro Assistência apresenta uma espessura de aproximadamente 21,5 m compreendendo rochas pelíticas e carbonáticas. O contato com o Membro Taquaral foi inferido seguindo descrições presentes nos trabalhos existentes sobre a Formação Irati (ARAÚJO, 2001; HACHIRO, 1996), em especial o de Lages (2004), que estudou o mesmo testemunho. Dessa forma, este contato se faz de forma abrupta, verificando-se a passagem da litofácies folhelho não betuminoso (Membro Taquaral) para *mudstone* laminado brechado (Membro Assistência) a 215 m de profundidade (FIGURA 36).

O Membro Assistência é caracterizado na base por *mudstone* laminado brechado (~3 m) sendo sucedido por camadas centimétricas a métricas de *mudstone* laminado e maciço, siltito e folhelho (ritmito inferior) (APÊNDICE 1. 2). Vale ressaltar que a aproximadamente 208 m de profundidade ocorre rocha de cor marrom acinzentada (MASP-29) (FIGURA 37) cuja composição analisada por DRX se assemelha aquelas da cinza vulcânica encontrada na Pedreira Vitti. Sobrejacente a essa rocha ocorre uma camada de mais de 3 m de siltito que é sucedido por um banco dolomítico de 4 m de espessura.

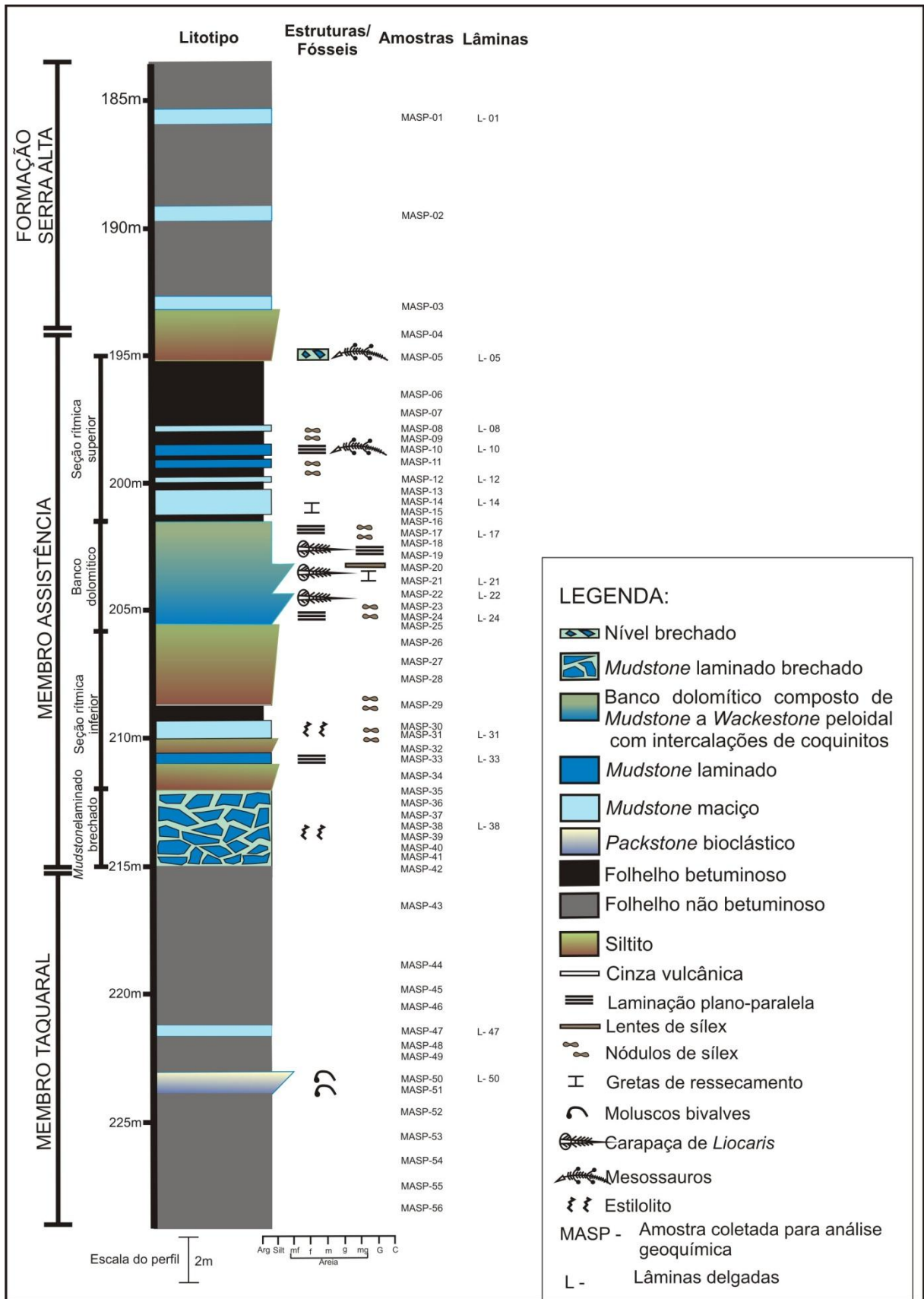


FIGURA 35 - Perfil litológico do testemunho FP-01-PR com indicações dos níveis amostrados e laminados.

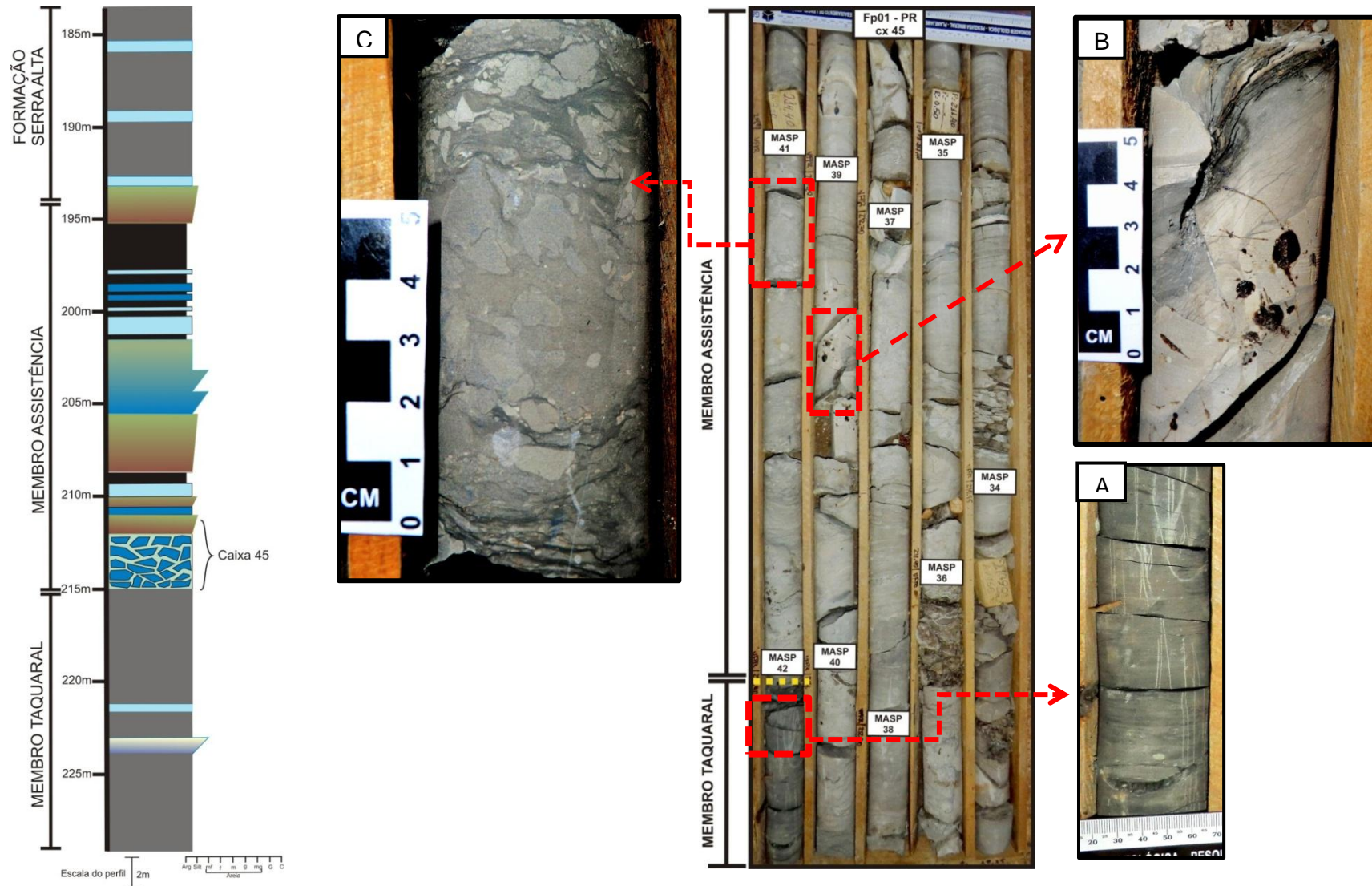


FIGURA 36 - Testemunhos ilustrando o contato dos Membros Taquaral e Assistência. a) Folhelho não betuminoso do Membro Taquaral; b) Greta de ressecamento no *mudstone* laminado brechado; e c) *mudstone* laminado brechado.

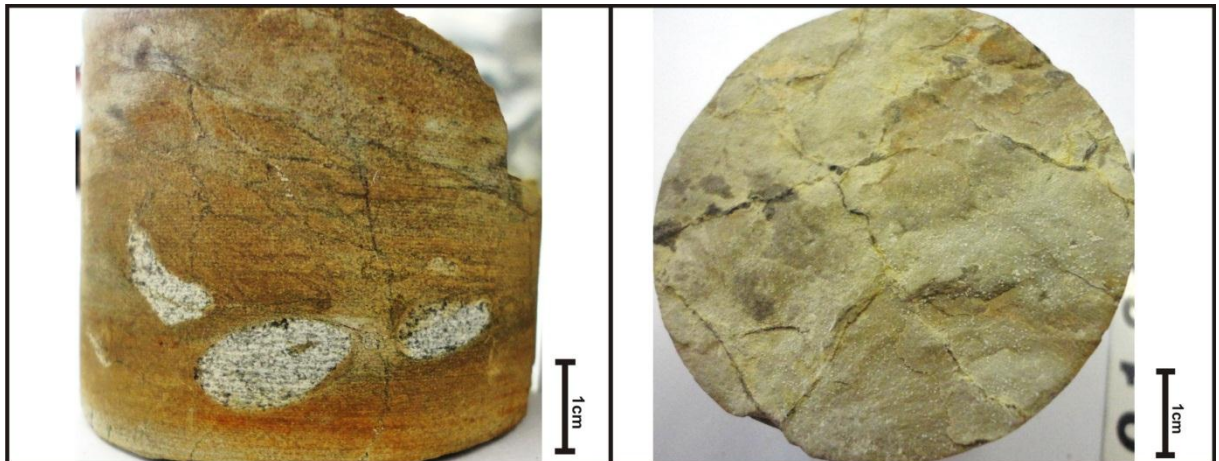


FIGURA 37 - Rocha marrom acinzentada de composição betonítica.

O banco dolomítico é composto por *mudstone* laminado e *mudstone* a *wackestone* bioclástico peloidal formado por carapaças de *Liocaris* (FIGURA 38). Sobrejacente, ocorrem ritmitos *mudstone* laminado e maciço/folhelho betuminoso, típicos do Membro Assistência (ritmito superior), com os folhelhos betuminosos se tornando mais espessos para o topo (APÊNDICE 1. 3).

Na passagem do folhelho betuminoso para siltito a 195 m (FIGURA 39; APÊNDICE 1. 4) encontra-se nível brechado de aproximadamente 5 cm (MASP-05), rico em bioclastos fosfatizados de mesossaurus e peixes que segundo Lages (2004) foi relacionado ao contato entre as formações Irati e Serra Alta.

Foi amostrado mais 10 m acima do nível brechado, sendo analisadas duas camadas de *mudstone* maciço e verificada a presença de folhelho não betuminoso (FIGURA 35).

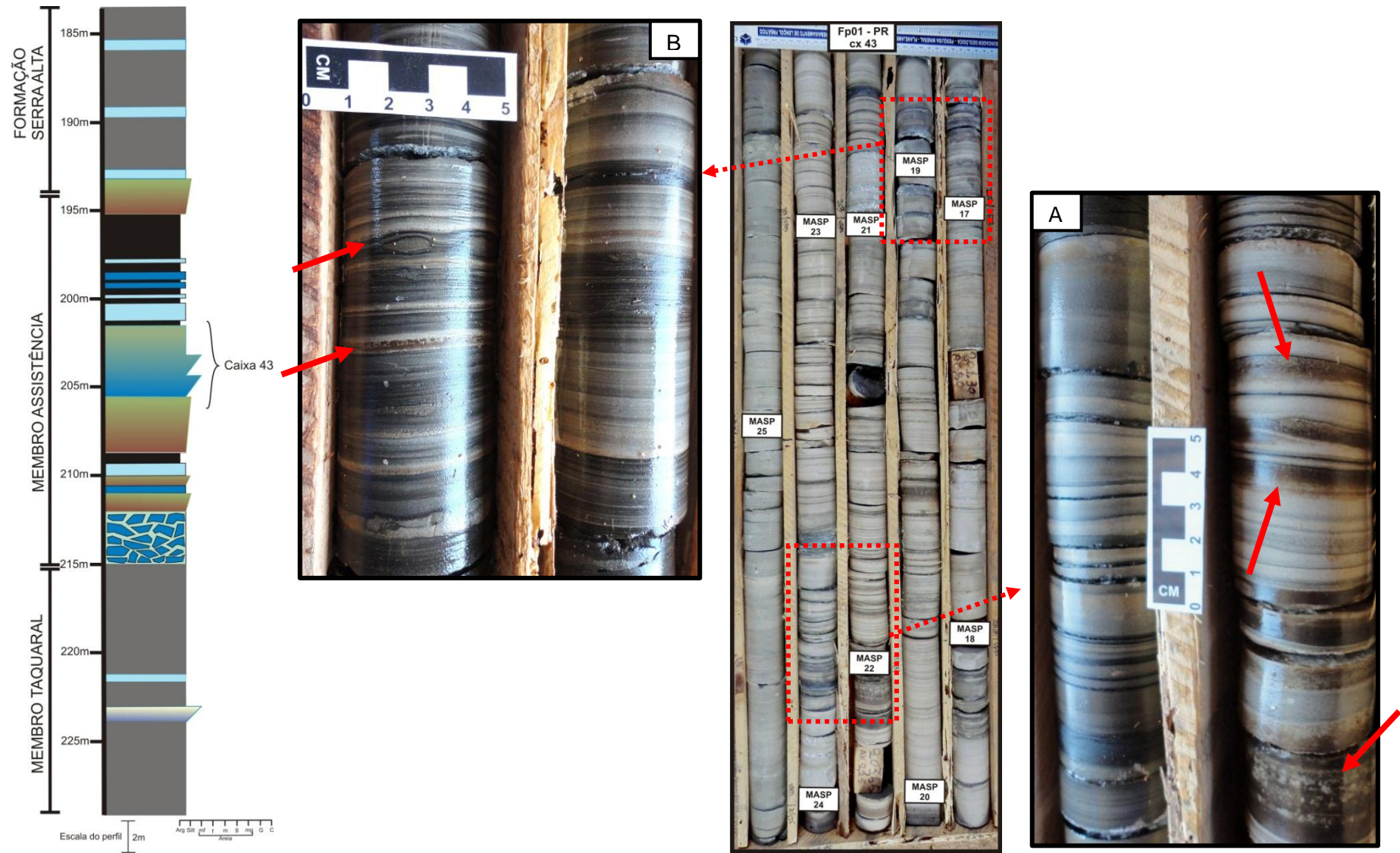


FIGURA 38 - Banco dolomítico. a) *Mudstone* a *wackestone* bioclástico peloidal; b) *Mudstone* laminado com nódulos de sílica e intervalos com concentração de carapaças de *Liocaris*, ambos destacados pelas setas.

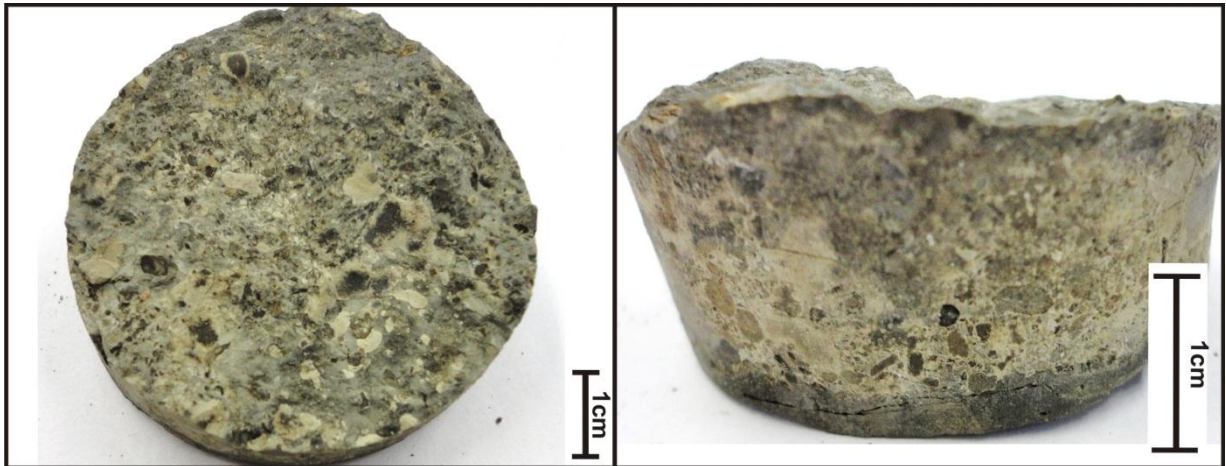


FIGURA 39 - Amostra de nível brechado rico em bioclastos fosfatizados.

De maneira geral, analisando as rochas do Membro Assistência tanto da Pedreira Vitti quanto do Testemunho FP-01-PR, texturalmente predominam litofácies suportadas por lama carbonática dolomítica, que compõe a matriz cripto a microcristalina definindo litofácies que segundo Dunham (1962) e Embry e Klovan (1971), compreendem *mudstones* e *wackestones* (FIGURA 40). Em casos específicos a nomenclatura das litofácies não foi adotada de acordo com o aspecto textural. A litofácies brecha intraformacional texturalmente seria um *rudstone*, o mesmo se aplica ao *mudstone* laminado brechado (FIGURA 40).

CALCÁRIOS AUTÓCTONES - componentes originais não-ligados organicamente durante a deposição					CALCÁRIOS AUTÓCTONES - componentes originais organicamente ligados durante a deposição				
Componentes originais 'não-ligados' durante a deposição (<10% grão >2mm)			Sem lama, grão suportado	Textura deposicional não-reconhecível	Componentes originais 'não-ligados' organicamente durante a deposição		Componentes originais ligados organicamente durante a deposição		
Contém Lama (Partículas tamanho argila/siite fino)					>10% grão >2mm		Organismos que atuam como obstáculos	Organismos que encrustam e ligam	Organismos que constroem um arcabouço rígido
Menos de 10% de grãos	Mais de 10% de grãos	O arcabouço é grão-suportado com matriz			Suportado pela matriz	Suportado por componentes maiores que 2mm			
<i>Mudstone</i>	<i>Wackestone</i>	<i>Packstone</i>	<i>Grainstone</i>	<i>Crystalline</i>	<i>Floatstone</i>	<i>Rudstone</i>	<i>Bafflestone</i>	<i>Bindstone</i>	<i>Framestone</i>

+ *Mudstone* Laminado  
 \* *Mudstone* Maciço  
 ■ *Wackestone* Bioclástico Peloidal  
 ● Brecha Intraformacional  
 X *Mudstone* Laminado Brecado

FIGURA 40 - Disponibilidade das fácies individualizadas na classificação de rochas carbonáticas, baseada na textura deposicional. Fonte: Ampliação da classificação de Dunham (1962) por Embry e Klovan (1971).

As rochas carbonáticas são caracterizadas pela presença de grãos aloquímicos, sendo eles pelóides, oóides, intraclastos e bioclastos.

Os pelóides, oóides e bioclastos de carapaças de *Liocaris* (tipo de crustáceo) são limitados ao “banco dolomítico”, um intervalo essencialmente carbonático ocorrente tanto na Pedreira Vitti como no testemunho.

Na Pedreira Vitti os intraclastos ocorrem nos níveis de brechas intraformacionais do banco dolomítico e são caracterizados por fragmentos centimétricos de *mudstone* com porosidade vugular e fragmentos milimétricos com estruturas laminadas de esteiras microbiais. No testemunho o banco dolomítico não possui níveis de brecha, porém a base do Membro Assistência é marcada por *mudstone* brechado, sendo os intraclastos de *mudstone* laminado (litofácies *mudstone* laminado brechado).

Além dos bioclastos de carapaças de *Liocaris* ocorrem bioclastos de ostracodes e mesossauros nas litofácies *mudstone* laminado e *mudstone* maciço. Nesta última litofácies, são frequentes bioclastos fosfatizados com características microscópicas similares às descritas por Hachiro (1996) como fragmentos de peixes.

O resumo descritivo das litofácies pode ser verificado na TABELA 1.

TABELA 1 - RESUMO DESCRITIVO DAS LITOFÁCIES.

Litofácies	Litologia, Textura e estruturas	Constituintes Aloquímicos	Local de ocorrência	Espessura (m)
<i>Mudstone</i> laminado	<i>Mudstone</i> dolomítico com matriz pseudoesparítica a microcristalina e estrutura grumosa. Presença de estilólitos e fraturas preenchidas por calcita.	Bioclastos de peixe (?), ostracodes e mesossauros	Banco dolomítico e porção intermediária a superior dos ritmitos da pedreira Vitti. Porção basal do Membro Assistência, banco dolomítico e ritmitos superiores do testemunho FP-01-PR.	0,15 a 1 (Vitti)  0,28 a 4 (Testemunho)

continua



TABELA 1 – RESUMO DESCRITIVO DAS LITOFÁCIES.

continuação

Litofácies	Litologia, Textura e estruturas	Constituintes Aloquímicos	Local de ocorrência	Espessura (m)
<i>Mudstone</i> maciço	<i>Mudstone</i> dolomítico com matriz micrítica recristalizada com estrutura grumosa. Fragmento de esteira microbial preenchendo fraturas. Fraturas preenchidas por betume.	Bioclastos de ostracodes, peixe (?) e mesossauros	Porção basal e superior dos ritmitos da Pedreira Vitti. No testemunho ocorre na porção basal do Membro Assistência e nos ritmitos acima do banco dolomítico.	0,5 a 1 (Vitti) 0,10 a 0,30 (Testemunho)
<i>Mudstone a Wackestone</i> bioclástico peloidal	Na pedreira Vitti trata-se de <i>Wackestone</i> dolomítico com matriz peloidal pseudoesparítica, contendo cerca de 25% de carapaças de <i>Liocaris</i> . No testemunho FP-01-PR trata-se de <i>mudstone a wackestone</i> peloidal com carapaças de <i>liocaris</i> variando entre >10%<. Estilolitos paralelos a laminação.	Pelóides, oóides e carapaças de <i>Liocaris</i>	Banco dolomítico da Pedreira Vitti e do testemunho FP-01-PR.	2,8 (Vitti) Até 0,10 (Testemunho)
Brecha Intraformacional	Composta por clastos centimétricos a milimétricos imersos em matriz lamosa criptocristalina com porosidade intercrystalina. Os clastos centimétricos possuem estrutura grumosa microcristalina com porosidade vugular. Os clastos milimétricos, fragmentos de esteira microbial, apresentam laminação interna e porosidade fenestral.	Intraclatos centimétricos de <i>mudstone</i> com porosidade vugular e intraclastos laminados de esteira microbial.	Banco dolomítico da Pedreira Vitti.	0,2 a 0,3

continua

TABELA 1 – RESUMO DESCRITIVO DAS LITOFÁCIES.

continuação e conclusão

Litofácies	Litologia, Textura e estruturas	Constituintes Aloquímicos	Local de ocorrência	Espessura (m)
<i>Mudstone</i> laminado brechado	<i>Mudstone</i> dolomítico brechado. A matriz desses <i>mudstones</i> é micrítica microcristalina com estrutura grumosa. Fraturas preenchidas por calcita e por betume. Estilolitos paralelos a laminação.	-	Base do Membro Assistência no testemunho FP-01-PR.	3m (Testemunho)

#### 4.2 LITOFÁCIES *MUDSTONE* LAMINADO

Esta litofácies compreende mesoscopicamente, dololutitos a dolarenitos finos. Na Pedreira Vitti as camadas variam em espessura de 0,15 m a 1 m em direção ao topo. No testemunho FP-01-PR possui espessura de 0,05 m a 4 m, sendo que os 4 m ocorrem no banco dolomítico alternado com a litofácies *mudstone* a *wackestone* bioclástico peloidal.

São rochas cinza esbranquiçadas, com laminação plano-paralela marcada por níveis escuros de matéria orgânica (FIGURA 41 - A e B). Cada camada é geralmente limitada no topo por horizontes com gretas de ressecamento (FIGURA 41 - C). Apresentam estilolito perpendicular à laminação, lentes e nódulos de sílex (FIGURA 41 – B e D). No testemunho estudado foi verificada fratura preenchida por calcita (MASP-10).

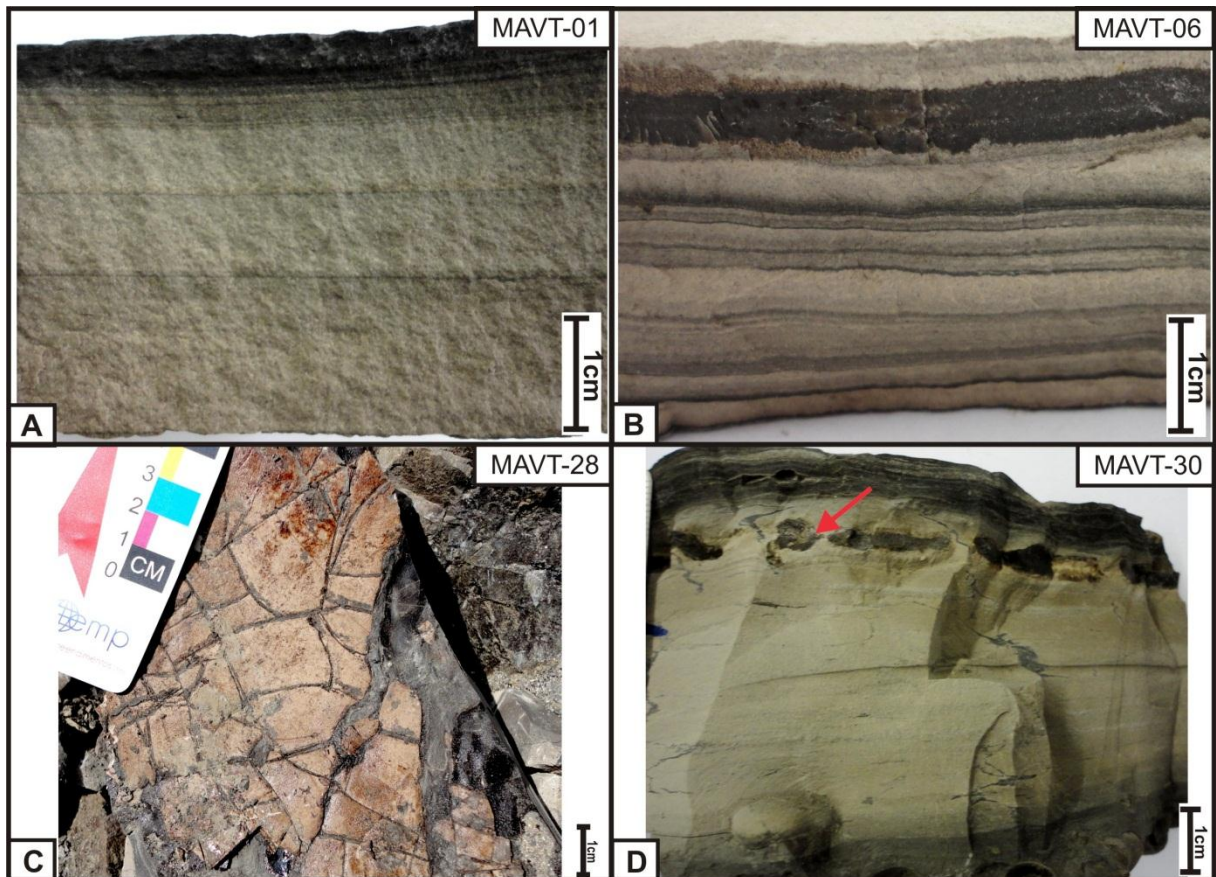


FIGURA 41 - Aspecto mesoscópico da litofácies *mudstone* laminado. a) Dololuto laminado; b) Dololuto com laminação plano-paralela com lente de sílex no topo da amostra; c) Dololuto com gretas de ressecamento; e d) Dololuto com nódulos de sílex (seta vermelha).

No topo do perfil amostrado na Pedreira Vitti, ocorrem *mudstones* com bioclastos que se assemelham a coluna vertebral de mesossauros, réptil típico da Formação Irati (FIGURA 42). Hachiro (1996) descreve na Formação Irati tempestitos caracterizados por concentração de fragmentos ósseos desse réptil.

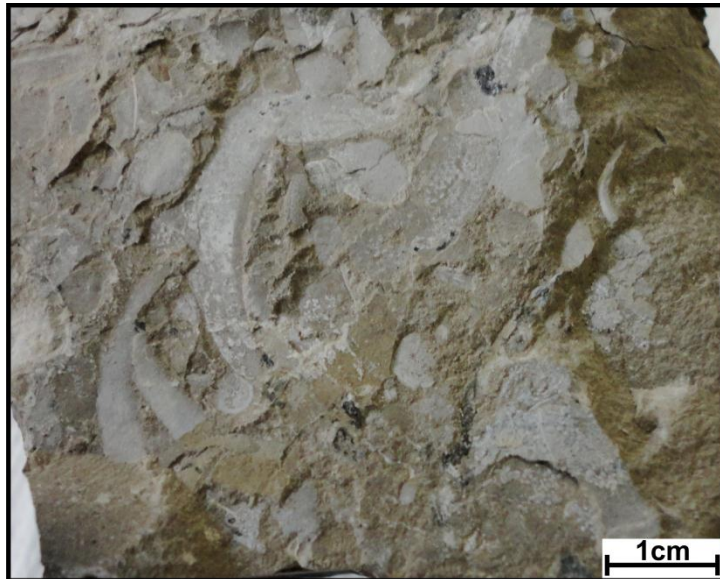


FIGURA 42 - Bioclastos de mesossauros.

Mediante a análise microscópica dessa litofácies, foi possível verificar a presença constante da laminação plano-paralela, bem como grãos de minerais silicosos tamanho silte, tais como quartzo, plagioclásio e micas, que estão dispostos conforme a laminação (FIGURA 43 - B, F e H). Estes minerais ocorrem em proporções variadas nessas rochas, geralmente entre 1% a 2,5% (MASP-10, MASP-24, MASP31, MASP33, MAVT-01, MAVT-06, MAVT-08, MAVT-17, MAVT-22, MAVT-37, MAVT-53). Localmente ocorrem em quantidade maior, alcançando até 6% a 7% (MASP-21, MAVT-25, MAVT-30, MAVT-34).

As laminações são bem definidas por níveis de matéria orgânica. A matéria orgânica pode ser visualizada nos estilólitos e acomodada nas laminações. Apresenta cor amarelo alaranjada a luz natural, e sob luz polarizada marrom escuro a isotrópico (FIGURA 43 - A e H).

Os minerais autigênicos ocorrentes são dolomita, calcita, pirita, albita e sílica microcristalina. Em alguns *mudstone* a presença da pirita é bem marcante como na amostra MASP-33 (FIGURA 43 - E).

A composição dolomítica foi determinada por DRX, sendo que *mudstone* laminados da Pedreira Vitti não apresentam nenhuma reflexão de calcita apenas dolomita. Já nas rochas carbonáticas do testemunho foi identificado os picos de reflexão da calcita além de dolomita.

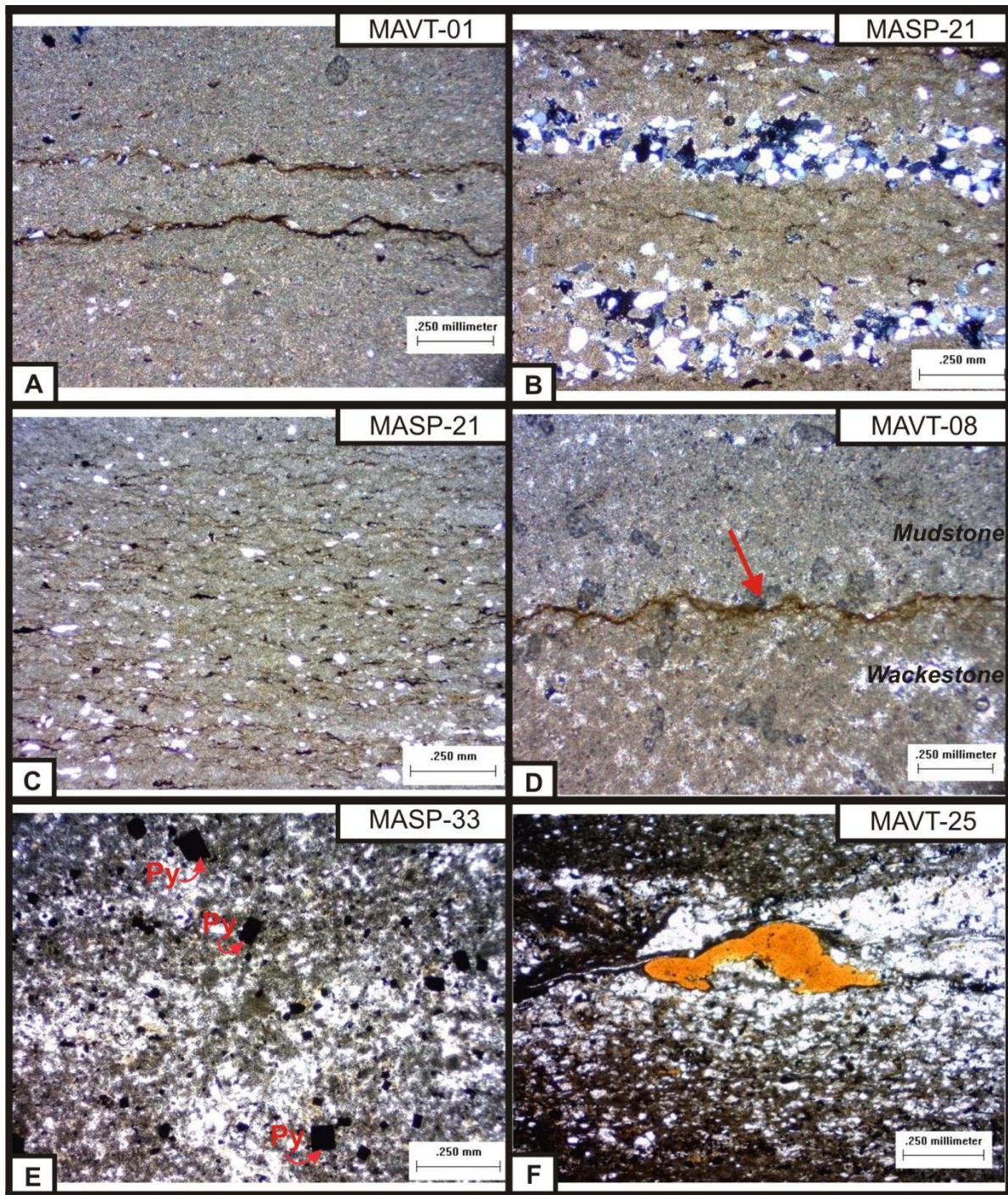


FIGURA 43 - Litofácies *mudstone* laminado. A) *Mudstone* com estilolito disposto segundo a laminação; B) *Mudstone* com grãos anédricos de quartzo segundo a laminação; C) *Mudstone* apresentando estrutura *whispy* e porosidade fenestral; D) Contato entre as litofácies *mudstone* laminado e *wackestone* bioclástico peloidal marcado por estilolito; E) Cristais de pirita dispersos na matriz; F) Bioclasto amarelo alaranjado sob luz natural.

continua

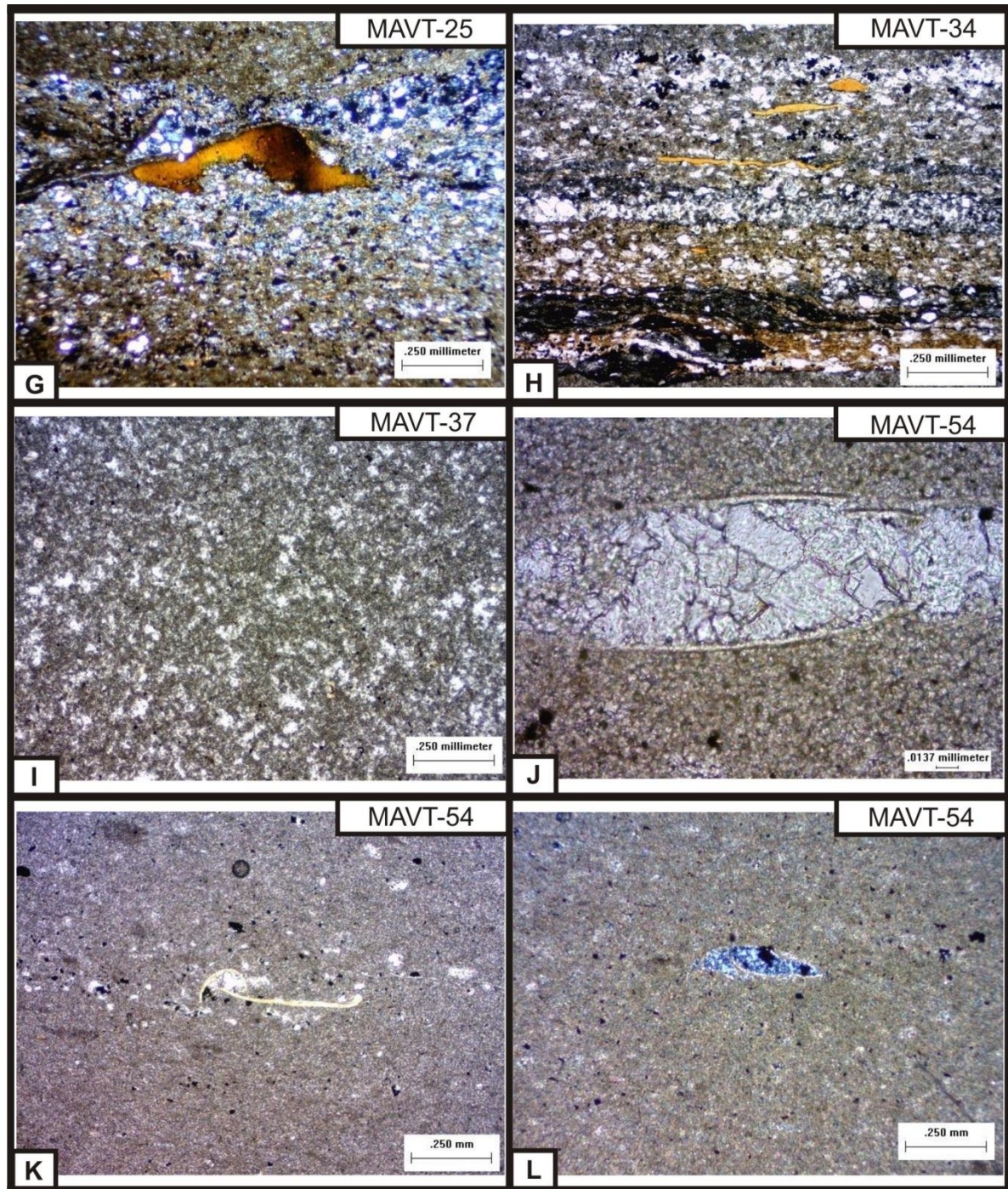


FIGURA 43 (continuação) – G) Bioclasto sob luz polarizada com extinção ondulante cor de interferência variando entre amarelo-laranja e marrom escuro; H) *Mudstone* rico em matéria orgânica; I) Matriz com estrutura grumosa; J), K) e L) Ostracodes cimentados por dolomita, fosfato e sílica, respectivamente.

A fim de confirmar a presença de calcita e diferenciá-la em meio a matriz dolomítica foi realizado tingimento com alizarina com ferrocianeto de potássio. Por essa metodologia ao submeter uma lâmina de rocha carbonática a esse tingimento os cristais de dolomita não serão tingidos e os de calcitas ficarão vermelhos.

Dessa forma ao tingir as lâminas indicadas por DRX como compostas por dolomita e calcita, foi possível confirmar essas respostas (FIGURA 44). Pode-se observar que as porções calcítica compreendem os cimentos que preenchem a porosidade intercrystalina.

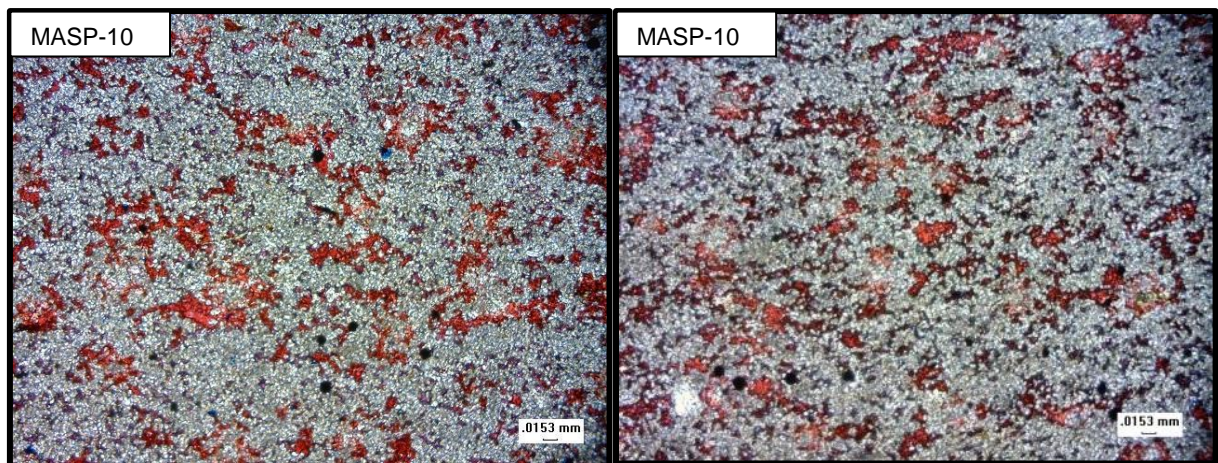


FIGURA 44 - Teste de tingimento com alizarina com ferricianeto de potássio as porções vermelhas compreendem cristais de calcitas e as porções cinza esbranquiçada (não foram tingidas) compreendem dolomitas.

Essa litofácies ocorre alternada com a litofácies *mudstone a wakestone* bioclástico peloidal tanto na Pedreira Vitti como no testemunho de sondagem FP-01-PR. O contato entre estas litofácies na Pedreira Vitti algumas vezes é marcado por estilólitos e por concentrações de matéria orgânica (FIGURA 43 - D).

A matriz desses *mudstones* laminados apresenta-se criptocristalina e microesparítica, com estrutura grumosa evidenciada por grumos micríticos recristalizados e acentuados na matriz dolomítica (FIGURA 43 - I). Apresentam porosidade fenestral e intercrystalina predominantemente, ocorrendo também porosidade *shelter* e fraturas abertas perpendiculares às laminações. Também foi verificada estrutura *whispy* (FIGURA 43- C) caracterizada por filmes descontínuos de matéria orgânica e argila resultante do efeito da compactação (MASP-21).

Ocorrem nessa litofácies bioclastos de ostracodes cimentados por sílica, fosfato (colofano) e dolomita (FIGURA 43 - J, K e L). São frequentes bioclastos de até 0,8 mm de cor amarelo-alaranjado sob luz natural. Sob luz polarizada apresentam extinção ondulante com cor de interferência variando entre amarelo-laranja e marrom escuro (FIGURA 43 - F e G). Bioclastos com características óticas similares foram descritos na Formação Irati por Hachiro (1996), e identificados como fragmentos de peixes.

Pontualmente verificou-se a presença de fragmentos fosfatizados relacionados à mesossauros (MASP-10).

Pelas relações petrográficas pode-se interpretar que houve pelo menos duas fases de dolomitização. Uma coincide com a fase de cimentação pseudoesparítica, caracterizada por cristais de dolomita sujos, cripto a microcristalinos. E a outra fase, corresponde à fase de preenchimento da porosidade fenestral e móldica por cristais de dolomita bem formados e limpos. Além dessas fases de dolomitização, ocorre também uma fase de cimentação calcítica, fosfática e silicificação, estas últimas evidenciadas pela substituição de carapaças de ostracodes por colofano e preenchimento destes por sílica. As feições de compactação físico-química estão presentes como estilolitos.

#### 4.3 LITOFÁCIES *MUDSTONE* MACIÇO

Compreendem mesoscopicamente dololutitos cinza esbranquiçados a cinza escuros. São rochas que se dispõem em camadas centimétricas. Assim como a litofácies anterior, na Pedreira Vitti, variam em espessura de 0,5 m a 1 m em direção ao topo do perfil. No testemunho de sondagem FP-01-PR, os dololutitos variam entre 0,1 m e 0,3 m.

Possuem aspecto maciço e na Pedreira Vitti são frequentes horizontes com gretas de ressecamento no topo das camadas (FIGURA 45 - A e B).

Esta litofácies é marcada por feições diagenéticas resultante do processo de silicificação, na forma de lentes e nódulos (FIGURA 45- C). Apresentam fraturas (FIGURA 45 - D) geralmente preenchidas por quartzo, calcita e hidrocarboneto



viscoso (betume) (MASP-11). Poros centimétricos preenchidos por betume e quartzo são verificados nas rochas da Pedreira Vitti e do Testemunho (FIGURA 45 - E e F).

Ao microscópio petrográfico pode-se verificar uma rocha ortoquímica, composta predominantemente por lama micrítica criptocristalina a microcristalina, com estrutura grumosa (FIGURA 46- A). Ocorrem grãos silicáticos (quartzo e micas) que alcançam até 1%.

Em algumas camadas ocorrem estilólitos (MAVT-20; FIGURA 46- B). É frequente a presença de fraturas. Estas foram analisadas principalmente nas lâminas delgadas das rochas da Pedreira Vitti. Ocorrem preenchidas por material micrítico criptocristalino e por cristais euédricos de calcedônia (FIGURA 46 - C, D, E e F). Os cristais de calcedônia possuem baixo relevo sob luz natural, e extinção ondulante fibro-radial sob luz polarizada, estando bem desenvolvidas nas bordas das fraturas e algumas vezes anédricas no centro destas.

Foi verificado também, preenchendo fratura, intraclastos de esteira microbiana (FIGURA 46 - G).

Os minerais autigênicos presentes são dolomita, calcedônia, pirita, albita e sílica microcristalina.

Essas rochas possuem porosidade intercristalina e vugular, sendo esta parcialmente preenchida por cristais de dolomita e quartzo. Ocorrem com menos frequência porosidade móldica (MAVT-50).

Nos *mudstone* da Pedreira Vitti, ocorrem grãos aloquímicos que perfazem <1% da rocha. Tais como intraclasto de esteira bacteriana e bioclastos. Nos *mudstones* do testemunho de sondagem FP-01-PR não foram identificados intraclastos e bioclastos, o que talvez se deva as seções escolhidas para laminação e qualidade das lâminas.

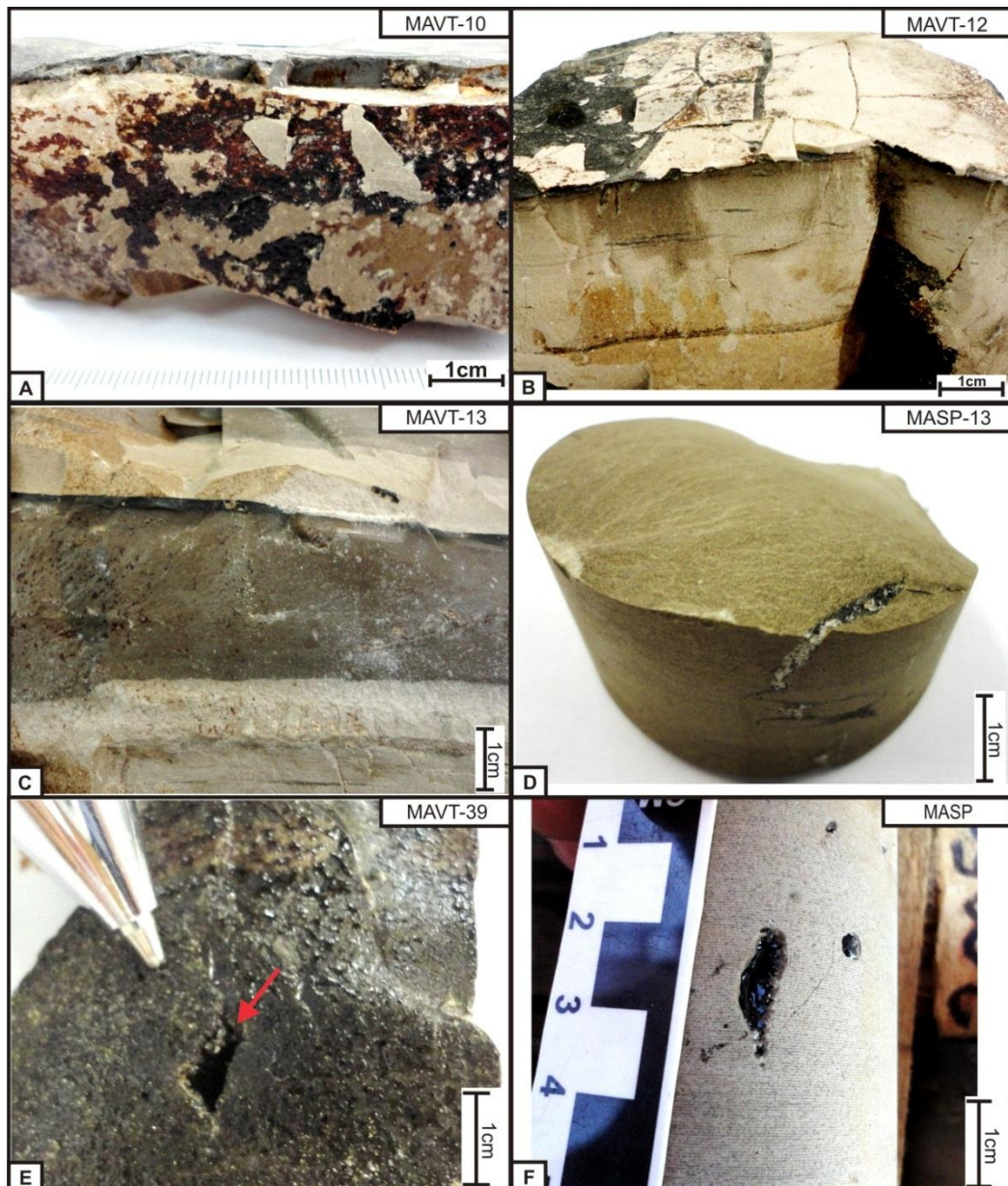


FIGURA 45 - Aspecto mesoscópico da fácies *mudstone* maciço. A) Camada de *mudstone* maciço; B) *Mudstone* com gretas de ressecamento; C) Lente de sílex; D) Fratura preenchida por quartzo e betume; E) espaço poroso; F) poros preenchidos por betume.

Os bioclastos apresentam-se como fragmentos de ostracodes fosfatizados, amarelo alaranjado sob luz natural, e isotrópico sob luz polarizada (FIGURA 46 - J e K). Ocorrem ainda bioclastos fosfáticos a semelhança da litofácies anterior, que alcançam 1,2 mm, amarelo esbranquiçado a luz natural e isotrópico sob luz polarizada (FIGURA 46 - H e I), se assemelhando aos descritos por Hachiro (1996) como fragmentos de peixes. Os bioclastos encontram-se cimentados por calcedônia e algumas vezes por cristais subédricos de dolomita.

Estas características evidenciam condições diagenéticas complexas, com diferentes fases de cimentação e substituição. Assim como na litofácies *Mudstone* laminado, podem-se sugerir pelo menos duas fases de dolomitização, concomitantes ou seguidas por fases de fosfatização e silicificação. Compactação físico-química é evidenciada pela presença de estilólitos e ação mecânica pelas fraturas.

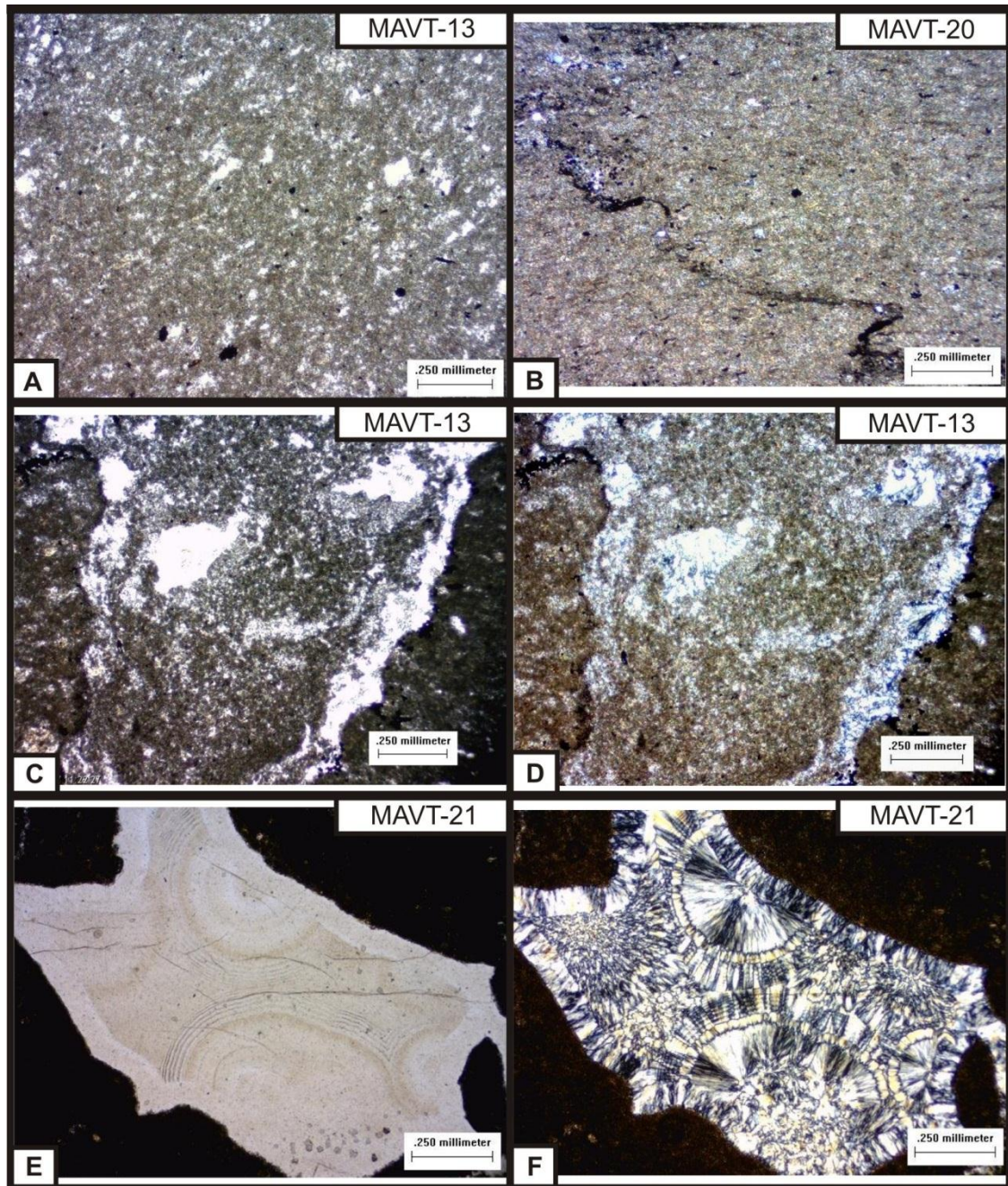


FIGURA 46 - Fotomicrografia da litofácies *mudstone* maciço. A) Matriz com estrutura grumosa e porosidade intercrystalina; B) estilólito; C) e D) Fratura preenchida sob luz natural e sob luz polarizada, respectivamente; E) e F) Calcetônia a luz natural e sob luz polarizada, respectivamente.

continua

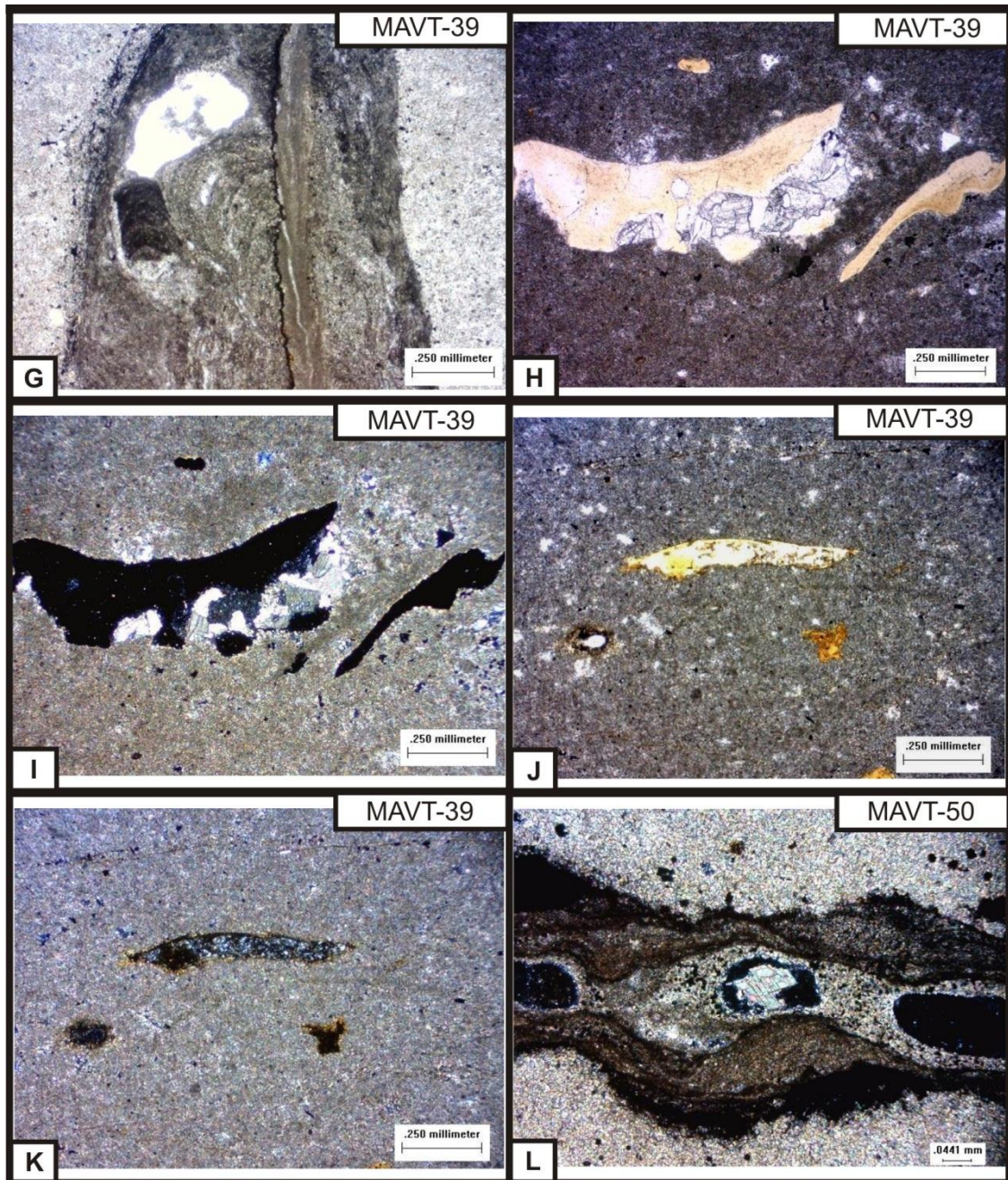


FIGURA 46 (continuação) - G) fratura preenchida por lama carbonática contendo fragmento de esteira microbial (fragmento escuro) e calcedônia; H) e I) bioclasto fosfatizado visto sob luz natural e sob luz polarizada, respectivamente; J) e K) ostracodes fosfatizado nas bordas, cimentado internamente por sílica, sob luz natural e sob luz polarizada, respectivamente; e L) fratura preenchida com presença de dolomita euédrica no seu interior.

#### 4.4 LITOFÁCIES *MUDSTONE* A *WACKESTONE* BIOCLÁSTICO PELOIDAL

Fazem parte desta litofácies rochas que, mesoscopicamente, são dolarenitos finos a dololutitos. São caracterizadas pela alternância de rochas de cor marrom avermelhadas e branco acinzentadas e são restritas ao banco dolomítico do Membro Assistência.

Na pedreira e no testemunho amostrado esta litofácies ocorre alternada com *mudstone* laminado.

No testemunho de sondagem FP-01-PR os dololutitos branco acinzentados prevalecem sob as rochas marrom avermelhadas (FIGURA 47). Esta litofácies ocorre como camada centimétrica de até 8 cm.

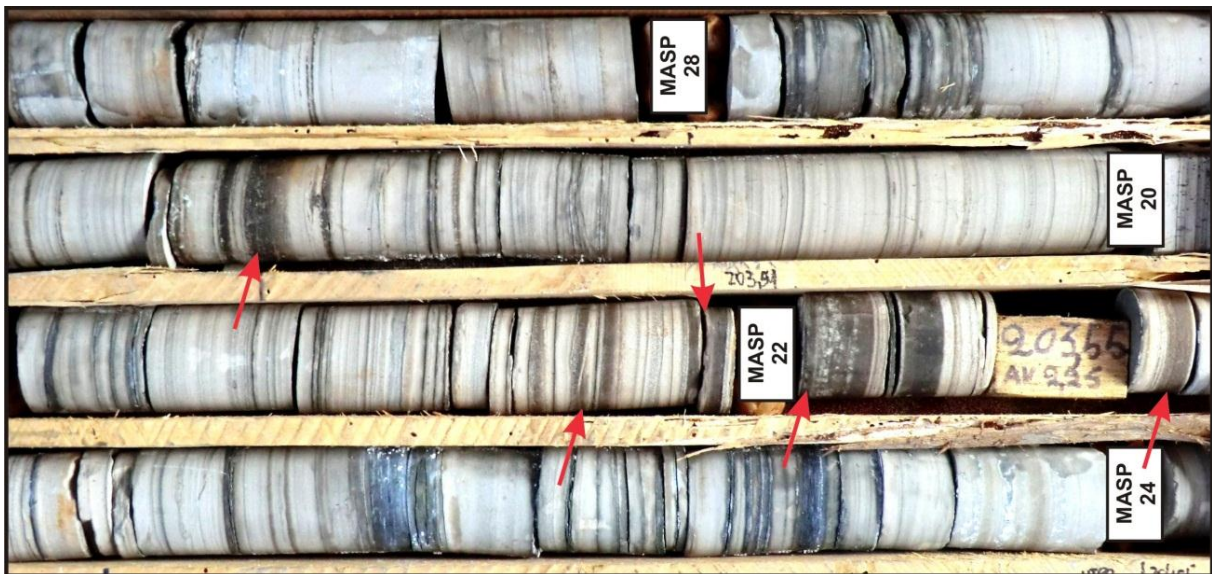


FIGURA 47 - Porção do testemunho de sondagem FP-01-PR com a litofácies *mudstone* a *wackestone* bioclástico peloidal indicada pelas setas vermelhas.

Na Pedreira Vitti as rochas marrom avermelhadas predominam (FIGURA 48). São mais frequentes que no testemunho, sendo bem representada ao longo dos 3 m do banco dolomítico. Ocorre na porção basal do perfil, intercalada com três níveis centimétricos de brechas intraformacionais, pertencentes à fácies brecha intraformacional (FIGURA 49 - B).



FIGURA 48 - Detalhe do banco dolomítico onde pode-se verificar os dololutes a dolarenitos finos marrom avermelhados alternados com branco acinzentados.

Por vezes as laminações milimétricas de dolarenitos branco acinzentados acunham-se contra as laminações milimétricas a centimétricas de dolarenito a dololuto marrom avermelhado (*ripples*) (FIGURA 49 - D).

Observações mesoscópicas nas rochas da Pedreira Vitti, permitem verificar a ocorrência de porosidade fenestral (FIGURA 49 - C), laminações plano-paralelas e por vezes marcas onduladas (FIGURA 49 - A).

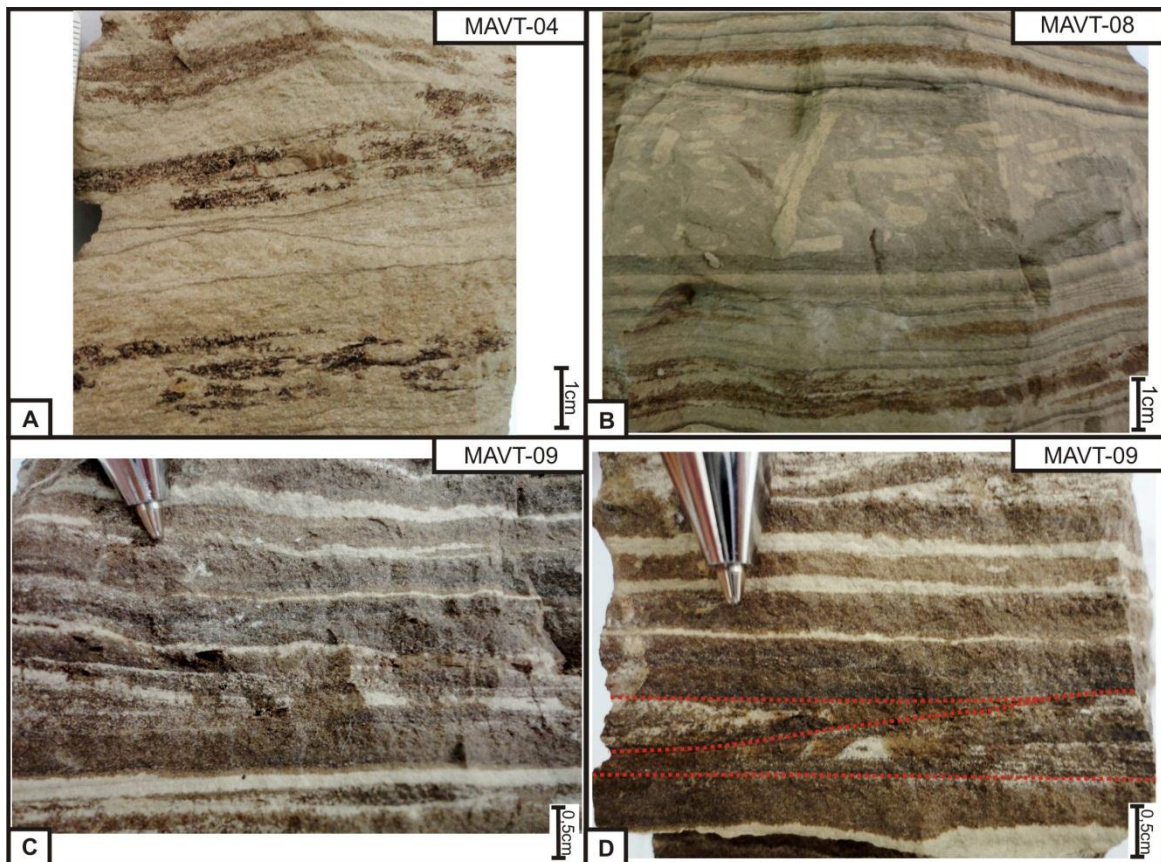


FIGURA 49 - Aspecto mesoscópico da litofácies *wackestone* biclástico peloidal. A) dolarenito branco acimentado alternado com porções marron acinzentados; B) alternância de brecha intraformacional com a litofácies *wackestone* biclástico peloidal; C) porosidade fenestral; D) acunhamento de laminações.

Através da análise petrográfica microscópica verifica-se que essa litofácies é *wackestone* nas rochas da Pedreira Vitti, e *mudstone* a *wackestone* no testemunho analisado. Ocorrem cristais anédricos de quartzo em pequena proporção alcançando 1%. A matriz peloidal e porosidade vugular e interpartícula preenchida por sílica microcristalina são marcantes (FIGURA 50 - A e B). Também estão presentes porosidade intercristalina, móldica e *shelter* (FIGURA 50 - L).

Nas rochas da Pedreira Vitti ocorre alguns oóides dispersos na matriz (<1%), variando em tamanho de 0,2 mm a 2 mm (FIGURA 50 – D).

Nessa litofácies é marcante a presença de bioclastos de carapaças de *Liocaris* concentrados nas rochas da Pedreira Vitti alcançando 25% por isso classificada como *wackestone*. No testemunho, a quantidade desses bioclastos é

mais variada, entre menor e maior que 10%, optando-se nesse caso por classificá-la no intervalo *mudstone* a *wackestone*.

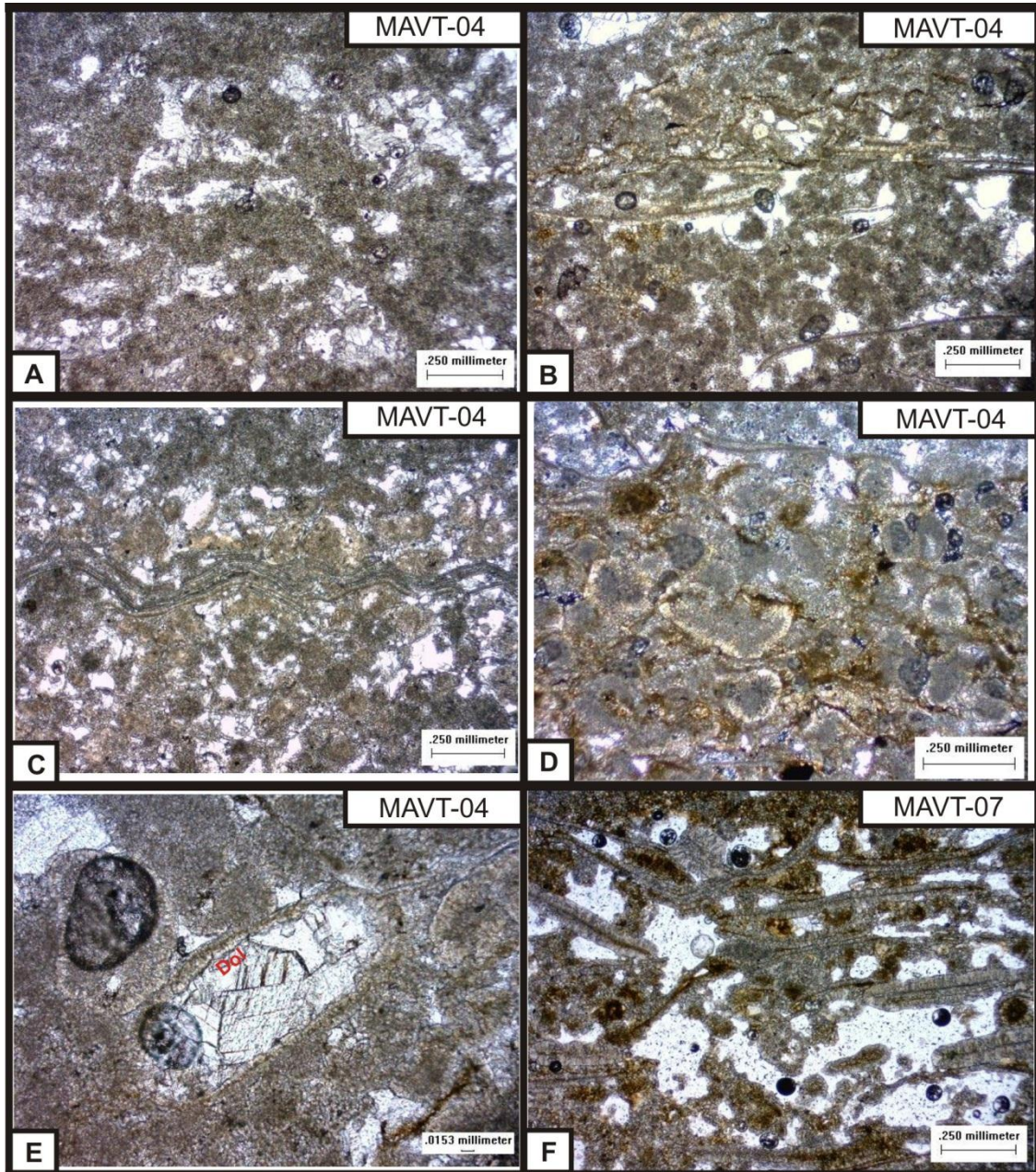


FIGURA 50 - Fotomicrografias da litofácies *wackestone* bioclastico peloidal. A) matriz peloidal com porosidade vugular; B) matriz peloidal com porosidade vugular e carapaças de *liocaris* (estruturas filamentosas); C) fragmento de esteira microbial em meio a matriz; D) ocorrência de oóides; E) porosidade móldica preenchida por dolomita euédrica; F) carapaças de *liocaris*.

continua



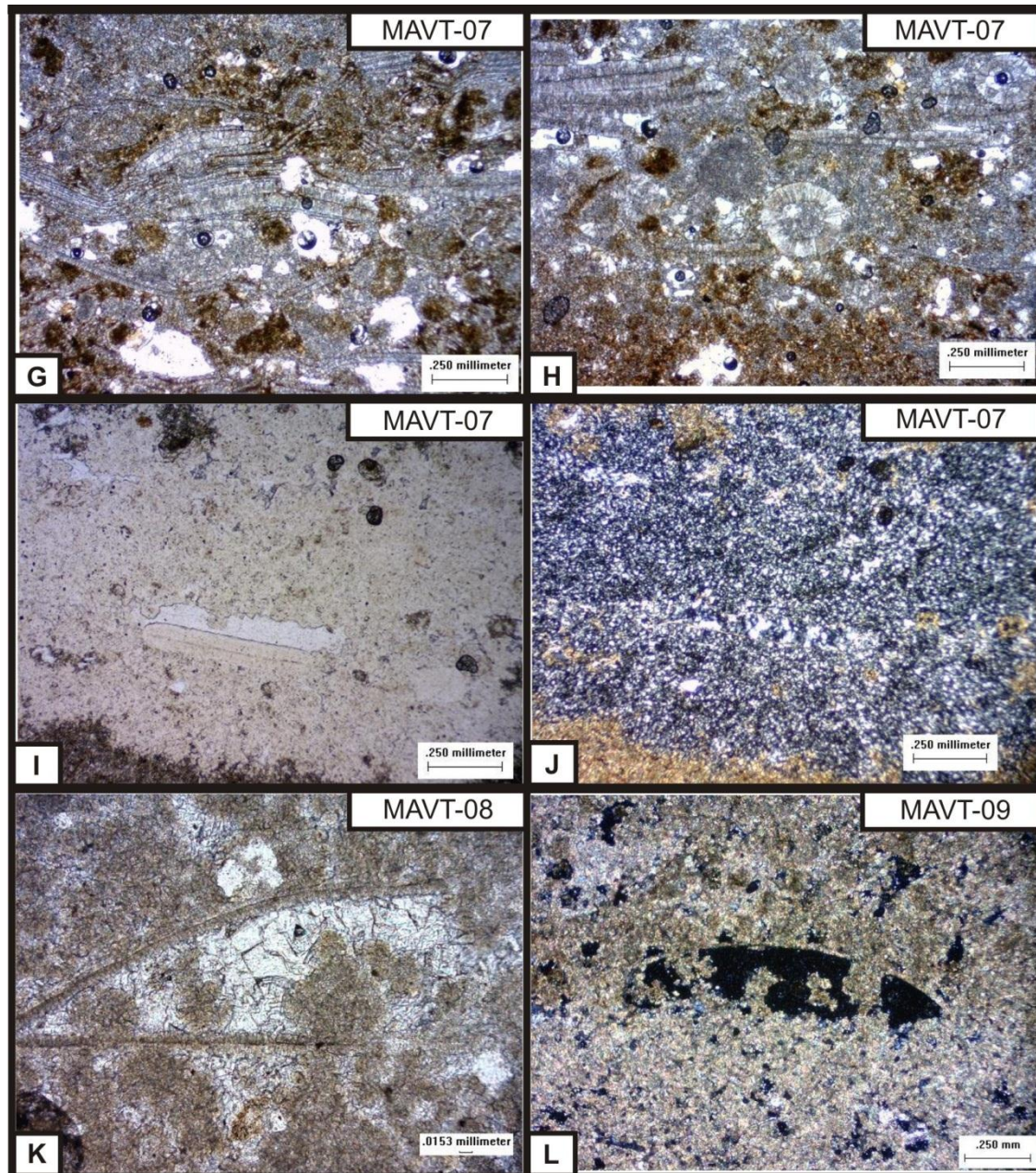


FIGURA 50 (continuação) – G) e H) Carapaças de *liocaris*; I) e J) Silicificação sob luz natural e sob luz polarizada; K) cristais euédricos de dolomita preenchendo a porosidade; e L) porosidade *shelter*.

De maneira geral, estas rochas são marcadas pela alternância de porções mais e menos enriquecidas em bioclastos de carapaças de *Liocaris*. Dessa forma, sob luz natural, ao microscópio petrográfico, verifica-se intervalos cinza esbranquiçados com menos bioclastos e matriz mais homogênea, enquanto que os

intervalos marrons escuros são marcados pela concentração de carapaças de *Liocaris* e peloides.

As carapaças de *Liocaris* ocorrem como estruturas filamentosas alinhadas, com sobrecrecimento de cristais de carbonato em paliçada (FIGURA 50 - B, F, G e H).

Estão presentes porções silicificadas (FIGURA 50 – I e J). Estilolitos são frequentemente paralelos ao arranjo deposicional. Podem-se observar fragmentos alinhados e laminados de esteira microbial (FIGURA 50 - C).

A matriz é composta por cristais microcristalinos de dolomita, por vezes espática de cor marrom escuro sob luz natural, micritizados, e com estrutura grumosa recristalizada. No interior da porosidade fenestral encontram-se cristais subédricos a euédricos de dolomitas. Os mesmos ocorrem preenchendo a porosidade móldica (FIGURA 50 - K).

Da mesma forma que na litofácies *mudstone* laminado, nas rochas do banco dolomítico do testemunho estudado, foram identificadas reflexões da calcita. O teste de tingimento com alizarina com ferrocianeto de potássio confirmou a presença deste mineral e indicou a presença de dolomita férrica (porções azuladas) (FIGURA 51). A calcita e dolomita férrica identificadas ocorrem preenchendo porosidade vugular e interpartícula.

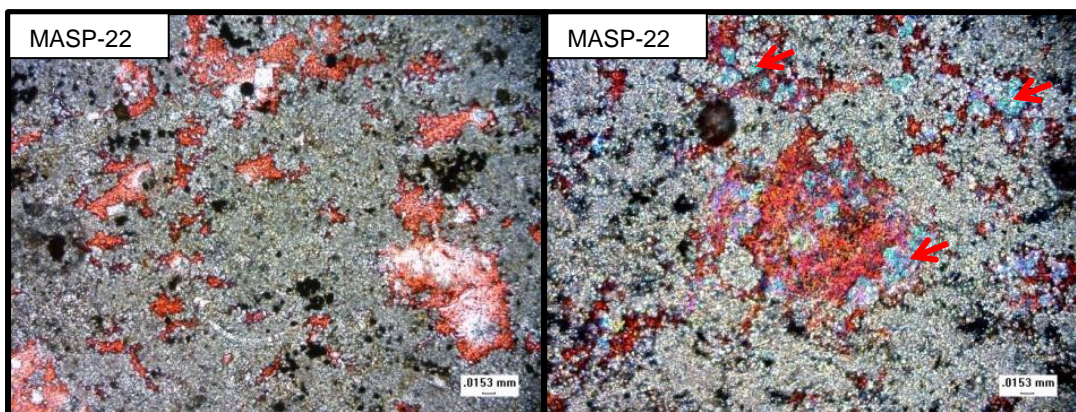


FIGURA 51 – Tingimento das rochas da litofácies *mudstone* a *wackestone* bioclástico peloidal. As porções avermelhadas compreendem cristais de calcita, as cinza esbranquiçadas a matriz dolomítica e as porções azuladas indicadas pelas setas vermelhas indicam dolomita férrica.

Nesta litofácies, podem-se deduzir três fases de dolomitização. Uma responsável pela formação da matriz pseudoesparítica suja resultante da recristalização de lama carbonática micrítica e cimentação dos bioclastos de *Liocaris*. Outra fase de dolomita euédrica limpa, preenchendo a porosidade gerada por dissolução diagenética. E uma terceira fase de dolomitização enriquecida em ferro, caracterizada pela presença de dolomita férrica.

A atuação da diagênese pode ser verificada pelas feições de compactação física através de bioclastos de *Liocaris* fraturados, além de feições físico-químicas representadas por estilólitos.

#### 4.5 LITOFÁCIES BRECHA INTRAFORMACIONAL

Essa litofácies está presente no banco dolomítico da Pedreira Vitti. Caracteriza-se por camadas de brechas intraformacionais que variam em espessura entre 2 cm a 4 cm. Estão intercaladas aos níveis carbonáticos das litofácies *mudstone* laminado e *wackestone* bioclástico peloidal. No testemunho de sondagem FP-01-PR esta litofácies não está presente no banco dolomítico.

A rocha é composta por uma matriz cinza esbranquiçada na qual estão imersos clastos de tamanhos variados, desde milimétricos até 2 cm (FIGURA 52 - A e B). Os clastos centimétricos são branco acinzentados, com formas tabulares e achatadas (*flat pebbles*). Os clastos milimétricos são marrom acinzentados (FIGURA 52 - A). É possível verificar produtos de ação de correntes de tempestades nas rochas desta litofácies (FIGURA 52 - B).

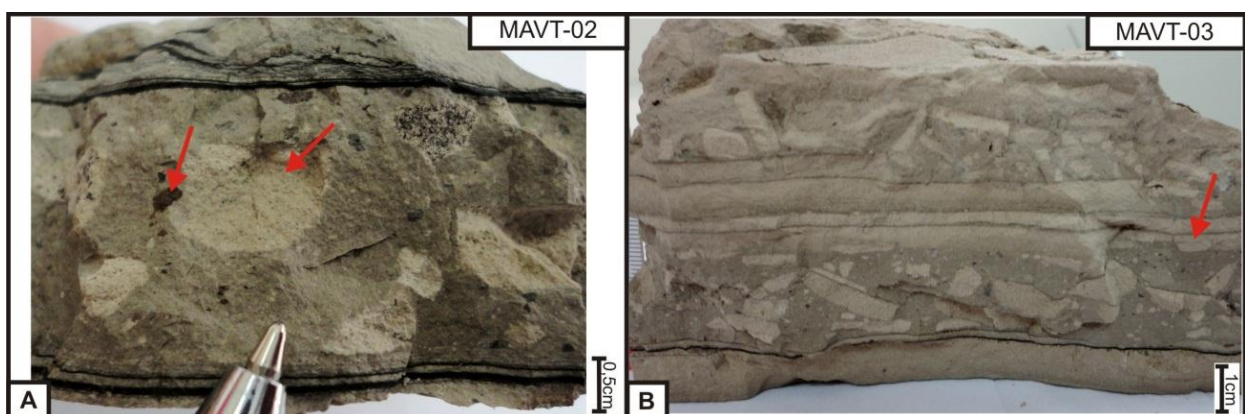


FIGURA 52 - Aspecto mesoscópico da fácies brecha intraformacional. A) clastos centimétricos e milimétricos imersos na matriz; B) produtos de ação de correntes de tempestades.

Ao microscópio petrográfico foi possível verificar que a matriz da brecha consiste de lama carbonática micrítica criptocristalina com porosidade intercristalina dispersa (FIGURA 53 - A).

Os clastos milimétricos escuros tratam-se de fragmentos de esteira microbial, que ocorrem como fragmentos laminados (FIGURA 53- B e C), porosidade fenestral e alguns grãos anédricos de quartzo dispersos.

Os clastos centimétricos branco acinzentados, em seção delgada apresentam porosidade vugular (FIGURA 53 - D e E). Frequentemente a porosidade é preenchida parcialmente por cimento espático carbonático e cristais euédricos de dolomita, além de matéria orgânica (FIGURA 53 - F, G e H). A matriz é microcristalina com estrutura grumosa.

Os minerais silicáticos são pouco frequentes, alcançando 1% na matriz da brecha e nas lâminas com concentração de matéria orgânica podem chegar a 2%. É frequente a ocorrência de estilólitos (FIGURA 53 - H).

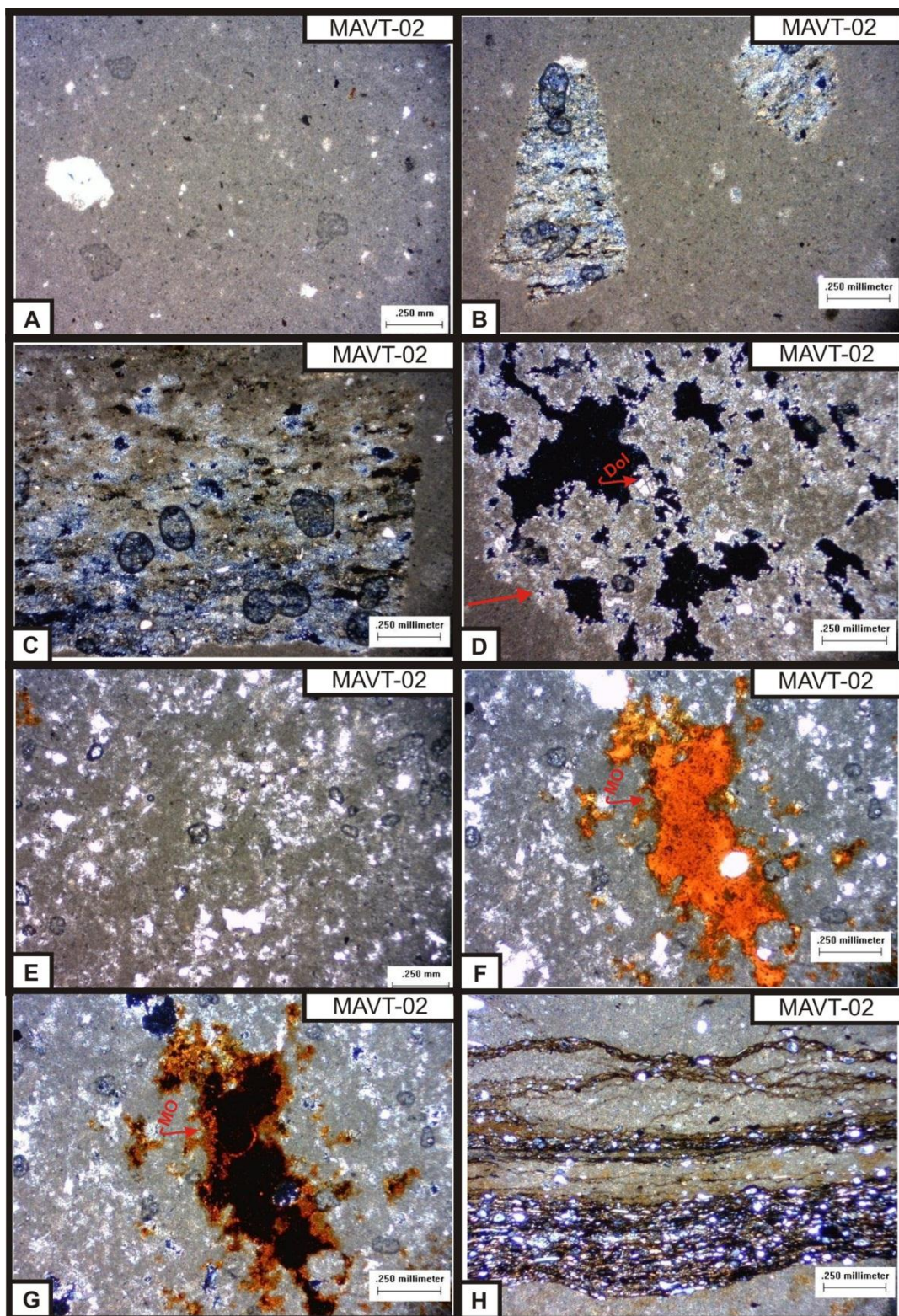


FIGURA 53 - Fotomicrografias da litofacies brecha intraformacional. A) matriz criptocristalina; B) e C) fragmentos laminados de esteira microbiana; D) clasto com porosidade vugular com cristal euédrico de dolomita; E) porosidade vugular nos clastos; F) e G) matéria orgânica preenchendo porosidade vugular sob luz natural e sob luz polarizada, respectivamente; H) estrolitos (parte superior) com concentração de matéria orgânica e minerais silicáticos.

#### 4.6 MUDSTONE LAMINADO BRECHADO

Esta litofácies está presente somente no testemunho de sondagem FP-01-PR. Compreende a base do Membro assistência e está em contato abrupto com os folhelhos não betuminosos do Membro Taquaral (FIGURA 35).

Mesoscopicamente compreende dolutitos cinza esbranquiçados laminados e brechados que alcançam 3 m de espessura (FIGURA 54 - A). É constante a presença de fraturas preenchidas por calcita. Também ocorrem fraturas preenchidas por betume (FIGURA 54 - B e D) conferindo a essa litofácies uma porosidade considerável.

A litofácies apresenta uma porção centimétrica (10 cm) de dololutito venulado (vênulas de calcita branca) (FIGURA 54 - C). São ocorrentes gretas de ressecamento (FIGURA 54 - D) e porções fragmentadas associadas ao *mudstones* laminados ricos em matéria orgânica sem evidência de retrabalhamento indicando ação de correntes de tempestades (FIGURA 54 - E).

Em algumas porções do testemunho foi verificado estilolitos paralelos à laminação (FIGURA 54 - F).

A análise microscópica nesta litofácies foi comprometida, devido o testemunho estar muito fragmentado, sendo baseadas nas descrições de poucas lâminas petrográficas.

Em análise de lâmina delgada pôde-se observar que a matriz desses *mudstones* é predominantemente composta por lama micrítica microcristalina apresentando estrutura grumosa (FIGURA 55 - A). Grãos siliciclástico ocorrem em proporções variadas, onde predominam grãos de quartzo com ocorrência de alguns feldspatos também, com tamanho de 0,06 mm a 0,2 mm. Estes variam entre proporções inferiores a 1% a maiores que 50 % (FIGURA 55 - B).

A matriz é marcada pela presença de fraturas abertas e preenchidas por material carbonático (FIGURA 55 – C; D e E).

A matriz, bem como os intraclastos, apresenta porosidade intercristalina em proporção de aproximadamente 1%.

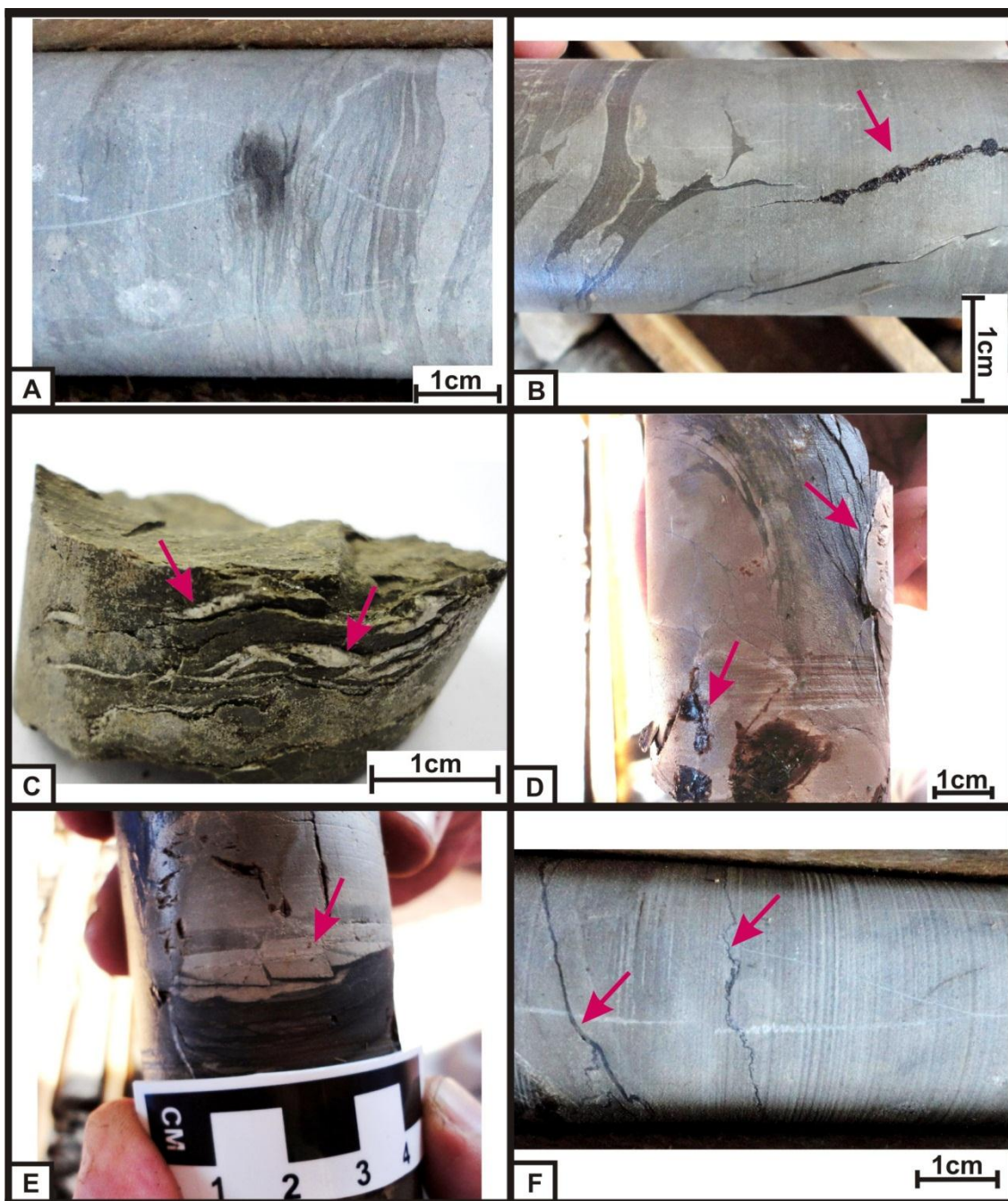


FIGURA 54 - Aspecto mesoscópico da litofácies *mudstone* laminado brechado. A) dololuto cinza esbranquiçado; B) fratura preenchida por betume; C) dololuto venulado, vênulas brancas de calcita indicadas pelas setas; D) greta de ressecamento indicada pela seta superior, e fraturas preenchidas por betume (seta inferior); E) produto de ação de correntes de tempestades; F) estilólitos.

Os intraclastos possuem tamanhos centimétricos variados. Correspondem a *mudstones* laminados, com estrutura grumosa e textura criptocristalina. Apresentam aproximadamente 2% de grãos siliciclásticos dispersos de quartzo e plagioclásio,

variando entre menor que 0,1 mm a 0,12 mm. Ocorre fratura milimétrica (~0,06 mm de espessura) preenchida por matéria orgânica (FIGURA 55 - F).

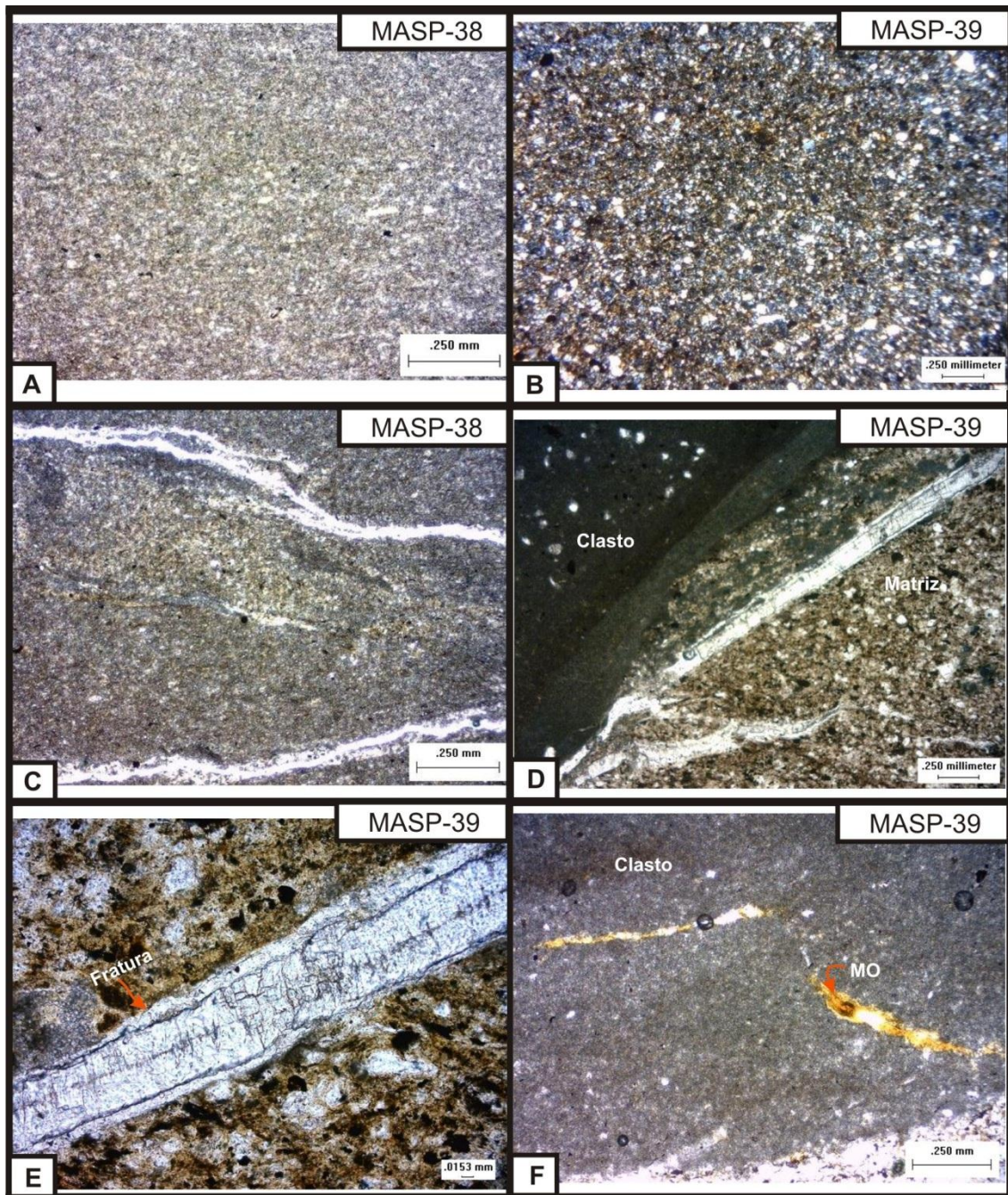


FIGURA 55 - Litofácies *mudstone* laminado brechado. A) matriz microcristalina com estrutura grumosa sob luz natural; B) matriz com grãos de quartzo anédricos dispersos, sob luz polarizada; C) fraturas abertas, sob luz natural; D) clasto micrítico em contato com a matriz cortada por fratura preenchida por material carbonático; E) fratura preenchida por material carbonático, sob luz natural; F) clasto fraturado com presença de matéria orgânica (MO), sob luz natural.



## 5 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA POR DRX, QUÍMICA POR FRX E DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE $\delta^{13}\text{C}$ E $\delta^{18}\text{O}$

### 5.1 PEDREIRA VITTI

#### 5.1.1 Caracterização mineralógica por DRX

Os resultados das análises realizadas nas rochas carbonática-siliciclásticas da Pedreira Vitti revelaram concentrações de determinados minerais, em especial dolomita e quartzo.

Na Pedreira Vitti foi analisado um perfil de aproximadamente 16 m, amostrado com espaçamento de 30 cm.

A partir do percentual semiquantitativo, obtido durante as interpretações de difratogramas no programa “*X’pert HighScore*”, tornou-se possível individualizar intervalos dolomíticos e margosos.

Foi adotado o termo marga, para as rochas de composição mista contendo entre 30% e 70% de dolomita e o restante de material siliciclástico (BISSEL e CHILINGAR, 1967). Esta classificação também foi adotada por Araújo (2001).

Nestas rochas, o parâmetro adotado para a classificação foi à quantidade de dolomita e quartzo. Posto que a dolomita é o mineral carbonático predominante e o quartzo prevalece dentre os minerais silicáticos (FIGURA 56). A quantificação de outros minerais silicáticos é imprecisa, podendo ser apenas indicada a presença, devido à menor concentração.

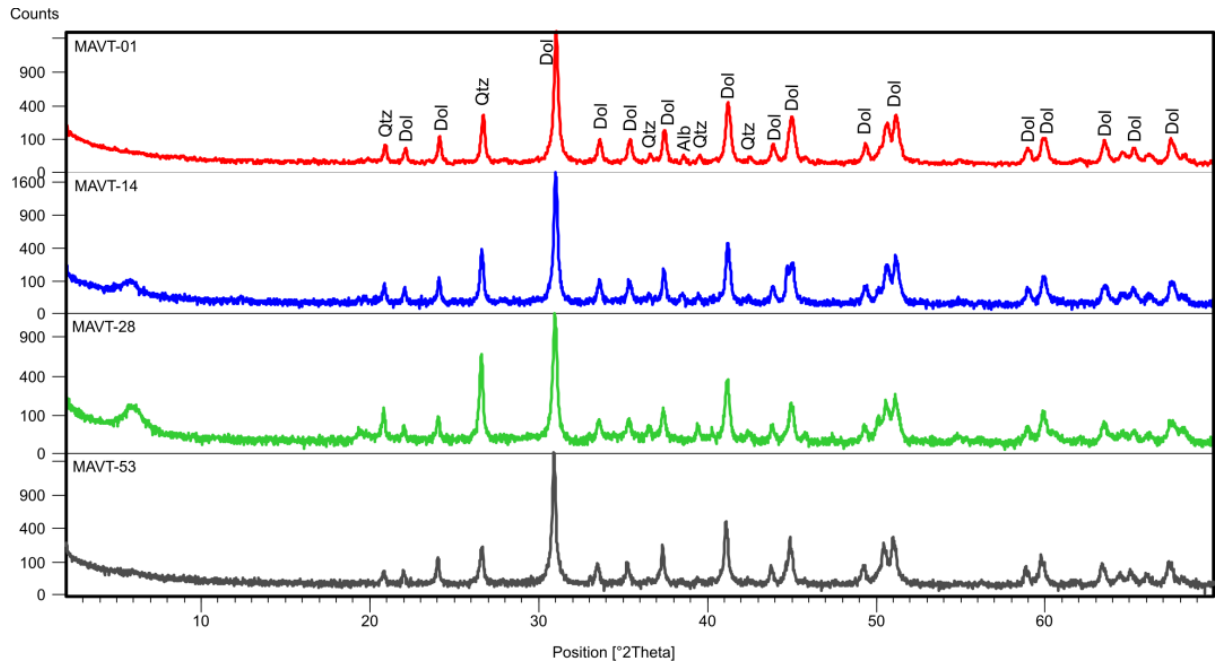


FIGURA 56 - Difratomogramas representativos das amostras analisadas onde pode ser verificada a predominância de dolomita e quartzo.

Nas rochas da Pedreira Vitti, apesar da similaridade composicional das rochas carbonáticas, existe uma mudança no padrão de respostas a partir da cota de 3 m em direção ao topo do perfil. Neste intervalo surge a reflexão dos argilominerais nessas rochas, acompanhada de uma queda acentuada na quantidade de dolomita e aumento na porcentagem de quartzo. Essas características coincidem com o final do banco dolomítico e intervalo composto por rochas carbonáticas da seção rítmica (FIGURA 57).

Na parte basal do afloramento, onde se encontra o banco dolomítico, verificou-se por difração de raios X, a predominância de dolomita com uma média de aproximadamente de 89,55%, variando entre 82 e 95%, e uma média de quartzo de aproximadamente 10,44% ocorrendo entre 5 e 18%, além de traços de albita (APÊNDICE 2. 1).

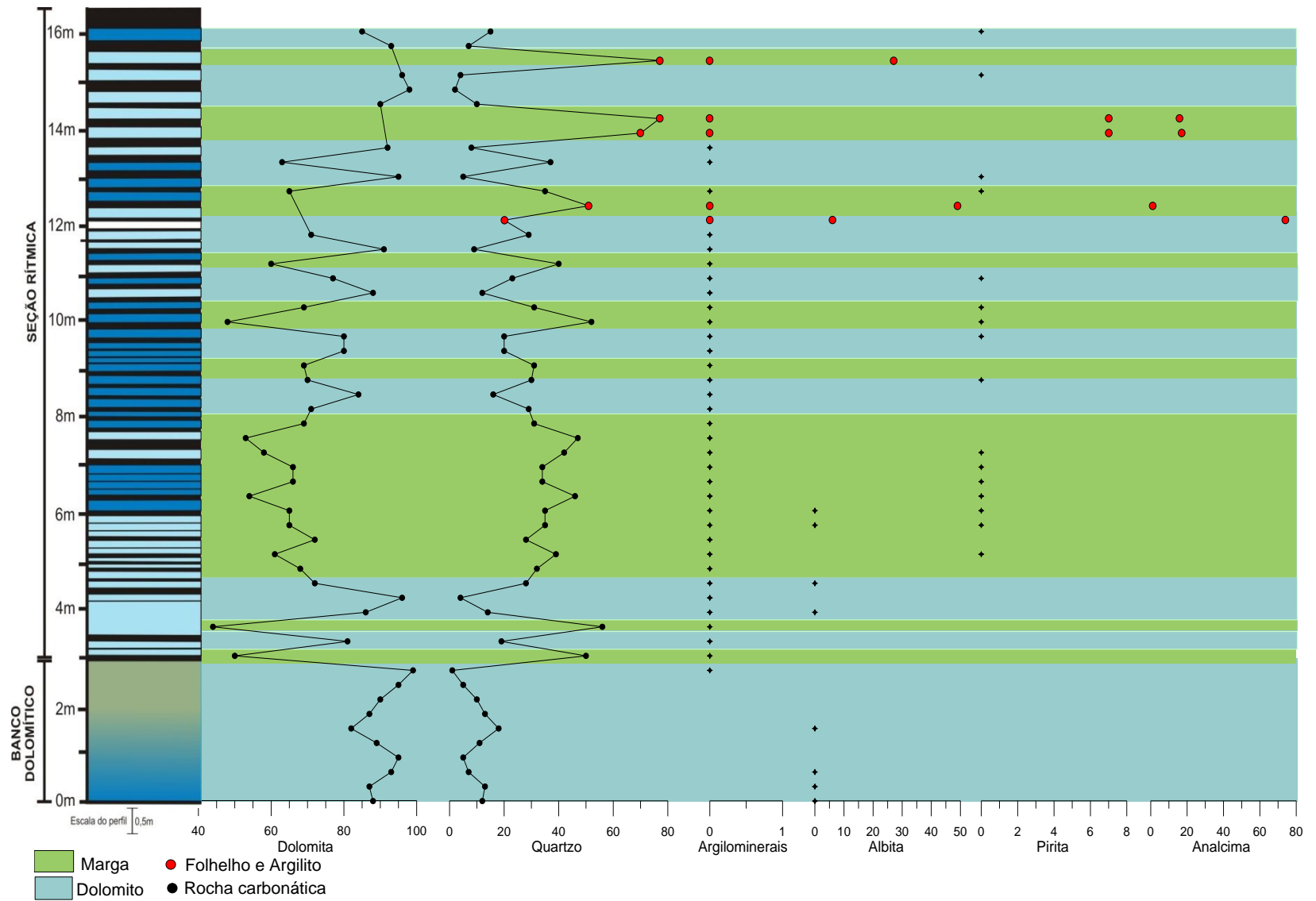


FIGURA 57 – Perfil mineralógico gerado a partir das análises de difração de raios X.

As reflexões das amostras MAVT-01 a MAVT-09 são bem similares, sendo marcante o pico da dolomita em 2,88 Å (FIGURA 58).

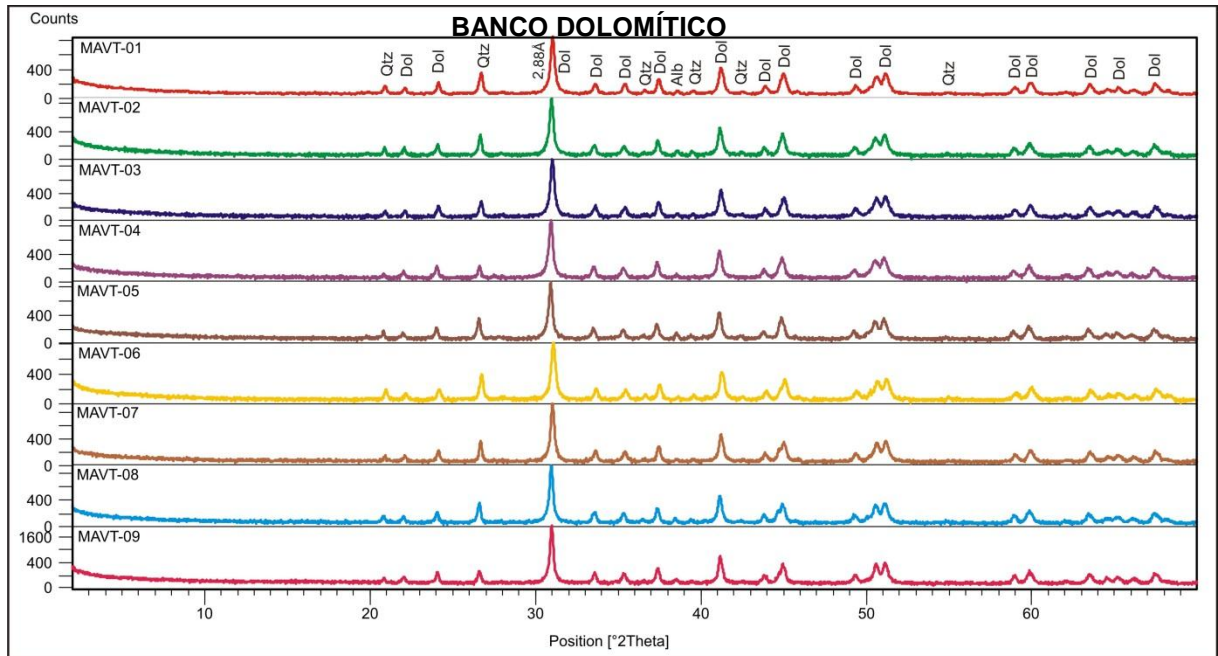


FIGURA 58 - Difratoformas das amostras do banco dolomítico da Pedreira Vitti.

Os difratogramas das rochas carbonáticas da seção rítmica, são marcados pela reflexão dos argilominerais variando entre 10 Å e 15 Å com predominância deste último (FIGURA 59). Nas análises semiquantitativas, a dolomita ocorre em quantidade variável entre 48 e 99%, e o quartzo entre 1 e 77% (APÊNDICE 2. 2). Há uma variação acentuada na quantidade desses minerais, que refletem na alternância de intervalos dolomíticos e margosos ao longo do perfil (FIGURA 57).

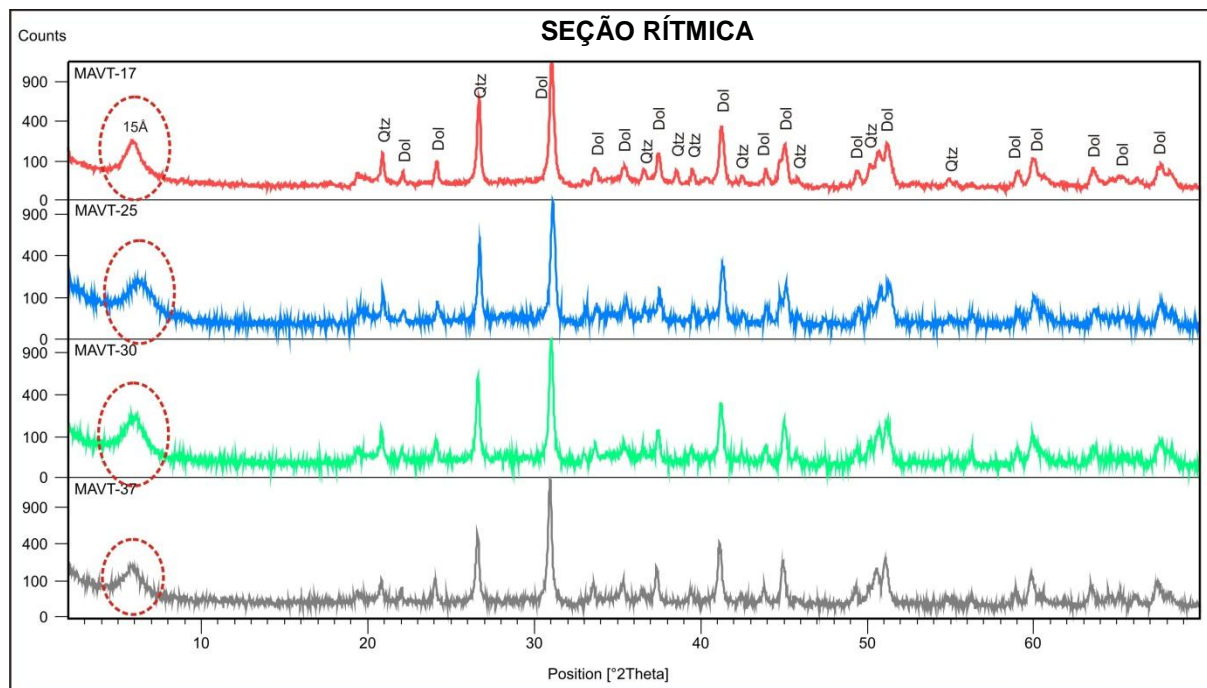


FIGURA 59 - Difractogramas das rochas carbonáticas da seção rítmica da Pedreira Vitti, onde estão identificados os picos dos minerais e destacado através de círculo vermelho pontilhado os picos dos argilominerais.

As amostras que apresentaram os picos de reflexão dos argilominerais nas análises de DRX foram submetidas ao tratamento para identificação do grupo de argilomineral pertencente.

Dessa forma, as amostras foram analisadas por DRX de três maneiras: seca ao ar natural, saturadas com o solvente etileno glicol e calcinadas a 550°C por duas horas. A comparação e interpretação dos difractogramas resultantes possibilitaram identificar o grupo dos argilominerais a que pertencem.

O tratamento realizado nas rochas da Pedreira Vitti, apontou para a predominância do grupo da esmectita.

Os argilominerais do grupo da esmectita possuem caráter expansivo ao serem submetidos à análise com etileno glicol, aumentando o ângulo entre os planos cristalinos do mineral. Isto pode ser visualizado ao comparar o resultado das análises deste argilomineral seco ao ar natural e saturado com etileno glicol. É característico também o colapso do ângulo para 10 Å quando a amostra é calcinada.

A preparação com etileno glicol resulta em uma reflexão acentuada no plano 001 de aproximadamente 16.9 Å. Os minerais do grupo da esmectita geralmente variam os ângulos de difração dos raios X entre 13 Å e 15 Å.

Ao comparar as respostas dos difratogramas das lâminas secas ao ar natural, e saturadas com etileno glicol, observaram-se as características dos argilominerais deste grupo. Ao serem saturadas com etileno glicol, houve um aumento do ângulo de difração de 13 Å para 15 Å, 14 Å e 15 Å para 17 Å. Também foram identificadas as reflexões secundárias da esmectita, 8,46 e 5,63 Å importantes para identificação desse grupo (FIGURA 60).

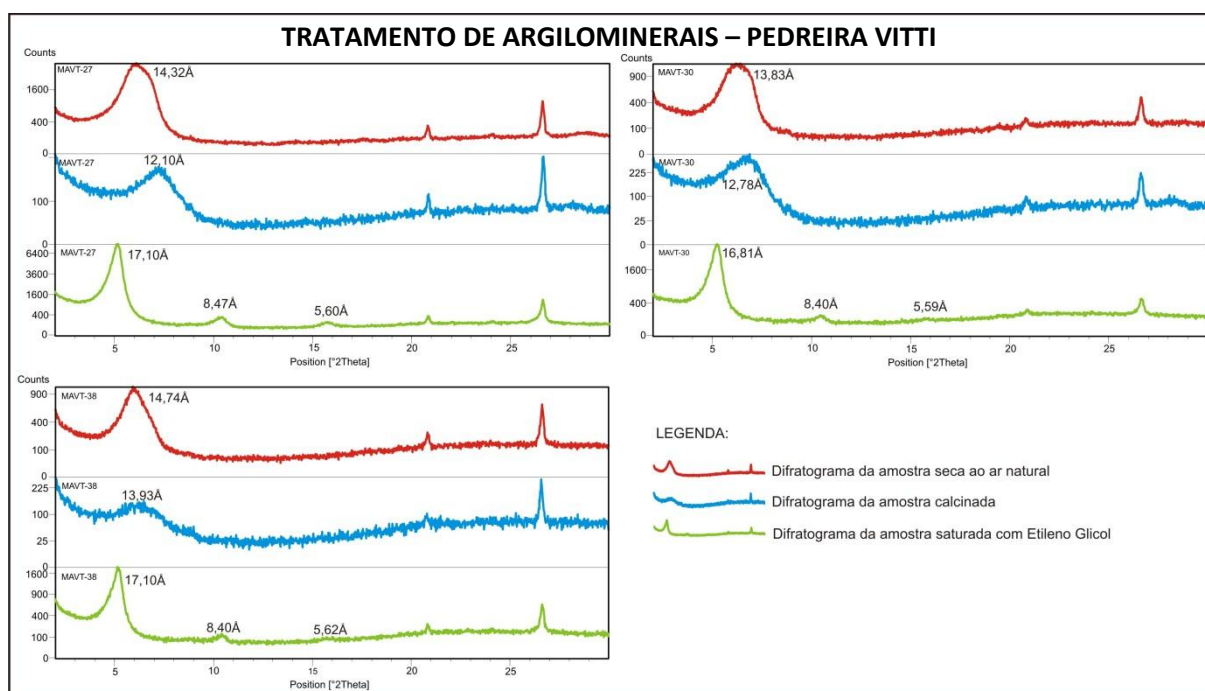


FIGURA 60 - Tratamento de argilominerais com a análise das amostras seca ao ar natural, calcinadas e saturadas com etileno glicol, onde se pode verificar o deslocamento dos picos dos argilominerais.

No entanto, os difratogramas resultantes das análises com a amostra calcinada mostram um pequeno colapso de 13,93 Å a 12 Å (FIGURA 60), quando deveria, pelas características típicas da esmectita, alcançar 10 Å.

Essa particularidade não comprometeu a identificação do argilomineral, pois as outras duas análises (análises da amostra seca ao ar natural + saturada com etileno glicol) foram bem sucedidas.

Porém, esse comportamento anômalo é verificado apenas nos *mudstones* da seção rítmica da Pedreira Vitti, pode indicar a presença de algum material na estrutura cristalina dos minerais dessas amostras. Isto pode ser relacionado à presença de hidrocarboneto viscoso (betume) verificado nessas rochas, pois apesar

da preparação minuciosa visando retirá-lo, alguma fração pode ter se mantido na estrutura dos minerais.

Em algumas amostras as reflexões secundárias não foram observadas, e apesar de no contexto em que ocorrem serem provavelmente esmectita, foram classificadas apenas como argilomineral expansivo.

Duas amostras, uma referente a um argilito correlacionável a cinza vulcânica e, a outra a folhelho (MAVT-41 e MAVT-42), além de esmectita apresentam os argilominerais do grupo da Ilita/mica.

Os perfis dos argilominerais do grupo da ilita não são afetados pela saturação com etileno glicol, devido não se tratar de mineral expansivo. A ilita é caracterizada pelas sucessivas reflexões basais com  $d(001) = 10 \text{ \AA}$  e ao ser tratada com etileno glicol o padrão de reflexão se mantêm (FIGURA 61).

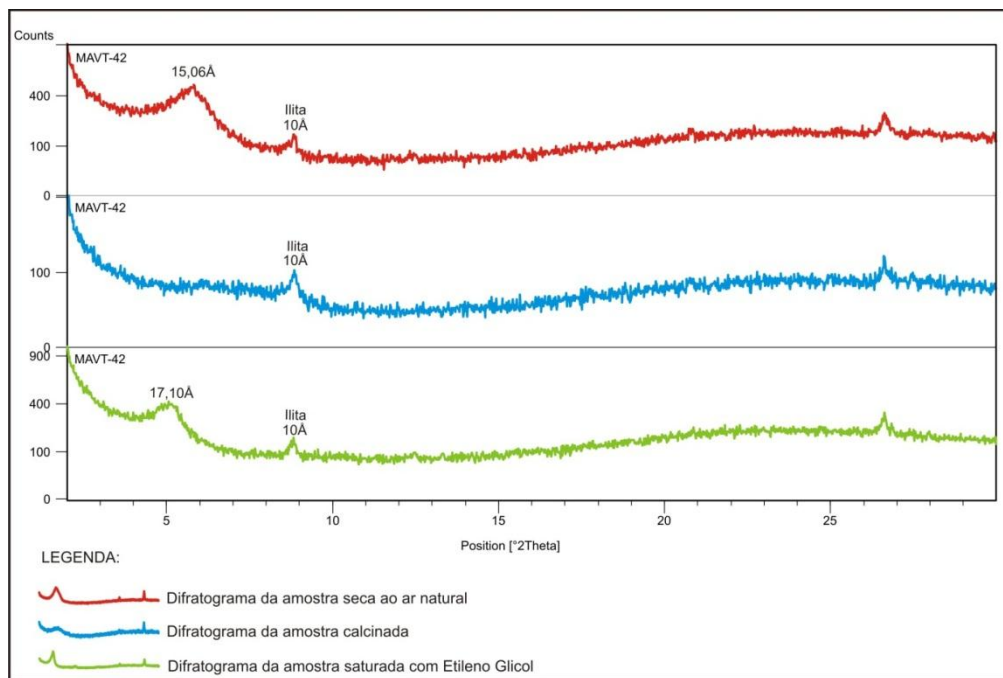


FIGURA 61 - Difratogramas da amostra MAVT-42 correlacionados com difratogramas com tratamento onde se pode verificar pico da ilita.

### 5.1.2 Caracterização química e isotópica

A caracterização química das rochas estudadas neste trabalho foi possível a partir de dados obtidos por fluorescência de raios X. Estes dados embasaram análises de tendências e variações nas concentrações dos 10 óxidos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), e quatro elementos-traço (Sr, Ba, S, Cl) em 54 amostras de um perfil vertical levantado na Pedreira Vitti.

Além das análises químicas, foram feitas análises de isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  em 49 amostras das 54 amostras coletas na pedreira Vitti. Sendo selecionadas apenas as rochas carbonáticas e margosas.

De maneira geral, as relações  $\text{CaO}/\text{MgO}$  observadas a partir dos dados químicos adquiridos, mostram o comportamento particular das rochas estudadas na Pedreira Vitti.

Observa-se a individualização das rochas carbonáticas daquelas argilosas (FIGURA 62). As rochas carbonáticas, objeto de estudo, tendem a apresentar quantidade  $\text{MgO}$  relativamente constante, com exceção de duas amostras que possuem enriquecimento anômalo (MAVT- 43 e MAVT - 45). As rochas do banco dolomítico são mais enriquecidas em  $\text{CaO}$ , que aquelas da seção rítmica.

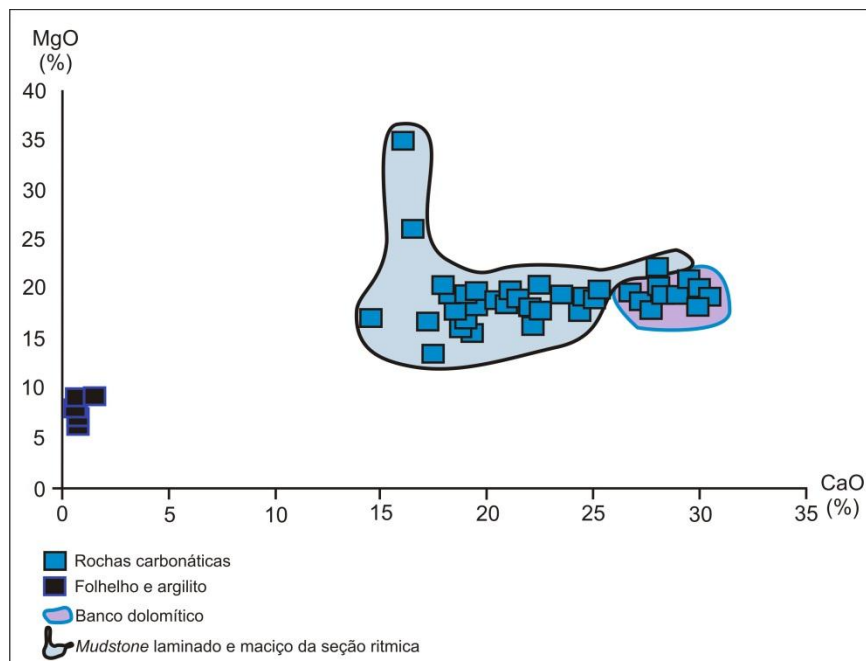
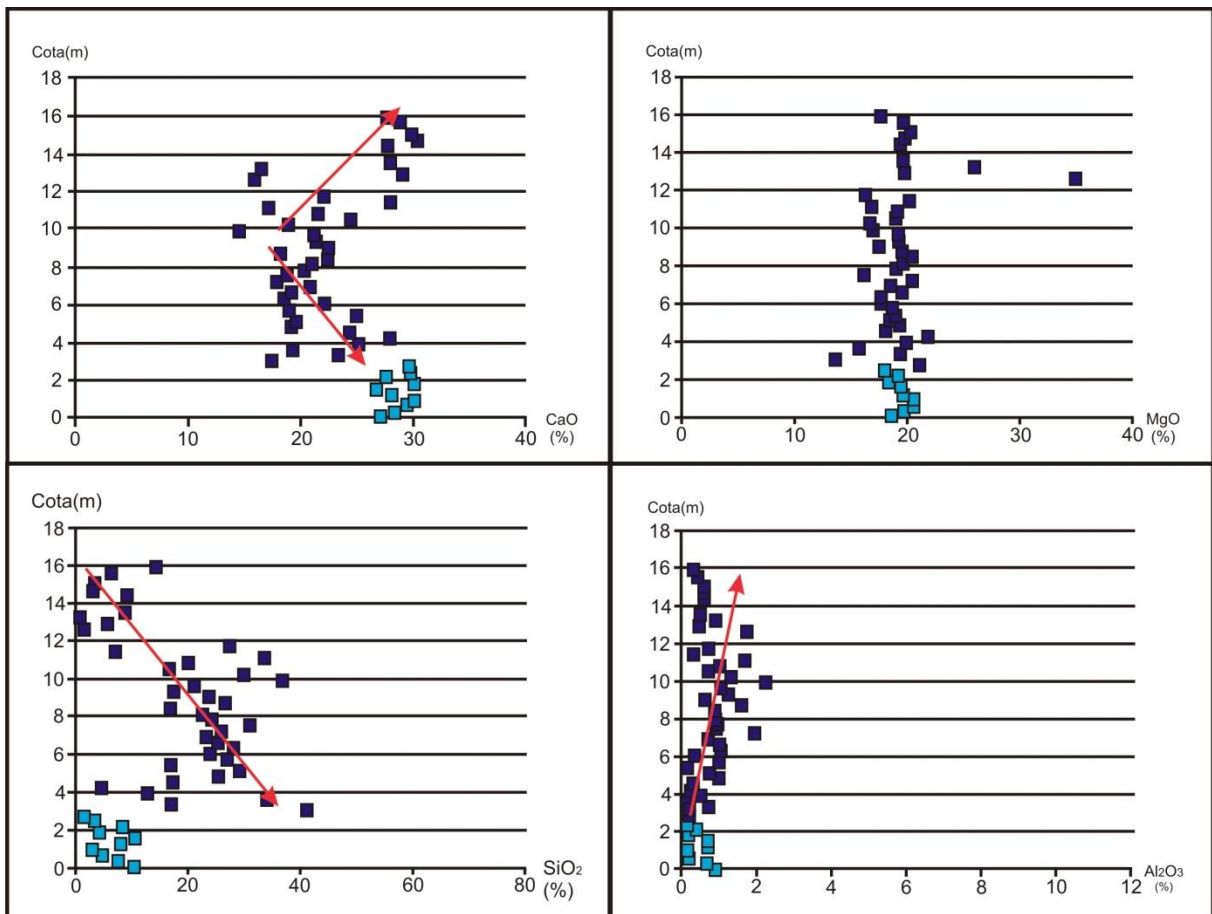


FIGURA 62 - Relação dos óxidos de cálcio e magnésio das amostras da Pedreira Vitti.



Relacionando os óxidos ao longo do perfil amostrado na Pedreira Vitti (FIGURA 63), observa-se que o banco dolomítico ocorrente na base do perfil é relativamente enriquecido em CaO e MgO e empobrecido em SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. As rochas carbonáticas, da seção rítmica da pedreira, é marcada por uma diminuição no CaO a partir do banco carbonático até aproximadamente 10 m, aumentando desse limite até o topo (FIGURA 63). As rochas carbonáticas da seção rítmica seguem um *trend* principal quando se trata do MgO e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Observa-se um aumento neste último óxido da base para o topo da seção rítmica. O SiO<sub>2</sub> varia de maneira considerável, possuindo uma tendência geral de diminuir para o topo.



■ Rochas carbonáticas do banco dolomítico  
 ■ Rochas carbonáticas da seção rítmica  
 ↑ Tendência de aumento nos óxidos

FIGURA 63 - Relação dos óxidos de Ca, Mg, Si e Al (eixo x) com a cota (eixo y) das amostras da Pedreira Vitti.

O comportamento isotópico do  $\delta^{13}\text{C}$  das rochas analisadas mostra tendência positiva para o topo do perfil levantado (FIGURA 64). Os valores variam de -5,62 ‰

na amostra MAVT-01 na base do perfil (banco dolomítico), a 11,49‰ no topo das rochas carbonáticas amostradas da seção rítmica (MAVT-54), alcançando ao longo desta 17,35 ‰ (MAVT-31).

A assinatura do  $\delta^{18}\text{O}$  é essencialmente negativa, variando entre rochas mais e menos negativas ao longo do perfil (FIGURA 64).

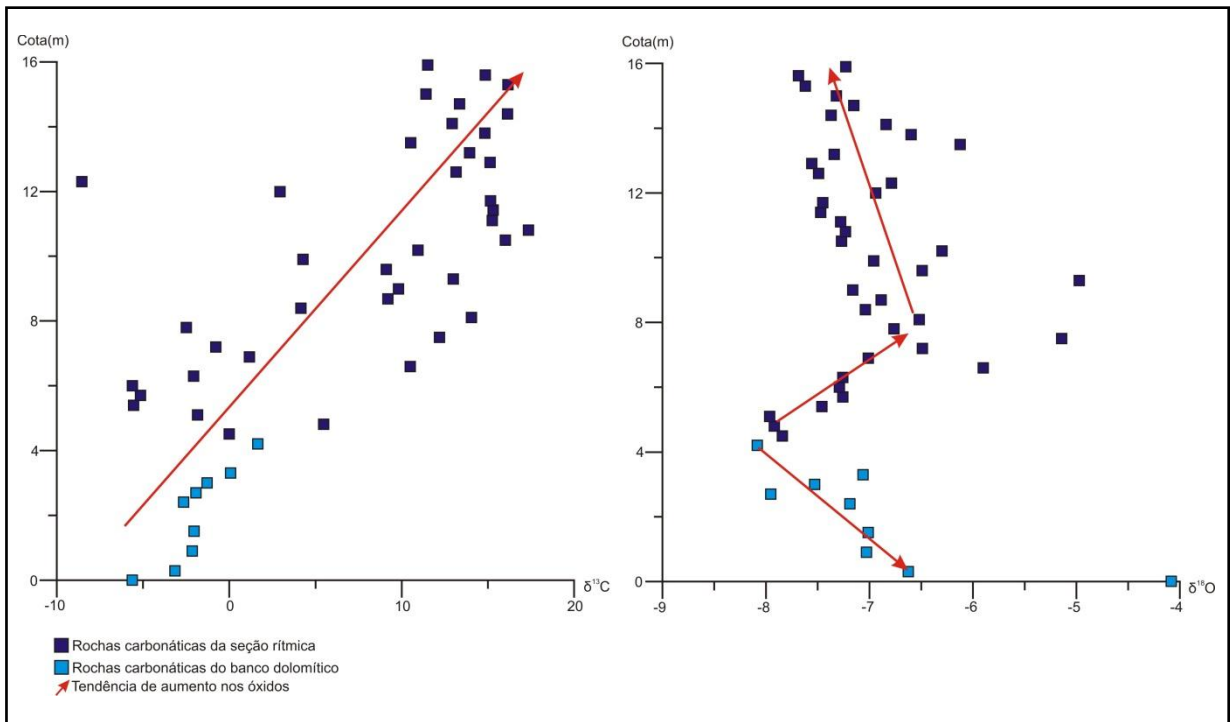


FIGURA 64 - Assinatura dos isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  das amostras da Pedreira Vittí.

As avaliações do comportamento dos elementos químicos revelaram tendências que deram suporte para a individualização de unidades químicas.

As unidades químicas são abordadas nesse trabalho, como uma associação de respostas químicas que se destacam das adjacentes no perfil, seja pelo seu caráter positivo (enriquecimento de determinado óxido ou elemento em um determinado intervalo) ou pelo seu caráter negativo (ausência ou presença discreta de determinado óxido ou elemento ao longo de um intervalo).

Dessa forma, as assinaturas dos perfis geoquímicos embasaram a individualização de quatro intervalos, aqui denominados de unidades químicas: A, B, C e D.

As unidades foram individualizadas principalmente pelo comportamento dos óxidos de Ca, Mg, Si, Al, Fe e pelos resultados das análises de Perda ao Fogo (P.F.). Os gráficos gerados a partir desses dados (FIGURA 65) mostram o comportamento diferenciado dos intervalos químicos. As unidades identificadas por esse método foram estendidas para outros perfis que relacionam os óxidos de Na, K, Ti, Mn e P, e os elementos-traço Sr, Ba, S e Cl (APÊNDICE 3. 1; APÊNDICE 3. 2).

A fim de analisar o comportamento de alguns óxidos e o estrôncio, que possam contribuir para o melhor entendimento das rochas estudadas, foi gerado perfis com razões químicas utilizando CaO, MgO, MnO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Sr (FIGURA 66).

Também foi gerado perfil com a assinatura dos isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  a fim de verificar a relação destes com as unidades químicas identificadas (FIGURA 67).

A seguir serão descritas as características das unidades identificadas no perfil levantado na Pedreira Vitti. Cada unidade será discriminada de acordo com a assinatura química e isotópica.

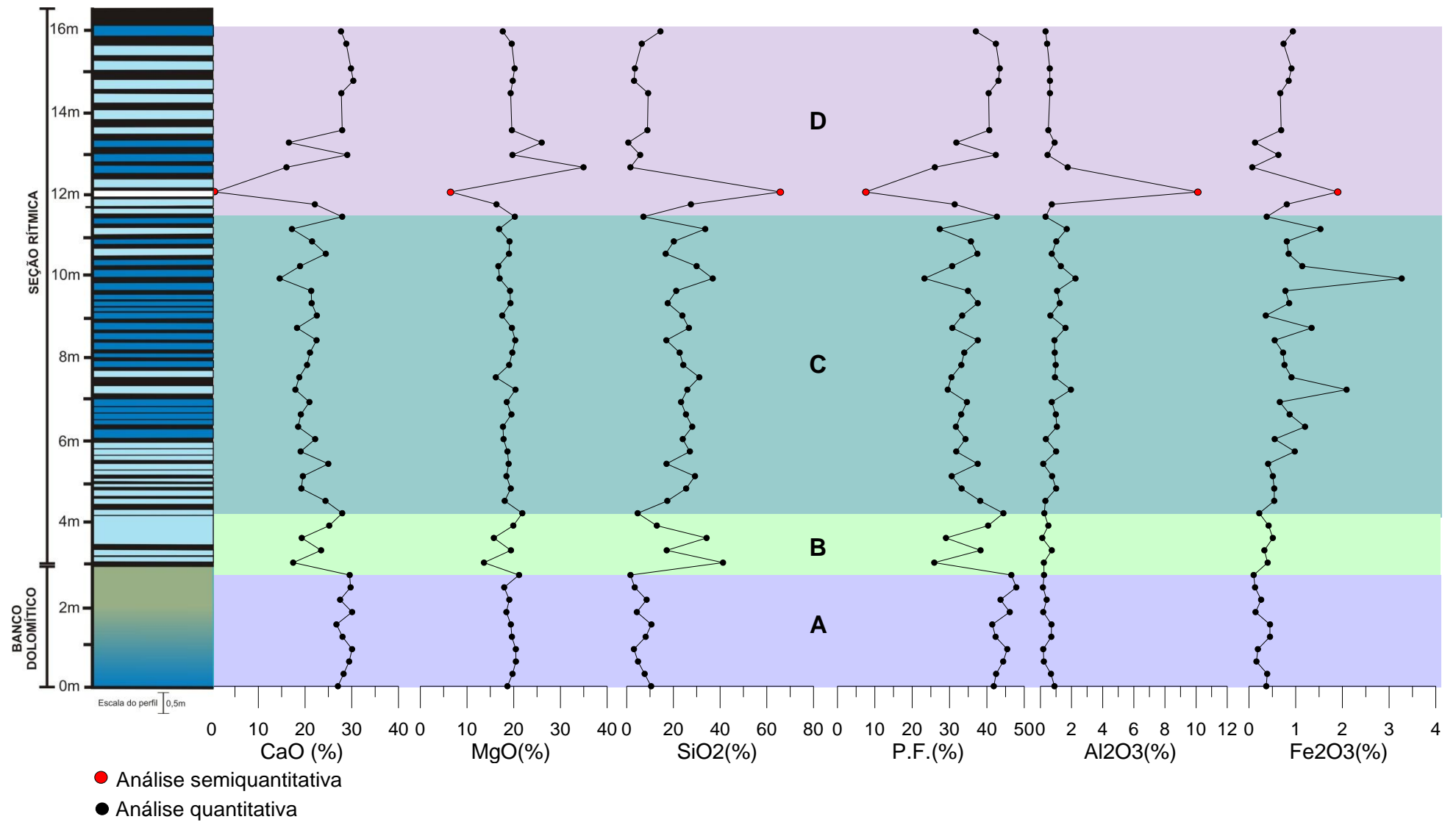


FIGURA 65 - Perfil quimioestratigráfico das rochas da Pedreira Vitti com a variação dos óxidos maiores de cálcio, magnésio, silício, alumínio, ferro e perda ao fogo (P.F.).

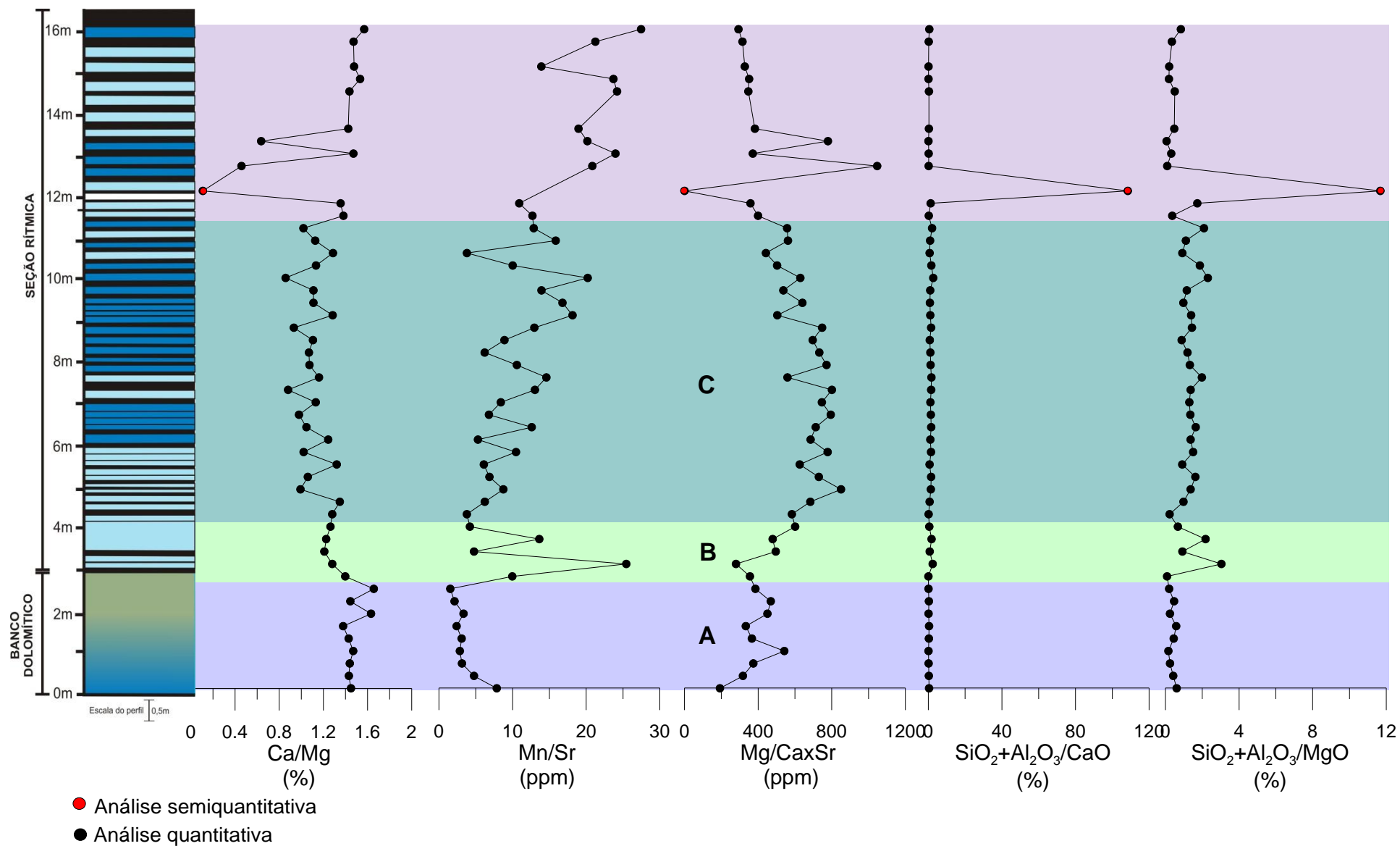
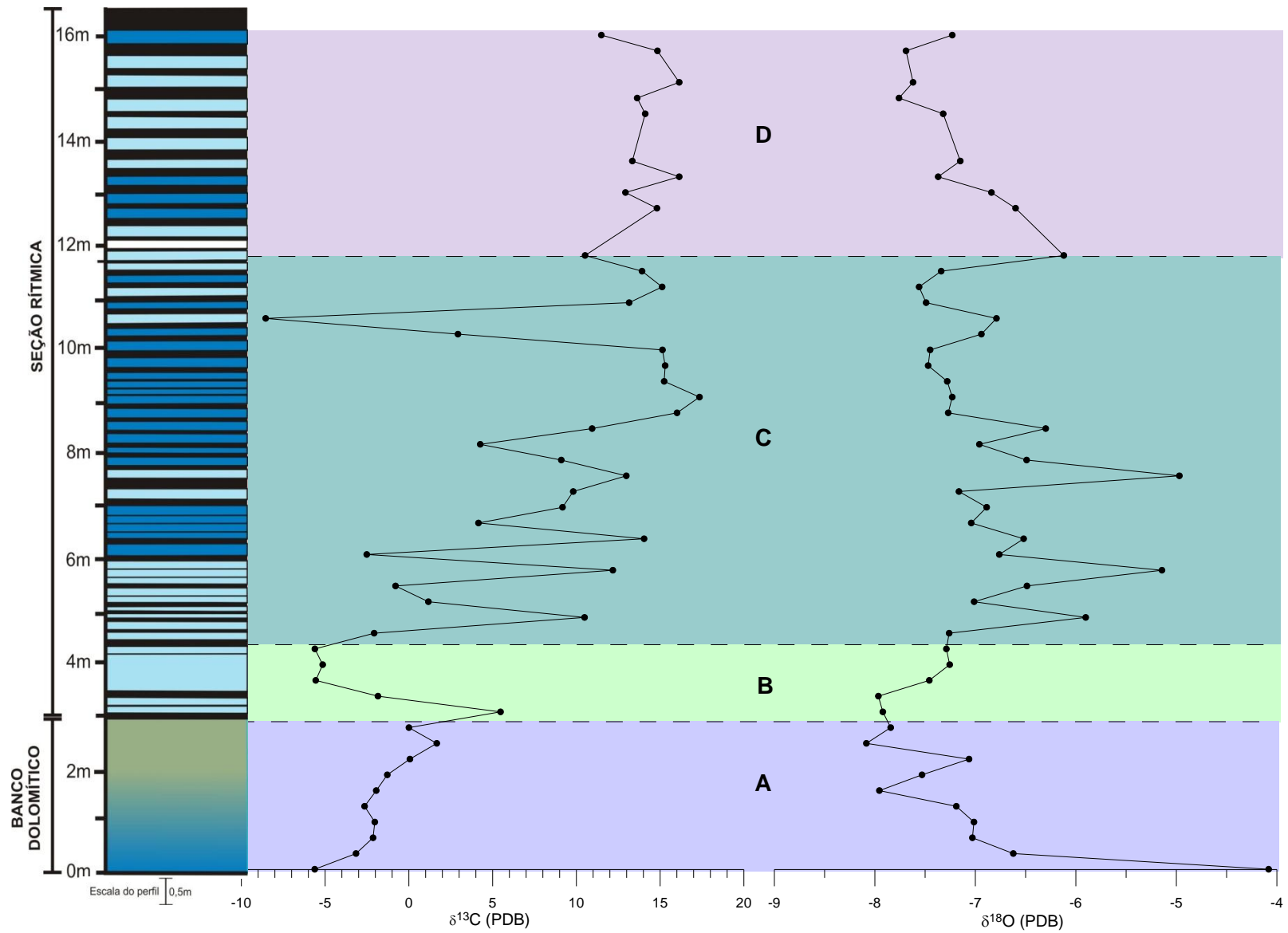


FIGURA 66 - Perfil quimioestratigráfico das rochas da Pedreira Vitti com as razões entre alguns óxidos e elementos-traço.

FIGURA 67 - Comportamento dos  $\delta^{13}\text{C}$  E  $\delta^{18}\text{O}$  das unidades químicas individualizadas no perfil levantado na Pedreira Vitti.

### 5.1.2.1 Unidade química A

As unidades químicas foram individualizadas com base no comportamento dos elementos maiores, em especial nos óxidos de Ca, Mg e Si. Estes óxidos variam com maior intensidade ao longo do perfil.

A unidade química A é bem marcada possuindo assinatura química relativamente constante comparando-se com as unidades subjacentes. De acordo com o perfil químico dos óxidos maiores (FIGURA 65) esta unidade possui média de CaO de ~28%, média de MgO de 20%, de SiO<sub>2</sub> ~5% e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ~1%. O topo dessa unidade é limitado por uma queda brusca nos óxidos de Ca e Mg e aumento abrupto de SiO<sub>2</sub> (FIGURA 65).

As relações dos óxidos maiores e elementos-traço com a cota revelaram tendências principais (FIGURA 68).

De maneira geral, a base da unidade é marcada pelo aumento do óxido de cálcio e magnésio concomitante a decréscimo de SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiO<sub>2</sub>. O topo desta unidade é marcado pela diminuição do MgO e SiO<sub>2</sub> e aumento de CaO (FIGURA 68).

Os óxidos de manganês, fósforo e alumínio possuem tendência decrescente, estando mais concentrados na base. Enquanto que o óxido de sódio e os elementos-traço Sr, Ba e Cl possuem tendência crescente para o topo da unidade.

A assinatura isotópica desta unidade é marcada por uma tendência positiva ascendente, no que se refere ao comportamento do isótopo de  $\delta^{13}\text{C}$  (FIGURA 67). O  $\delta^{13}\text{C}$  varia de -5,62 ‰ na amostra MAVT-01 a 1,67 ‰ na amostra MAVT-09 (APÊNDICE 2. 7).

Quanto ao comportamento do  $\delta^{18}\text{O}$ , este tem uma tendência a se tornar mais negativo ao longo da unidade (FIGURA 67). Dessa forma há uma covariação inversa entre estes isótopos nessa unidade.

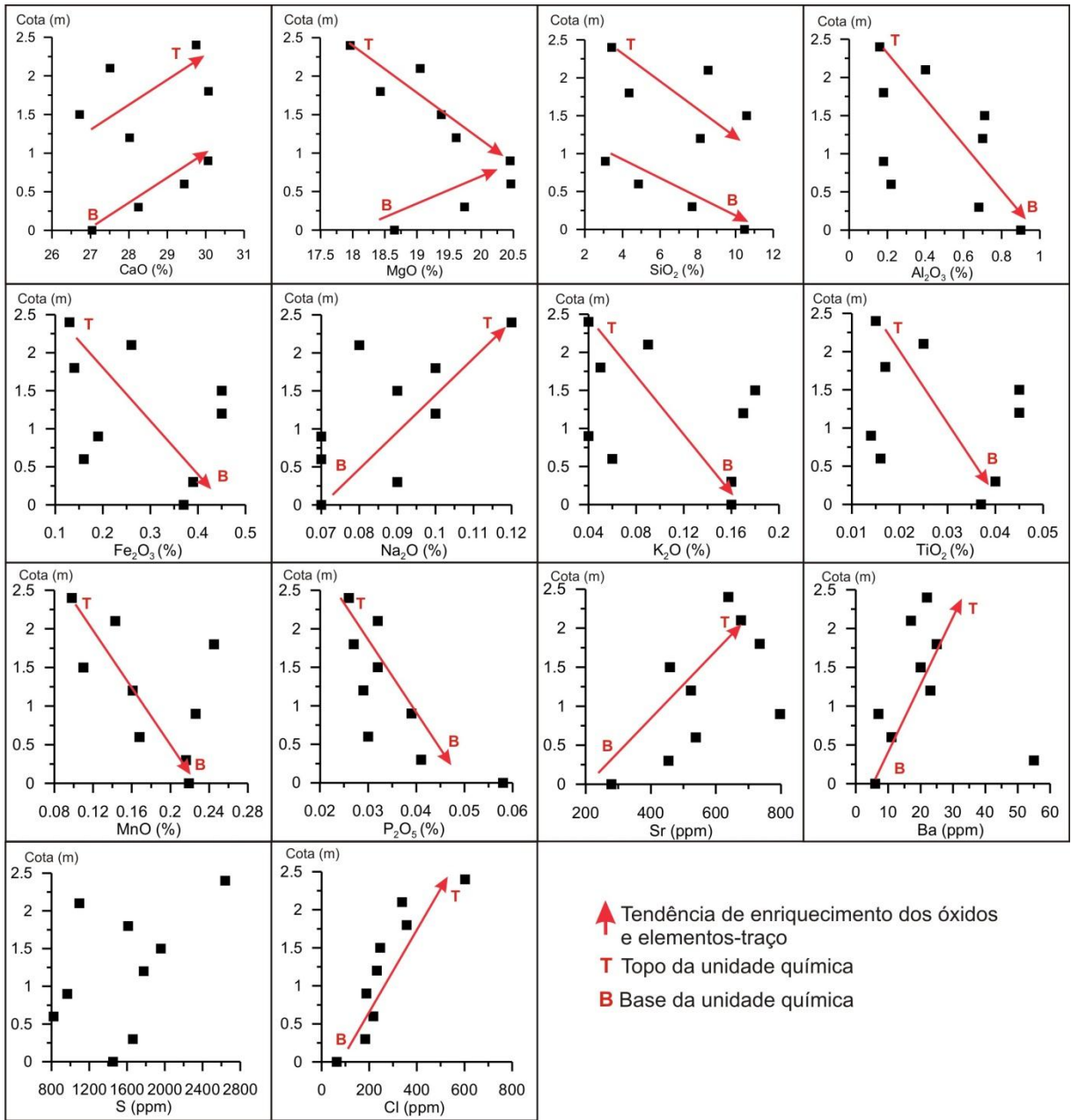


FIGURA 68 - Relação dos óxidos maiores e elementos traços da unidade química A com a cota.



### 5.1.2.2 Unidade química B

Esta unidade é marcada pela variação principalmente dos óxidos maiores, em especial CaO, MgO e SiO<sub>2</sub>. No perfil geoquímico esses óxidos se apresentam com picos acentuados (FIGURA 65).

O perfil químico dos elementos maiores (FIGURA 65) mostra que houve uma diminuição no valor médio do CaO (~20%), MgO (~16%) e um aumento no conteúdo de SiO<sub>2</sub>(~23%).

O comportamento do SiO<sub>2</sub> varia ocorrendo desde 1,62% a 41,1% (APÊNDICE 2. 9) oscilando de maneira inversa ao MgO e CaO.

A relação CaO/MgO (FIGURA 66) revelou que esta unidade possui menos CaO que a unidade anterior, o que resultou numa razão menor. A razão Mn/Sr e SiO<sub>2</sub> +Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MgO é positiva e se destaca de forma acentuada em relação à unidade química A (FIGURA 66).

As relações dos óxidos maiores e elementos traços com a cota do perfil levantado revelaram tendências principais (FIGURA 69) exceto no caso dos óxidos de Al, Fe e K que possuem comportamento aleatório. O mesmo pode ser considerado para o bário, devido ter sido identificado somente em duas amostras.

Apesar de pequenas variações observa-se uma tendência geral de aumento dos óxidos de Ca e Mg para o topo da unidade acompanhado pela diminuição de SiO<sub>2</sub>.

Além disso, esta unidade é caracterizada pelo enriquecimento em direção ao topo de TiO<sub>2</sub>, Sr e S (FIGURA 69). Sua porção basal é mais enriquecida em Na<sub>2</sub>O, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e Cl.

Nessa unidade, o δ<sup>13</sup>C começa positivo com 5,47‰ (MAVT-11) e tende a se tornar cada vez mais negativo alcançando -5,61‰ (MAVT-15). Enquanto que o δ<sup>18</sup>O se torna menos negativo ao longo dessa unidade passando de -7,92‰ na amostra MAVT-11 para -7,29 (FIGURA 67) (APÊNDICE 2. 7).

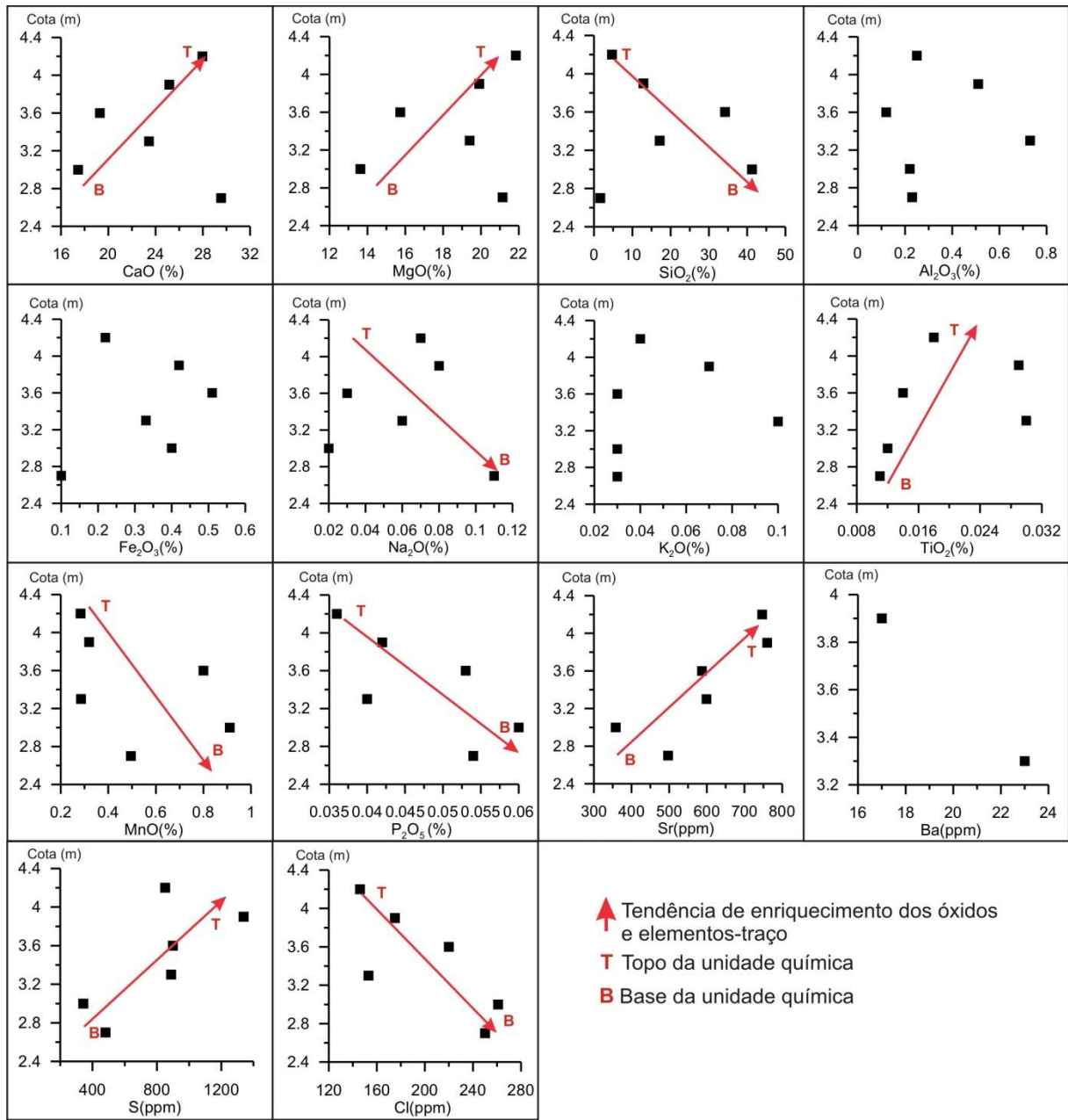


FIGURA 69 - Relação dos óxidos maiores e elementos traços da unidade química B com a cota do perfil levantado na Pedreira Vitti.

### 5.1.2.3 Unidade química C

Esta unidade é a mais espessa (6,9m), abrangendo desde a amostra MAVT-16 que ocorre a 11,40 m á MAVT-39 com 4,50 m (APÊNDICE 2. 7). Neste intervalo, foram amostradas essencialmente rochas calcárias, respeitando o espaçamento de 30 em 30 cm.

É marcada por variações constantes no conteúdo dos óxidos e elementos-traço (FIGURA 65; APÊNDICE 3. 1; APÊNDICE 3. 2).

Como visto no perfil químico dos elementos maiores (FIGURA 65) o conteúdo médio de CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> não é muito diferente da média da unidade B. No entanto, esta unidade se diferencia da anterior pela oscilação repetida e constante e não tão contrastate entre si, não sendo tão acentuada como na unidade B.

A razão CaO/MgO é menor que aquela da unidade anterior, demonstrando que houve um enriquecimento em MgO nesta unidade. Isto também pode ser verificado na razão Mg/CaxSr que é positiva e maior que na unidade anterior.

A razão Mn/Sr é positiva aumentando para o topo da unidade devido o aumento no MnO.

De acordo com a relação detalhada dos óxidos e elementos-traço com a cota (FIGURA 70) pode-se verificar tendências principais e dispersão de alguns dados.

O comportamento do CaO, MgO e SiO<sub>2</sub> mostra-se homogêneo apesar de algumas variações não sendo possível estabelecer tendências.

Os óxidos de Al, Fe, Na, K, Ti, Mn e P, bem como os elementos-traço Ba, S e Cl possuem tendência positiva ascendente, estando mais enriquecidos no topo da unidade (FIGURA 70). O Sr possui variação inversa à desses óxidos e elementos-traço, sendo mais enriquecido na base da unidade diminuindo para o topo.

O  $\delta^{13}\text{C}$  varia consideravelmente ao longo da unidade (FIGURA 67), alcançando valores mínimos de -8,55‰ (MAVT-36) representado no perfil isotópico por um pico anômalo negativo, e valores máximos de 16,01‰ (MAVT-30) (APÊNDICE 2. 7). Apesar dessa variação pode-se observar de maneira geral uma tendência ascendente positiva (FIGURA 67).

Quanto ao  $\delta^{18}\text{O}$  se mantêm com valores negativos, tendendo a se tornar de maneira geral mais negativo para o topo da sequência (FIGURA 64). O  $\delta^{18}\text{O}$  varia entre valores mais e menos negativos, alcançando  $-4,97\text{‰}$  (MAVT-26) e  $-7,56\text{‰}$  (MAVT-38) (APÊNDICE 2. 7).

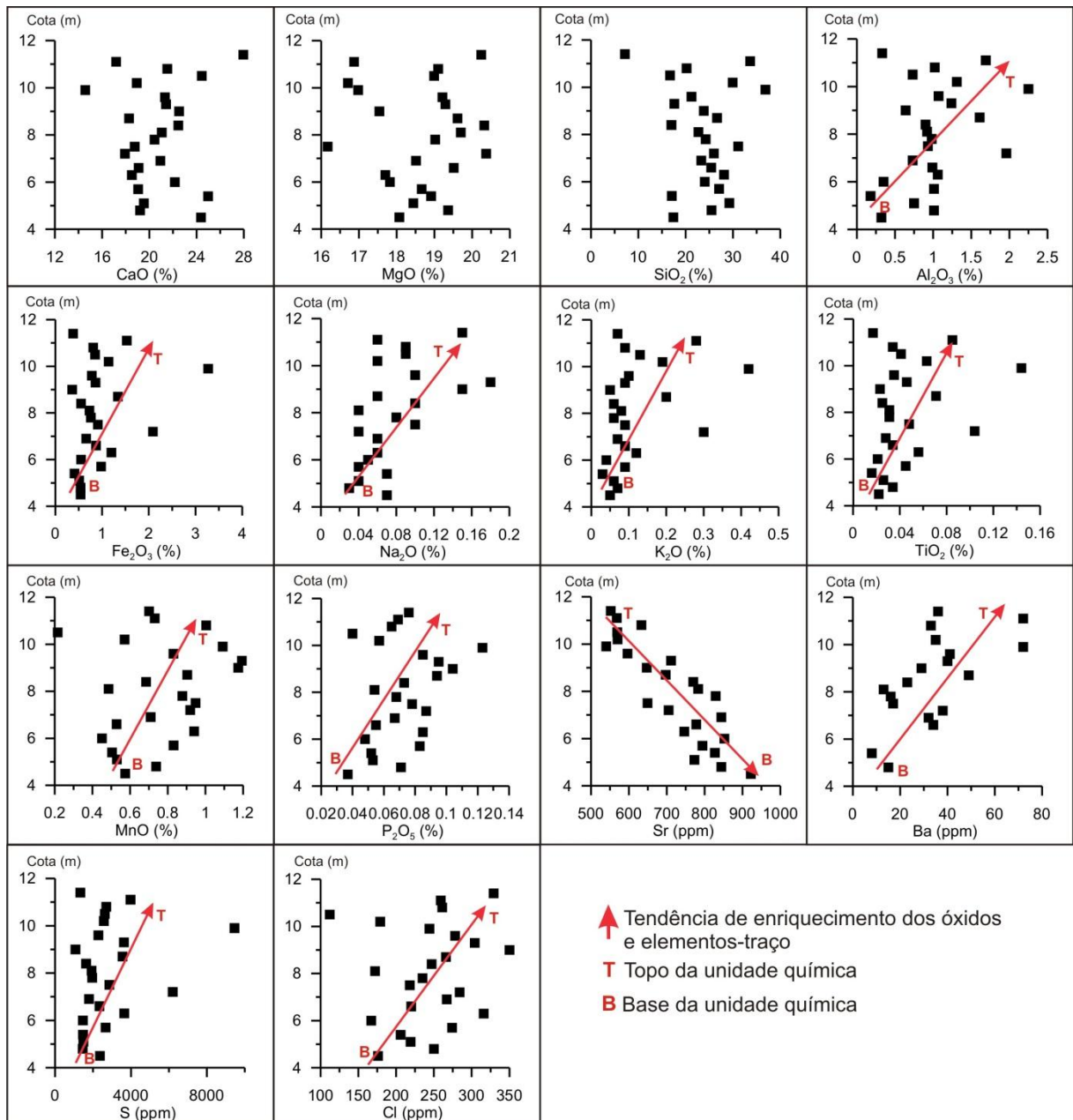


FIGURA 70 - Relação dos óxidos maiores e elementos traço com cota do perfil amostrado na unidade química C.

#### 5.1.2.4 Unidade química D

Esta unidade consiste no topo do perfil levantado na Pedreira Vitti (FIGURA 65). Nesta unidade as camadas de *mudstones* alternados por folhelhos betuminosos se tornam mais espessas.

Ocorre também uma camada centimétrica de rocha bentonítica rica em analcima (MAVT-41; APÊNDICE 2. 11) e conseqüentemente em Na<sub>2</sub>O (APÊNDICE 3. 1) cuja composição se adequa a de cinza vulcânica.

As razões CaO/MgO e Mn/Sr são positivas, sendo menores na base da unidade aumentando para o topo, o que demonstra um aumento no CaO e no Mn (FIGURA 66).

As rochas carbonáticas dessa unidade possui tendência ao enriquecimento nos óxidos de Ca, Mg, Si, Fe e Mn para o topo, além de Ba e Cl (FIGURA 71). Enquanto que o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e o Sr mostram mais enriquecidos na base da unidade tendendo a se tornarem menos enriquecidos no topo.

Alguns óxidos, como Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> possuem baixa concentração e comportamento constante ou muito disperso, sem nenhuma tendência aparentemente (FIGURA 71).

O  $\delta^{13}\text{C}$  varia ao longo da unidade, tendendo a se tornar mais positivo com queda no topo da unidade se tornando mais leve (FIGURA 67). De maneira geral, assumem valores positivos entre 10,52‰ (MAVT-40) e 16,14‰ nas amostras MAVT-45 e MAVT-51 (APÊNDICE 2. 7).

O  $\delta^{18}\text{O}$  ao longo desta unidade é relativamente homogêneo possuindo valores negativos. Percebe-se uma tendência do  $\delta^{18}\text{O}$  se tornar mais negativo da base para o topo da unidade (FIGURA 67). Também apresenta uma quebra na assinatura no topo da unidade se tornando um pouco mais pesado.

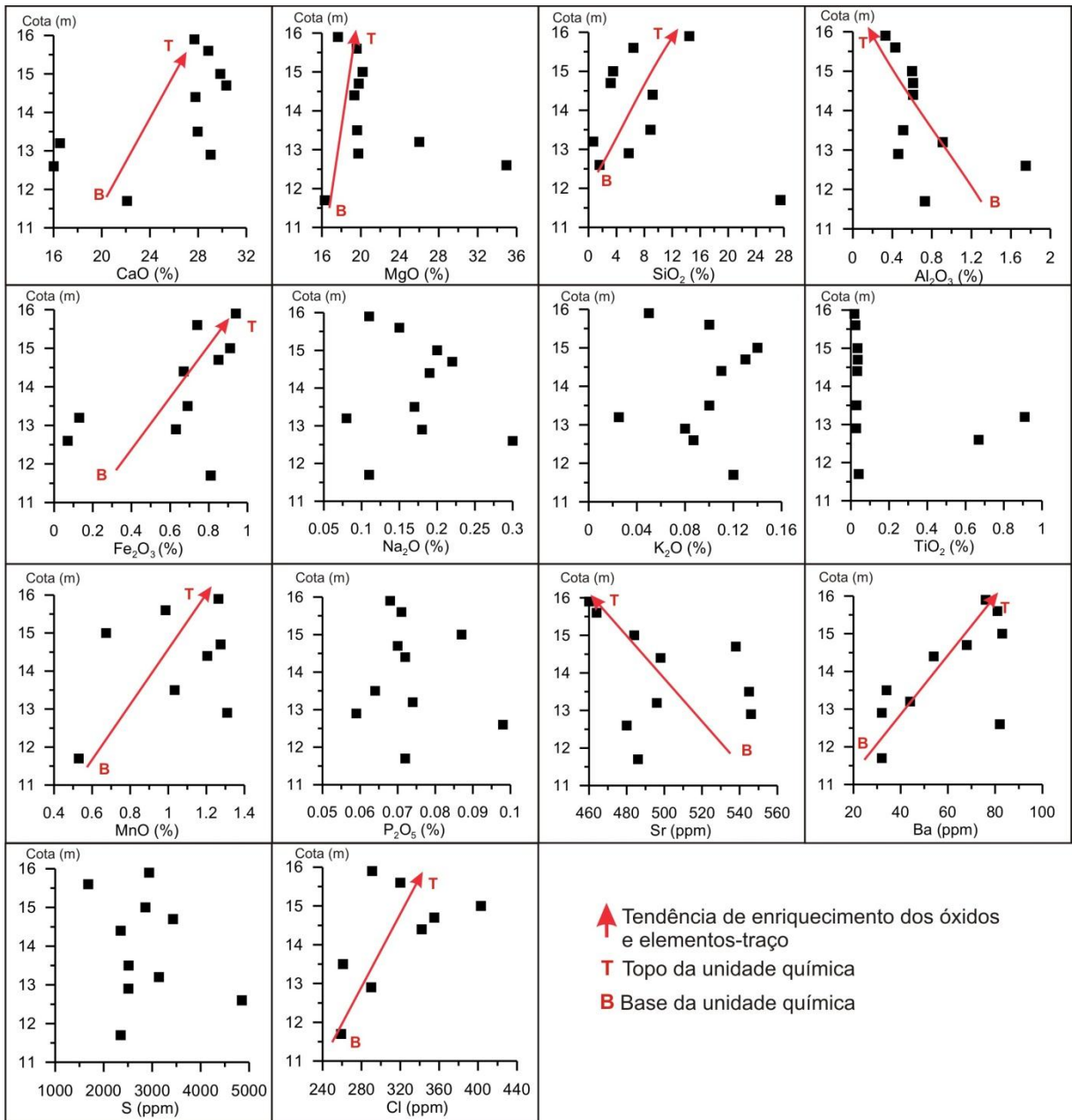


FIGURA 71 - Relação dos óxidos maiores e elementos traços das amostras da unidade química D.

### 5.1.3 Integração dos resultados

As unidades químicas individualizadas na Pedreira Vitti estão compreendidas essencialmente no Membro Assistência.

As análises petrográficas mesoscópicas e microscópicas embasaram a individualização de quatro litofácies carbonáticas neste perfil: *mudstone* laminado, *mudstone* maciço, *wackestone* bioclástico peloidal e brecha intraformacional. Enquanto que as análises de difratometria de raios x (DRX) permitiram identificar a mineralogia predominante, bem como intervalos essencialmente dolomíticos e margosos além da presença de argilominerais. As análises realizadas por fluorescência de raios X (FRX) forneceram dados que embasaram a individualização de unidades químicas, e as análises de isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  acrescentaram informações que subsidiarão interpretações paleoambientais.

A integração desses dados (FIGURA 72) busca relatar as principais características das unidades químicas individualizadas a fim de compreender estas unidades dentro do seu contexto deposicional e pós-deposicional, e subsidiar a correlação entre os perfis estudados e as discussões apresentadas nos próximos capítulos (Capítulos 6 e 7). As características das unidades químicas individualizadas serão descritas a seguir.

Na pedreira Vitti foram individualizadas quatro unidades químicas denominadas de unidades químicas A, B, C e D.

A unidade química A é bem definida no perfil, se destacando na mineralogia e composição química das demais unidades (FIGURA 72). Essa unidade é composta predominantemente pela litofácies *wackestone* bioclástico peloidal intercalada a três níveis da fácies brecha intraformacional e por vezes *mudstone* laminado. Compreende um intervalo essencialmente dolomítico. De maneira geral é uma unidade enriquecida em CaO, sendo que a porção inferior desta unidade é mais enriquecida nos óxidos de Mg, Si, Mn, P, Fe, K, Ti e Al e menos enriquecida nos óxidos de Na e elemento-traços Sr, Ba e Cl. A porção superior além do enriquecimento em CaO também é marcada pelo aumento de Na<sub>2</sub>O e dos elementos Sr, Ba e Cl (FIGURA 68). A assinatura do isótopo do  $\delta^{13}\text{C}$  tende a se tornar positiva

ao longo da unidade passando de valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de -5,62‰ a 1,67 ‰. Já o  $\delta^{18}\text{O}$  tende a se tornar mais negativo variando de -4,08 a -8,08 (FIGURA 72).

A unidade química B é caracterizada pela litofácies *mudstone* maciço. Os dados de difratometria de raios X apontam para a ocorrência de intervalos margosos alternados com intervalos dolomíticos (FIGURA 57), com predominância de dolomita e quartzo além do aparecimento de argilominerais do grupo da esmectita. Os minerais diagenéticos presentes são dolomita, calcedônia, sílica microcristalina, pirita e albita. Esta unidade é marcada pela variação dos óxidos maiores CaO, MgO e SiO<sub>2</sub> (FIGURA 72). O comportamento do CaO e do MgO é diretamente proporcional, enquanto que SiO<sub>2</sub> oscila inversamente a esses óxidos. De maneira geral, esta unidade apresenta-se enriquecida na base em SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O, MnO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e no elemento-traço Cl. Para o topo ocorre um aumento nas concentrações de CaO, MgO e TiO<sub>2</sub> e nos elementos Sr e S (FIGURA 69). O  $\delta^{13}\text{C}$  tem uma tendência ascendente negativa ao longo da unidade, enquanto que o  $\delta^{18}\text{O}$  possui uma tendência ascendente positiva, se tornando menos negativo (FIGURA 72).

A unidade química C é composta por *mudstone* laminado e *mudstone* maciço. Compreendem intervalos margosos e dolomíticos, apresentam dolomita e quartzo como mineral principal, além de argilomineral (esmectita), pirita, e albita indicados por DRX. Os minerais diagenéticos ocorrentes são dolomita, sílica microcristalina, pirita e albita. Esta unidade é mais enriquecida em MgO que a unidade B. Caracteriza-se por um enriquecimento na base em CaO e Sr e no topo Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, MnO, TiO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> além dos elementos S, Cl, e Ba (FIGURA 70). O  $\delta^{13}\text{C}$  possui uma tendência geral positiva ascendente, apesar de variar bastante sua assinatura, oscilam entre mínimos -8,55‰ e máximos 16,01‰. Quanto ao  $\delta^{18}\text{O}$  se mantêm com valores negativos, tendendo a se tornar de maneira geral mais negativo para o topo da unidade (FIGURA 72).

A unidade química D, assim como a unidade anterior, compreende *mudstone* laminado e *mudstone* maciço, além de folhelho e argilito bentonítico (cinza vulcânica). A partir dos dados de DRX, esse intervalo foi individualizado em porções margosas e dolomíticas (FIGURA 57). A dolomita e o quartzo se apresentam como os minerais principais nas rochas carbonáticas, ocorrendo também argilominerais (esmectita), albita e pirita. Além destes últimos, nos folhelhos e argilito bentonítico, encontram-se argilomineral do grupo Illita/mica e analcima. De maneira geral,



quimicamente as rochas carbonáticas são caracterizadas por uma tendência a um enriquecimento para o topo nos óxidos de Ca, Mg, Si, Fe e Mn além dos elementos traços Ba e Cl (FIGURA 71). Apresentam sua porção basal mais enriquecida em  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e Sr. Quanto à assinatura dos isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ , o  $\delta^{13}\text{C}$  esta unidade química é marcada por valores positivos entre 10,52‰ e 16,14‰, enquanto que o comportamento do  $\delta^{18}\text{O}$  é de maneira geral, descendente para o topo, se tornando mais negativo, com uma pequena tendência no topo da unidade a se tornar menos negativa (FIGURA 72).

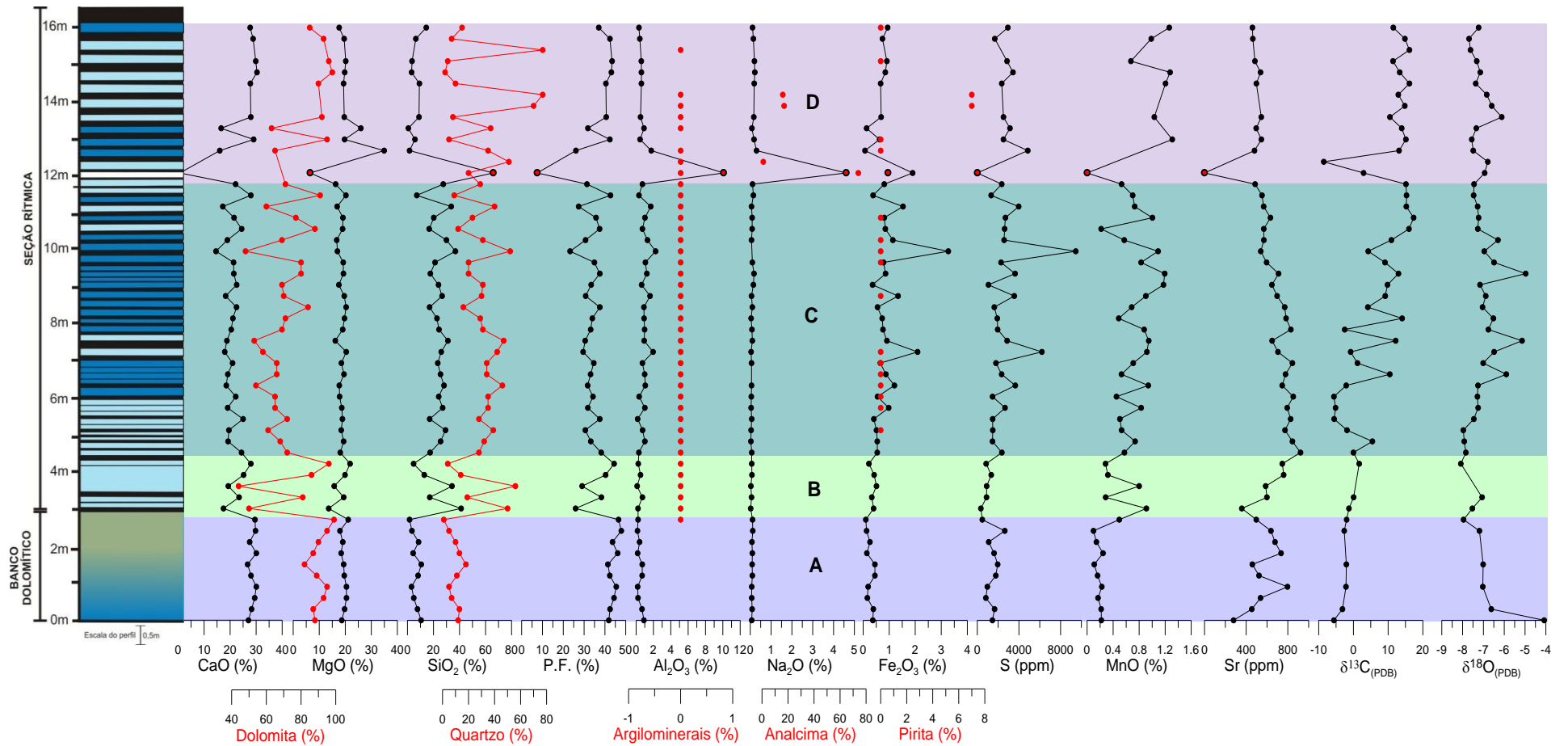


FIGURA 72 - Perfil integrado dos dados gerados por difração de raios X, fluorescência de raios X e isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  das rochas da Pedreira Vitti.

## 5.2 TESTEMUNHO DE SONDAGEM FP-01-PR

### 5.2.1 Caracterização mineralógica por DRX

As rochas do Testemunho de sondagem FP-01-PR foram caracterizadas mineralogicamente com base em análises de difração de raios X e aquelas que apresentaram reflexões dos argilominerais passaram por tratamento para identificação do grupo do argilomineral.

No testemunho de sondagem FP-01-PR foram amostradas aproximadamente 45 m de rochas argilosas e carbonáticas de forma aleatória, buscando detalhar os intervalos compostos por rochas carbonáticas. Destes 35 m compreendidos na Formação Irati e 10 m na Formação Serra Alta. Dos 35 m da Formação Irati 21,5 m pertencem as rochas do Membro Assistência e aproximadamente 14 m ao Membro Taquaral. Foram analisadas todas as rochas amostradas, a fim de verificar o comportamento das rochas carbonáticas do Membro Assistência em relação às outras unidades.

No intervalo analisado observou-se que porções dolomíticas estão presentes a partir do Membro Assistência (FIGURA 73). Pode-se observar no perfil mineralógico (FIGURA 73) que os intervalos dolomíticos são menos frequentes que os margosos e os compostos por folhelhos.

Como visto no capítulo 4 (Litofácies), o intervalo onde as rochas carbonáticas são expressivas compreende o Membro Assistência (FIGURA 73).

A base do Membro Assistência é compreendida pela litofácies *mudstone* laminado brechado, marcada pela ocorrência de dolomita e quartzo como minerais principais, ora predominando dolomita, ora quartzo o que culmina numa alternância de rochas dolomíticas e margosas (FIGURA 74). Os picos da reflexão da dolomita chegam a se tornar bem discretos (MASP-35).

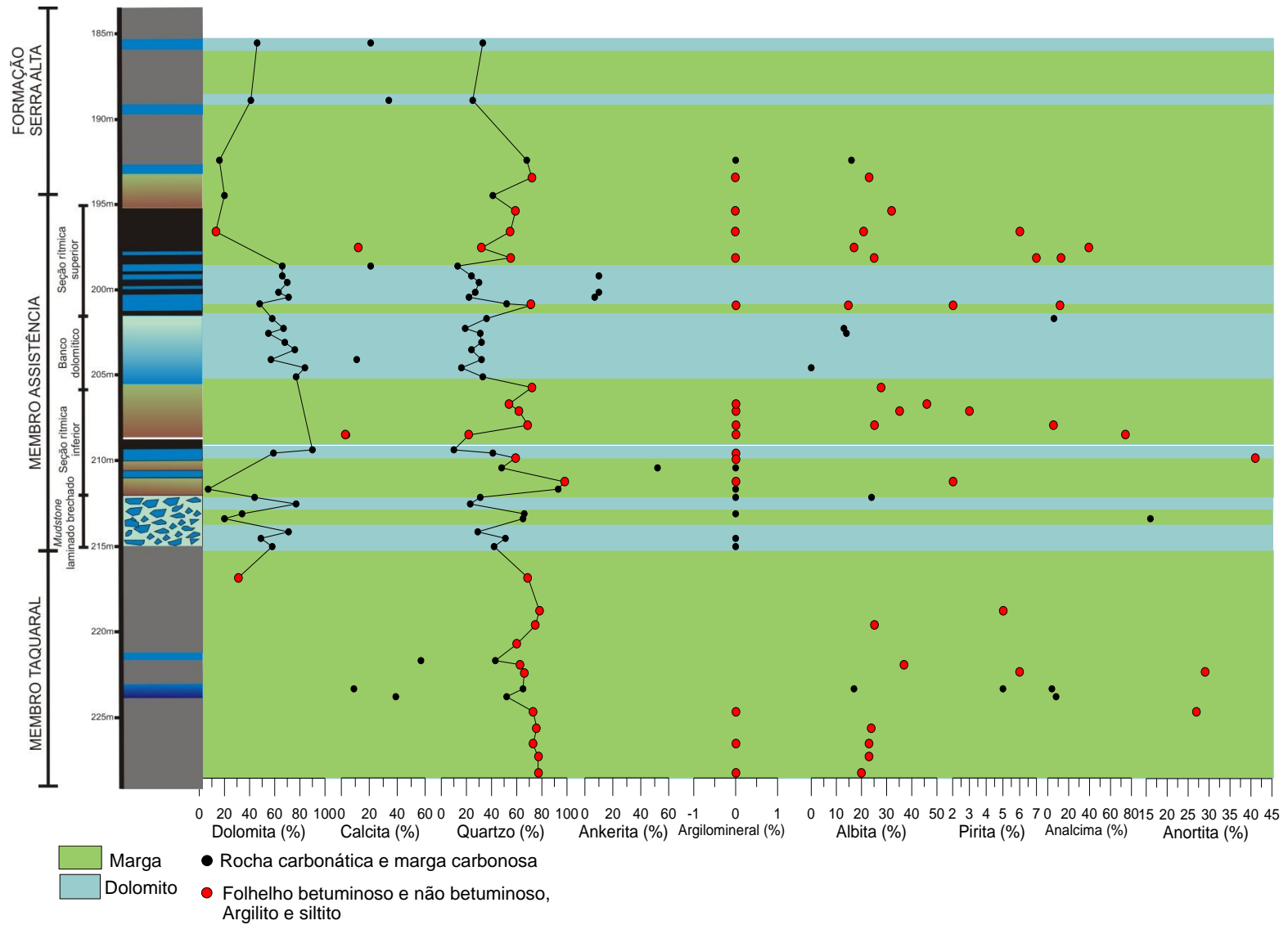


FIGURA 73 - Perfil mineralógico gerado a partir das análises de difração de raios X nas rochas do testemunho de sondagem FP-01-PR.

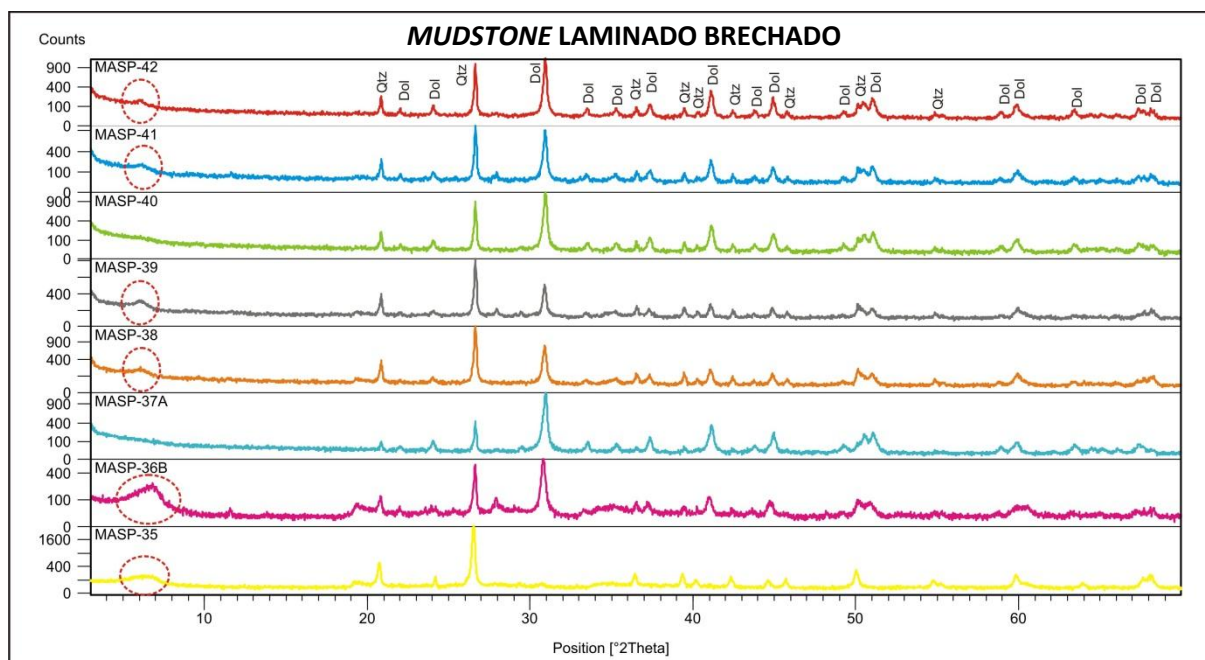


FIGURA 74 - Difrátogramas das amostras de rochas carbonáticas da litofácies *mudstone* laminado brechado do testemunho de sondagem FP-01-PR. Os círculos vermelhos indicam a reflexão dos argilominerais.

Foi verificada uma quantidade considerável de dolomita ao longo da litofácies *mudstone* laminado brechado (APÊNDICE 2. 3), variando entre 20 a 77% e quartzo entre 31 e 66%. Observa-se no topo desta litofácies uma queda acentuada na quantidade de dolomita (7%) e aumento considerável no percentual de quartzo (93%).

O banco dolomítico do testemunho de sondagem FP-01-PR é similar àquele da Pedreira Vitti. As reflexões de dolomita predominam (FIGURA 75). Ao contrário das rochas da Pedreira Vitti, no testemunho aparece a reflexão de calcita (MASP-22). As rochas não apresentam reflexões de argilominerais.

Nas análises semiquantitativas observou-se que se trata de um intervalo carbonático homogêneo. A quantidade de dolomita varia entre 55 e 84% e de quartzo entre 16 e 36% (APÊNDICE 2. 4).

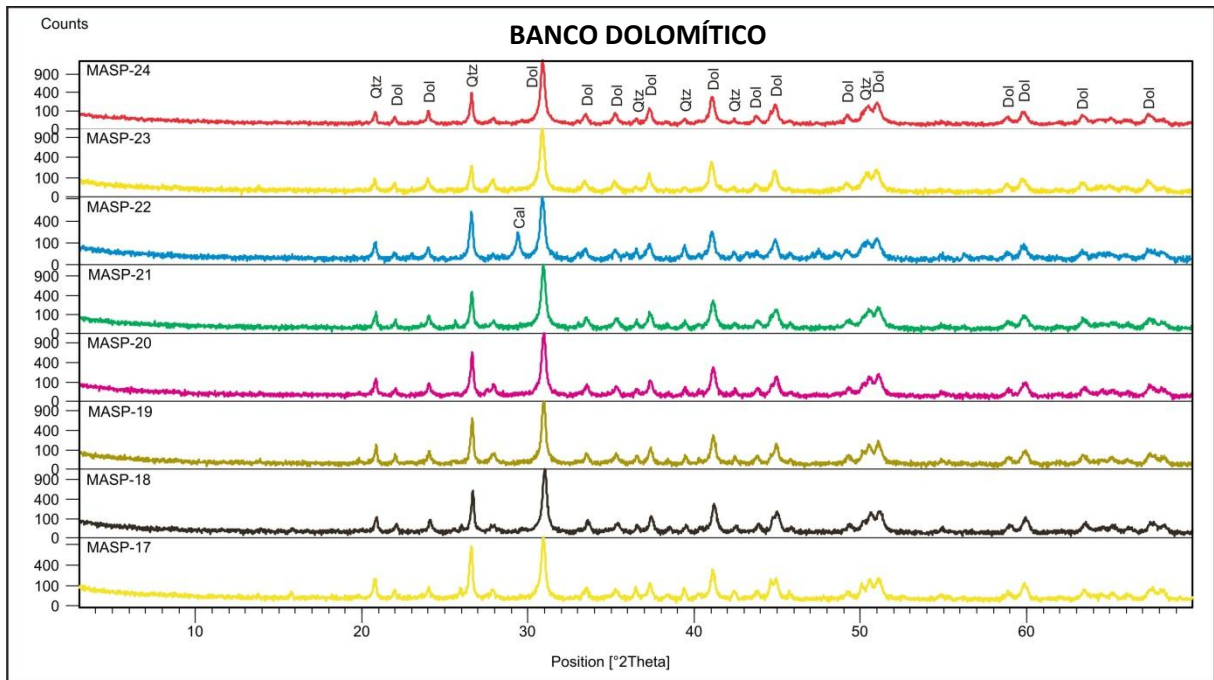


FIGURA 75 - Difratomogramas das amostras do banco dolomítico do testemunho de sondagem FP-01-PR.

As rochas carbonáticas da seção rítmica inferior apresentam mineralogia diferenciada daquelas da seção superior. Foram analisadas duas amostras correspondentes as litofácies *mudstone* maciço (MASP-31) e *mudstone* laminado (MASP-33). Ambas litofácies apresentam a reflexão dos argilominerais (FIGURA 76).

A análise do *mudstone* maciço (MASP-31) indicou a presença de dolomita como mineral predominante, além de quartzo. Os dados semiquantitativos apontam para 59% de dolomita e 41% de quartzo (APÊNDICE 2. 5).

O *mudstone* laminado (MASP-33) foi marcado pela reflexão do quartzo e do mineral ankerita. Sendo que os dados semiquantitativos quantificam 52% de ankerita e 48% de quartzo (APÊNDICE 2. 5).

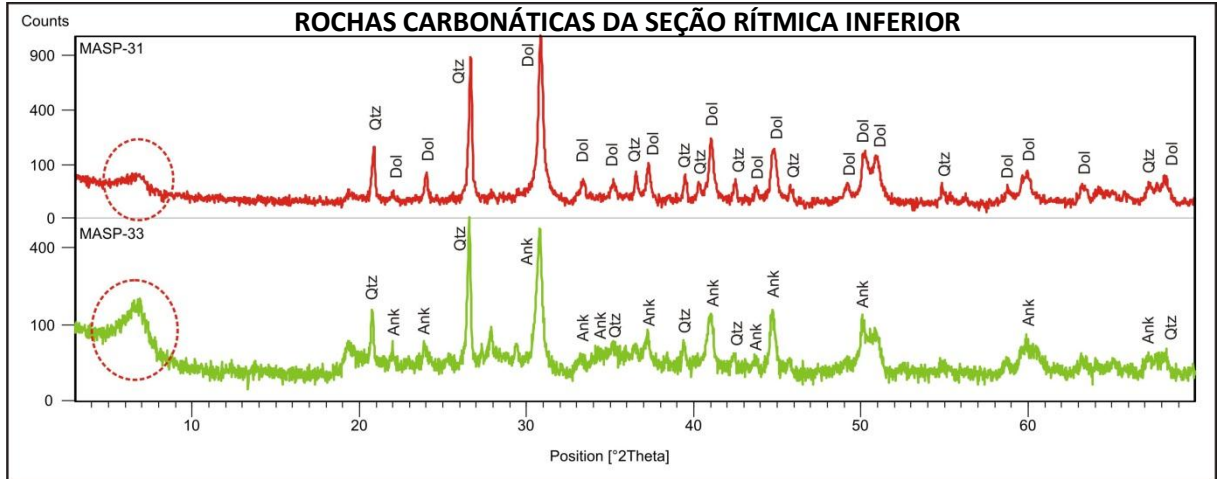


FIGURA 76 - Difratomogramas das amostras de rochas carbonáticas da seção rítmica inferior do testemunho de sondagem FP-01-PR. Os círculos vermelhos indicam a reflexão dos argilominerais.

As rochas carbonáticas da seção rítmica superior, ao contrário daquelas da Pedreira Vitti, não apresentam a reflexão dos argilominerais (FIGURA 77). A reflexão da dolomita é bem intensa, seguida pelo quartzo. Ocorrem também picos de calcita que podem ultrapassar a intensidade do quartzo (MASP-10).

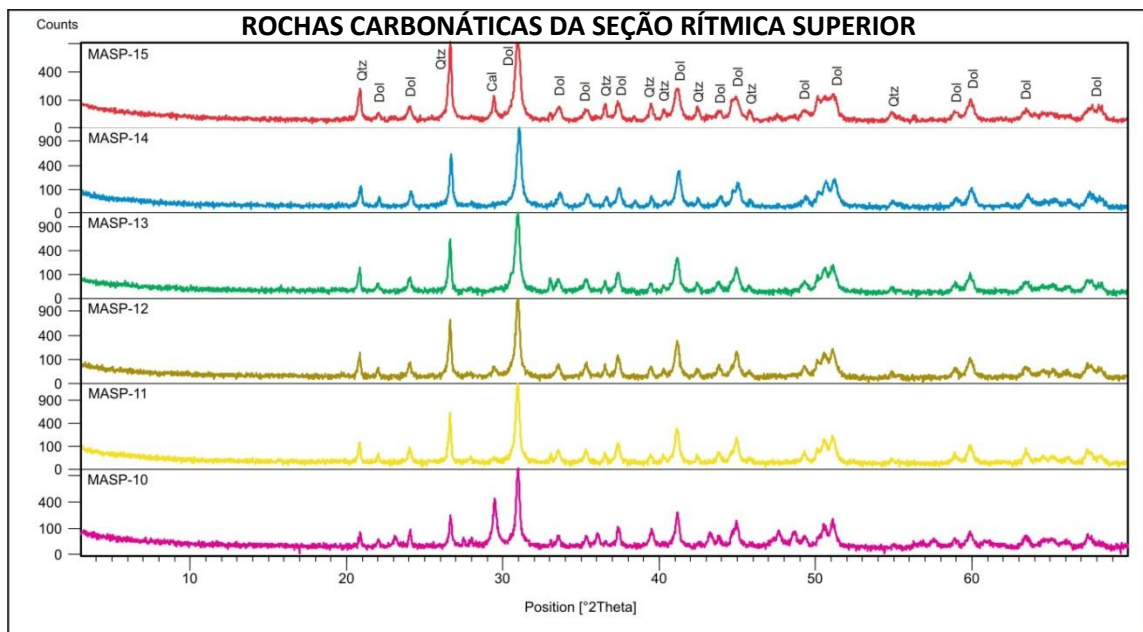


FIGURA 77 - Difratomogramas das amostras de rochas carbonáticas da seção rítmica superior.

Observa-se que a quantidade de dolomita e quartzo é considerável. Nas análises semiquantitativas a dolomita ocorre entre 48 e 71%, e o quartzo entre 13 e 52% (APÊNDICE 2. 6). Nestas rochas foi verificada a presença de calcita (21%; MASP-10) e de ankerita entre 7 e 10% (MASP-11, MASP-13 e MASP-14).

Através das análises de DRX nas amostras do testemunho estudado pode-se constatar a presença de argilominerais, somente nas rochas carbonáticas da base do Membro Assistência, na seção rítmica inferior e nos *mudstones* laminados brechados.

Na seção rítmica inferior foi analisada uma amostra do *mudstone* maciço (MASP-31) e uma de *mudstone* laminado (MASP-33).

No *mudstone* maciço foi observada a presença de argilomineral com ângulo de 14,86 Å. Este mineral ao passar por tratamento e ser calcinado, colapsa para 10 Å, e ao ser submetido à análise com etileno glicol, expande para 16,93 Å (FIGURA 78 A). Este mineral por não apresentar nesta última análise, a reflexão secundária característica dos argilominerais do grupo da esmectita (8,46 Å), foi classificado somente como argilomineral expansivo.

O tratamento realizado no *mudstone* laminado (MASP-33) constatou a presença de esmectita. Ocorre com ângulo principal de 13,50 Å, apresenta um pequeno colapso de 12,51 Å e, na análise com etileno glicol verificam-se as características típicas da esmectita, uma expansão para 17 Å e a presença da reflexão secundária de 8,5 Å (FIGURA 78 B).



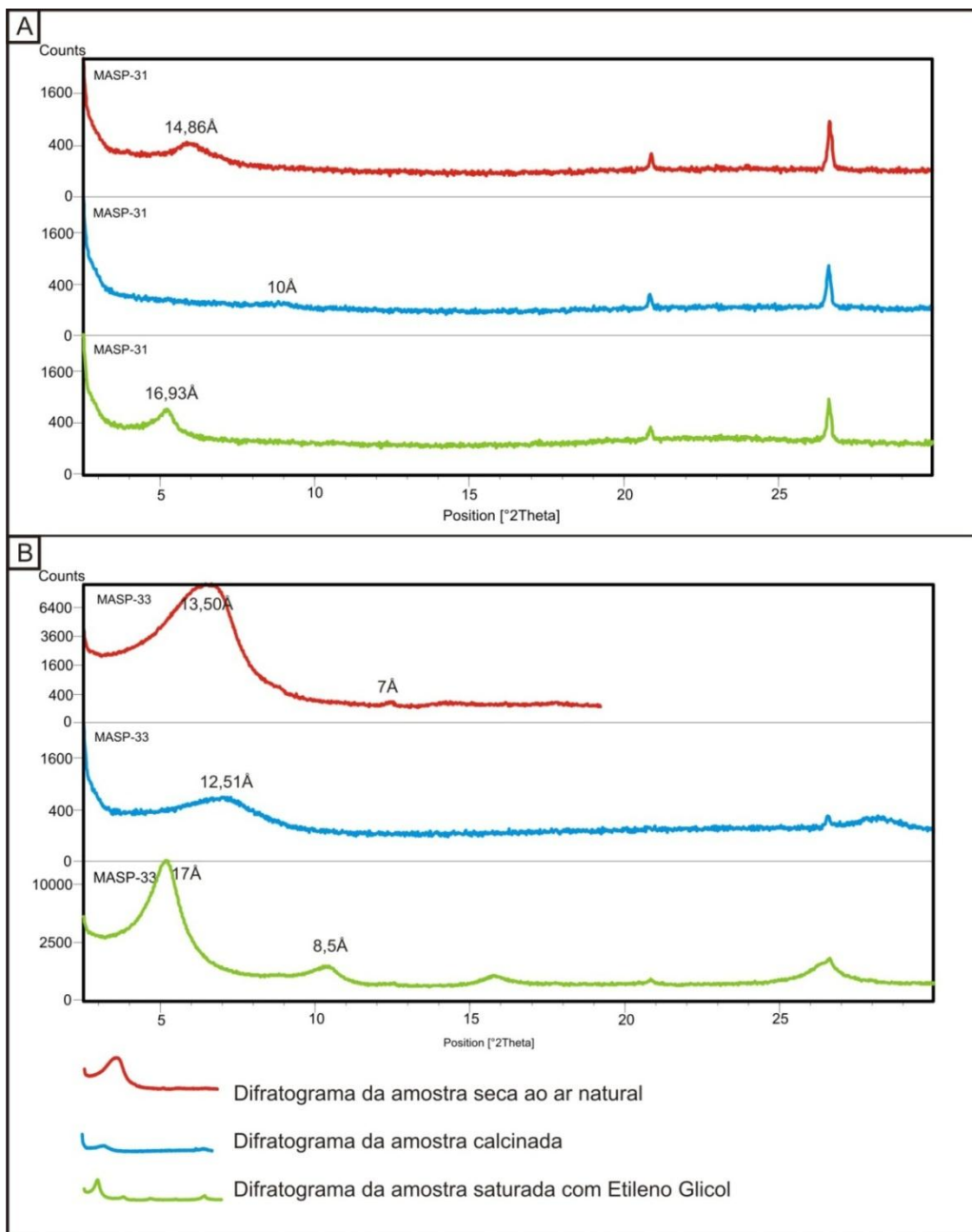


FIGURA 78 - Difratogramas das amostras de rochas carbonáticas da seção rítmica inferior, submetidas ao tratamento para argilomineral. A) Difratogramas de *mudstone* maciço (MASP-31); B) Difratogramas de *mudstone* laminado (MASP-33).

O tratamento realizado nas rochas da litofácies *mudstone* laminado brechado apontou para a presença de argilominerais do grupo da esmectita e

interestratificados clorita/esmectita. No topo desta litofácies (MASP-35 e MASP-36B) estão os argilominerais do grupo da esmectita.

Os argilominerais do grupo da esmectita ocorrem com ângulo entre 14,34 Å e 13,95 Å. Com o tratamento, verificou-se que, ao se submeter a amostra ao calcinamento o ângulo do argilomineral colapsou para 10,93 Å e 10,70 Å. Ao passar por tratamento com etileno glicol, houve uma expansão do ângulo principal para 17,07 Å e 17,36 Å e o aparecimento de reflexões secundárias que caracterizam a esmectita 8,53 Å a 8,50 Å e 5,63 Å (FIGURA 79).

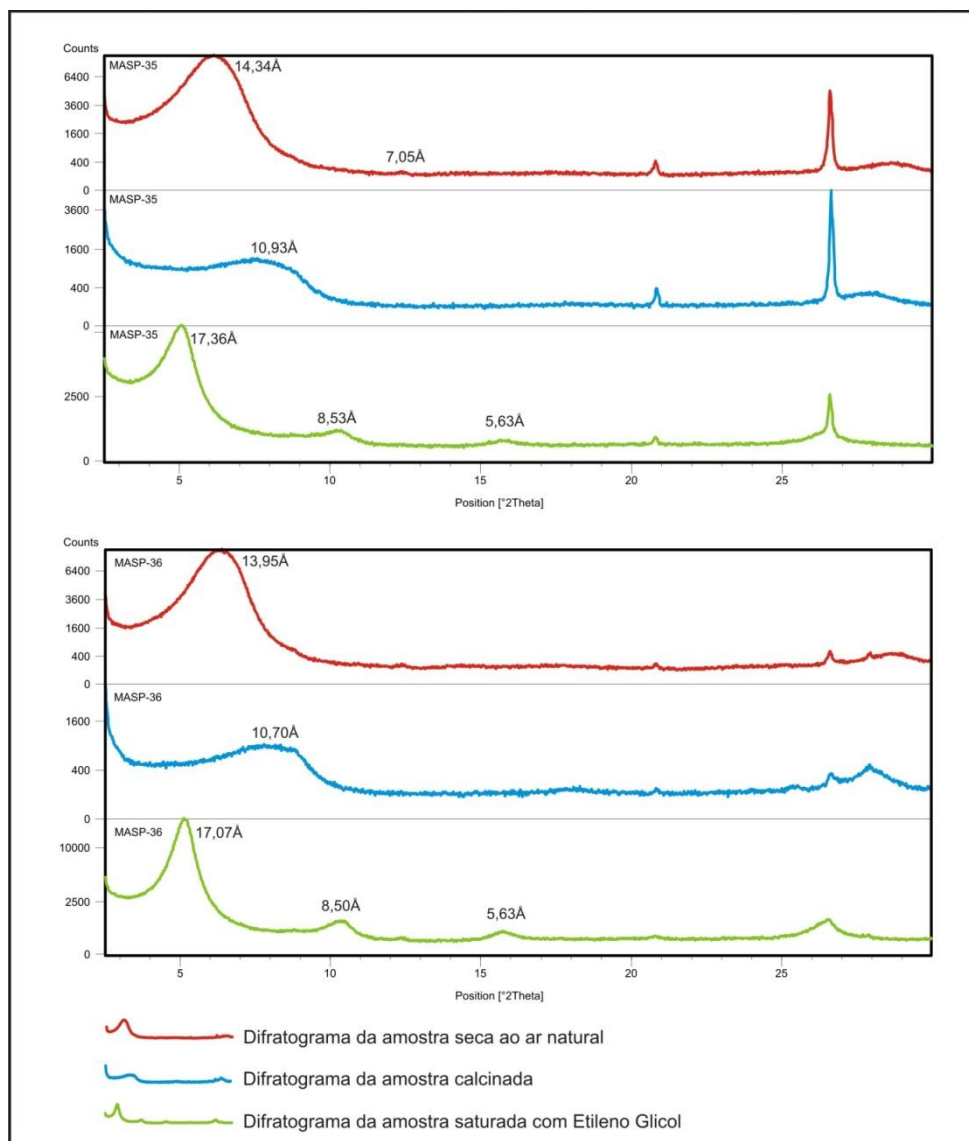


FIGURA 79 - Difratoogramas das amostras de rochas carbonáticas da litofácies *mudstone* laminado brechado submetidas ao tratamento para argilomineral, onde se observa as reflexões típicas dos argilominerais do grupo da esmectita.

Predominam na litofácies *mudstone* laminado brechado argilomineral interestratificado clorita/ esmectita.

Os interestratificados clorita/esmectita apresentam como características, ângulos principais em torno de 29 Å e 14.7 Å e secundários de aproximadamente 9.7 Å e 7.3 Å. Ao passarem por tratamento com etileno glicol os ângulos principais expandem para 31 Å e 15,7 Å e o secundário fica em torno de 7.8.

Nos difratogramas das rochas dos *mudstones* laminados brechados (FIGURA 80) observa-se a grande maioria das características descritas anteriormente. Os ângulos principais variam entre 30.40 Å a 31.81 Å e 13.77 Å a 14.86 Å. Algumas amostras apresentam as reflexões secundárias como a MASP-37, MASP-38 e MASP-39 e outras não apresentam como a MASP-41 (FIGURA 80).

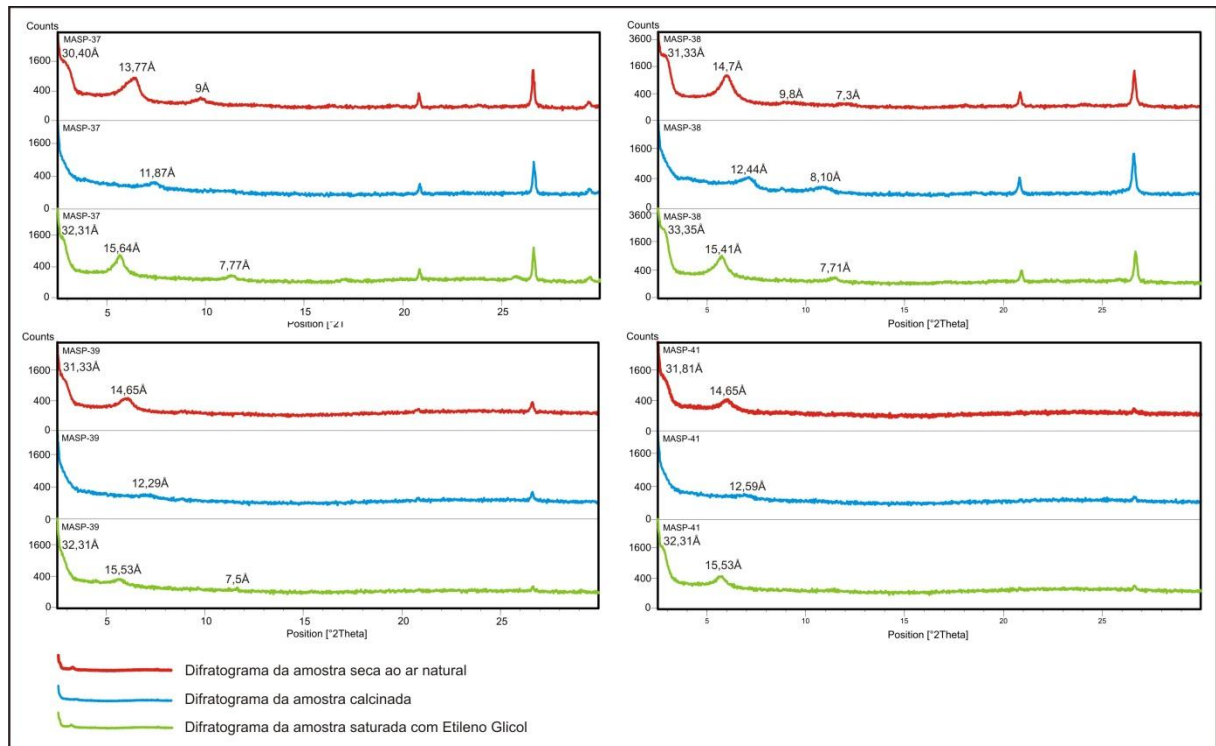


FIGURA 80 - Difratogramas das amostras de rochas carbonáticas da litofácies *mudstone* laminado brechado submetidas ao tratamento para argilomineral, onde se observa as reflexões típicas dos interestratificados clorita/esmectita.

### 5.2.2 Caracterização química e isotópica

As análises químicas por FRX foram realizadas em 56 amostras em um perfil levantado no testemunho de sondagem FP-01-PR. Destas 56 amostras, 36 foram utilizadas para gerar os perfis químicos, devido estes serem baseados em análises quantitativas (APÊNDICE 2. 10).

Além das análises químicas, foram feitas análises de isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  em 31 amostras das 36 utilizadas na química. Sendo selecionadas apenas as rochas carbonáticas e margosas (APÊNDICE 2. 8).

As relações CaO/MgO das amostras do testemunho estudado, além da individualização das rochas carbonáticas e argilosas, mostrou o comportamento diferenciado entre rochas carbonáticas do Membro Assistência, do Membro Taquaral e Formação Serra Alta (FIGURA 81), sustentando aqui o limite adotado para Formação Irati nesse testemunho. As rochas carbonáticas do Membro Assistência, contidas no gráfico como pertencentes ao banco dolomítico, *mudstone* laminado brechado e *mudstone* laminado e maciço da seção rítmica, são mais enriquecidas em MgO. Enquanto que as rochas carbonáticas pertencentes ao Membro Taquaral e Formação Serra Alta são mais enriquecidas em CaO e empobrecidas em MgO.

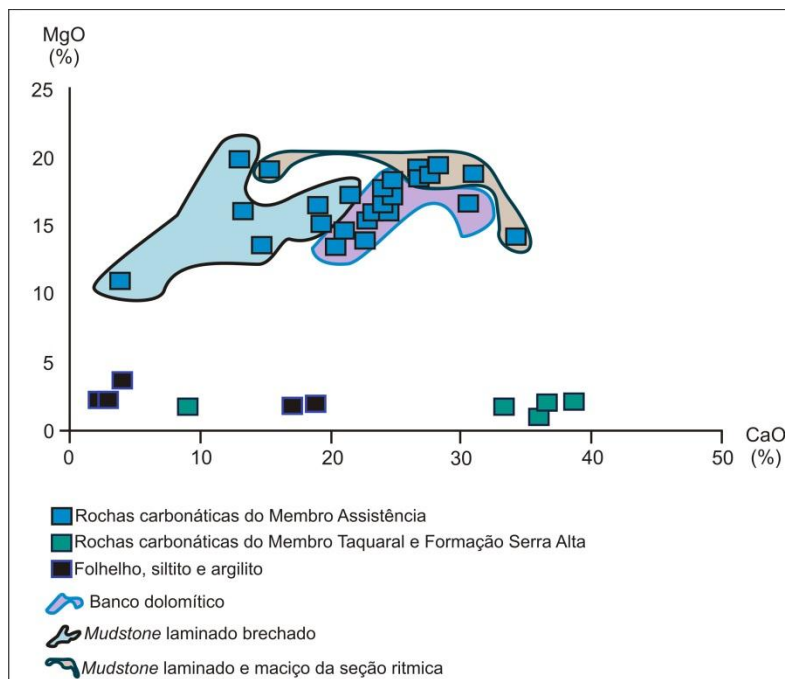


FIGURA 81 - Relação óxidos de cálcio e magnésio das amostras do testemunho FP-01-PR.

As análises dos óxidos de cálcio, magnésio, silício e alumínio nas rochas do testemunho de sondagem FP-01-PR, possibilitou observar as principais características das rochas carbonáticas do Membro Assistência (FIGURA 82).

As rochas carbonáticas e margosas da base do Membro Assistência, pertencentes a litofácies *mudstone* laminado brechado (como visto no capítulo anterior), e aquelas do banco dolomítico também identificado no testemunho, apresentam assinatura química similar. Ambas são enriquecidas em CaO alcançando 35%, e MgO (até 20%).

No entanto, as rochas da litofácies *mudstone* laminado brechado são mais enriquecidas em SiO<sub>2</sub> (~44%) que aquelas do banco dolomítico (~30%). Ambas são empobrecidas em Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com as rochas do banco possuindo menor concentração desse óxido.

Foram analisadas rochas carbonáticas da seção rítmica inferior (sobrejacente ao *mudstone* laminado brechado) e aquelas da seção rítmica superior (sobrejacente ao banco dolomítico) do Membro Assistência (FIGURA 82).

As rochas carbonáticas da seção rítmica inferior são menos enriquecidas em óxido de cálcio que a superior. O comportamento do MgO é bem variado na seção rítmica inferior (>4 a ~19%) enquanto que na superior as rochas são mais enriquecidas e ocorrem entre 14% e 19%.

As rochas da seção rítmica inferior são mais enriquecidas em SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> do que aquelas da seção rítmica superior (FIGURA 82).

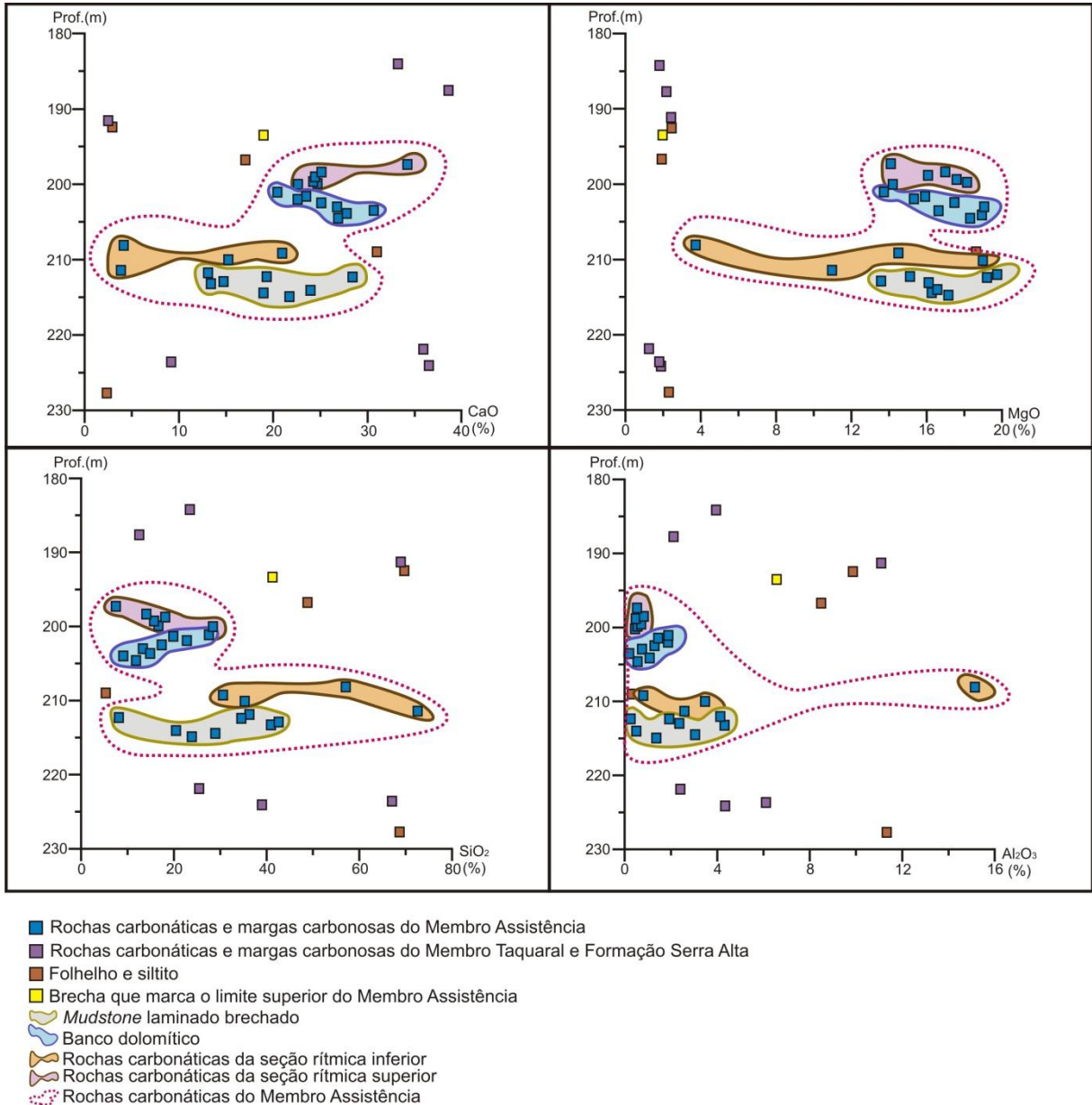


FIGURA 82 - Relação dos óxidos de Ca, Mg, Si e Al (eixo x) com a profundidade (eixo y) das amostras do testemunho de sondagem FP-01-PR.

A análise isotópica das rochas carbonáticas deste perfil demonstrou o comportamento particular dessas rochas em especial no que se refere ao isótopo de  $\delta^{13}\text{C}$  (FIGURA 83).

As análises do  $\delta^{13}\text{C}$  possibilitou observar que as rochas carbonáticas do Membro Assistência seguem um *trend* principal positivo, saindo de assinaturas negativas (-15,50‰) nos *mudstones* laminados brechados (base do Membro

Assistência) alcançando assinatura positiva ( $\sim 18\%$ ) nas rochas carbonáticas da seção rítmica superior (FIGURA 83).

Quanto à assinatura do  $\delta^{18}\text{O}$  pode-se observar o comportamento distinto das rochas do Membro Assistência e daquelas do Membro Taquaral e Formação Serra Alta (FIGURA 83).

As rochas do Membro Assistência apresentam comportamento similar, sendo predominantemente negativo e compreendendo o intervalo entre  $-9,49$  e  $-6,66\%$ .

As rochas carbonáticas do Membro Taquaral e Formação Serra Alta possuem assinatura do  $\delta^{18}\text{O}$  mais negativas, ocorrendo entre  $-11,17$  e  $-13,41\%$  (FIGURA 83).

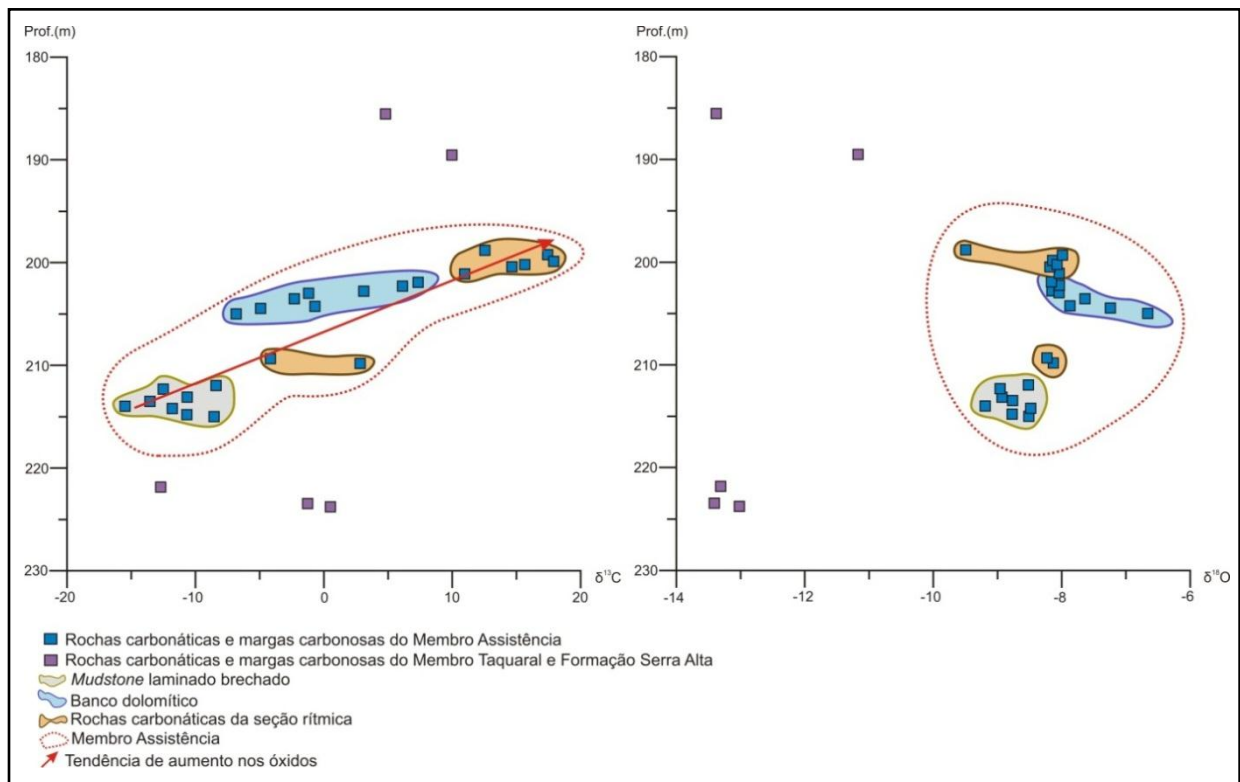


FIGURA 83 - Assinatura dos isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  das rochas do testemunho de sondagem FP-01-PR.

Assim como na Pedreira Vitti, as rochas do testemunho de sondagem FP-01-PR foram individualizadas em unidades químicas denominadas: 1, 2, 3 e 4. Optou-se usar aqui a denominação numérica a fim de diferenciá-las das unidades químicas da Pedreira Vitti e facilitar a correlação no próximo capítulo.

Foram analisados aproximadamente 40 m de rochas carbonáticas e pelíticas, com o objetivo de verificar as características químicas e mineralógicas, para então limitar a ocorrência do Membro Assistência.

Dentro desse contexto, serão descritas em detalhe as unidades que compreendem as rochas do Membro Assistência.

O comportamento químico do intervalo amostrado está ilustrado nos perfis químicos (FIGURA 84; FIGURA 85; APÊNDICE 3. 3 e APÊNDICE 3. 4). Os intervalos pertencentes ao Membro Taquaral e Formação Serra Alta estão representados na cor branca (Unidade 1 e parte superior da Unidade 4), sendo destacado apenas o intervalo pertencente ao Membro Assistência (Unidade 2, Unidade 3 e parte inferior da Unidade 4).

Como descrito anteriormente para a Pedreira Vitti, aqui também as unidades químicas foram estendidas para verificar o comportamento isotópico (FIGURA 86).

A unidade química 1 compreende a porção correspondente ao Membro Taquaral composto predominantemente de folhelho não betuminoso e camadas centimétricas de margas. Como as amostras analisadas da base para o topo da unidade partiram de folhelho para as margas a assinatura química vista nos gráficos apresenta aumento no óxido de cálcio seguindo-se para o topo da unidade um intervalo sem amostragem composto de folhelhos (FIGURA 84). Verifica-se que as margas são bem empobrecidas em MgO o que as diferencia das rochas carbonáticas do Membro Assistência.

A unidade química 4 como vista nos perfis químicos (FIGURA 84; FIGURA 85) compreende o topo do Membro Assistência, porção superior da seção rítmica, e a Formação Serra Alta. Esta unidade bem como a unidade 1 também, foi analisada com base em dados mais espaçados que a unidade 2 e 3 devido a maior ocorrência de rochas pelíticas (folhelhos e siltitos) e menor frequência de rochas carbonáticas. Dessa forma, mesmo o objetivo do trabalho sendo estudar as rochas carbonáticas, alguns folhelhos, argilitos e siltitos foram considerados a fim de manter o controle na amostragem. Estas rochas estão destacadas nos perfis.



A base da unidade química 4 pertence ao Membro Assistência. Nesta porção foram amostrados um nível margoso, um nível brechado a 195 m considerado o limite com a Formação Serra Alta e siltito. A parte superior desta unidade é marcada pela amostragem de um nível margoso e dois de rocha carbonática que estão em meio a folhelhos não betuminosos da Formação Serra Alta. As rochas carbonáticas são similares aquelas da Formação Taquaral, sendo enriquecidas em CaO (até 38,62%) e pobres em MgO (até 2,16%).

Dessa forma, devido as rochas carbonáticas do Membro Assistência na unidade química 4 não serem expressivas, serão detalhadas a seguir somente as unidades 2 e 3 quanto a assinatura química e ao comportamento dos isótopos do  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ .

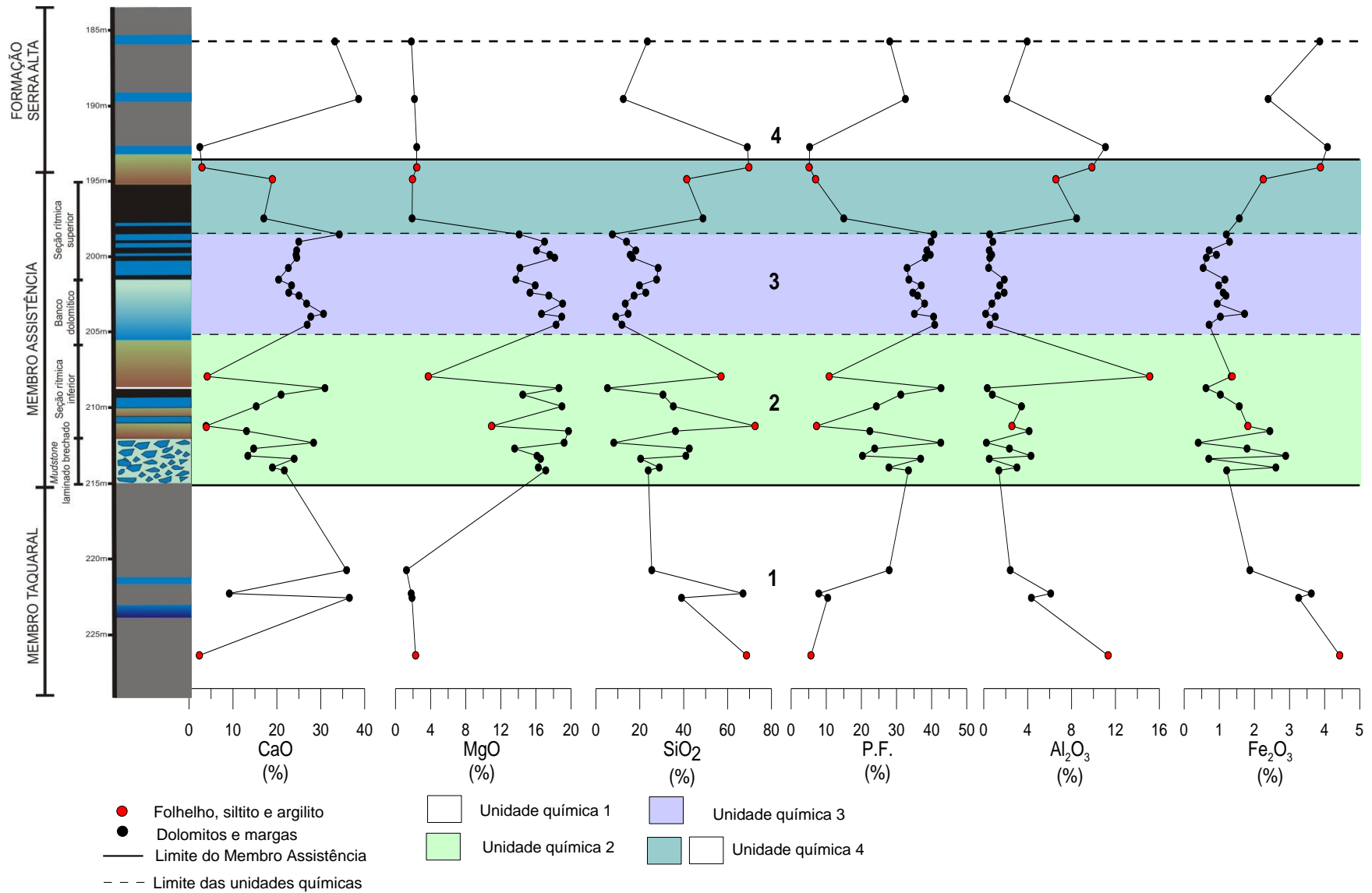


FIGURA 84 - Perfil quimioestratigráfico das rochas do testemunho de sondagem FP-01-PR com a variação dos óxidos maiores de cálcio, magnésio, silício, alumínio, ferro e perda ao fogo (P.F).

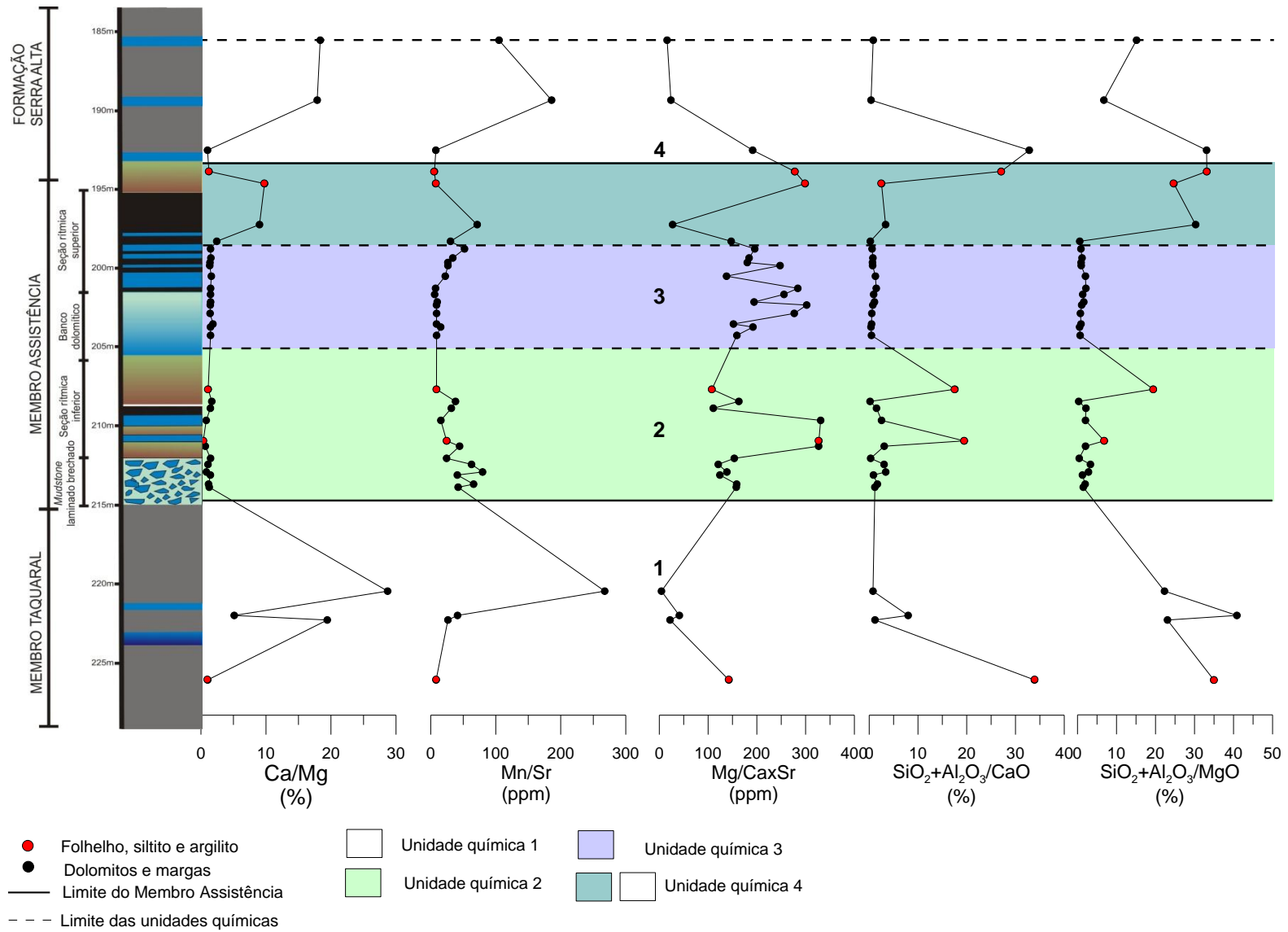


FIGURA 85 - Perfil quimioestratigráfico das rochas do testemunho de sondagem FP-01-PR com as razões entre alguns óxidos e elementos-traço.

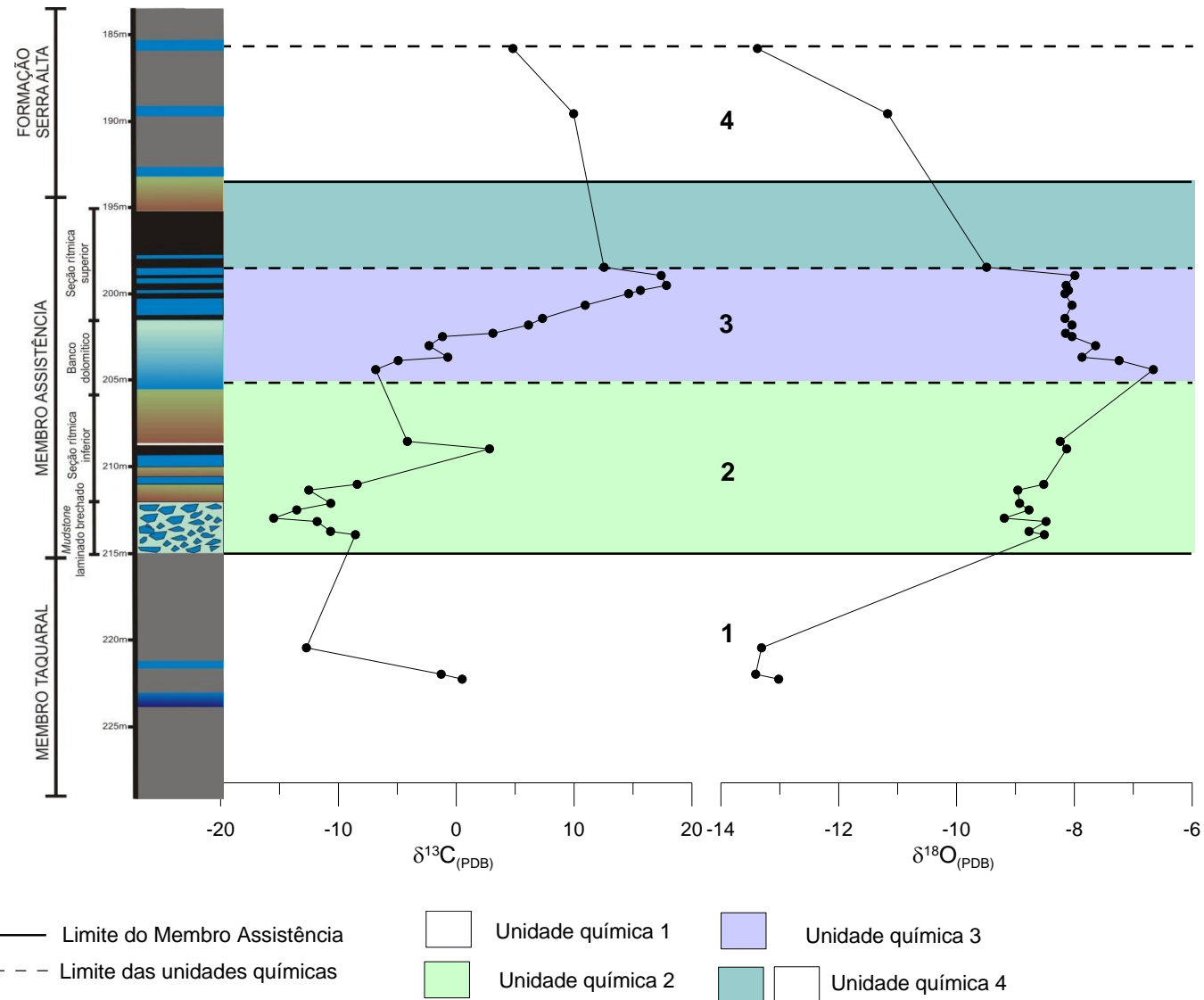


FIGURA 86 - Comportamento dos  $\delta^{13}\text{C}$  E  $\delta^{18}\text{O}$  das unidades químicas individualizadas no perfil levantado no testemunho de sondagem FP-01-PR.

### 5.2.2.1 Unidade química 2

Esta unidade compreende a base do Membro Assistência que é composta como visto no capítulo anterior por *mudstone* laminado brechado e por ritmito caracterizado por *mudstone* laminado a maciço, alternados por siltitos (seção rítmica inferior).

A amostragem nesta unidade foi mais densa que na unidade 1 (FIGURA 84) devido a maior ocorrência de rochas carbonáticas. A análise detalhada quanto ao comportamento será feita com base nos gráficos que relacionam os óxidos e elementos-traço com a profundidade (FIGURA 87). Nestes, as amostras de rochas pelíticas estão indicadas permitindo analisar somente as rochas carbonáticas.

No perfil químico dos óxidos maiores (FIGURA 84) observa-se que a média de CaO nesta unidade não se diferencia acentuadamente da unidade química 1. O mesmo não acontece com a média do MgO que mostra um enriquecimento nas rochas carbonáticas.

As rochas carbonáticas desta unidade são caracterizadas por uma tendência decrescente em CaO na porção correspondente a litofácies *mudstone* laminado brechado com o topo desta litofácies menos enriquecido nesse óxido. Para o topo da unidade, onde foi amostrado os *mudstones* da seção rítmica inferior, observa-se uma tendência crescente no CaO (FIGURA 84; FIGURA 87).

De maneira geral, a razão positiva Ca/Mg (FIGURA 85), indica a predominância do CaO sobre o MgO e o comportamento constante dessa razão e próximo de zero, mostra que a concentração desses óxidos se mantem ao longo da unidade e são similares. A razão Mn/Sr tende a diminuir para o topo devido o aumento de Sr. As razões  $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$  e  $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$  mostra comportamento diferenciado entre as amostras de silito e de rochas carbonáticas, com as primeiras apresentando razão bem positiva.

Na Unidade química 2 independente das litofácies compreendidas, há de maneira geral uma tendência decrescente para o topo referente ao comportamento dos óxidos de Mg, Si, Fe e Mn, além do elemento-traço cloro (FIGURA 84; APÊNDICE 3. 3 e APÊNDICE 3. 4).

As rochas carbonáticas são empobrecidas em  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  alcançando neste último 4,13% (FIGURA 87).

Algumas assinaturas são bem dispersas como no caso do  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  e do Sr. No caso dos óxidos de K e Ti pode-se observar comportamento similar. A base da unidade é caracterizada por uma tendência ascendente positiva o que torna o topo da litofácies *mudstone* laminado brechado mais enriquecida em  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{TiO}_2$ . Para o topo da unidade a assinatura apresenta tendência decrescente marcada pela diminuição dessas óxidos nas rochas carbonáticas da seção rítmica inferior.

Apesar do padrão disperso dos dados de Sr, observa-se de maneira geral uma tendência ao enriquecimento deste elemento para o topo desta unidade (FIGURA 87).

O enxofre possui variação inversa aos óxidos de K e Ti. A parte basal da unidade é marcada por uma tendência decrescente, o topo da litofácies *mudstone* laminado brechado apresentando-se menos enriquecido em S. Para o topo da unidade há uma tendência ascendente positiva com aumento de enxofre.

Quanto ao  $\text{P}_2\text{O}_5$  seus valores se mantem relativamente constante.

Destacam-se nesta unidade os dados da amostra MASP-29, topo da unidade. A assinatura química dessa amostra se diferencia tanto daquelas das rochas pelíticas quanto daquelas das rochas carbonáticas (FIGURA 87). Essa amostra é caracterizada por ser enriquecida em  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e Cl, e pobre em CaO, MgO e MnO. As análises de DRX realizadas indicaram presença de analcima, quartzo, calcita e argilominerais, composição similar a da amostra MAVT-41 relacionada ocorrência de cinza vulcânica (APÊNDICE 2. 11).

Quanto à assinatura isotópica das rochas carbonáticas desta unidade tanto o comportamento do  $\delta^{13}\text{C}$  e do  $\delta^{18}\text{O}$  possui tendência crescente. O  $\delta^{13}\text{C}$  apresenta-se negativo na porção correspondente aos dados do *mudstone* laminado brechado variando de -15,50 ‰ a -8,41‰ (FIGURA 86; APÊNDICE 2. 8). Para o topo da unidade a assinatura se torna menos negativa alcançando também valores positivos (2,82 ‰).

O  $\delta^{18}\text{O}$  possui comportamento homogêneo, variando de -8,13 ‰ a -9,19 ‰. Apesar de ser predominantemente negativo, a assinatura tende a se tornar menos negativa para o topo da unidade onde estão os *mudstone* da seção rítmica (FIGURA 86).

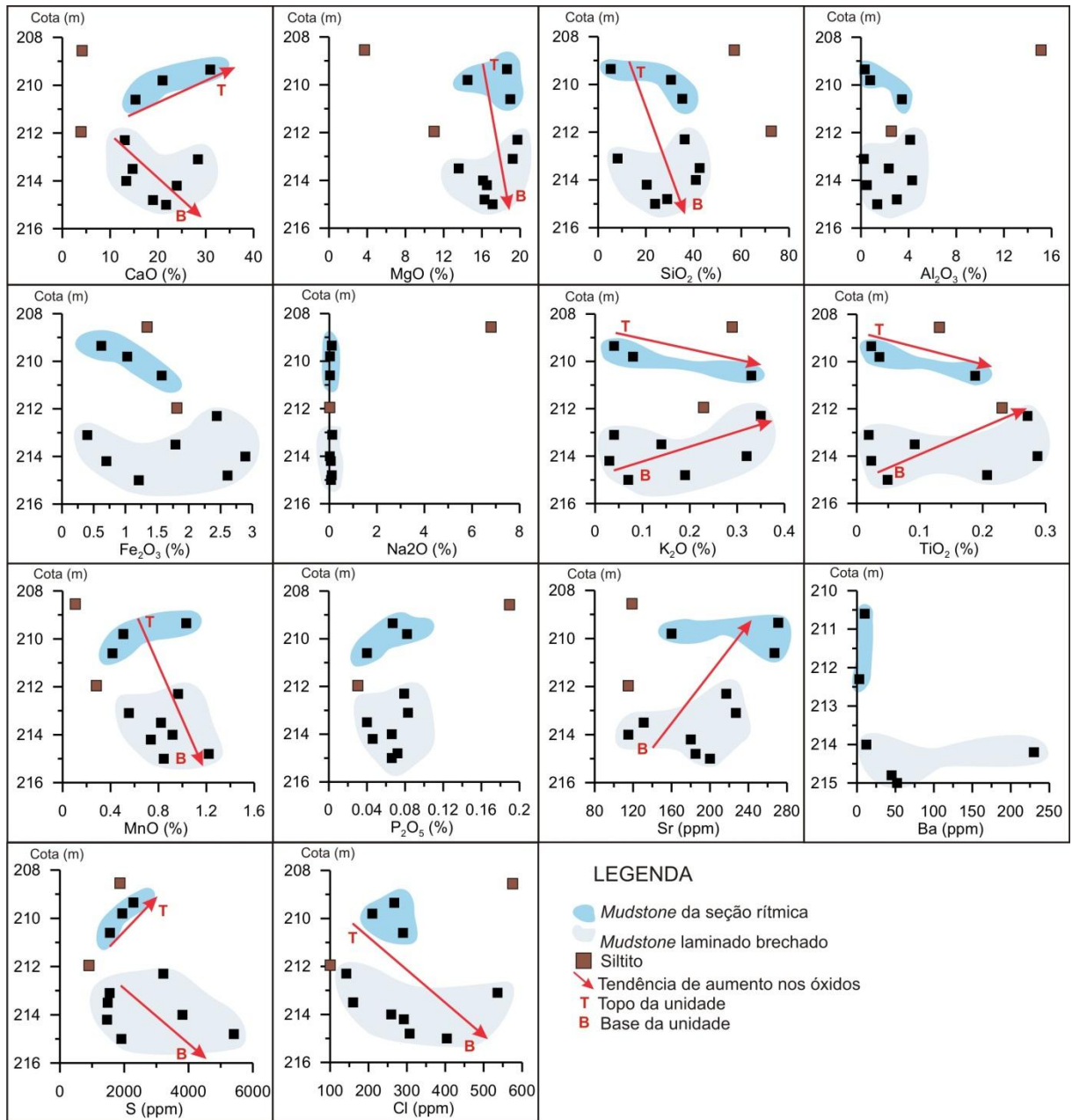


FIGURA 87 - relação dos óxidos e elementos-traço com a profundidade das amostras da unidade química 2.

### 5.2.2.2 Unidade química 3

Esta unidade possui maior expressividade em rochas carbonáticas. A amostragem foi mais densa como pode ser vista nos perfis químicos (FIGURA 84; FIGURA 85).

Compreende o “banco dolomítico” camada de 4 m composta pelas litofácies *mudstone a wackestone* bioclástico peloidal e *mudstone* laminado. Ocorre também *mudstone* laminado e maciço da seção rítmica superior.

De maneira geral, observa-se nos perfis químicos (FIGURA 84) que esta unidade é mais enriquecida em CaO que a unidade anterior. A média de MgO, SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> são semelhantes nas unidades 2 e 3. E o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> é menos enriquecido nesta unidade que na unidade 2.

A assinatura química de alguns óxidos e elementos-traço mostra o comportamento diferenciado das litofácies ocorrentes no banco carbonático e aquelas da seção rítmica superior. A individualização destas estaria evidenciada por quebras na assinatura e mudanças de comportamento. Isto pode ser verificado na assinatura do CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (FIGURA 84). Também nos óxidos de K e Ti (APÊNDICE 3. 3) e nos elementos-traço Sr e S (APÊNDICE 3. 4).

O banco dolomítico apresenta-se mais enriquecido em CaO e MgO em sua base tornando-se menos enriquecido nesses óxidos para o topo e mais enriquecido nos óxidos de Si, Al, Fe, Na e Ti e nos elementos Sr e S (FIGURA 88).

As rochas carbonáticas da seção rítmica possuem uma tendência ao enriquecimento para o topo da unidade nos óxidos de Ca, Mg, Al, Fe, Na, K, Ti e P. Além do enriquecimento ascendente também em Sr, S e Cl.

Há uma tendência geral nas rochas desta unidade ao enriquecimento de MnO para o topo da unidade.

De maneira geral, a unidade apresenta covariação inversa no que se refere ao comportamento isotópico do  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ . Sendo que  $\delta^{18}\text{O}$  é mais homogêneo e o  $\delta^{13}\text{C}$  apresenta assinatura mais variada (FIGURA 86).

A assinatura do  $\delta^{13}\text{C}$  é crescente ao longo da unidade (FIGURA 86), partindo de valores negativos na base (-6,84 ‰) e alcançando valores positivos para o topo da unidade (17,84 ‰ e 17,39 ‰) (APÊNDICE 2. 8).



Quanto ao  $\delta^{18}\text{O}$  possui comportamento essencialmente negativo, tornando-se mais negativo para o topo da unidade (FIGURA 86). Varia de -6,66 ‰ na base alcançando valores na faixa de -8 ‰ para o topo da unidade.

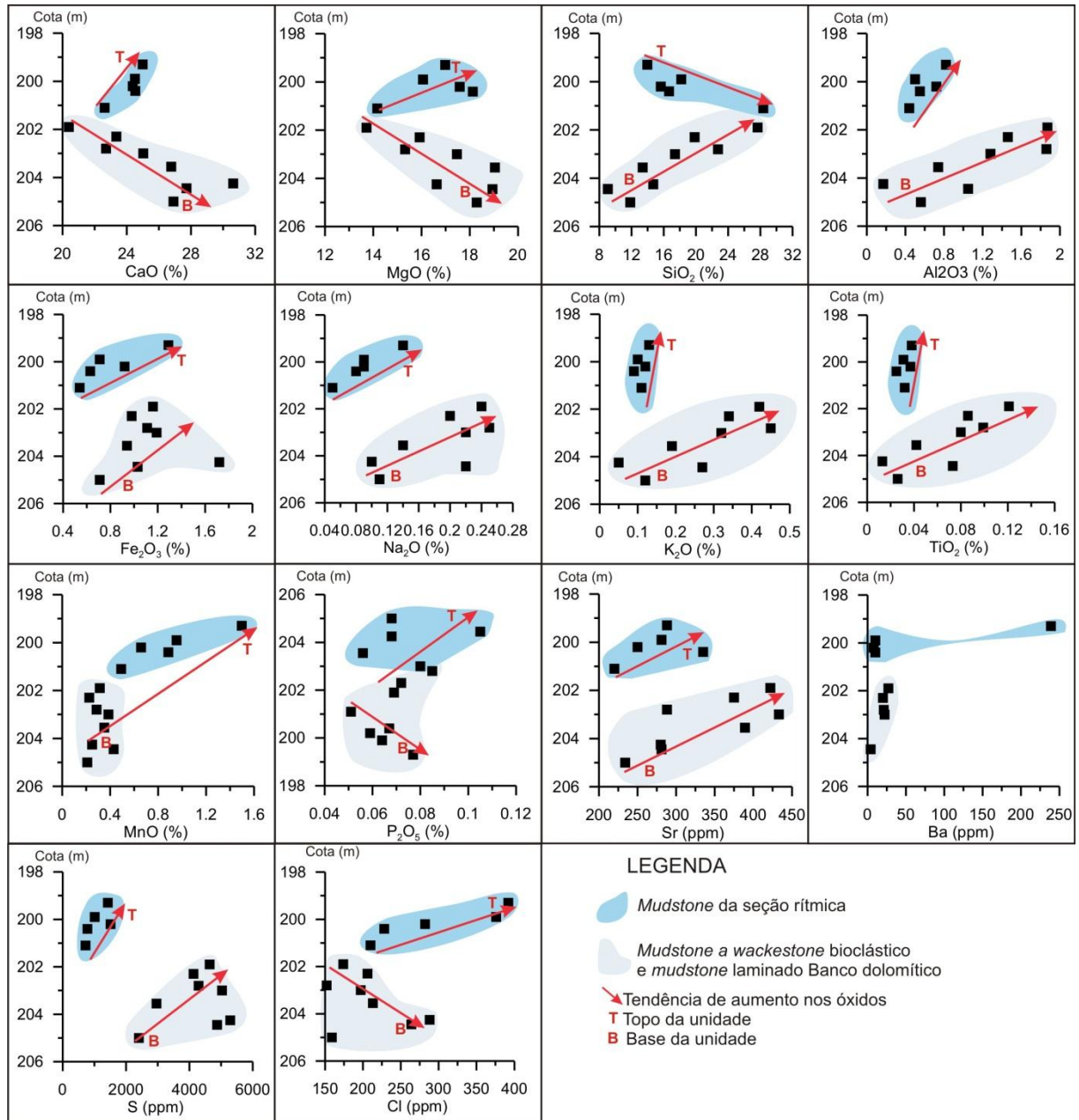


FIGURA 88 - Relação dos óxidos e elementos-traço com a profundidade das amostras da unidade química 3.

### 5.2.3 Integração dos resultados

O estudo das rochas carbonáticas da Pedreira Vitti e do testemunho de furo de sondagem FP-01-PR proporcionaram uma análise mineralógica, química e isotópica detalhada do Membro Assistência.

As unidades químicas individualizadas no testemunho abrangem desde o topo do Membro Taquaral até a base da Formação Serra Alta, compreendendo porções do Membro Assistência que não foram encontradas na Pedreira estudada. Dessa forma, este perfil compreende um intervalo completo dessa unidade.

As análises petrográficas mesoscópicas e microscópicas embasaram a individualização de quatro litofácies carbonáticas no Membro Assistência: *mudstone* laminado, *mudstone* maciço, *mudstone* a *wackestone* bioclástico peloidal e *mudstone* laminado brechado. Da mesma forma que na pedreira, aqui também foram discriminados através das análises de difratometria de raios X, a mineralogia predominante, intervalos essencialmente dolomíticos e margosos além da presença e identificação de argilominerais. As análises realizadas por fluorescência de raios X forneceram dados que embasaram a individualização de unidades químicas, e as análises de isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  acrescentaram informações que, juntamente com as análises das amostras da Pedreira Vitti, subsidiarão interpretações paleoambientais.

Busca-se neste item relacionar todos os dados obtidos neste perfil (FIGURA 89) o que dará subsídio para discursões posteriores.

As análises químicas, mineralógicas e isotópicas das amostras deste perfil não foram tão detalhadas quanto àquelas da Pedreira Vitti. Sendo que as unidades químicas foram estabelecidas de acordo com dados mais espaçados, dessa forma extrapolando o limite de algumas litofácies. Dentro do intervalo amostrado foram individualizadas quatro unidades químicas denominadas de unidades químicas 1, 2, 3 e 4.

A unidade química 1 compreende o intervalo correspondente ao Membro Taquaral, as unidades químicas 2 e 3 estão essencialmente no Membro Assistência e a unidade química 4 abrange a porção superior do Membro Assistência (parte inferior da unidade) onde predominam folhelhos betuminosos e parte do intervalo

pertencente a Formação Serra Alta (parte superior da unidade) (FIGURA 89). As unidades que melhor representam as rochas carbonáticas do Membro Assistência são as unidades químicas 2 e 3, descritas a seguir.

A unidade química 2 é representada pela litofácies *mudstone* laminado brechado na base, sobreposta pelas litofácies *mudstone* laminado e *mudstone* maciço, sendo que estas últimas litofácies fazem parte da seção rítmica inferior.

A litofácies *mudstone* laminado brechado representa a base do Membro Assistência, alcança 3 m de espessura onde se verificam intraclastos de *mudstones* laminados dispersos em uma matriz micrítica, estão marcadas pela presença de fraturas preenchidas por calcita e por betume além de gretas de ressecamento. Pode-se verificar através das análises de DRX, que os *mudstones* laminados brechados compreendem intervalos dolomíticos e margosos, tendo por minerais principais, dolomita e quartzo, em proporções variadas (FIGURA 73). Apresentam argilominerais do grupo da esmectita e interestratificados clorita/esmectita, sendo que estes últimos predominam. As análises químicas da litofácies *mudstone* laminado brechado caracterizaram um enriquecimento na base em CaO e S e uma tendência inversa de enriquecimento ascendente de K<sub>2</sub>O e TiO<sub>2</sub> (FIGURA 87).

Os *mudstones* maciços e laminados da seção rítmica inferior, mesoscopicamente e microscopicamente, são similares aos ocorrentes na Pedreira Vitti. As análises mineralógicas por DRX mostraram uma composição margosa predominante no *mudstone* laminado, e composição dolomítica no *mudstone* maciço do topo (última camada de rochas carbonáticas da unidade química 2). O *mudstone* laminado apresentou composição mineralógica particular, apresentando como minerais principais ankerita e quartzo, enquanto que o *mudstone* maciço de composição margosa sobrejacente, apresenta dolomita e quartzo (FIGURA 89). Estas rochas de composição margosa apresentam argilomineral do grupo da esmectita. O *mudstone* maciço de composição dolomítica apresenta como minerais principais, dolomita (90%) e quartzo (10%) e não ocorre argilominerais. De maneira geral, esses *mudstones* tendem a se enriquecerem da base para o topo nesta unidade em CaO, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e S. Tendência inversa pode ser observada nos óxidos de Si, Al, K, Ti e Fe (FIGURA 87).

De maneira geral, a unidade química 2 apresenta um enriquecimento para o topo em Sr e uma tendência inversa de maior concentração em sua base nos óxidos

de Mg, Si, Fe, e Mn além de Cl. Quanto à assinatura dos isótopos estáveis do  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ , estes possuem caráter ascendente positivo (FIGURA 89). Na base da unidade, os dados de isótopos  $\delta^{13}\text{C}$  da litofácies *mudstone* laminado brechado apresentam uma tendência inicial a se tornar mais negativa, variando a assinatura entre -8,56 ‰ a -15,50 ‰, invertendo posteriormente a assinatura para uma tendência positiva, -13,54 ‰ a -8,41 ‰, que se estende as litofácies *mudstones* laminados e maciços da seção rítmica inferior de -4,15 ‰ e 2,82 ‰. Quanto a assinatura do  $\delta^{18}\text{O}$  é essencialmente negativa sendo mais negativa na litofácies *mudstone* laminado brechado (-8,51 ‰ a -9,19 ‰) e menos negativas nas litofácies *mudstones* laminados e maciços da seção rítmica inferior (-8,13 ‰ e -8,24 ‰).

A unidade química 3 compreende uma camada espessa (~ 4 m) de rochas carbonáticas (banco dolomítico) composto pelas litofácies *mudstone* a *wackestone* bioclástico peloidal com intercalações de coquinitos de carapaças de *Liocaris* e *mudstones* laminados, além de camadas centimétricas de *mudstones* maciço e laminado da seção rítmica superior.

O banco dolomítico é caracterizado pelas análises de DRX por composição dolomítica e margosa cujos minerais principais são dolomita e quartzo. Não apresentam argilominerais. Quimicamente, esse intervalo é marcado por um enriquecimento ascendente nos óxidos de Si, Al, Fe, Na, e Ti e nos elemento-traços Sr e S (FIGURA 88). Comportamento inverso apresentam os óxidos de Ca e Mg, sendo mais enriquecido na base.

Os *mudstones* maciços e laminados da seção rítmica superior, de acordo com as análises de DRX, também apresentam composição dolomítica e margosa. Diferentemente dos *mudstones* da seção rítmica inferior deste testemunho, e dos *mudstones* dos ritmitos da Pedreira Vitti, estes não apresentaram reflexões dos argilominerais. Caracterizam-se pela presença de dolomita, quartzo, calcita e ankerita (FIGURA 89). Quimicamente, são caracterizados por uma tendência ao enriquecimento crescente para o topo das camadas carbonáticas dos óxidos de Ca, Mg, Al, Fe, Na, K, Ti, Mn e P, seguidos pelos elemento-traços Sr, S e Cl (FIGURA 88). O  $\text{SiO}_2$  apresenta comportamento inverso.

De maneira geral a assinatura dos isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  possui covariação inversa (FIGURA 89).

O  $\delta^{13}\text{C}$  possui tendência ascendente positiva partindo do banco dolomítico variando de -6,84 ‰ alcançado no topo 7,32 ‰ para os ritmitos que variam entre 10,94 ‰ e 17,84 ‰ (FIGURA 89).

Quanto ao  $\delta^{18}\text{O}$  de maneira geral se torna mais negativo ao longo da unidade. Na porção basal onde estão compreendidas as litofácies do banco dolomítico, observa-se uma tendência negativa para topo variando entre -6,66 ‰ e -8,16 ‰ (FIGURA 89). Para o topo da unidade onde estão compreendidos os *mudstones* maciços e laminados da seção rítmica superior a assinatura do  $\delta^{18}\text{O}$  se estabiliza variando entre -8,04 ‰ e -7,99 ‰.

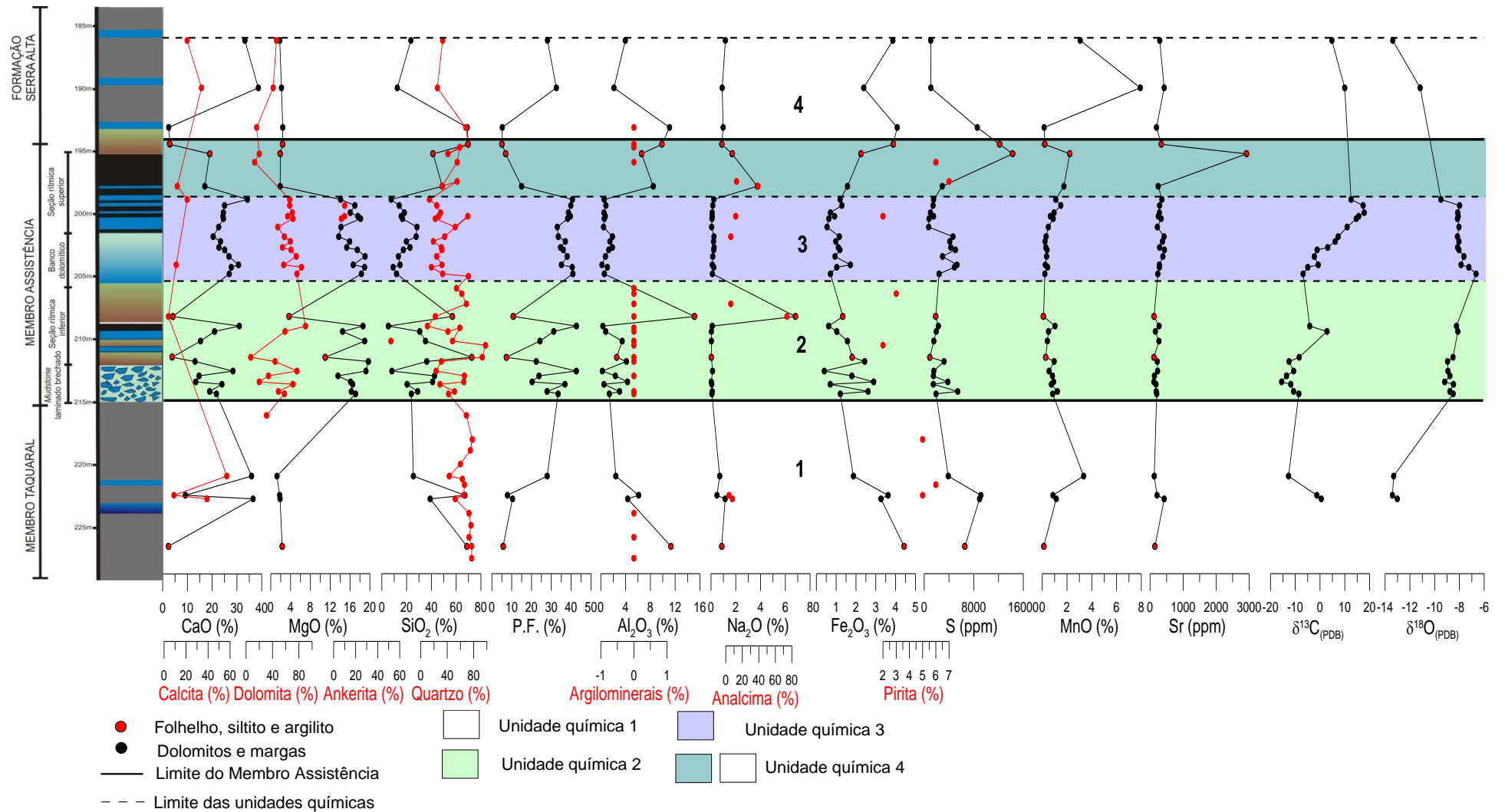


FIGURA 89 - Perfil integrado dos dados gerados por difração de raios X, fluorescência de raios X e isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  das rochas do testemunho de sondagem FP-01-PR.

## 6 CORRELAÇÃO QUIMIOESTRATIGRÁFICA

Neste capítulo busca-se a correlação entre os dados gerados a partir dos dois perfis levantados, um na Pedreira Vitti e o outro referente ao testemunho de furo de sondagem FP-01-PR. O objetivo é identificar intervalos químicos e isotópicos semelhantes em ambos os perfis a fim de correlacioná-los. Dessa forma, foram gerados gráficos relacionando os principais óxidos e elementos-traço além dos dados isotópicos de tais perfis.

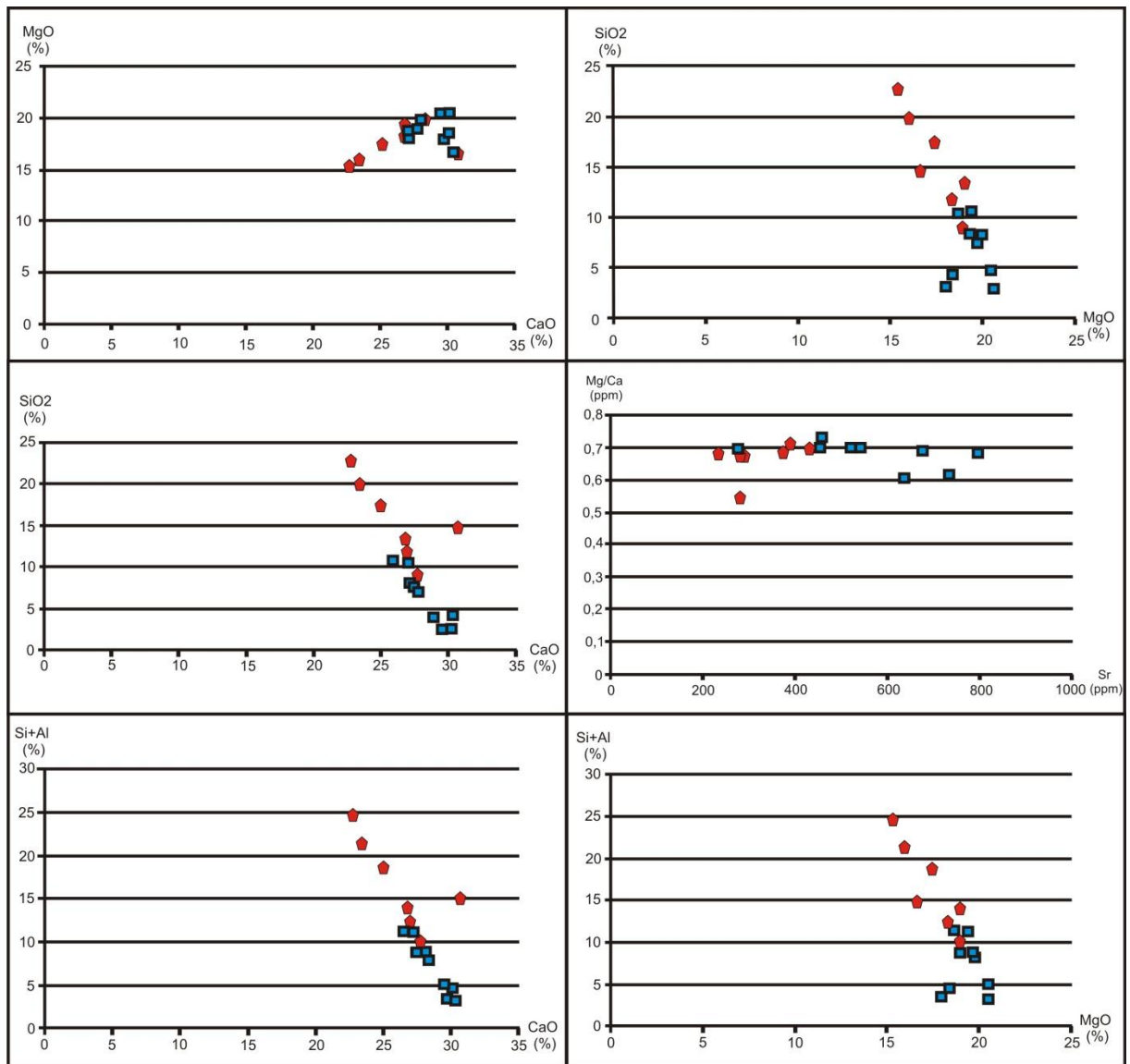
Primeiramente foi observada uma semelhança entre as litofácies definidas na Pedreira Vitti e a porção superior do Membro Assistência do testemunho de sondagem FP-01-PR. A fim de verificar se tais semelhanças litofaciológicas também correspondem a similaridades na assinatura química e isotópica, foram gerados inicialmente gráficos de alguns óxidos e elementos químicos que marcam o ambiente deposicional carbonático ( $MgO$ ,  $CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  e  $Sr$ ) relacionando os dados dos bancos carbonáticos (FIGURA 90) e aqueles dos *mudstones* laminados e maciços dos ritmitos (FIGURA 91) identificados em ambos os perfis.

A correlação química entre as rochas dos bancos dolomíticos, mostraram de maneira geral, que estas rochas seguem um *trend* principal, possuindo tendências semelhantes, apesar de na maioria dos casos diferirem quanto ao enriquecimento de determinados óxidos.

A razão  $CaO$  versus  $MgO$  mostrou a assinatura química similar com a sobreposição da maioria dos dados, com exceção de algumas rochas do banco dolomítico do testemunho que se mostraram menos enriquecidas em  $CaO$  e  $MgO$  (FIGURA 90).

A relação  $CaO$  vs  $SiO_2$ ,  $MgO$  vs  $SiO_2$ ,  $CaO$  vs  $Si+Al$  e  $MgO$  vs  $Si+Al$  (FIGURA 90) mostraram tendências semelhantes entre as rochas da pedreira e do testemunho estudado, porém concentrações contrastantes nesses óxidos. De maneira geral, estas rochas se tornam menos enriquecidas em  $CaO$  e  $MgO$  e mais enriquecidas em  $SiO_2$  e  $Al_2O_3$ . As rochas do banco dolomítico da Pedreira Vitti se mostraram mais enriquecidas em  $CaO$  e  $MgO$  do que aquelas do testemunho, sendo estas últimas comparativamente mais enriquecidas em  $SiO_2$  e  $Al_2O_3$ .

A relação Mg/Ca x Sr mostrou razões Mg/Ca positivas porém abaixo de 1 evidenciando a predominância do Ca sobre o Mg e apresentando valores relativamente constantes. Através desta relação observou-se a variação nos dados de Sr entre os perfis estudados, sendo que as rochas do banco carbonático da Pedreira Vitti mostraram-se mais enriquecidas em Sr que aquelas do testemunho de sondagem (FIGURA 90).



- Banco dolomítico Pedreira Vitti
- ◆ Banco dolomítico Testemunho FP-01-PR

FIGURA 90 – Relação entre os dados químicos principais das rochas ocorrentes no banco dolomítico da Pedreira Vitti e do testemunho de sondagem FP-01-PR.



A relação química entre os principais óxidos mostraram que as rochas carbonáticas das seções rítmicas da Pedreira Vitti e do testemunho de sondagem FP-01-PR possuem tendências similares (FIGURA 91).

A relação CaO versus MgO mostra sobreposição entre a maioria dos dados das rochas carbonáticas da seção rítmica da pedreira e do testemunho e também algumas dispersões em menor frequência (FIGURA 91). A maioria dos dados apresentam MgO relativamente constante variando entre 15% e 20% e CaO variando entre 15% e 30%. Os dados dispersos da Pedreira Vitti são mais enriquecidos em MgO enquanto que aqueles dispersos do testemunho são menos enriquecidos nesse óxido.

Observa-se o comportamento similar dos *mudstones* da seção rítmica de ambos os perfis nas relações CaO vs SiO<sub>2</sub>, MgO vs SiO<sub>2</sub>, CaO vs Si+Al e MgO vs Si+Al. Na relação CaO vs SiO<sub>2</sub> com a diminuição do CaO nas rochas de ambos os perfis ocorre um aumento do SiO<sub>2</sub>. Isto também é observado com a relação CaO vs Si+Al.

Na relação MgO vs SiO<sub>2</sub> e MgO vs Si+Al a concentração do MgO é predominantemente constante enquanto que SiO<sub>2</sub> varia entre valores próximos de 5% e 50%. A somatória dos óxidos de Si e Al também variam conseqüentemente (FIGURA 91).

Com a relação Mg/Ca vs Sr algumas similaridades bem como o comportamento diferenciado entre as rochas de ambos os perfis foram observadas. A razão Mg/Ca caracteriza-se pela predominância de valores < 1 evidenciando a maior concentração do Ca sobre o Mg. Ocorre algumas exceções onde as razões são mais positivas (>1) com a concentração do Mg ultrapassando a do Ca (amostras da Pedreira Vitti e uma do testemunho FP-01-PR).

Apesar da razão Mg/Ca estabelecer um *trend* entre os dados, os valores de Sr mostram um comportamento particular entre os *mudstones* da Pedreira Vitti e aqueles do testemunho estudado. Dessa forma observa-se que as rochas da pedreira são mais enriquecidas em Sr que as do testemunho (FIGURA 91).

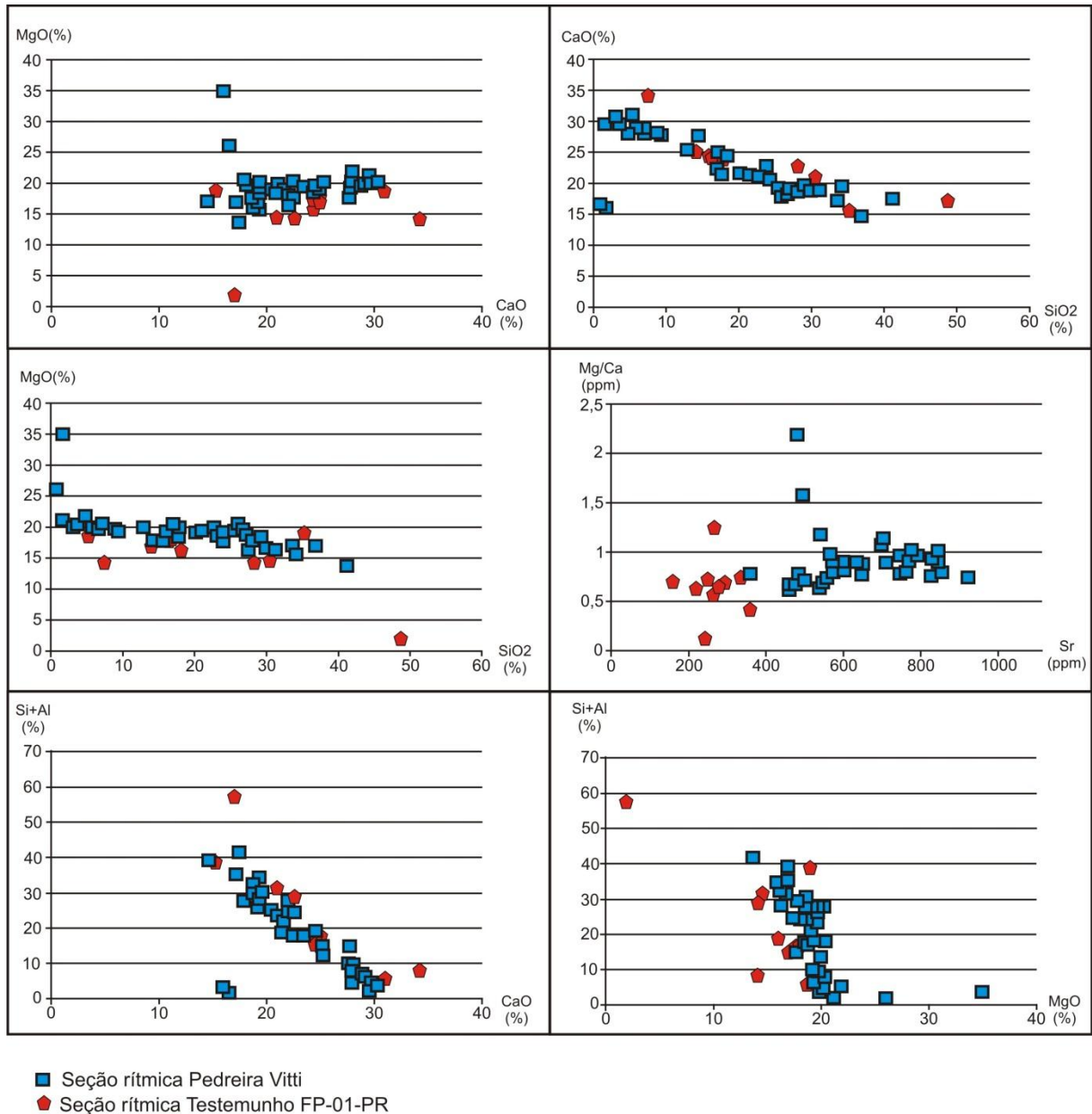


FIGURA 91 - Relação entre os dados químicos principais dos *mudstones* ocorrentes na seção rítmica da Pedreira Vitti e do testemunho de sondagem FP-01-PR.

A partir dessa correlação química inicial entre os perfis estudados, pode-se perceber que as litofácies de ambos os bancos dolomíticos apesar de apresentarem semelhanças, como diminuição do CaO com concomitante aumento de SiO<sub>2</sub>, a concentração desses óxidos é bem contrastante nos perfis. Enquanto que os dados das seções rítmicas são mais similares quanto a tendências e concentrações.

Vale ressaltar aqui que os perfis estudados distam aproximadamente 312 km um do outro. Pela localização, considerando também a paleofisiografia da plataforma Irati na época da deposição destas rochas, as mesmas podem ter sido submetidas a condições particulares simultaneamente, o que justificaria a existência de rochas carbonáticas com geoquímica relativamente diferente quanto à concentração de alguns óxidos. Essas condições serão abordadas nos capítulos seguintes.

A fim de estabelecer a correlação entre os dois perfis, o intervalo do testemunho de sondagem FP-01-PR correspondente a unidade química 3 foi redenominado aderindo a nomenclatura da Pedreira Vitti (3A- banco dolomítico e 3BC – seção rítmica). A finalidade além de mostrar as similaridades faciológicas é avaliar o comportamento químico e isotópico desses intervalos.

Dessa forma, foram gerados perfis químicos (FIGURA 92; FIGURA 93; FIGURA 94) dos 10 óxidos estudados ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e dos 4 elemento-traços (S, Sr, Ba e Cl) somente destes intervalos similares.

Pode-se observar que o banco dolomítico da Pedreira Vitti (unidade química A) correlacionando-se com o banco dolomítico do testemunho de sondagem FP-01-PR (3A) é mais enriquecido em  $\text{CaO}$  como mencionado anteriormente, e também mais enriquecido em  $\text{MgO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Sr, Ba e Cl (FIGURA 92; FIGURA 93; FIGURA 94). O banco dolomítico do testemunho estudado mostra-se mais enriquecido em  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  e S (FIGURA 92; FIGURA 93; FIGURA 94). A concentração do  $\text{MnO}$  em ambos os intervalos são similares.

A seção rítmica compreende na Pedreira Vitti as unidades químicas B, C e D e no testemunho de sondagem FP-01-PR a porção superior da unidade química 3 (3BC). Os perfis químicos mostram algumas similaridades na concentração de alguns óxidos, em especial entre as unidades químicas B e C da Pedreira Vitti e unidade química 3BC. Algumas concentrações contrastantes também são comuns.

A espessura entre as seções rítmicas são contrastantes. No testemunho a seção rítmica superior alcança ~7 m enquanto que na pedreira ocorre por volta de 16 m. No testemunho estudado além desse intervalo ser menos espesso, as rochas carbonáticas são menos frequentes que na pedreira.

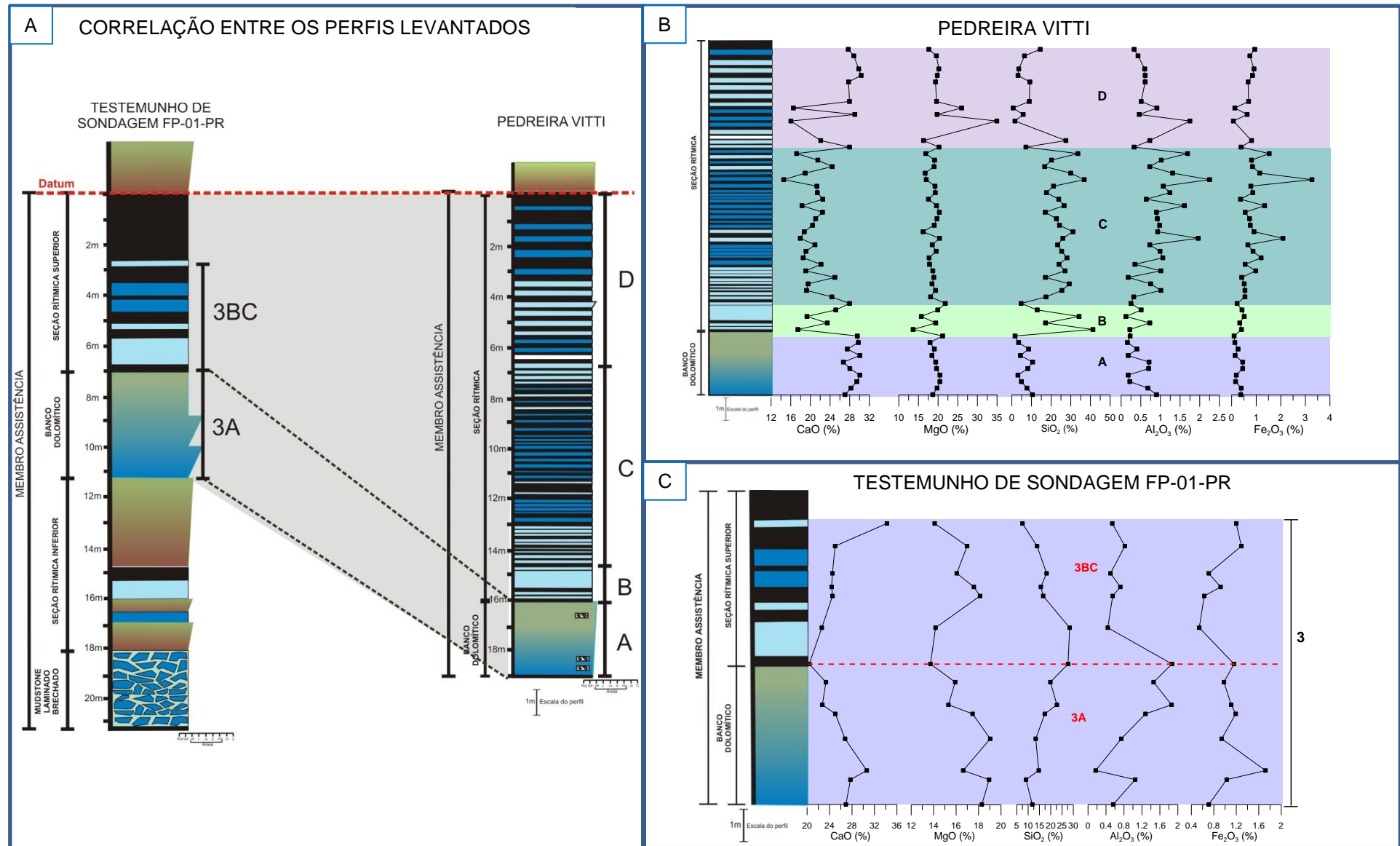


FIGURA 92 - Correlação química dos óxidos de Ca, Mg, Si, Al e Fe dos perfis levantados na Pedreira Vitti e Testemunho FP-01-PR. A) Correlação entre os perfis; B) Assinatura química das rochas carbonáticas da Pedreira Vitti; C) Assinatura química das rochas carbonáticas do testemunho de sondagem FP-01-PR.

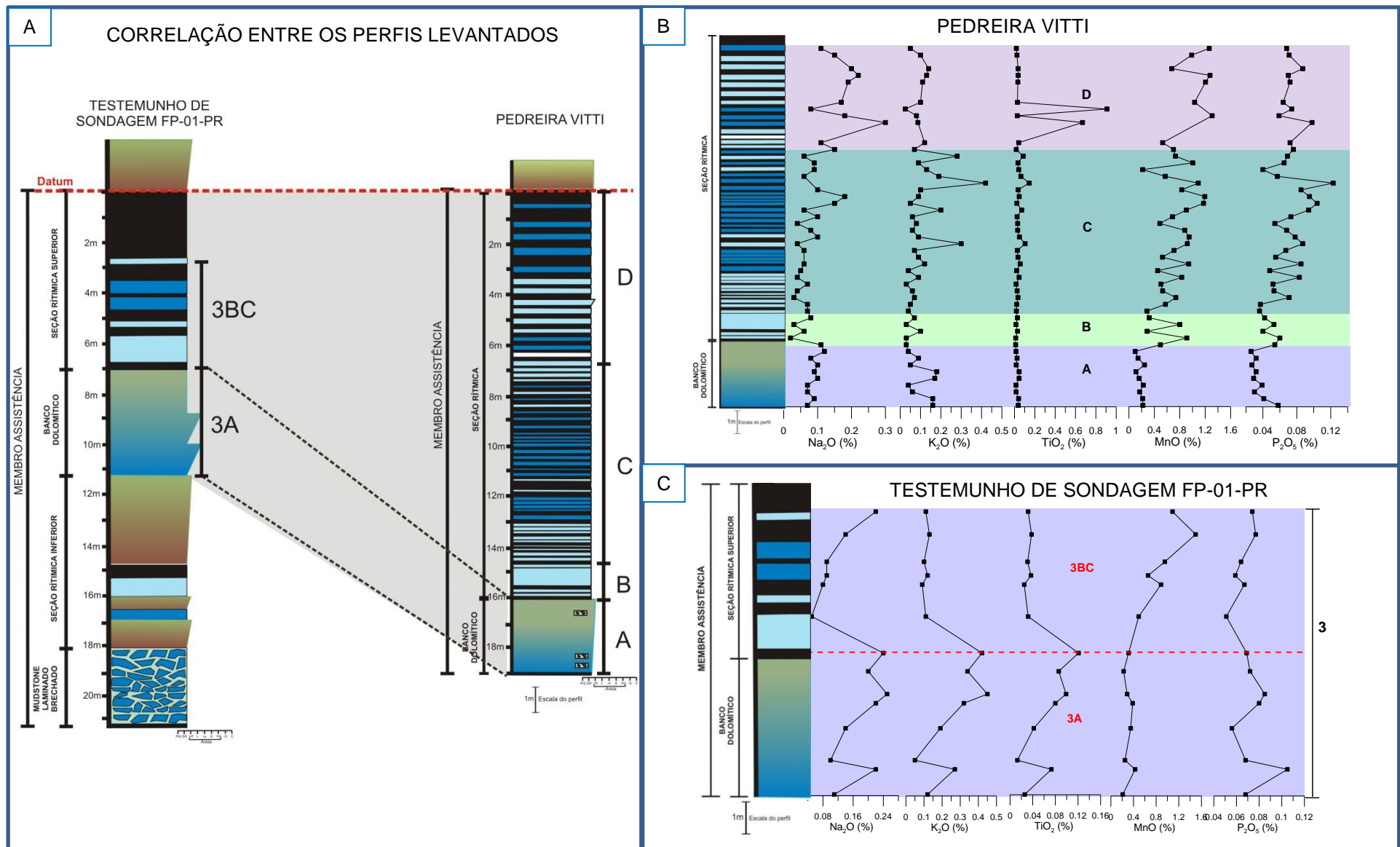


FIGURA 93 - Correlação química dos óxidos de Na, K, Ti, Mn e P dos perfis levantados na Pedreira Vitti e Testemunho FP-01-PR. A) Correlação entre os perfis; B) Assinatura química das rochas carbonáticas da Pedreira Vitti; C) Assinatura química das rochas carbonáticas do testemunho de sondagem FP-01-PR.

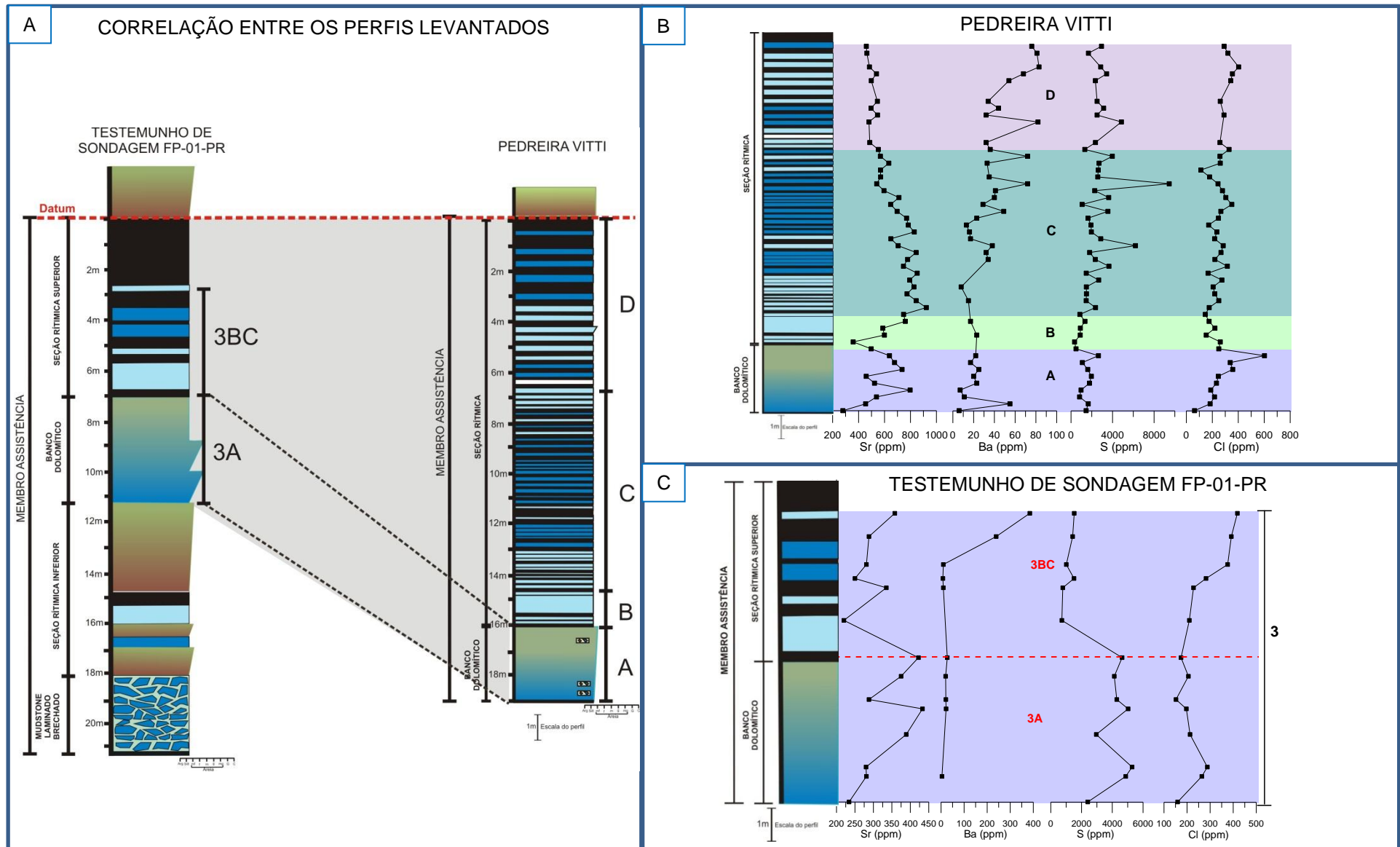


FIGURA 94 - Correlação química dos elemento-traços Sr, Ba, S e Cl dos perfis levantados na Pedreira Vitti e Testemunho FP-01-PR. A) Correlação entre os perfis; B) Assinatura química das rochas carbonáticas da Pedreira Vitti; C) Assinatura química das rochas carbonáticas do testemunho de sondagem FP-01-PR.

A menor expressividade das rochas carbonáticas do testemunho, que se refletiu numa quantidade menor de dados químicos, mineralógicos e isotópicos dificultou a correlação entre os perfis.

De maneira geral, observaram-se algumas similaridades na concentração média de alguns óxidos da unidade química 3BC (testemunho) com a B e C da Pedreira Vitti. Isso ocorreu com a concentração média de MgO, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, MnO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (FIGURA 92 B e C; FIGURA 93 B e C).

As rochas carbonáticas das unidades químicas B e C da pedreira são menos enriquecidas em CaO exceto na unidade D onde aumenta consideravelmente (FIGURA 92 B). São mais enriquecidas em MnO e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, este último se tornando menos concentrado na unidade D, se assemelhando ao intervalo 3BC (FIGURA 92 B). Também se destacam nas unidades químicas B, C e D (pedreira) a concentração dos elementos Sr, Ba e S por serem mais enriquecidos (FIGURA 92 B, C). Ao contrário destes o Cl se mostra mais enriquecido na unidade 3BC (testemunho).

A correlação isotópica dos intervalos de maior correspondência entre os perfis mostra o comportamento essencialmente similar (FIGURA 95). As unidades A (Pedreira Vitti) e a unidade 3A (testemunho), bem como unidades B, C e D e 3BC possuem correlação isotópica.

De maneira geral, o  $\delta^{13}\text{C}$  tende a se tornar mais positivo do banco dolomítico para a seção rítmica (unidades A a D e 3A a 3BC). Enquanto que  $\delta^{18}\text{O}$  apesar da pouca variação tende a se tornar mais negativo (FIGURA 95 B e C).

A fim de verificar a correlação entre os dados isotópicos não somente dos intervalos que possuem similaridades mineralógicas e maiores aproximações químicas como de todos os dados gerados do Membro Assistência, todos os dados de isotópicos foram plotado no gráfico  $\delta^{18}\text{O}_{(\text{PDB})}$  versus  $\delta^{13}\text{C}_{(\text{PDB})}$  (FIGURA 96).

A comparação isotópica mostrou a individualização das rochas em diferentes campos, bem como as similaridades entre as rochas do banco dolomítico e *mudstone* da seção rítmica tanto da pedreira quanto do testemunho (FIGURA 96). Atestando mais uma vez a correlação entre esses intervalos.

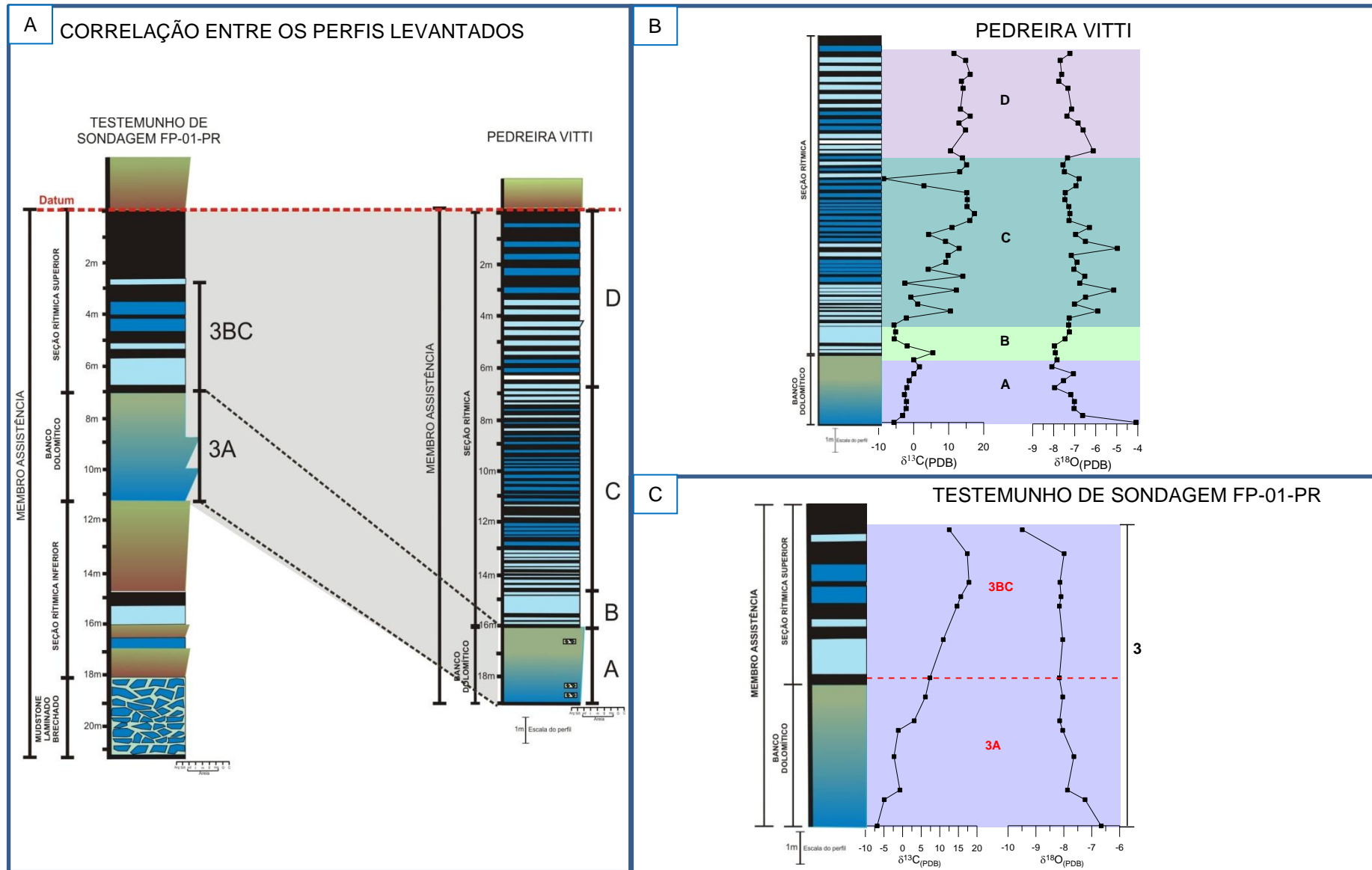


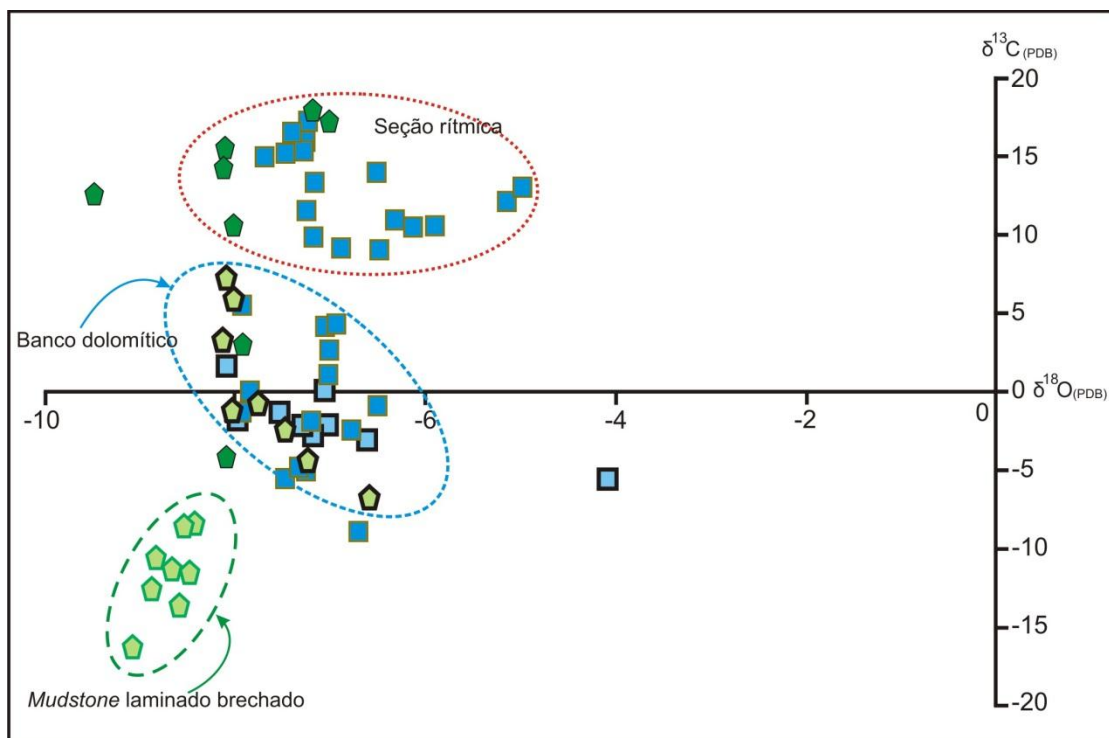
FIGURA 95 - Correlação dos isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  dos perfis levantados na Pedreira Vitti e Testemunho FP-01-PR. A) Correlação entre os perfis; B) Assinatura isotópica das rochas carbonáticas da Pedreira Vitti; C) Assinatura isotópica das rochas carbonáticas do testemunho de sondagem FP-01-PR.



Os *mudstones* da seção rítmica da pedraira e do testemunho predominam na porção superior do gráfico (FIGURA 96) abrangendo os dados mais positivos de  $\delta^{13}\text{C}$ , ocupam um intervalo entre as assinaturas de  $\delta^{13}\text{C}_{(\text{PDB})}$  9‰ a 18‰ e  $\delta^{18}\text{O}_{(\text{PDB})}$  -5‰ a -8‰.

As litofácies do banco dolomítico de ambos os perfis possuem valores intermediários entre os *mudstones* dos ritmitos e litofácies *mudstone* laminado brechado (testemunho FP-01-PR). Ocorrem entre valores de  $\delta^{13}\text{C}_{(\text{PDB})}$  de 8 ‰ a -6,84 ‰ e  $\delta^{18}\text{O}_{(\text{PDB})}$  entre -8,16 ‰ e -6,66 ‰.

As rochas da litofácies *mudstone* laminado brechado, descritas somente no testemunho estudado, não possui assinatura correlacionável com as litofácies descritas anteriormente. A assinatura isotópica das rochas desta litofácies apresenta comportamento particular, estando limitada ao intervalo caracterizado por  $\delta^{13}\text{C}_{(\text{PDB})}$  entre -15,50 ‰ e -8,41 ‰ e  $\delta^{18}\text{O}_{(\text{PDB})}$  -9,19 ‰ a -8,52 ‰ (FIGURA 96).



LEGENDA:

- *Mudstone* da seção rítmica - Pedreira Vitti
- Banco dolomítico - Pedreira Vitti
- ◆ *Mudstone* da seção rítmica - Testemunho FP-01-PR
- ◆ Banco dolomítico - Testemunho FP-01-PR
- ◆ *Mudstone* laminado brechado - Testemunho FP-01-PR

FIGURA 96 - Relação entre os dados isotópicos dos *mudstones* ocorrentes na Pedreira Vitti e no testemunho de sondagem FP-01-PR.

## 7 DISCUSSÃO

### 7.1 CORRELAÇÃO COM TRABALHOS ANTERIORES

As rochas da Formação Irati vêm sendo estudadas desde o século XIX, com foco na sedimentologia desta unidade e discussões que perduraram ao longo de décadas quanto à individualização de unidades estratigráficas.

Atualmente, a classificação da Bacia do Paraná mais adotada pela comunidade científica e conseqüentemente para as rochas do Irati, é a proposta por Milani (1997) e atualizada por Milani *et al.*, 2007. Esta classificação subdivide a Formação Irati em dois membros, Taquaral e Assistência e vem sendo consolidada desde a carta litoestratigráfica de Schneider *et al.*, (1974).

Apesar de alguns conceitos estratigráficos relativamente consolidados, vale ressaltar neste capítulo e discutir propostas de trabalhos antagônicos, porém detalhados quanto à sedimentologia, estratigrafia e discussões paleoambientais. Destaca-se nesse aspecto os trabalhos desenvolvidos por Araújo (2001), Hachiro *et al.*, (1993) e Hachiro (1996).

Considerando o trabalho de Araújo (2001) as rochas do Membro Assistência dos perfis estudados, podem ser correlacionadas àquelas depositadas durante o Trato de Sistemas de Mar Alto (TSMA) da Sequência Irati 1 (SI1), os Tratos de Sistemas Transgressivo e Mar Alto (TST e TSMA) da Sequência Irati 2 (SI2) e os Tratos de Sistemas Transgressivo e Mar Alto (TST e TSMA) da Sequência Irati 3 (SI3). Sendo que apenas as rochas do perfil levantado no testemunho de sondagem FP-01-PR compreende todo esse intervalo. As rochas carbonáticas da Pedreira Vitti são relacionadas ao TSMA do SI2 e aos Tratos de Sistemas Transgressivo e Mar Alto (TST e TSMA) do SI3.

No perfil levantado no testemunho de sondagem FP-01-PR, o Membro Assistência é caracterizado em sua base por *mudstones* laminados brechados de 3 m de espessura, com feições características de exposição subaérea, como gretas de ressecamento. Essas características são similares àquelas descritas por Araújo (2001) como típicas de ambiente de água rasa submetida episodicamente a exposições subaéreas. Podem ser definidas como ocorrentes no domínio

deposicional da rampa interna (acima do nível médio de ação das ondas normais). A estrutura grumosa presente tanto nos intraclastos quanto na matriz, bem como porções de *mudstones* fragmentados sem evidência de transporte, sobrepostos por *mudstones* laminados, evidenciam ação de ondas e deposição adjacente ao local de retrabalhamento, em lâmina de água relativamente rasa, episodicamente exposta.

Considerando a ocorrência das três Sequências Irati (SI1, SI2 e SI3), caracterizados por sistemas deposicionais Transgressivos (TST) e de Mar Alto (TSMA), observa-se que a litofácies brechada descrita na base do perfil do testemunho estudado se adequa as condições estabelecidas durante o TSMA da SI1. Este momento deposicional é caracterizado de acordo com Araújo (2001) por uma redução expressiva na taxa de criação do espaço de acomodação refletindo em mudança química das águas, devido concentração de  $\text{HCO}_3^{-1}$  e  $\text{CO}_3^{-2}$  aumentando a alcalinidade e favorecendo a implantação do sistema deposicional carbonático. A correlação entre os dados obtidos na base do Membro Assistência do testemunho e plotagem deste perfil no contexto deposicional da fase final do TSMA do SI1 apresentada por Araújo (2001), mostra que o perfil se adequa ao domínio deposicional de rampa interna carbonática caracterizado dentre outras litofácies por brechas carbonáticas (FIGURA 97).

Sobrejacente a litofácies *mudstone* laminado brechado do testemunho estudado ocorre uma associação rítmica carbonática-siliciclástica, caracterizada pela alternância de *mudstones* laminados e maciços com folhelhos e siltitos. Esse intervalo pode ser relacionado à implantação das condições deposicionais estabelecidas durante o TST da SI2. Segundo Araújo (2001) esse momento é caracterizado por uma mudança no cenário ambiental com aceleração do processo de diluição salina, em resposta a elevação da taxa de subida relativa do nível do mar, favorecendo significativo aumento batimétrico e sobrepujança do sistema siliciclástico com retração da fábrica carbonática. Essas condições teriam possibilitado a ocorrência dos rítmitos que devido o aumento na lâmina d'água pode ser relacionado ao domínio deposicional de rampa intermediária a distal (FIGURA 98).

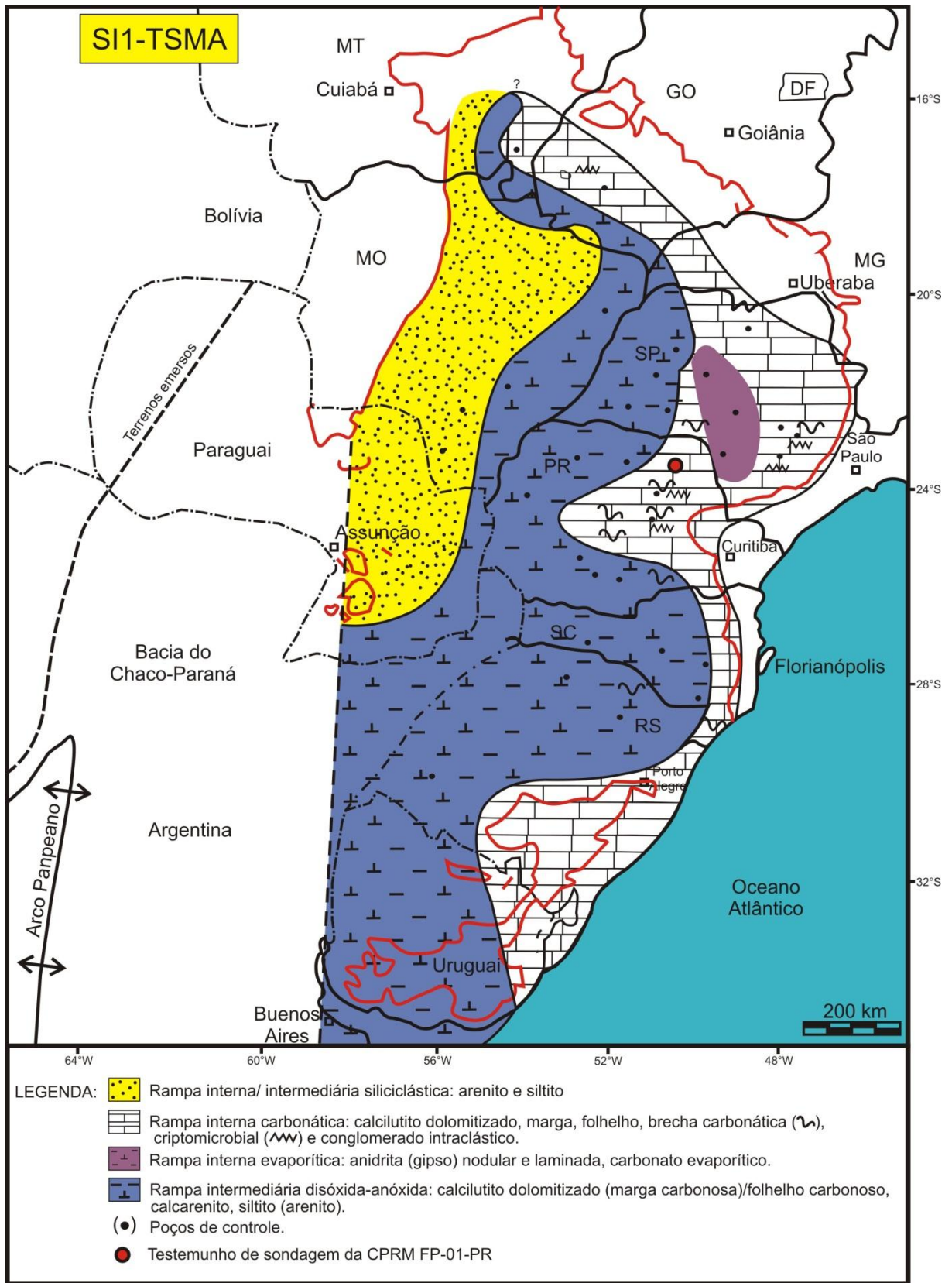


FIGURA 97 - Contextualização do perfil do testemunho de sondagem FP-01-PR nos domínios deposicionais relacionados a fase final do TSMA da SI1 de Araújo (2001).

A passagem do TST da SI2 para o TSMA desta mesma sequência deposicional é caracterizado no testemunho por uma espessa camada de quase 4 m de siltito sobreposto por 4 m de uma camada de rochas carbonáticas conhecida na literatura como banco dolomítico. Este intervalo carbonático é composto por *mudstone* laminado e *mudstone* a *wackestone* bioclástico peloidal.

O TSMA da SI2 também foi identificado na base da Pedreira Vitti pela ocorrência de uma camada essencialmente calcária (banco dolomítico) caracterizada pela alternância de *mudstones* laminados, *wackestone* bioclástico peloidal e três níveis centimétricos de brechas intraformacionais.

Esse intervalo carbonático com intercalações de bioclastos de carapaças de *Liocaris* foi relacionado por Araújo (2001) como ocorrente no domínio deposicional de rampa intermediária moderadamente raso afetado por variações relativas do nível do mar. A presença dos níveis de bioclastos e peloides foram relacionados a depósitos de tempestades. Isso teria sido favorecido pelo estabelecimento do TSMA com o raseamento do nível de base das ondas de tempestades. Nesse momento volta a predominar a fase estagnante com progradação do sistema carbonático.

A presença dos níveis de brechas intraformacionais no banco dolomítico da Pedreira Vitti evidencia deposição em lamina d'água relativamente rasa, que esporadicamente era exposta e retrabalhada por ação de ondas. Estes níveis não foram encontrados no banco dolomítico do testemunho, o que evidencia que as rochas da Pedreira Vitti estavam mais propícias a exposição e retrabalhamento por ondas que aquelas do testemunho. Isto é justificável pela localização da Pedreira Vitti mais na borda setentrional da plataforma Irati (FIGURA 98)

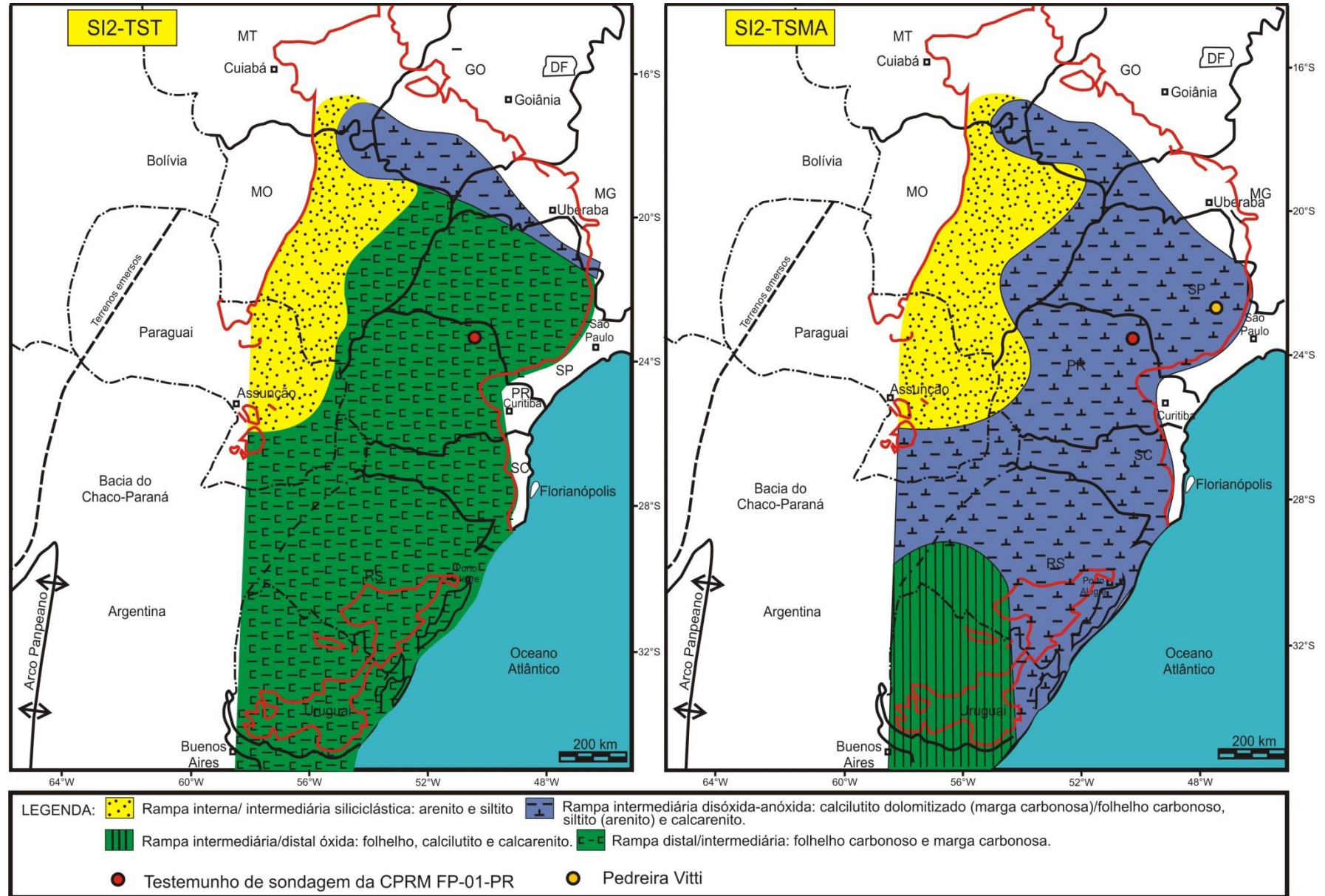


FIGURA 98 - Contextualização dos perfis do testemunho de sondagem FP-01-PR e Pedreira Vitti nos domínios deposicionais relacionados à fase intermediária dos TST e TSMA da SI2 de Araújo (2001).

Os TST e o TSMA da SI3 foram identificados tanto no testemunho de sondagem FP-01-PR quanto na Pedreira Vitti (FIGURA 99).

Em ambos os perfis estudados o intervalo associado ao TST da SI3, compreende associações rítmicas caracterizadas pela alternância de camadas delgadas de *mudstones* maciços e laminados com folhelhos betuminosos, variando entre 10 cm e 30 cm. O intervalo relacionado à implantação do TSMA dessa sequência foi relacionado ao padrão rítmico descrito anteriormente, porém com camadas mais espessas.

De acordo com Araújo (2001) na SI3 passa a vigorar um padrão rítmico ao norte do Arco de Ponta Grossa, refletindo influência climática, na escala de Milankovitch sobre a variação relativa do nível do mar. Isto se reflete na magnitude de alta frequência, da alternância de fases estagnantes e estratificadas, representadas respectivamente pelas litofácies carbonáticas e siliciclástica.

A correlação dos perfis estudados com aqueles descritos por Araújo (2001) possibilita identificar o limite inferior do Membro Assistência com o Membro Taquaral e proporciona um melhor entendimento da distribuição lateral das litofácies do Membro Assistência e compreender a representatividade dos perfis estudados (FIGURA 100).

Dessa forma, pode-se verificar que os perfis estudados estão localizados em dois pontos importantes, um próximo ao arco de Ponta Grossa e o outro mais a norte. Os dois perfis se complementam como visualizado na integração dos perfis explorados neste trabalho e aqueles estudados por Araújo (2001). O perfil do testemunho de sondagem FP-01-PR compreende desde a base até o topo do Membro Assistência. A Pedreira Vitti, não abrange o intervalo inteiro, porém a ocorrência das rochas carbonáticas são mais frequentes e representativas do empilhamento vertical a norte do Arco de Ponta Grossa. Tais características tornam as localizações, bem como os perfis considerados, ideais para o estudo das rochas carbonáticas do Membro Assistência.

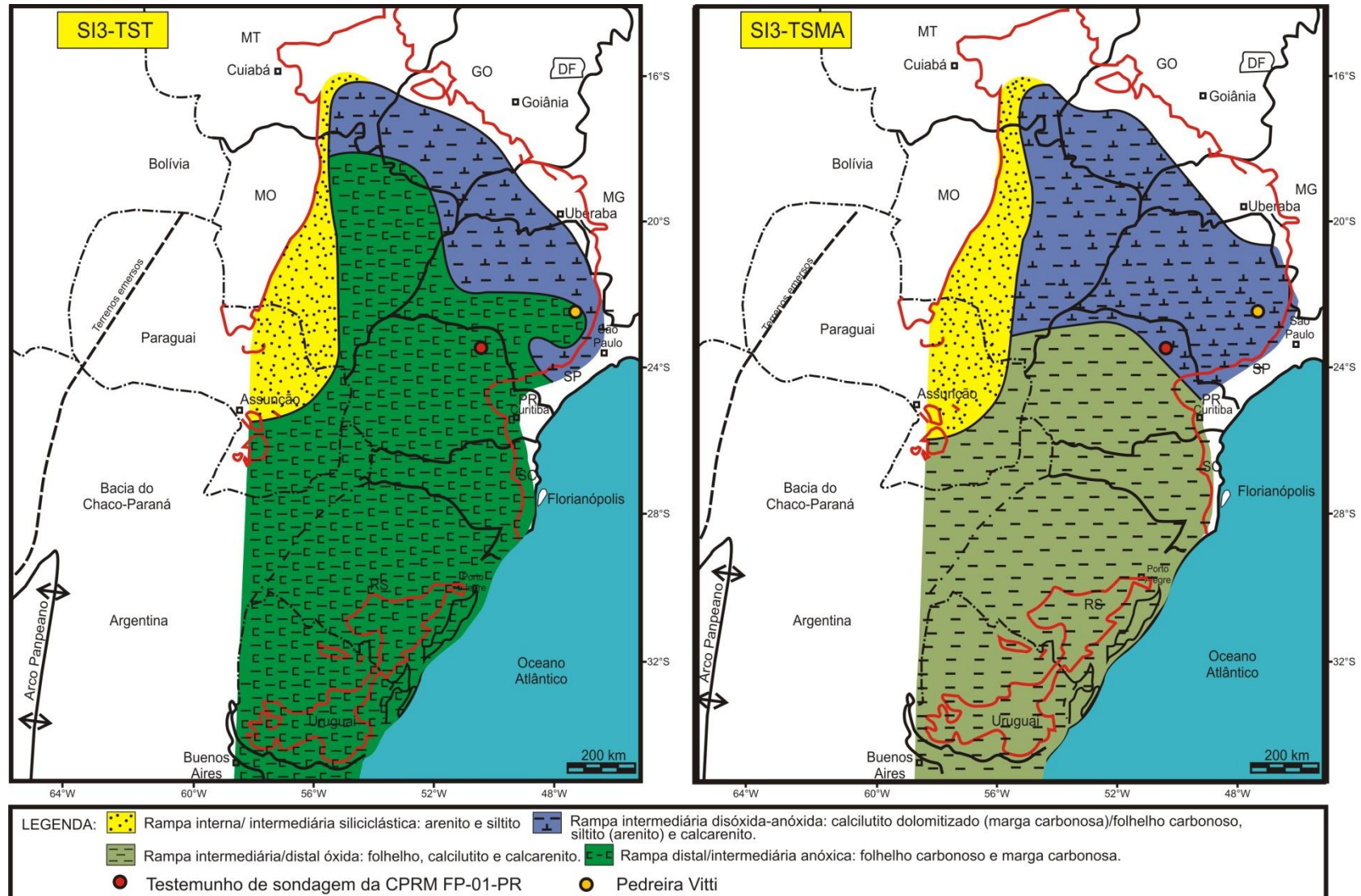


FIGURA 99 - Contextualização dos perfis do testemunho de sondagem FP-01-PR e da Pedreira Vitti nos domínios deposicionais relacionados á fase intermediária e final dos TST e TSMA da SI3 de Araújo (2001).



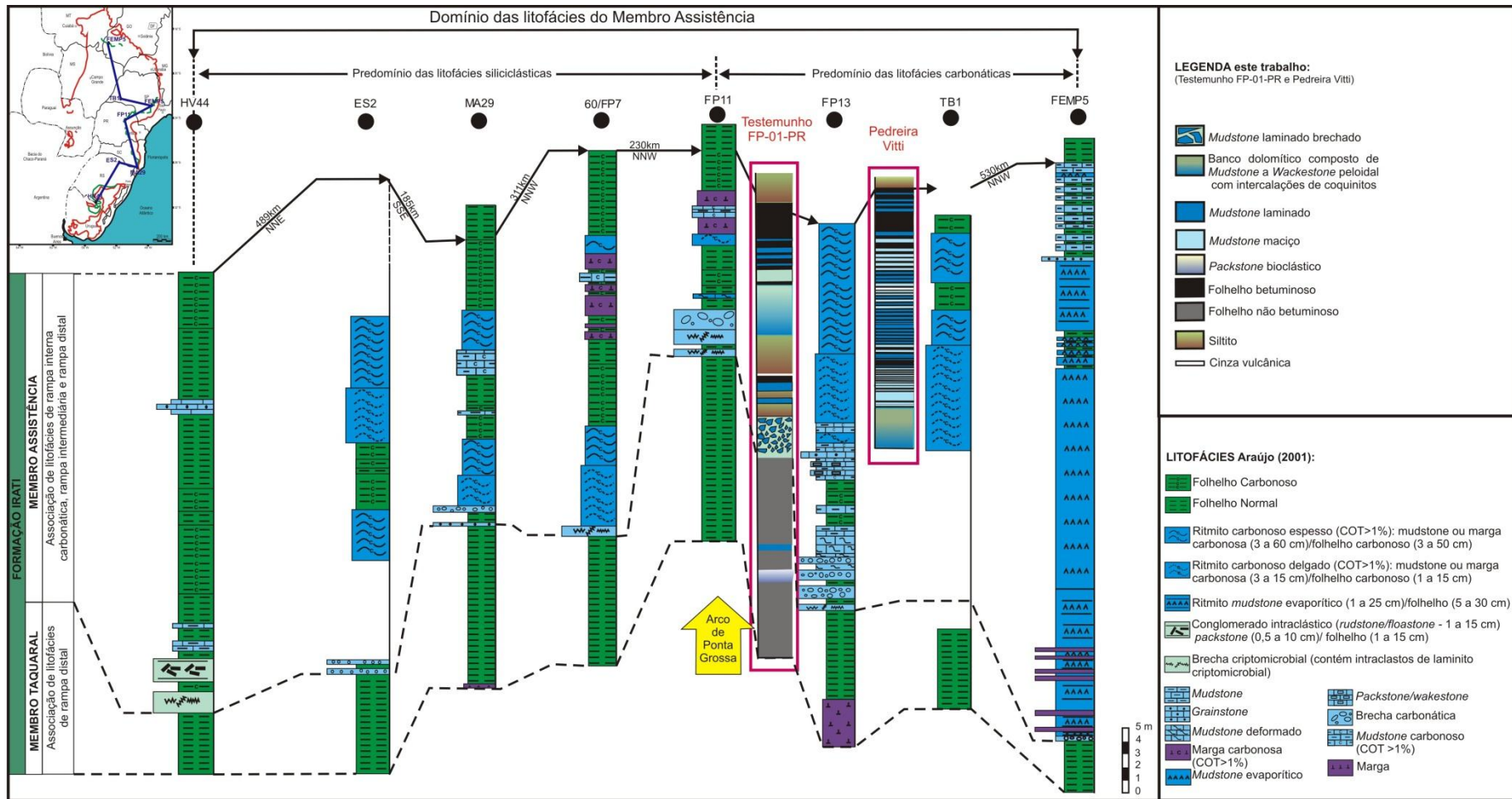


FIGURA 100 – Correlação dos perfis estudados com o empilhamento vertical e distribuição lateral das litofácies da Formação Irati estudadas por Araújo (2001).

Considerando o trabalho de Hachiro *et.al.*, (1993) e Hachiro (1996), pode-se verificar assim como na correlação anterior, similaridades entre as rochas descritas e as unidades estabelecidas por estes autores.

Como descrito no capítulo de geologia regional na classificação litoestratigráfica de Hachiro *et al.*, (1993), as rochas estudadas são consideradas como pertencentes ao Subgrupo Irati e Formação Assistência, sendo esta subdividida no Membros Morro do Alto e Ipeúna. Dessa forma, foi identificada uma seção quase completa da então considerada Formação Assistência (FIGURA 101).

O intervalo que compreende tanto as rochas do Membro Morro do Alto quanto do Ipeúna foi identificado apenas no testemunho de sondagem FP-01-PR. Na base deste, foi identificado um intervalo pertencente ao Membro Morro do Alto. A litofácies *mudstone* laminado brechado foi correlacionada a “camada de brechas evaporíticas”. A associação rítmica sobrejacente caracterizada pela alternância de *mudstones* laminados e maciços com folhelhos e siltitos foram relacionadas aos “Ritmitos Inferiores” (FIGURA 101). A “camada laje azul” não foi identificada.

		NORTE DO ARCO DE PONTA GROSSA		SUL DO ARCO DE PONTA GROSSA
		Fms. SERRA ALTA / CORUMBATAÍ		Fm. SERRA ALTA
SUBGRUPO       <b>IRATI</b>	Fm.       <b>ASSISTÊNCIA</b>	Mb. IPEÚNA	RITMITOS SUPERIORES	'CAMADA SUPERIOR DE FOLHELHOS BETUMINOSOS'
			RITMITOS DELGADOS	'CAMADA INTERESTRATIFICADA SUPERIOR'
			CAMADA BAIRRINHO	
		Mb. MORRO DO ALTO	CAMADA LAJE AZUL	CAMADA LAJE AZUL ('CAMADA INTERMEDIÁRIA')
			RITMITOS INFERIORES	'CAMADA INFERIOR DE FOLHELHOS BETUMINOSOS'
			CAMADA DE BRECHAS EVAPORÍTICAS	'CAMADA INTERESTRATIFICADA INFERIOR'
				CAMADA DE FOLHELHOS BETUMINOSOS
	Fm. TAQUARAL	Fm. TAQUARAL		
	Fms. PALERMO / TATUÍ	Fm. PALERMO		

Ocorrente nos perfis estudados

FIGURA 101 - Subdivisão litoestratigráfica do Subgrupo Irati segundo Hachiro *et al.* 1993 relacionando as rochas estudadas.

Segundo Hachiro (1996) o início da deposição das rochas da Formação Assistência na base do Membro Morro do Alto foi marcada por um ambiente restrito no centro-sul do Estado de São Paulo e extremo nordeste do estado do Paraná, propiciando a ocorrência de fácies evaporíticas. A plotagem do testemunho estudado no mapa de distribuição de fácies do Membro Morro do Alto de Hachiro (1996) mostra que este se encontra no intervalo descrito pela presença de brecha evaporítica caracterizada pela ocorrência de gipsita, anidrita, silixito, carbonatos e folhelhos (FIGURA 102). No caso do testemunho essa fase de ambiente restrito esta marcada pela presença de rocha carbonática brechada, não foi observada gipsita e anidrita.

De acordo com Hachiro (1996), essa fase regressiva foi a mais intensa durante a evolução do mar Irati, e melhor desenvolvida a norte do Arco de Ponta Grossa (na época falha Candido de Abreu Campo Mourão). Sendo esta porção menos propensa a intercâmbios com o restante da bacia. Nesse contexto, o recuo da linha de costa teria favorecido o retrabalhamento e transporte de material carbonático de estromatólitos e esteiras algáceas da borda oriental e nordeste da bacia, favorecendo a ocorrência de litofácies brechadas. Este autor também caracteriza uma lenta elevação eustática como condicionante da deposição dos ritmitos inferiores a norte do Arco de Ponta Grossa.

O intervalo relacionado ao Membro Ipeúna foi identificado tanto no testemunho quanto na Pedreira Vitti. Ambos os perfis são caracterizados por uma camada espessa, essencialmente calcária, conhecida na literatura como “banco dolomítico” como também pode ser verificado pela plotagem dos perfis no mapa de distribuição de fácies de Hachiro (1996; FIGURA 102). Nos perfis estudados, esse intervalo carbonático é caracterizado por intercalações de *mudstones* laminados com *mudstones* a *wackestone* bioclástico peloidal, sendo que na Pedreira Vitti adicionam-se a essas litofácies, intercalações de níveis de brechas intraformacionais. Este intervalo é correlacionável a “Camada Bairrinho”, descrita por Hachiro (1996) como formada por dololutitos e doloarenitos finos a médios e subordinadamente delgados níveis de brecha intraformacional. Segundo este autor, esse intervalo carbonático teria se desenvolvido em resposta a uma nova tendência regressiva.

Sobrejacente a esta camada essencialmente calcária, ambos os perfis são marcados pela ocorrência de uma associação rítmica calcário/folhelho betuminoso, cujas camadas se tornam mais espessas para o topo. Este intervalo pode ser correlacionado as unidades “Ritmitos Delgados e Superiores” de Hachiro *et al.*, (1993). Segundo Hachiro (1996), os ritmitos teriam se depositado em resposta ao estabelecimento de um ambiente calmo, com estabilidade no nível das águas associados a variações climáticas, que de maneira geral indica regularidade nos períodos de clima úmido e mais seco.

Correlacionando os dados da literatura mencionados anteriormente, com as unidades químicas individualizadas neste trabalho, observa-se que estas coincidem com algumas unidades determinadas por Araújo (2001) e Hachiro *et al.*, (1993), porém na maioria das vezes seus limites divergem (FIGURA 103).

Observa-se na FIGURA 103 que a unidade química 2 do testemunho coincide exatamente com o intervalo correlacionado ao Membro Morro do Alto (Camadas de brechas evaporíticas e ritmitos inferiores) de Hachiro *et al.*, (1993), e com o TSMA da SI1, TST da SI2 e parte do intervalo correlacionado ao TSMA da SI2 de Araújo (2001).

A unidade química 3A e 3BC do testemunho coincide respectivamente com a Camada Bairrinho e ritmitos delgados de Hachiro *et al.*, (1993), bem como a porção superior do TSMA da SI2 e TST da SI3 segundo a classificação de Araújo (2001).

Vale ressaltar que a unidade química A (basal) da Pedreira Vitti coincide exatamente com o intervalo da Camada Bairrinho e com aquele do TSMA do SI2.

Na Pedreira Vitti o TST da SI3 (ARAÚJO, 2001) e os Ritmitos delgados (HACHIRO *et al.*, 1993) coincidem, sendo que o mesmo intervalo foi individualizado neste trabalho nas unidades químicas B e C compreendendo também a porção basal da unidade química D (FIGURA 103).

A unidade química D individualizada na Pedreira Vitti, bem como a unidade química 4 individualizada no testemunho FP-01-PR são coincidentes ao intervalo correlacionado aos ritmitos superiores de Hachiro *et al.*,(1993) e ao TSMA da SI3 na classificação de Araújo (2001).

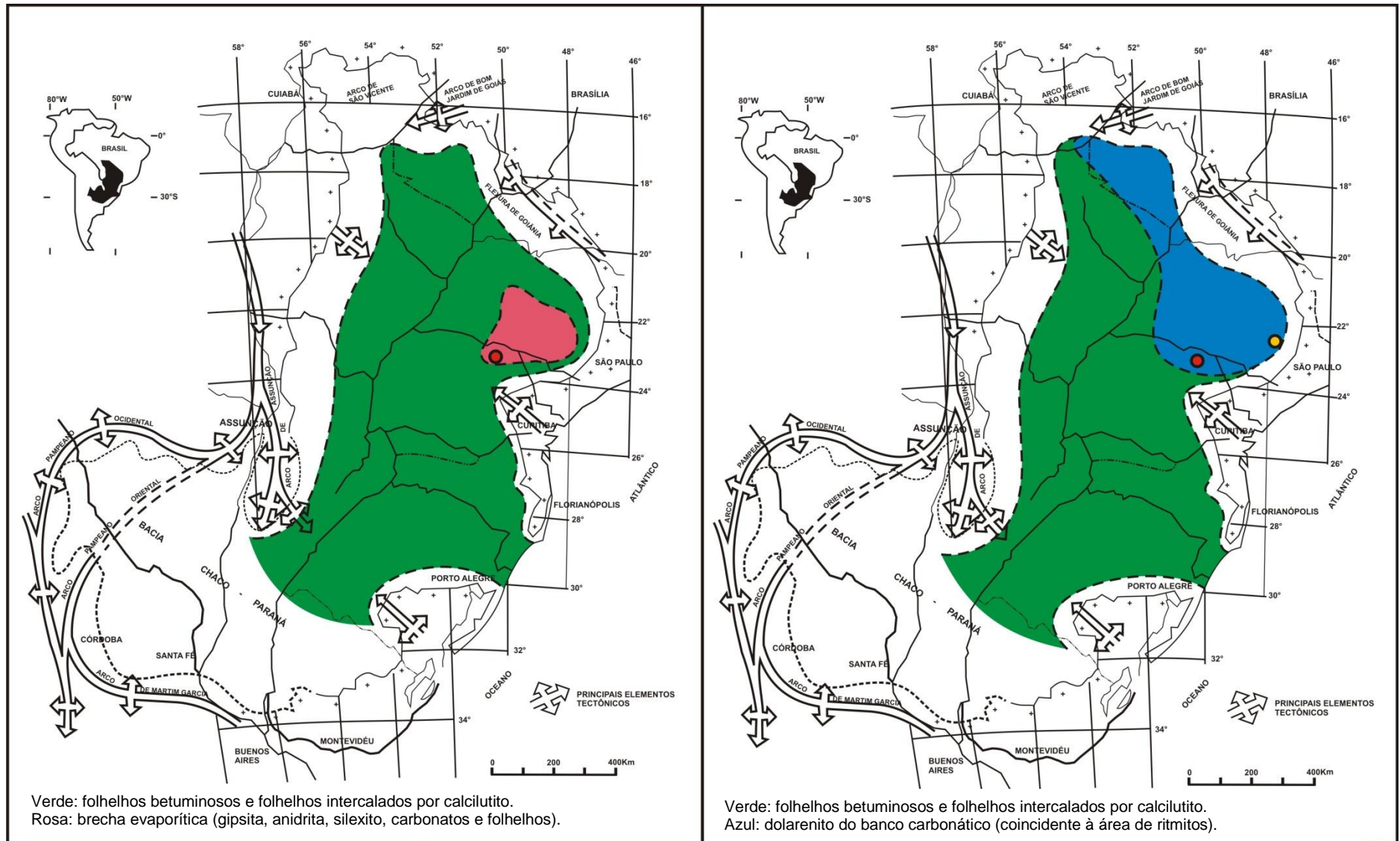


FIGURA 102 - Contextualização do Testemunho de sondagem FP-01-PR e Pedreira Vitti nos mapas de distribuição de fácies pelíticas e carbonáticas do Membro Morro do Alto (esquerda) e Membro Ipeúna (direita) de Hachiro (1996).

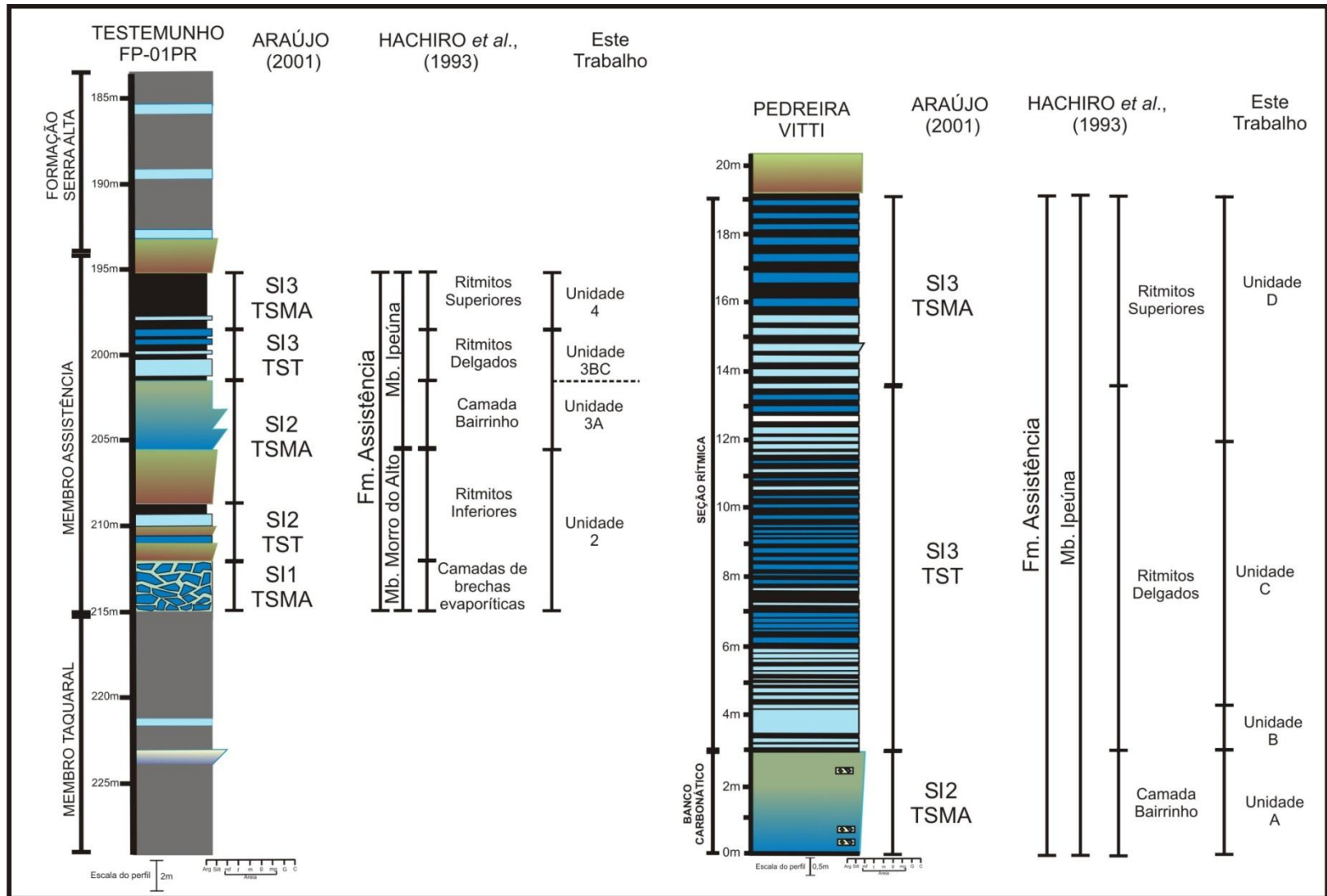


FIGURA 103 - Correlação das unidades químicas individualizadas nos perfis estudados (Testemunho de sondagem FP-01-PR e Pedreira Vitti) com as unidades de Araujo (2001) e Hachiro *et al.*, (1993).

Algumas discussões podem ser feitas quanto aos dados obtidos por análises de DRX em especial considerando os argilominerais identificados.

Nos perfis estudados a partir das análises de DRX foi verificada que as rochas carbonáticas ocorrentes consistem de dolomitos a margas. Os minerais predominantes são dolomita e quartzo, ocorrendo também traços de pirita, albita e analcima. Nas rochas do testemunho de sondagem FP-01-PR, além dos minerais citados ocorrem também calcita e ankerita. São frequentes em ambos os perfis a ocorrência de argilominerais.

O tratamento dos argilominerais pela técnica de DRX mostrou que predominam nas rochas carbonáticas do Membro Assistência analisadas os argilominerais do grupo da esmectita.

Nos folhelhos e camada argilosa (esta última relacionada a cinzas vulcânicas) além de esmectita ocorre interestratificados illita/esmectita.

Das rochas carbonáticas estudadas apenas aquelas da seção rítmica da Pedreira Vitti e seção rítmica inferior e *mudstone* laminado brechado do testemunho FP-01-PR, apresentaram as reflexões dos argilominerais.

Na seção rítmica da Pedreira Vitti ocorre argilominerais do grupo da esmectita o que foi verificado também nos rítmicos inferiores do testemunho estudado.

O intervalo correspondente ao *mudstone* laminado brechado mostrou característica diferenciada, apresentando além dos argilominerais do grupo da esmectita, interestratificados clorita/esmectita.

A composição dolomítica a margosa mostra-se similar ao que tem descrito na literatura sobre estas rochas (HACHIRO 1996; ARAÚJO 2001; ANJOS E GUIMARÃES 2008; SANTOS NETO 1993).

As características mineralógicas citadas, bem como os argilominerais identificados, possuem boa correlação com aqueles descritos por Anjos e Guimarães (2008) e por Santos Neto (1993) para as rochas da Formação Irati.

A correlação dos dados mineralógicos obtidos por DRX com aqueles descritos por Anjos e Guimarães (2008) para rochas alteradas e não alteradas por intrusões ígneas, confirmaram o caráter essencialmente sedimentar das rochas estudadas, onde não foi encontrado nenhum mineral índice de metamorfismo ou

influência hidrotermal como aqueles descritos por esses autores (como talco, lizardina e piroxênio).

Anjos e Guimarães (2008) descrevem nas rochas classificadas como “não alteradas por intrusões”, descritas na pedreira Sucal (GO), características mineralógicas dos pelitos e rochas carbonáticas que se assemelham ao verificado neste trabalho. Estes autores caracterizam os pelitos pela ocorrência de saponita (espécie de esmectita trioctaédrica magnesiana) além de quartzo, illita e dolomita. As rochas carbonáticas são descritas como dolomíticas com quartzo, calcita, illita e saponita além de pirita.

As análises de DRX realizadas por Santos Neto (1993) nas rochas do Membro Assistência no estado de São Paulo, também são similares as das caracterizadas neste trabalho. Este autor verificou com o tratamento para identificação de argilomineral a predominância de esmectita trioctaédrica além de interestratificados illita/esmectita.

Santos Neto (1993) sugere duas hipóteses para a predominância de esmectita. Uma delas é que apesar da idade, estas rochas não teriam sido submetidas a temperaturas suficientemente elevadas para ter ocorrido a ilitização, passando por pouca subsidência ou uma história térmica com gradientes suaves de temperaturas. Outra hipótese sugerida por este autor, tendo em vista o tempo de soterramento e a influência térmica do magmatismo Serra Geral nas rochas da Formação Irati, seria a composição da esmectita. Esta por ser trioctaédrica (rica em Mg e Fe) são menos reativas que aquelas dioctaédricas (rica em Al), o que explicaria a pouca ilitização.

Segundo Michelli (2003) a esmectita forma-se na natureza pela alteração de minerais ferromagnesianos, feldspatos cálcicos ou vidros vulcânicos devido a processos de intemperismo ou a partir de soluções hidrotermais ou deutéricas. Ainda de acordo com este autor em condições de elevada evaporação cátions divalentes ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) tornam-se altamente concentrados, floculam sílica e formam argilominerais como esmectita (montmorilonita) e illita.

As esmectitas trioctaédricas podem estar relacionadas à alteração de vidros vulcânicos em lagos alcalinos segundo Papke<sup>13</sup> (1970 citado por SANTOS NETO

---

<sup>13</sup> PAPKE, K.G. Montmorillonite, bentonite, and fuller's Earth deposits in Nevada. Ne. Bur. Mines Bull, vol.76, 43 p.



1993), à evaporação da água de lagos salinos de acordo com Papke<sup>14</sup> (1972 citado por SANTOS NETO 1993), bem como devido à alteração de sedimentos vulcânicos por águas termais enriquecidas em magnésio, Regis<sup>15</sup> (1978 citado por SANTOS NETO 1993).

De acordo com Santos Neto (1993) o não reconhecimento de magmatismo de afinidade básica, durante o Permiano nas regiões próximas à Bacia do Paraná poderia parecer um obstáculo à existência de analcima. De acordo com este autor, se o material vulcânico básico precipitasse em ambientes com abundância de sódio, alumínio e silício, em lagos salinos e alcalinos, propiciaria o aparecimento destas zeólitas.

Amaral (1987) identificou material vulcânico na Formação Irati. Trabalhos recentes estudaram em detalhe os níveis bentoníticos ocorrentes em São Mateus do Sul (mina da SIX-Petrobrás) datando-os em  $278.4 \pm 2.2$  Ma pelo método Shrimp U-Pb em zircão (SANTOS *et.al.*, 2006).

As camadas bentoníticas encontradas na Formação Irati tem sido interpretadas como provenientes da Província Choiyoi, um vasto arco magmático cálcio-alcalino desenvolvido entre 275 e 250 Ma segundo Coutinho *et al.*,<sup>16</sup> Milani e Ramos<sup>17</sup> (1988, 1998 citados por SANTOS *et al.*, 2006).

Segundo Santos Neto (1993) a existência de analcima na Formação Irati reforça a interpretação das condições de elevada salinidade e alto pH no ambiente de sedimentação.

A fim de correlacionar nível argiloso ocorrente na Pedreira Vitti e no testemunho estudado com os níveis bentoníticos (associados a cinza vulcânica) ocorrentes em São Mateus do Sul, amostras coletadas destes níveis na mina da SIX foram tratadas e analisadas pela técnica de DRX e comparadas às camadas argilosas cinza esbranquiçadas encontradas nos perfis estudados (APÊNDICE 2. 11). Estas rochas apresentaram composição mineralógica similar, com

---

<sup>14</sup> PAPKE, K.G. A sepiolite-rich playa deposit in Southern Neva. *Clay & Clay Minerals*, vol. 20, p.211-215.

<sup>15</sup> REGIS, A.J. **Mineralogia, physical, and axchangeable chemitry properties of bentonites from the western United States, exclusive of Montana and Wyoming.** U.S. Bur. Land Management Tech. Note 315, 35p,1978.

<sup>16</sup> COUTINHO, J.M.V., HACHIRO, J., COIMBRA, A, M., SANTOS, P.R. **Ash fall derived vitroclastic tuffaceous in the Permiano of the Paraná Basin and their provenience.** In: Ulbrich, H.E., Rocha Campos, A.C (Eds.), *Gondwana Seven Proceedings*, São Paulo, pp. 147-160, 1988.

<sup>17</sup> MILANI, E.J., RAMOS, V.A. **Orogenias paleozoicas no domínio sul ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná.** *Ver. Bras. Geocienc.* 28,473-484, 1998.

predominância de analcima em ambas (além de quartzo, argilominerais, albita e pirita). Esta comparação possibilitou identificar o nível ocorrente na pedra (MAVT-41) e no testemunho (MASP-29) como nível de cinza vulcânica.

Considerando as interpretações paleoambientais descritas anteriormente de acordo com Araújo (2001) e Hachiro (1996), pode-se considerar que o ambiente restrito reinante durante a deposição das rochas do Membro Assistência pode ter contribuído para a existência de condições químicas favoráveis a predominância dos argilominerais do grupo da esmectita. Dessa forma, podem-se interpretar os interestratificados (ilita/esmectita e clorita/esmectita) ocorrentes em menor proporção como argilas autigênicas resultantes do aumento da diagênese.

Como verificado nas análises realizadas neste trabalho, o ambiente Irati era rico em Mg, sendo as rochas carbonáticas essencialmente dolomíticas e argilominerais também composto por esse elemento. De acordo com Michelli (2003) nessas condições geoquímicas, na diagênese inicial formam-se interestratificados com esmectitas e com o soterramento e o avanço da diagênese, com consequente aumento da temperatura, essas condições podem ordenar as estruturas e formar corrensita e por fim clorita.

## 7.2 ISOTOPOS ESTAVES DE $\delta^{13}\text{C}$ E $\delta^{18}\text{O}$

As análises de isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  e  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  foram realizadas em 80 amostras das 90 amostras utilizadas nas análises químicas. Foram selecionadas apenas as rochas carbonáticas e margosas. Destas, 49 amostras compreendidas na Pedreira Vitti e 31 amostras compreendidas no testemunho de sondagem FP-01-PR.

De maneira geral, as análises isotópicas de ambos os perfis compreendendo as rochas do Membro Assistência apresentam assinaturas similares. A assinatura do  $\delta^{13}\text{C}$  partindo do banco dolomítico para o topo da seção rítmica em ambos os perfis, apresentam tendência positiva ascendente. Enquanto que a assinatura do  $\delta^{18}\text{O}$  apresenta tendência negativa ascendente apresentando em ambos os perfis valores mais negativos para o topo (FIGURA 95).

Na tentativa de compreender a assinatura dos isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  do Membro Assistência, buscou-se plotar os dados obtidos em gráficos de referência na literatura, que relaciona a composição das rochas carbonáticas e assinatura isotópica com ambiente de formação e alteração dessas rochas. Buscou-se também relacionar os dados obtidos com o que tem disponível para Permiano, a fim de identificar possíveis assinaturas primárias ou diagenéticas.

Um dos questionamentos levantados ao se estudar isótopos estáveis de  $^{13}\text{C}$  e  $^{18}\text{O}$  em rochas carbonáticas antigas, é identificar dentro do que foi amostrado, se os resultados obtidos refletem a formação de uma fase carbonática primária ou possui interferência de alterações diagenéticas. Segundo Hudson (1977) em muitos casos, composições originais são substancialmente preservadas, podendo a partir de então, serem seguidas por seqüências de eventos diagenéticos.

Estudos de isótopos estáveis geralmente envolvem comparações com a composição predefinida para determinado período geológico a partir de minerais depositados em equilíbrio isotópico com a água do mar e sua temperatura.

A fim de estabelecer tais comparações partiu-se da composição do  $\delta^{18}\text{O}$  considerada para o Permiano a partir de invertebrados e cimentos carbonáticos marinhos (ALLAN e WIGGINS, 1993). Observou-se que a grande maioria dos dados não se enquadra ao gráfico devido os dados de  $\delta^{13}\text{C}$  ou serem mais negativos ou mais positivos do que o intervalo disponível. De maneira geral os dados de  $\delta^{18}\text{O}$  oscilam entre -6 ‰ a -9 ‰. Os poucos dados plotados no gráfico (FIGURA 104) são representativos da composição do  $\delta^{18}\text{O}$ . As rochas dos perfis estudados possuem  $\delta^{18}\text{O}$  mais leves que o intervalo apresentado como típico do Permiano, o que pode indicar dentro desse contexto maior temperatura de formação dessas dolomitas.

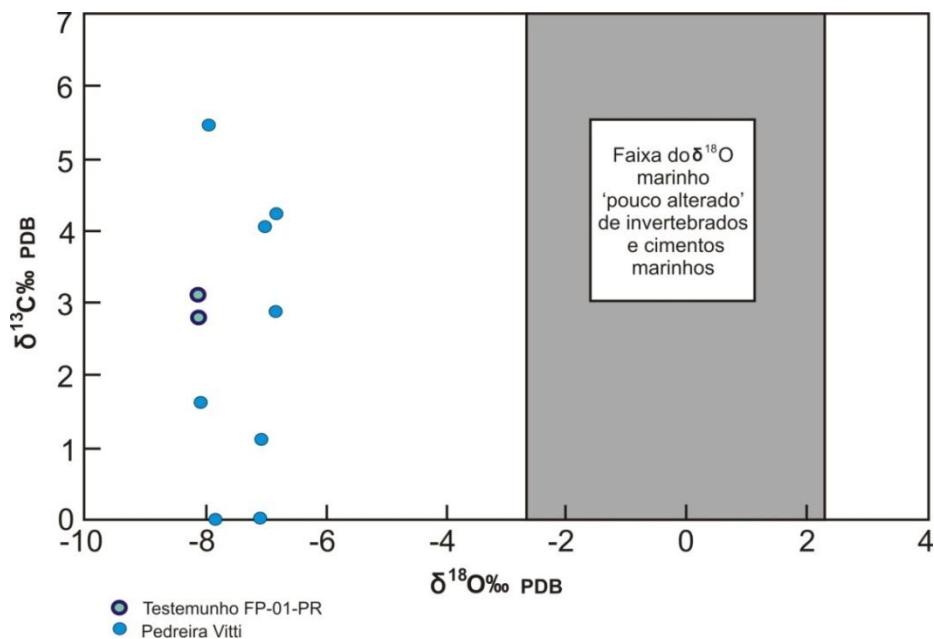


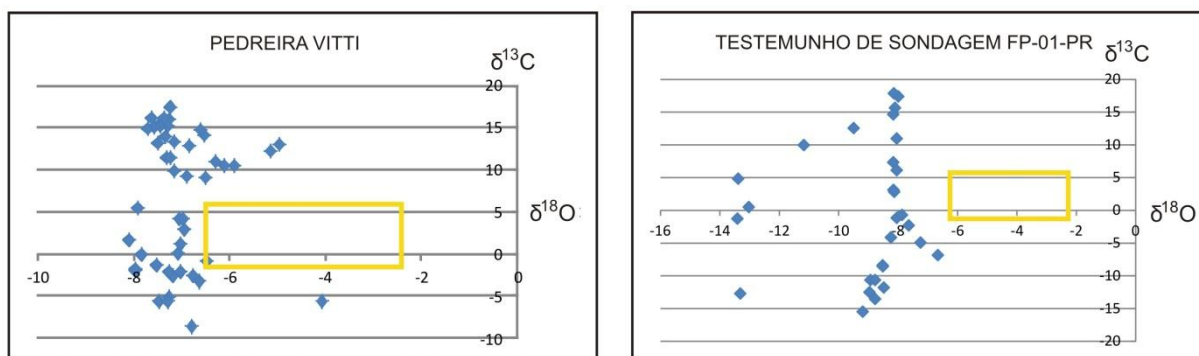
FIGURA 104 – Comparação da assinatura do  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  das rochas estudadas com a faixa do  $\delta^{18}\text{O}$  pouco alterado de invertebrados e cimentos carbonáticos marinhos do Permiano. Fonte: Allan e Wiggins (1993).

Também foram considerados os campos isotópicos dos carbonatos marinhos do Neopermiano sem efeito diagenético, de acordo com Veizer *et al.*,<sup>18</sup> (1999 citado por ARAÚJO 2001), para correlação com os dados obtidos. De acordo com este autor o Neopermiano é caracterizado por  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  entre -1 ‰ e +5,5 ‰ e  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  entre -2,5 ‰ e -6,5 ‰.

A comparação estabelecida entre os dados mostram ausência de correlação (FIGURA 105), o que evidencia ou uma composição diferenciada do mar Irati em comparação à predefinida para o mar do Neopermiano, posto que se trata de um mar restrito/lago, ou superposição de eventos diagénéticos provocando alteração da assinatura isotópica.

A fim de acrescentar informações e direcionar as correlações considerando a mineralogia das rochas estudadas optou-se pela comparação destas com as dolomitas de baixa e alta temperatura segundo Allan e Wiggins (1993).

<sup>18</sup> VEIZER, J., BRUCKSCHEN, P., DIENER, A., PODLAHA, O. G., CARDEN, G. A. F., JASPER, T., KORTE, C., STRAUSS, H., AZMY, K. ALA, D., BUHL, D., BRUHN, F., GODDERIS, Y., EBNETH, S.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  evolution of Phanerozoic seawater. *Chemical Geology*, v. 161, p. 59-88. 1999




 Campo isotópico de carbonatos marinhos do Neopermiano segundo Veizer *et. al.*, 1999

FIGURA 105 - Diagramas mostrando a relação das assinaturas dos isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  das rochas estudadas com os carbonatos marinho Neopermianos de Veizer *et al.*, 1999.

De acordo com Allan e Wiggins (1993) as dolomitas de baixa temperatura apresentam valores de  $\delta^{18}\text{O}$  entre  $-6,5\text{‰}$  a  $+9,0\text{‰}$  PDB. Estas são formadas em ambientes de supramaré, sabkha, marinho e zona de mistura marinho-meteórico. O intervalo que caracteriza esse tipo de dolomita foi definido com base em dados de diversas idades, desde dolomitas do Cambriano ao Holoceno, compreendendo também dados de dolomitas do Permiano.

As dolomitas de alta temperatura são caracterizadas por  $\delta^{18}\text{O}$  entre  $-16\text{‰}$  a  $-2,5\text{‰}$  PDB. Sua origem esta relacionada à diagênese por soterramento e a processos hidrotermais. Sua faixa de ocorrência também foi embasada em dados isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  de diversas idades (ALLAN e WIGGINS, 1993).

Os dados dos perfis estudados, ao serem correlacionados com estes tipos de dolomitas, mostram correspondência com o campo “dolomita de alta temperatura” (FIGURA 106). As rochas com assinatura mais negativa do testemunho de sondagem FP-01-PR (3 amostras) que se encontram com valores de  $\delta^{18}\text{O}$  entre  $-14\text{‰}$  e  $-12\text{‰}$  não são do Membro Assistência. Duas destas amostras correspondem ao Membro Taquaral ( $\delta^{13}\text{C}$  entre  $-1,28\text{‰}$  a  $0,50\text{‰}$ ) e uma a Formação Serra Alta ( $\delta^{13}\text{C}$   $4,81\text{‰}$ ). Não foi possível plotar todos os dados neste gráfico devido extrapolarem o intervalo disponível para  $\delta^{13}\text{C}$ . Porém os dados plotados são representativos da assinatura do  $\delta^{18}\text{O}$  encontrada no Membro Assistência (entre  $-9\text{‰}$  e  $-6\text{‰}$ ). Dessa forma, a composição isotópica do  $\delta^{18}\text{O}$  nesse contexto, pode ter sido adquirida pela diagênese por soterramento.

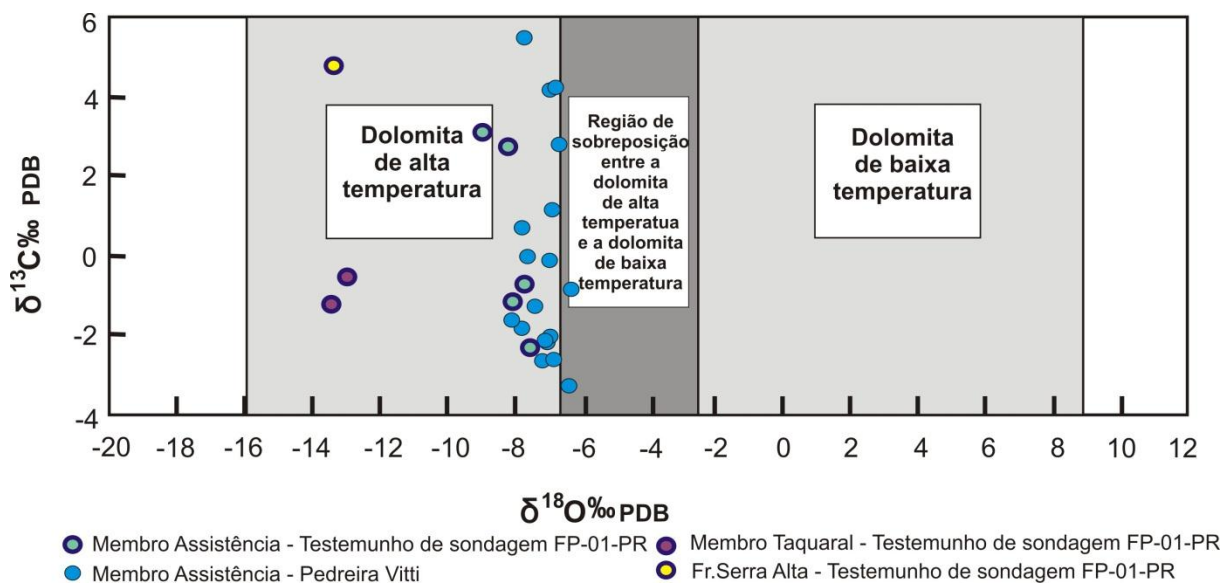


FIGURA 106 – Correlação dos dados dos perfis estudados com as dolomitas de alta e baixa temperatura definidas por Allan e Wiggins (1993).

Ao contrário do que acontece com o  $\delta^{18}\text{O}$  a assinatura do  $\delta^{13}\text{C}$  oscila consideravelmente. Na Pedreira Vitti o  $\delta^{13}\text{C}_{(\text{PDB})}$  varia entre  $-5,62\text{‰}$  na base do perfil (banco dolomítico), a  $11,49\text{‰}$  no topo das rochas carbonáticas da seção rítmica, alcançando também valores mais positivos ao longo desta seção de até  $17,35\text{‰}$ . No testemunho estudado o  $\delta^{13}\text{C}_{(\text{PDB})}$  parte de assinaturas negativas (até  $-15,50\text{‰}$ ) nos *mudstones* laminados brechados (base do Membro Assistência) alcançando assinatura positiva ( $\sim 18\text{‰}$ ) nas rochas carbonáticas da seção rítmica superior.

As oscilações frequentes na assinatura do  $\delta^{13}\text{C}$  evidencia influência de processos pós deposicionais. Posto que as assinaturas obtidas fogem do padrão considerado para o Permiano e mesmo de assinaturas típicas de ocorrentes em equilíbrio com ambiente deposicional, como aquelas que caracterizam as dolomitas de baixa temperatura.

De acordo com Araújo (2001) a deposição de minerais carbonáticos envolvendo o sistema inorgânico está ligada ao fracionamento entre  $\text{CO}_2$  aquoso ( $\text{CO}_{2/\text{aq}}$ ) e o mineral carbonático que por sua vez é controlado por uma série de fracionamentos por reações de equilíbrio isotópico. A intensidade do fracionamento depende basicamente da temperatura e da salinidade do meio, sendo inversamente proporcional a estas. Dessa forma, o aumento da temperatura e da salinidade

resulta em uma assinatura isotópica mais positiva, devido ao enriquecimento relativo de  $^{13}\text{C}$  segundo MOOK *et.al.*,<sup>19</sup> (1974, citado por ARAÚJO, 2001).

Considerando estes parâmetros (temperatura e salinidade) pode-se concluir que dificilmente só as variações destes tenham sido responsáveis pelas oscilações nas assinaturas do  $\delta^{13}\text{C}$  obtidas neste trabalho.

De acordo com Araújo (2001) na fase diagenética de litificação carbonática pode ocorrer alteração da assinatura isotópica, principalmente durante a precipitação de cimentos que utilizam  $\text{HCO}_3^{-1}$  oriundo das reações de decomposição da matéria orgânica das zonas subóxicas e anóxicas.

De acordo com Allan e Wiggins (1993) a composição isotópica do carbono de dolomitas reflete a razão do carbono inorgânico derivado de calcários preexistentes e carbono orgânico derivado de matéria orgânica microbiana. Estes autores descrevem reações orgânicas e a faixa aproximada do  $\delta^{13}\text{C}$  das dolomitas precipitadas em associação com estas reações, sendo estas:

Processos	Reações	$\delta^{13}\text{C}_{\text{dol}}$
*Oxidação	$\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	-5 a -15
*Redução $\text{SO}_4$	$2\text{CH}_2\text{O} + \text{SO}_4^{-2} \rightarrow 2\text{HCO}_3^{-} + \text{H}_2\text{S}$	-5 a -15
*Fermentação	$2\text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$	+5 a +20
*Oxidação do Metano	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2$	< -25
Ou degradação de óleo	$4\text{CH}_2 + 3\text{SO}_4^{-2} \rightarrow 4\text{HCO}_3^{-} + \text{H}_2\text{S} + 2\text{HS}^{-}$	-5 a -15
Ou Sulfato Redução Termoquímica (TSR)	$\text{CH}_4 + \text{SO}_4^{-2} \rightarrow \text{HCO}_3^{-} + \text{HS}^{-} + \text{H}_2\text{O}$	< -25
*Descarboxilação	Querogênio $\rightarrow \text{CO}_2 + \text{querogênio}$	-5 a -15

Fonte: Allan e Wiggins (1993)

As assinaturas mais negativas do  $\delta^{13}\text{C}$  das rochas estudadas compreende no testemunho FP-01-PR ao intervalo -0,72 a -15,50 ‰ e na Pedreira Vitti entre -0,80 a -8,55 ‰. E as assinaturas positivas do  $\delta^{13}\text{C}$  no testemunho estudado correspondem ao intervalo +0,50 a +17,84 ‰ e na Pedreira Vitti a +0,00 a +17,35 ‰. Considerando as reações discriminadas e a assinatura do  $\delta^{13}\text{C}$  correspondente, as rochas carbonáticas do Membro Assistência se enquadrariam na assinatura

<sup>19</sup> MOOK, W.G., BOMMERSON, J.C., STABERMAN, W.H. **Carbon isotope fractionation between dissolved bicarbonate and gaseous carbon dioxide.** Earth and Planetary Science Letters, v.22, p. 169-176. 1974

isotópica do  $\delta^{13}\text{C}$  com influência dos processos de oxidação da matéria orgânica, redução do  $\text{SO}_4$ , fermentação, degradação de óleo e descarboxilação.

A fim de verificar a possível influência de compostos relacionados a reações da matéria orgânica na assinatura isotópica do  $\delta^{13}\text{C}$  obtida, os dados foram contextualizados no gráfico de Wiggins *et. al.*, (1993). Neste gráfico estão presentes as reações a partir da matéria orgânica e o intervalo correspondente do  $\delta^{13}\text{C}$ . Dessa forma, verificou-se que a assinatura do  $\delta^{13}\text{C}$  do Membro Assistência compreende o intervalo correspondente a “Fermentação” (ou metanogênese) e também parte do intervalo da “biodegradação” (FIGURA 107).

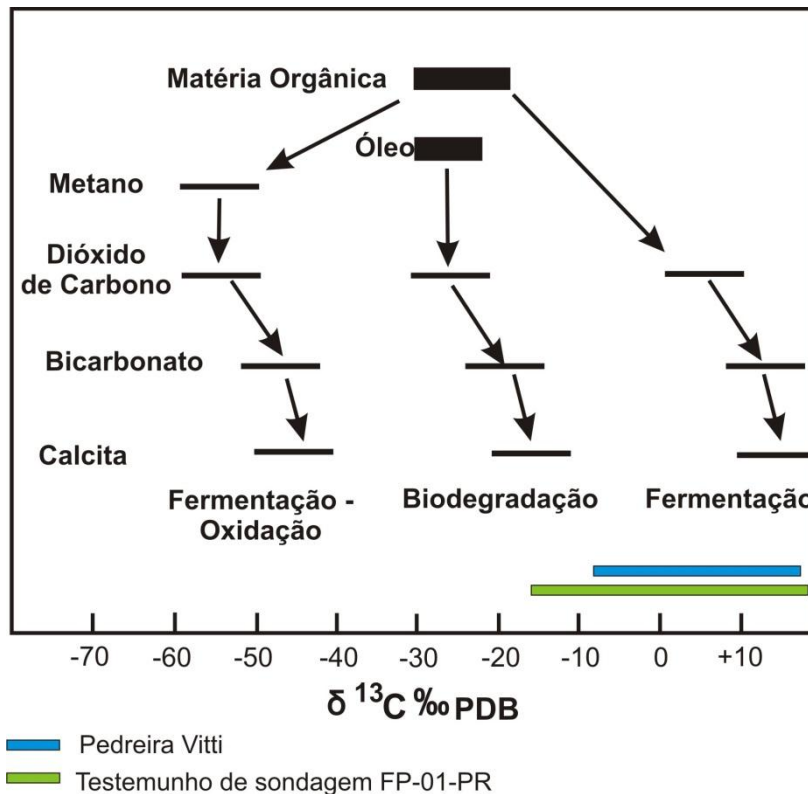


FIGURA 107 – Contextualização da assinatura do  $\delta^{13}\text{C}$  dos perfis estudados no gráfico de Wiggins *et. al.*, (1993) que mostra a fonte orgânica de carbono de minerais carbonáticos.

O gráfico de Hudson (1977) modificado por Allan e Wiggins (1993), sumariza muitos dos fatores que controlam a composição isotópica do carbono e oxigênio das rochas carbonáticas, incluindo as dolomitas. Neste gráfico estão as faixas de composição isotópicas dos diversos sistemas carbonáticos e os processos responsáveis por tais assinaturas.



A contextualização dos dados isotópicos da Pedreira Vitti e Testemunho de sondagem FP-01-PR no gráfico de Hudson (1977), mostraram *trends* similares, com dados compreendendo o campo dos calcários marinhos comuns, bem como porções abaixo desse campo com  $\delta^{13}\text{C}$  mais negativos e acima deste com  $\delta^{13}\text{C}$  positivas (FIGURA 108).

A plotagem dos dados da Pedreira Vitti no gráfico relacionou a assinatura a determinados processos (FIGURA 108). Os dados da unidade química A que compreende o banco dolomítico, correspondem predominantemente ao campo dos calcários marinhos comuns, exceto uma amostra mais negativa que pode estar relacionada à influência de água meteórica. As rochas das unidades químicas B e C além da faixa de calcários marinhos comuns compreendem porções inferiores e superiores a este campo, com  $\delta^{13}\text{C}$  mais leve e mais pesado respectivamente. A unidade química D, topo da seção rítmica, compreende assinaturas essencialmente positivas próximas ao campo dos cimentos diagenéticos com carbono pesado ( $^{13}\text{C}$ ). Estas rochas enriquecidas em  $^{13}\text{C}$  estão relacionadas no gráfico com o  $^{13}\text{C}$  em equilíbrio com metano ou residual da geração de metano biológico.

Os dados do testemunho de sondagem FP-01-PR apresentam uma associação de litofácies mais completa do Membro Assistência, o que acrescenta assinaturas isotópicas mais diferenciadas. A base do Membro Assistência neste perfil (unidade química 2) é caracterizada por assinatura de  $\delta^{13}\text{C}$  bem negativa (mais leve do que as encontradas na Pedreira Vitti) que corresponde ao processo de intemperismo do solo (pedogênese). Esta interpretação pode ser relacionada às feições encontradas nas rochas diagnósticas de exposição e influência de água meteórica, como brechas carbonáticas, que na verdade caracterizam a litofácies. Estas apresentam gretas de ressecamento e estruturas convolutas com feições de dissolução e colapso. A seção rítmica inferior (unidade química 2- assinaturas de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -4,15 ‰ e 2,82 ‰) apresentam assinaturas compreendidas no campo dos calcários marinhos comuns, assim como a maioria das amostras do banco dolomítico com exceção de uma amostra com  $\delta^{13}\text{C}$  mais negativo e duas mais positivas (unidade química 3A) (FIGURA 108).

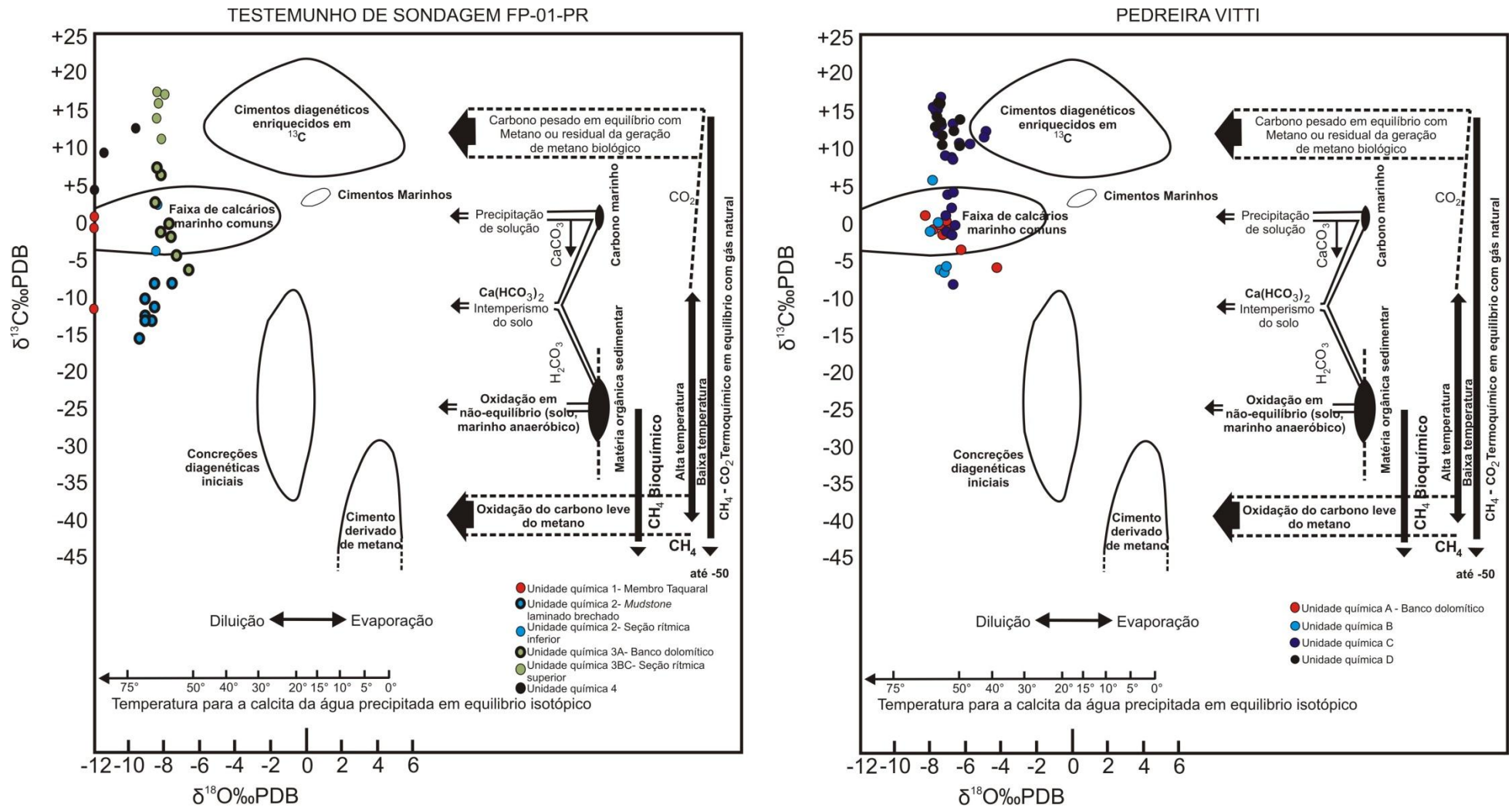


FIGURA 108 - Diagrama  $\delta^{13}\text{C}$  versus  $\delta^{18}\text{O}$  com os diferentes campos para rochas carbonáticas propostos por Hudson (1977), onde estão plotados os dados de isótopos estáveis de carbono e oxigênio das rochas carbonáticas da Pedreira Vitti e Testemunho de sondagem FP-01-PR.

As amostras da seção rítmica superior (unidade química 3BC) são essencialmente positivas, correspondendo assim como a unidade química D da Pedreira Vitti ao intervalo com  $^{13}\text{C}$  em equilíbrio com metano ou residual da geração de metano biogênico.

Algumas discussões vêm sendo tecidas a respeito do padrão de oscilação da assinatura do  $\delta^{13}\text{C}$ .

De acordo com Araújo (2001) a variação do  $\delta^{13}\text{C}_{\text{carbonato}}$  Irati se enquadra as assinaturas isotópicas do  $\text{CO}_2$  suprido ao sistema deposicional pela metanogênese e metenotrofia, sugerindo que este processo bacteriano tenha contribuído para alterar diageneticamente a composição destes carbonatos. Esta hipótese já havia sido levantada por Giovani *et. al.*,<sup>20</sup> (1974, citado por ARAÚJO, 2001).

Ainda segundo Araújo o mecanismo de sulfato-redução bacteriana parece ter sido acessório ou obliterado pela superposição de efeitos diagêneticos. Segundo este autor não há nenhum padrão coerente de variação de  $\delta^{13}\text{C}$  do carbonato que reflita uma mudança no fornecimento de  $\text{HCO}_3^-$  empobrecido em  $^{13}\text{C}$ , proveniente da reação de consumo da matéria orgânica pelas bactérias anaeróbicas, nem correlação com o conteúdo de enxofre, que traduza uma medida do processo de sulfato-redução.

Dentro das comparações realizadas, observa-se que apesar da dificuldade em ter um parâmetro de correlação como a composição do mar Irati, algumas interpretações podem ser alcançadas.

Definitivamente as assinaturas dos isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  do Membro Assistência se diferenciam das consideradas típicas do Permiano. O que pode ser interpretado como resultante de alterações diagêneticas.

Apesar da forte influência da metanogênese ou mesmo de águas meteóricas evidenciadas, alguns dados coincidiram com a assinatura de calcários marinhos. Estes calcários são predominantemente aqueles do banco dolomítico de ambos os perfis. As assinaturas isotópicas do  $\delta^{13}\text{C}$  se tornam mais complexas a partir da seção rítmica, isso pode ser resultante da atuação e interação de processos orgânicos e inorgânicos.

---

<sup>20</sup> GIOVANI, W.F.; SALATI, E.; O.J.; FRIEDMAN, I. **Unusual isotopic composition of carbonates from the Irati Formation**. Geological Society of America Bulletin, v. 85, p. 41-44. 1974.

## 8 CONCLUSÕES

O presente trabalho propõe o estudo mineralógico, químico, isotópico e a correlação química das rochas carbonáticas do Membro Assistência, com base em dois perfis - um levantado na Pedreira Vitti (Saltinho/SP) e o outro no testemunho de sondagem FP-01-PR (Ibaiti/PR).

Primeiramente, os dois perfis foram caracterizados mineralogicamente (petrografia e DRX), estabelecidas litofácies carbonáticas e intervalos margosos e dolomíticos. A caracterização química foi realizada por FRX, possibilitando relacionar a assinatura de 10 óxidos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e quatro elementos-traço (Sr, Ba, S, Cl). O comportamento desses elementos foi analisado para cada perfil e individualizadas unidades químicas. Também foi realizada a caracterização por isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  e  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  observando se suas assinaturas possuíam correlação com as unidades químicas.

Os dados de ambos os perfis foram integrados observando a correspondência entre as características definidas para cada perfil. A partir daí buscou-se estabelecer uma correlação entre os dois perfis.

Com as análises litofaciológicas, considerando o aspecto textural, foram classificadas cinco litofácies no Membro Assistência: *mudstone* laminado, *mudstone* maciço, *mudstone* a *wackestone* bioclástico peloidal, brecha intraformacional e *mudstone* laminado brechado.

Dessa forma, observa-se a predominância de litofácies suportadas por lama dolomítica cripto a microcristalina. A estrutura grumosa é frequente nas litofácies bem como a ocorrência de betume e estilólitos. Os *mudstones* laminados são marcados pela ocorrência de minerais silicosos (quartzo, plagioclásio e micas) que acompanham a laminação, evidenciando interação entre os sistemas carbonáticos/siliciclásticos a partir da seção rítmica. Também ocorre pirita sendo mais frequentes nos *mudstones* laminados da seção rítmica inferior do testemunho, onde também se destaca a ankerita como mineral carbonático.

Os *mudstones* laminados e maciços da seção rítmica da Pedreira Vitti são limitados em seu topo por gretas de ressecamento evidenciando exposição subárea

e ciclos de raseamento. Estas feições não foram encontradas nos *mudstones* do testemunho de sondagem FP-01-PR.

O banco dolomítico, camada essencialmente calcária e presente em ambos os perfis estudados, é caracterizado pela presença de grãos aloquímicos, sendo estes peloides e oóides que ocorrem associados a níveis de coquinito marcado pela ocorrência de bioclastos de *Liocaris*. Este intervalo consiste em camadas espessas ocorrendo de 3 a 4 m, apresentam gradação de dololutitos a dolarenitos, marcas onduladas e na Pedreira Vitti nesse intervalo ocorre três níveis centimétricos de brechas intraformacionais.

De acordo com as discussões no capítulo anterior, esse intervalo dolomítico teria se formado em resposta a uma tendência regressiva que favoreceu o raseamento do nível de base das ondas de tempestade. As características descritas anteriormente para esse intervalo dolomítico são diagnósticas da ação de ondas de tempestades. A ocorrência dos níveis de brechas intraformacionais somente na pedreira evidencia que esta porção mais setentrional esteve mais sujeita a exposição e retrabalhamento que a região onde está localizado o testemunho. As brechas intraformacionais seriam, portanto, resultantes de exposição, gretamento e posterior retrabalhamento por ação de ondas. Os intraclastos da brecha intraformacional correspondem a fragmentos de esteira microbial.

A litofácies *mudstone* laminado brechado, presente somente no testemunho estudado, consiste na base do Membro Assistência. Possui espessura de ~3 m. Apresentam estrutura grumosa tanto na matriz quanto nos intraclastos, sendo que estes não apresentam evidência de transporte, suas características são típicas de ambiente submetido a ação de ondas com retrabalhamento e deposição adjacente, em lâmina d'água relativamente rasa e episodicamente exposta.

Nos *mudstones* laminados da seção rítmica superior e também no banco dolomítico, ambos no testemunho de sondagem FP-01PR, foram detectados por análises de DRX a presença de calcita. O teste de tingimento com alizarina com ferrocianeto de potássio confirmou a presença deste mineral e de dolomita férrica no banco. Apesar de não ser o objetivo do trabalho a compreensão do processo de dolomitização responsável pela mineralogia predominante das rochas carbonáticas estudadas, buscou-se avaliar a relação destes minerais de calcita e secundariamente dolomita férrica com a matriz dolomítica. Dessa forma, observou-

se que estes minerais compreendem cimento que preenche porosidade vulgular e intercrystalina, sendo, portanto posterior a matriz dolomítica.

As análises petrográficas mostraram que as rochas carbonáticas do Membro Assistência foram submetidas a condições diagenéticas complexas, com diferentes fases de cimentação e substituição. Podendo ser evidenciada dessa forma, pelo menos duas fases de dolomitização, concomitantes ou seguidas por cimentação calcítica, fosfatização e silicificação.

As análises de DRX comprovaram a composição essencialmente dolomítica e margosa das rochas estudadas e possibilitou identificar os grupos de argilominerais presentes.

As rochas do banco dolomítico de ambos os perfis não apresentaram as reflexões dos argilominerais, assim como as da seção rítmica superior do testemunho de sondagem FP-01-PR.

Os argilominerais predominantes nas rochas carbonáticas estudadas são aqueles do grupo da esmectita. Estes ocorrem nos *mudstones* da seção rítmica da Pedreira Vitti, naqueles da seção rítmica inferior e também na litofácies *mudstone* laminado brechado do testemunho. Nesta última litofácies predominam interestratificados clorita/esmectita.

Interestratificados ilita/esmectita foram identificados nos folhelhos e camada bentonítica da Pedreira Vitti.

A ocorrência e predominância dos argilominerais do grupo da esmectita foram interpretadas como consequência das condições paleoambientais e químicas reinantes durante a deposição das rochas do Membro Assistência. Enquanto que os interestratificados (ilita/esmectita e clorita/esmectita) foram interpretados como argilas autigênicas resultantes do aumento da diagênese.

A caracterização química realizada embasou a individualização de quatro unidades químicas na Pedreira Vitti, essencialmente no Membro Assistência sendo elas: unidades químicas A, B, C e D.

No perfil levantado no testemunho de sondagem FP-01-PR foram individualizadas também quatro unidades químicas (1, 2, 3, e 4). Estas unidades abrangem desde o topo do Membro Taquaral até a base da Formação Serra Alta. Apenas duas dessas unidades são representativas do Membro Assistência, sendo as unidades químicas 2 e 3.

As unidades químicas foram individualizadas tendo por base o comportamento dos óxidos de Ca, Mg, Si, Al, Fe e pelas análises de Perda ao Fogo (P.F.). As oscilações na assinatura destes óxidos são mais evidentes e a partir deles os limites entre as unidades foram estendidos para o perfil químico de outros óxidos e elementos-traço.

A variação na assinatura de alguns óxidos e elementos traços, como o aumento na concentração dos óxidos de Al, Fe e Mn acompanhado pela diminuição nos óxidos de Ca e Mg de forma desordenada podem estar relacionadas a diagênese meteórica. Esse tipo de comportamento mostrou-se frequente nas rochas da seção rítmica em especial nas rochas carbonáticas da Pedreira Vitti. Possui relação com as características mencionadas de exposição subaérea e paleoambientais. O enriquecimento de Fe e Mn, segundo Brand e Veizer (1980) indica ação de água meteórica. Durante a diagênese meteórica, o Mn pode ser incorporado e o Sr pode ser expelido do sistema carbonático (BRAND e VEIZER,1980; VEIZER,1983).

Considerando todas as características descritas para cada perfil estudado, a correlação entre estes perfis foi estabelecida. Dessa forma, correlacionou-se as unidades químicas A, B, C e D da Pedreira Vitti com a unidade química 3 do testemunho então redenominada 3A e 3BC. Esta correlação foi embasada inicialmente nas similaridades litofaciológicas, e posteriormente nas assinaturas químicas e isotópicas.

Com a descrição litofaciológica observou-se a similaridade entre o perfil levantado na Pedreira Vitti e a parte superior do Membro Assistência descrito no testemunho de sondagem FP-01-PR (unidade química 3A e 3BC). Esse intervalo é caracterizado em ambos os perfis por uma camada espessa dolomítica (banco dolomítico) marcada pela presença de *mudstones* a *wackestones* bioclástico peloidal alternados por *mudstones* laminados e brechas intraformacionais (esta última ocorrente na Pedreira Vitti). Esta camada é sobreposta por uma seção rítmica de *mudstones* laminados a maciços/folhelhos betuminosos.

A assinatura isotópica comprovou a correlação deste intervalo. As unidades químicas A (Pedreira Vitti) e 3A (testemunho), bem como unidades B, C e D e 3BC possuem correlação isotópica. Evidenciando condições deposicionais similares ou mesmo diagenéticas.

A correlação química comprovou a similaridade entre as seções rítmicas (unidades químicas B, C e D e 3BC), porém a relação entre os bancos dolomíticos (unidades químicas A e 3A) mostrou ser a concentração entre os óxidos e elementos-traço contrastante.

A unidade química A da Pedreira Vitti, mostrou-se mais enriquecida nos óxidos de Ca, Mg, P e nos elementos-traço Ba e Cl. Enquanto a unidade química 3A do testemunho é mais enriquecida nos óxidos de Si, Al, Fe, Na, K e Ti além do elemento-traço enxofre.

Essas diferenças não comprometeram a correlação, pois a assinatura isotópica comprova a simultaneidade destes intervalos carbonáticos. Porém, essas concentrações divergentes evidenciam que as rochas do testemunho foram submetidas a uma influência maior de entrada de material siliciclástico. Considerando a localização dos perfis e paleofisiografia da plataforma de acordo com Zalán *et al.*, (1990) observa-se que as rochas da pedreira se depositaram em ambiente mais raso enquanto que as do testemunho encontravam-se em meio à sub-bacias mais para o interior da plataforma. Levando em consideração os domínios deposicionais de Araújo (2001) para o TSMA da SI2 período correlacionado a deposição destas rochas, observa-se a predominância do sistema siliciclástico a SW da bacia do Paraná, relacionado à geodinâmica compressiva atuante no Gondwana meridional. Dentro desse contexto, e pela localização dos perfis, pode-se interpretar que a assinatura química do testemunho tenha sido influenciada pelo aporte desse sistema siliciclástico.

As rochas da litofácies *mudstone* laminado brechado descrita somente no testemunho estudado não possui assinatura isotópica correlacionável com as litofácies descritas anteriormente.

As correlações das assinaturas dos isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  e  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  obtidas neste trabalho com as composições predefinidas para o Permiano (ALLAN e WIGGINS, 1993) e Neopermiano (Veizer *et al.*, 1999) mostraram que as assinaturas do Membro Assistência se diferenciam das consideradas típicas para esse período. Esses dados evidenciam ou uma composição diferenciada do mar Irati em comparação à predefinida para o mar do Neopermiano, posto que se trata de um mar restrito/lago, ou superposição de eventos diagénéticos provocando alteração da assinatura isotópica.



As correlações das análises do  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  com os dados disponíveis na literatura possibilitaram interpretá-las como resultante de diagênese por soterramento.

As oscilações frequentes na assinatura do  $\delta^{13}\text{C}$  evidencia influência de processos pós deposicionais. Considerando a influência que processos orgânicos possuem na alteração de assinaturas desses isótopos, observou-se que estes dados se enquadram a aqueles que sofrem metanogênese e mesmo influencia de biodegradação.

Apesar da forte influência de processos diagénéticos evidenciada na assinatura dessas rochas, a correlação dos dados com aqueles de Hudson (1977), mostraram a correspondência de alguns dados com assinaturas típicas de calcários marinhos (assinatura primária).

As rochas carbonáticas estudadas que se enquadraram aos calcários marinhos compreendem aquelas do banco dolomítico de ambos os perfis (unidades químicas A e 3A). Algumas assinaturas se mostraram com  $\delta^{13}\text{C}$  mais leves podendo ter sofrido influência de água meteórica, como pode ser evidenciado no banco dolomítico da Pedreira Vitti onde ocorrem níveis de brechas intraformacionais evidenciando exposição subaérea.

Algumas assinaturas isotópicas das unidades químicas B e C da Pedreira Vitti também se enquadram à de calcários tipicamente marinhos com algumas mais leves podendo ser interpretadas como resultante de águas meteóricas, o que pode ser associado à presença frequente de gretas de ressecamento no topo das camadas de *mudstones*, evidenciando exposição subaérea.

Os dados das unidades químicas D (pedreira), 3BC (testemunho) e grande parte da unidade C (pedreira) são caracterizados por  $\delta^{13}\text{C}$  mais positivos e estão associados a assinaturas isotópicas com influência de metanogênese.

Dessa forma, não se descarta a ideia da presença de assinaturas primárias nas rochas carbonáticas do banco dolomítico. As assinaturas isotópicas do  $\delta^{13}\text{C}$  se tornam mais complexas a partir da seção rítmica, podendo ser resultante da atuação e interação de processos inorgânicos (precipitação de carbono leve a partir de água meteórica) e orgânicos (metanogênese).

Os *mudstones* laminados brechados, parte basal da unidade química 2 do testemunho de sondagem FP-01-PR, apresentam as assinaturas mais negativas do

$\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$ . A assinatura do  $\delta^{18}\text{O}$  foi interpretada como decorrente de diagênese por soterramento, mais intensa nessas rochas. Isto também foi evidenciado pela presença de argilominerais interestratificados clorita/esmectita. O  $\delta^{13}\text{C}$  muito leve está relacionado à influência de água meteórica e pedogênese. A intensa brechação e presença de gretas de ressecamento sustentam essas interpretações.

A correlação dos dados obtidos neste trabalho com os disponíveis na literatura mostrou similaridades faciológicas e correspondência em interpretações deposicionais, além de relação entre as unidades químicas individualizadas com as unidades determinadas por Araújo (2001) e Hachiro *et. al.*, (1993), com algumas divergências, quanto aos seus limites.

Nesse contexto a unidade química 2 (testemunho) coincide com as “Camadas de brechas evaporíticas” e “ritmitos inferiores” do “Membro Morro do Alto” definido por Hachiro *et. al.*, (1993). Considerando as sequências individualizadas por Araújo (2001) compreendem o TSMA da SI1, o TST da SI2 e parte basal do TSMA da SI2.

As unidades químicas 3A (testemunho) e A (pedreira) são correlacionáveis a “Camada Bairrinho” do “Membro Ipeúna” de Hachiro *et. al.*, (1993) e ao TSMA da SI2.

As unidades químicas 3BC (testemunho) e B e C (pedreira) correspondem aos “Ritmitos delgados” de Hachiro *et. al.*, (1993) e ao TST da SI3 de Araújo (2001). As unidades 4 (testemunho) e D (pedreira) são correlacionáveis aos “Ritmitos superiores” de Hachiro *et. al.*, (1993) e ao TSMA da SI3. Na pedreira vitti a unidade D tem sua base coincidente com a porção superior dos “Ritmitos delgados” e TST da SI3.

## REFERÊNCIAS

ALLAN, J.R.; WIGGINS, W.D. **Dolomite reservoirs geochemical techniques for e valuating origin and distribution.** The American Association of Petroleum Geologist. Tulsa, Dklahoma, U.S.A. AAPG 36. 1993.

AMARAL, G. **Paleogeografia da América do Sul no Fanerozóico e suas relações com a evolução da plataforma sul-americana.** Atas do 6º Simposio Regional de Geologia, SBG/SP, Rio Claro, Vol.1, p. 243-261. 1987.

ANJOS, C.W.D.; GUIMARÃES, E.M. **Metamorfismo de contato nas rochas da Formação Irati (Permiano), norte da Bacia do Paraná.** Revista Brasileira de Geociências. 38(4): 629-641. 2008.

ARAÚJO, L.M.; TRIGÜIS, J.A.; CERQUEIRA, J.R. **Avaliação do Efeito Térmico das Intrusivas Ígneas nas Rochas Geradoras da Formação Irati – Membro Assistência.** Relatório Interno da PETROBRAS, NEXPAR, Curitiba, PR. 1996.

ARAÚJO, LM. **Análise da expressão estratigráfica dos parâmetros de geoquímica orgânica nas Sequências Depositionais Irati.** Tese de doutoramento em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 307 pp. 2001.

BARBOSA, O.; GOMES F. A. **Pesquisa de petróleo na bacia do Rio Corumbataí, Estado de São Paulo.** Boletim da Divisão da Geologia e Mineralogia – DNPM, n. 171, 40pp. 1958.

BRAND U., VEIZER J. **Chemical diagenesis of a multicomponent carbonate system - I.** Trace elements. Journal of Sedimentary Petrology, 50: 1219-1236. 1980.

CHANG, K.H. **Concepts and terms of unconformity – bounded units of distinct category.** Geological Society of America Bulletin, 86: 1544-1552. 1975.

CRAIG, H. **Isotopic standards for carbono and oxygen and correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide.** Geochim Cosmochim Acta 12: 133-149. 1957.

DAEMON, R. F.; QUADROS L. P. **Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná.** In: **Congresso Brasileiro de Geologia.** SBG. Brasília, 24: 359-412. 1970.

DAEMON, R.F.; CASALETTI, P.L.; CIGUEL, J.H.G. **Biopaleogeografia da Bacia do Paraná.** In: Simpósio Sulamericano Do Siluro-Devoniano. Anais, Sociedade Brasileira de Geologia. Ponta Grossa, 1: 55-99. 1996.

DUNHAM, R.J. **Classification of carbonate rocks according to depositional texture.** In: HAM, W.E (ed.). Classification of carbonate rock. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, p. 108-121. (AAPG Memoir,1). 1962.

EMBRY A.F.; KLOVAN J.E. **A late Devonian reef tract on northeastern banks island, northwest territories.** Bulletin of Canadian Petroleum Geology. 19: 730-381. 1971.

GRABAU, A. W. **On the classification of sedimentary rocks: American Geologist.** 33: 228-247. 1904.

HACHIRO, J. **O subgrupo Irati (Neopermiano) da Bacia do Paraná.** Tese de doutoramento em Geociências, Programa de pós-Graduação em Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 196. 1996.

HACHIRO, J.; COIMBRA, A.M. **Ciclos de Milankovith nas sequencias rítmicas da unidade Irati.** In: Simpósio sobre cronoestratigrafia da Bacia do Paraná. Resumos: Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 1: 72-74. 1993.

HAQ, B.U.; HARDENBOL, J.; VAIL, P.R. **Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea changes.** In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B. S.; VENDALL, C.G.ST.C.; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A.; VAN WAGONER, J. C. (eds.). Sea level changes: an integrated approach. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, p. 71-108. (SEPM Special Publication, 42). 1988.

HUDSON, J.D. **Stable isotopes and limestone lithification.** Journal of the Geological Society of London, 133(6), 637-660. 1977.

LAGES, L.C. **A Formação Irati (Grupo Passa Dois, Permiano, Bacia do paraná) no furo de sondagem FP-01-PR (Sapopema, PR).** 129f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Área de Concentração Geologia Regional – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2004.

MICHELLI, M.J. **Argilominerais e ostracodes da Formação Alagamar (Cretáceo Inferior), Bacia Potiguar, NE – Brasil: paleoambiente e indicadores térmicos.** 111 f. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. 2003.

MILANI, E.D.; MELO, J.H.G.; SOUZA, P.A.; FERNANDES, L.A.; FRANÇA, A.B. **Bacia do Paraná.** In: Bol. Geoci. Petrobrás. Bacias Sedimentares Brasileiras. Rio de Janeiro, 15 (2) : 265 - 287. 2007.

MILANI, E.J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental.** Tese de doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Porto Alegre, 255 p. 1997.

MILANI, E.J. **Geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental e a evolução geológica da Bacia do Paraná.** Em: M. Holz e L.F. De Ros (eds.), Geologia do Rio Grande do Sul, CIGO/UFRGS. Porto Alegre, pp. 275-302. 2000.

MILANI, J.E.; FRANÇA, A.B.; SCHENEIDER, R.L. **Bacia do Paraná.** Boletim de Geociências da Petrobras 8:69-82. 1994.

MITCHUM R.M. JR., VAIL P.R., SANGREE J. B. **Seismic stratigraphy and global changes in sea level: stratigraphy interpretation of seismic – reflections patterns in depositional sequences.** In: PAYTON, C. E. (ed). Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration. Tulsa: America Association of Petroleum Geologists, p. 99 - 116 (AAPG Memoir, 26). 1977.

OLIVEIRA, J.C.V.; DUARTE, L.V.; PERILLI, N.; RODRIGUES, R.; LEMOS, V.B. **Estratigrafia química (COT,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) e Nanofósseis calcários na passagem Pliensbaquiano – Toarciano no perfil de Peliche (Portugal) Resultados preliminares.** Instituto de Geociências UFRGS. 32(2): 3-16, 2005.

PACHECO V.J. **Geologia do petróleo do Estado de São Paulo.** Rio de Janeiro, DNPM. 228p. 1939.

POSAMENTIER H.W., JERVEY M.T., VAIL P.R. **Eustatic controls on clastic deposition I - conceptual framework.** In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B. S.; KENDALL, C.G.ST.C.; POSAMENTIER, HW.; ROSS, C.A.; VAN WANGONER, J.C. (eds.). Sea – level changes: an integrated approach. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, p. 109-124 (SEPM Special Publication, 42). 1988.

ROCHA, J.F.; SCORZA, E.P. **Estratigrafia do carvão em Santa Catarina**. Boletim da Divisão de Geologia e Mineração. V.104, p. 1-162. 1940.

RODRIGUES, R. **Aplicação da estratigrafia química na identificação de eventos paleoceanográficos: exemplos do Paleozóico ao Cenozóico**. 1º Workshop sobre paleoceanografia com ênfase em micropaleontologia e estratigrafia, boletim de resumos expandidos, Gramado, 91-99. 1995.

RODRIGUES, R. **Chemostratigraphy**. In: Koutsouks, E. (eds.). Applied stratigraphy, Springer, 165 – 178. 2005.

SANTOS NETO, E.V. **Caracterização geoquímica e paleoambiente deposicional da sequência carbonato-pelítica superior do Membro Assistência, Formação Irati no Estado de São Paulo, Bacia do Paraná**. Rio de Janeiro, 203 f. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade do Rio de Janeiro. 1993.

SANTOS, R.V.; SOUZA, P.A.; ALVARENGA, C.J.S.; DANTAS, E.L.; PIMENTEL, M.M.; OLIVEIRA, C.G.; ARAÚJO, L.M. **Shrimp U-P zircon dating and palynology of bentonitic layers from the permian irati formation, Paraná basin, Brasil**. Gondwana Research 9 (2006) 456-463. 2006.

SCHNEIDER, R.L., MUHLMANN H., TOMMASI E.; MEDEIROS R.A., DAMON R.F. & NOGUEIRA A.A. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná**. XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia (Porto Alegre). Anais, vol. 1: 41-66. 1976.

SCHNEIDER, R. L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON R.F.; NOGUEIRA, A.A. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Porto Alegre, 1974. Anais...Porto Alegre: SBG, 1:41-65. 1974.

SLOSS, L.L. **Sequences in the cratonic interior of North America**. Geological Society of America Bulletin, 74:93 -114. 1963.

VAIL P.R., MITCHUM R.M., TODD R.G., WIDMIER J. M., THOMPSON S., SANGREE J. B., BUBB J. N., HATLEID W. G. **Seismic stratigraphy and global changes in sea level**. In: Payton, C. E (ed.). *Seismic stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa: America Association of Petroleum Geologists, p. 49-62. (AAPG Memoir, 26). 1977.

VAIL, P.R.; MITCHUM, R.M.; TODD, R.G.; WIDMIER, J. M.; THOMPSON, S.; SANGREE, J. B.; BUBB, J. N.; HATLEID, W. G. **Seismic stratigraphy and global changes in sea level**. In: Payton, C. E (ed.). *Seismic stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, p. 49-62. (AAPG Memoir, 26). 1977.

VEIZER J. **Chemical diagenesis of carbonates; theory and application of trace element technique**, in Arthur, M.A., Anderson, T.F., Kaplan, I.R., Veizer, J., Land, L.S. (eds.), *Stable Isotopes in Sedimentary Geology*: Society of Economic Palaeontologists and Mineralogists, 3-100. 1983.

VEIZER, J., BRUCKSCHEN, P., DIENER, A., PODLAHA, O.G., CARDEN, G.A.F., JASPER, T., KORTE, C., STRAUSS, H., AZMY, K. ALA, D., BUHL, D., BRUHN, F., GODDERIS, Y., EBNETH, S.  **$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  evolution of Phanerozoic seawater**. *Chemical Geology*, v. 161, p. 59-88. 1999.

VESELY, F.F. **Dinâmica sedimentar e arquitetura estratigráfica do Grupo Itararé (Carbonífero-Permiano) no centro-leste da Bacia do Paraná [manuscrito] / Fernando Farias Veseley. 226f.** Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geologia. 2006.

WHITE, I.C. **Relatório sobre as coal measures e rochas associadas ao sul do Brasil**. Rio de Janeiro: Comissão das Minas de carvão de Pedra Brasil. 300p. 1908.

WIGGINS, W. D., HARRIS, P. M., AND BURRUSS, R. C. **Geochemistry of post-uplift calcite in the Permian Basin of Texas and New Mexico**. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, Vol. 105, p. 779-790. 1993.

ZÁLAN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A. **Bacia do Paraná**. Petrobrás. De Raja Gabaglia E Milani, E.J. (Coords.). *Origem e Evolução das Bacias Sedimentares*. 1990.

## APÊNDICE 1

APÊNDICE 1. 1 - DISPOSIÇÃO NO PERFIL DO TESTEMUNHO DE SONDAÇÃO FP-01-PR DO INTERVALO ONDE FORAM AMOSTRADAS DUAS CAMADAS CENTIMÉTRICAS DE ROCHAS CARBONÁTICAS (CAIXA 47) DO MEMBRO TAQUARAL.....	210
APÊNDICE 1. 2 - DISPOSIÇÃO NO PERFIL DO TESTEMUNHO DE SONDAÇÃO FP-01-PR DO INTERVALO ONDE OCORREM OS RITMITOS INFERIORES DO MEMBRO ASSISTÊNCIA (CAIXA 44). .....	211
APÊNDICE 1. 3 - DISPOSIÇÃO NO PERFIL DO TESTEMUNHO DO TESTEMUNHO FP-01-PR DO INTERVALO ONDE OCORREM OS RITMITOS SUPERIORES DO MEMBRO ASSISTÊNCIA (CAIXA 42). .....	212
APÊNDICE 1. 4 - DISPOSIÇÃO NO PERFIL DO TESTEMUNHO DE SONDAÇÃO FP-01-PR DO INTERVALO QUE REPRESENTA O CONTATO DO MEMBRO ASSISTÊNCIA COM A FORMAÇÃO SERRA ALTA (CAIXA 41). .....	213

## APÊNDICE 2

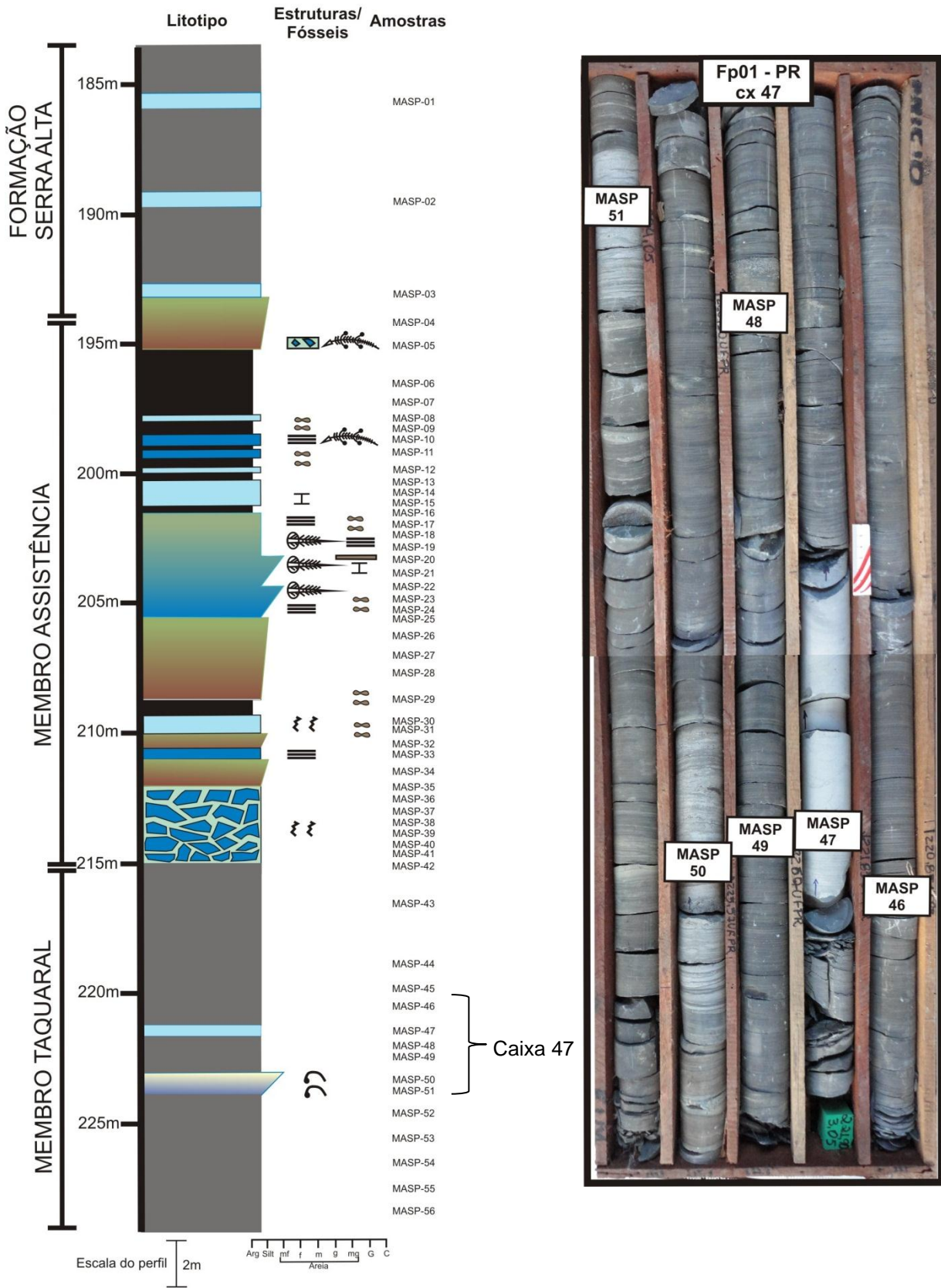
APÊNDICE 2. 1 - DADOS SEMIQUANTITATIVOS DOS MINERAIS IDENTIFICADOS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X DAS AMOSTRAS DO BANCO DOLOMÍTICO DA PEDREIRA VITTI .....	214
APÊNDICE 2. 2 - DADOS SEMIQUANTITATIVOS DOS MINERAIS IDENTIFICADOS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X NAS AMOSTRAS DA SEÇÃO RÍTMICA DA PEDREIRA VITTI .....	215
APÊNDICE 2. 3 - DADOS SEMIQUANTITATIVOS DOS MINERAIS IDENTIFICADOS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X NAS AMOSTRAS DO MUDSTONE LAMINADO BRECHADO DO TESTEMUNHO FP-01-PR.....	217



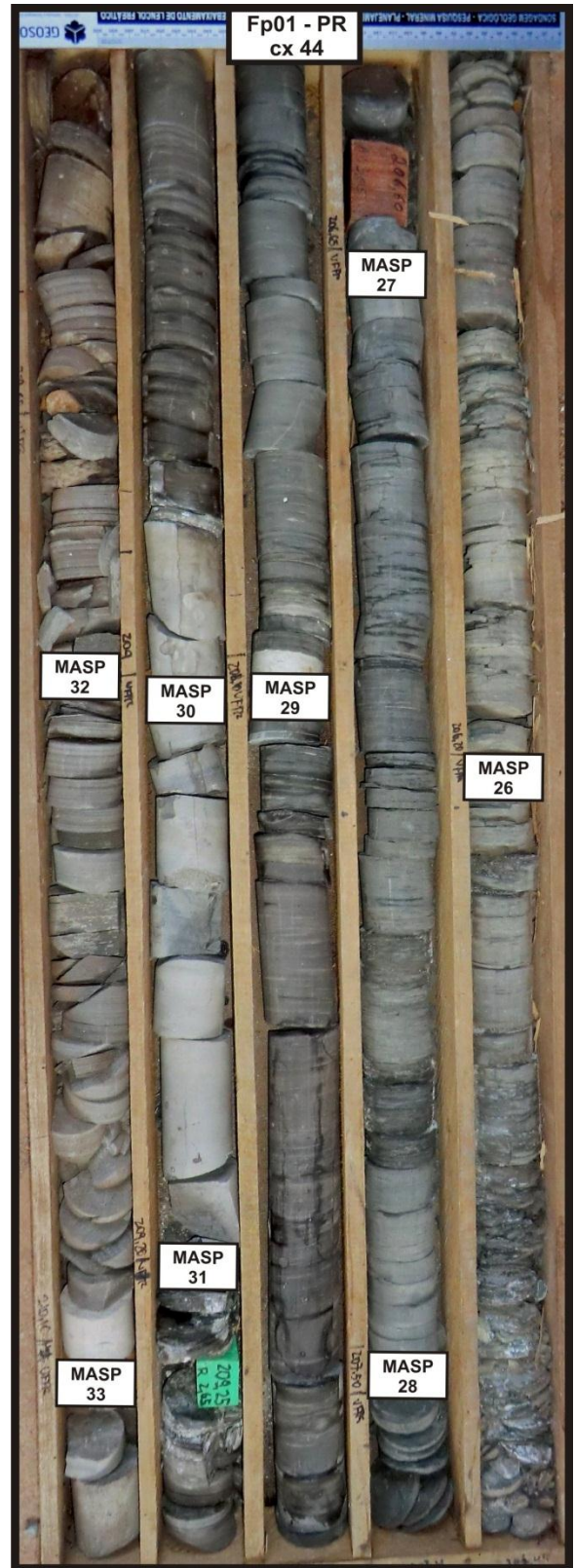
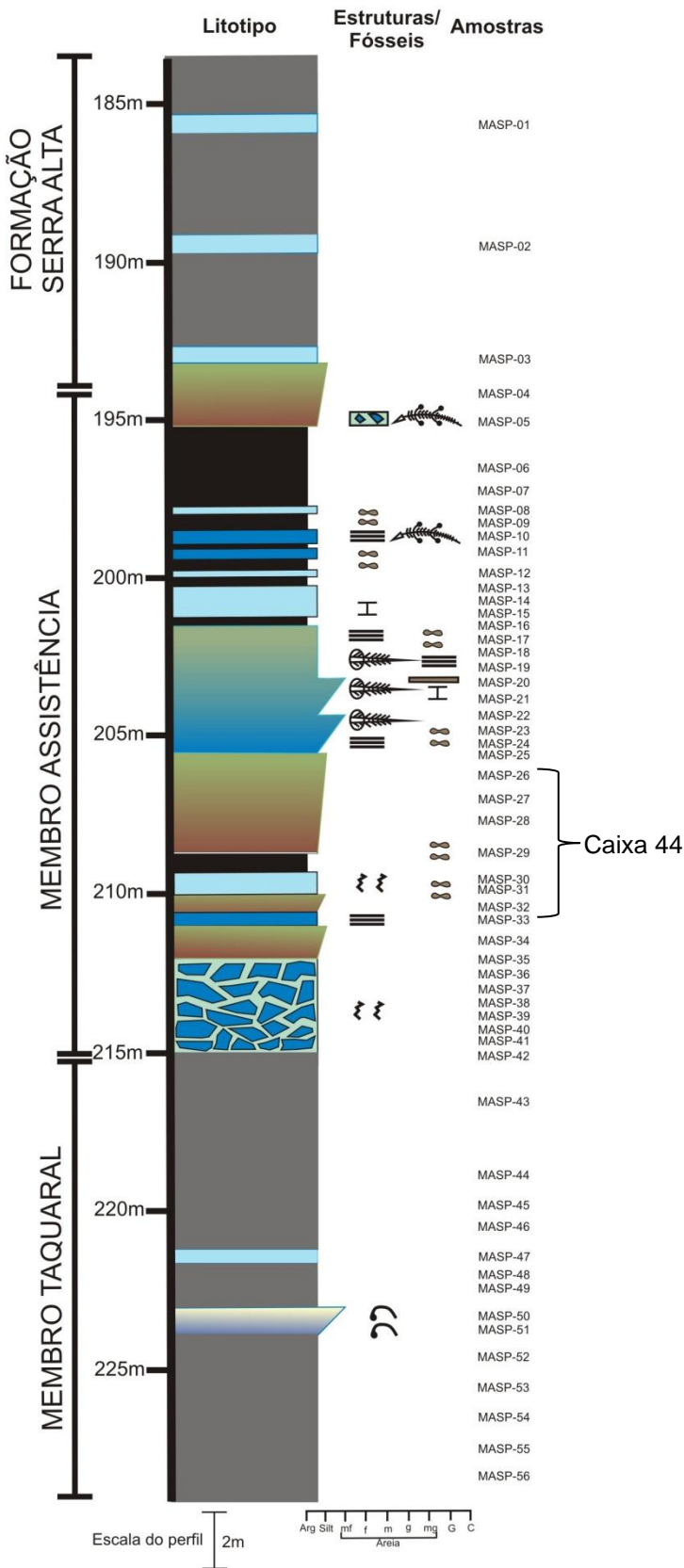
APÊNDICE 2. 4 – DADOS SEMIQUANTITATIVOS DOS MINERAIS IDENTIFICADOS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X NAS AMOSTRAS DO BANCO DOLOMÍTICO DO TESTEMUNHO FP-01-PR.....	217
APÊNDICE 2. 5 - DADOS SEMIQUANTITATIVOS DOS MINERAIS IDENTIFICADOS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X NAS AMOSTRAS DE ROCHAS CARBONÁTICAS DA SEÇÃO RÍTMICA INFERIOR DO TESTEMUNHO FP-01-PR .....	218
APÊNDICE 2. 6 - DADOS SEMIQUANTITATIVOS DOS MINERAIS IDENTIFICADOS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X NAS AMOSTRAS DE ROCHAS CARBONÁTICAS DA SEÇÃO RÍTMICA SUPERIOR DO TESTEMUNHO FP-01-PR .....	218
APÊNDICE 2. 7 – DADOS ISOTÓPICOS DAS AMOSTRAS ANALISADAS NA PEDREIRA VITTI E SUAS RESPECTIVAS UNIDADES QUÍMICAS	219
APÊNDICE 2. 8 - DADOS ISOTÓPICOS DAS AMOSTRAS ANALISADAS NO TESTEMUNHO FP-01-PR E SUAS RESPECTIVAS UNIDADES QUÍMICAS .....	220
APÊNDICE 2. 9 - DADOS QUÍMICOS OBTIDOS POR FRX DAS AMOSTRAS ANALISADAS DA PEDREIRA VITTI .....	221
APÊNDICE 2. 10 - DADOS QUÍMICOS QUANTITATIVOS OBTIDOS POR FRX DAS AMOSTRAS ANALISADAS DO TESTEMUNHO FP-01-PR .....	224
APÊNDICE 2. 11 – DADOS MINERALÓGICOS OBTIDOS POR DRX DAS CINZAS VULCÂNICAS E ROCHAS COM ANALCIMA.....	226

### APÊNDICE 3

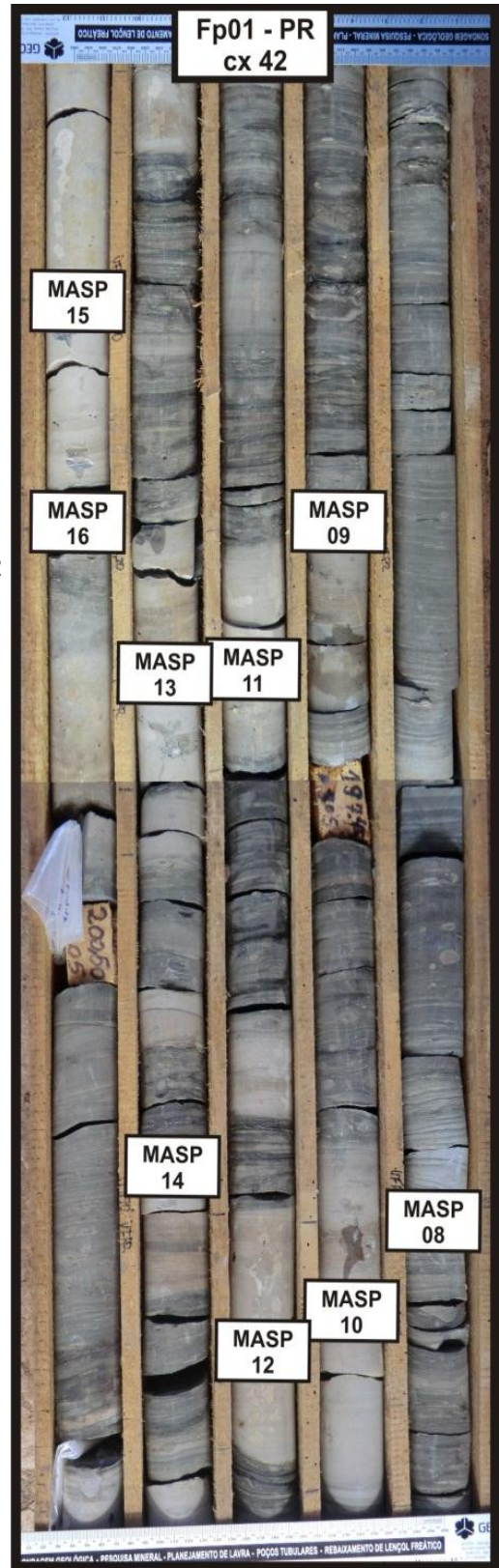
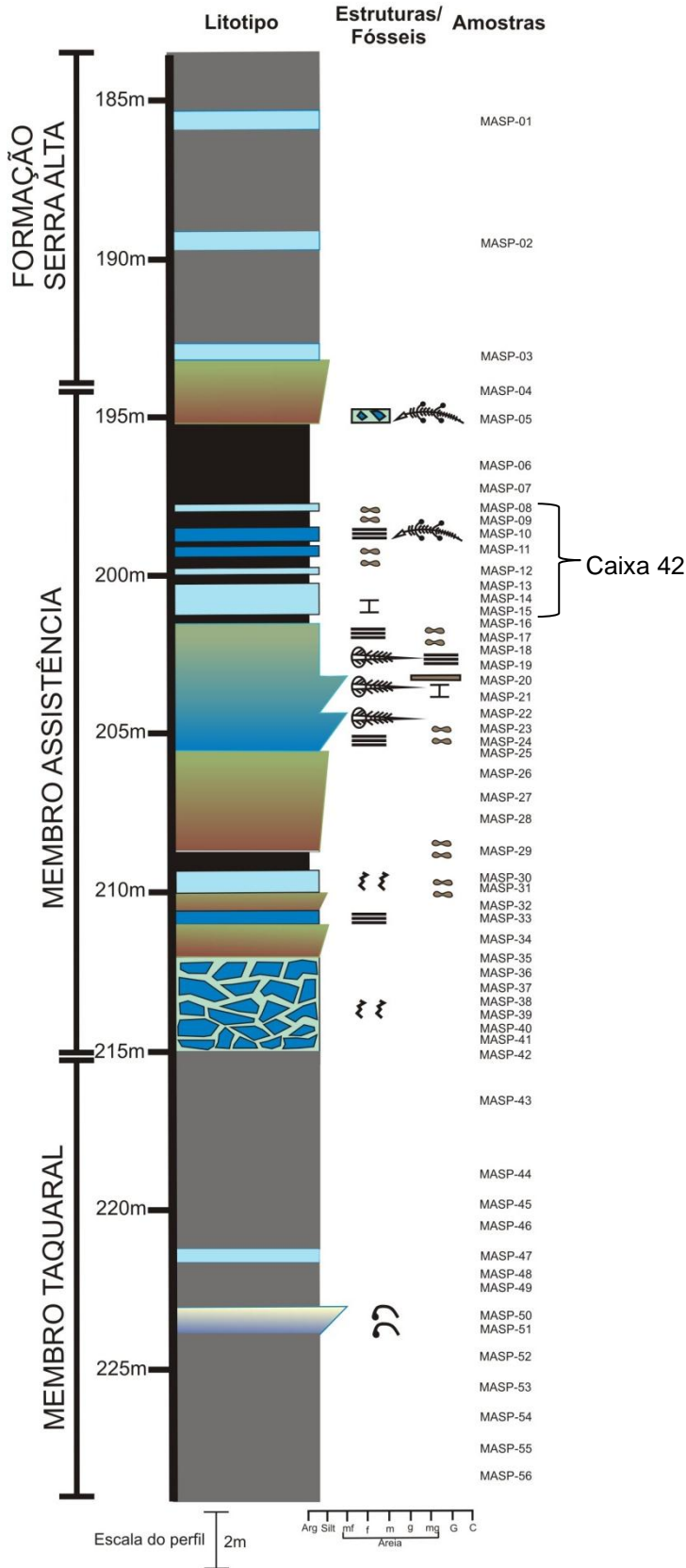
APÊNDICE 3. 1 - PERFIL QUIMIOESTRATIGRÁFICO DAS ROCHAS DA PEDREIRA VITTI COM A VARIÇÃO DOS ÓXIDOS MAIORES DE SÓDIO, POTÁSSIO, TITÂNIO, MANGANÊS E FÓSFORO. ....	227
APÊNDICE 3. 2 - PERFIL QUIMIOESTRATIGRÁFICO DAS ROCHAS DA PEDREIRA VITTI COM A VARIÇÃO DOS ELEMENTOS TRAÇOS ESTRÔNCIO, BÁRIO, ENXOFRE E CLORO. ....	227
APÊNDICE 3. 3 - PERFIL QUIMIOESTRATIGRÁFICO DAS DO TESTEMUNHO DE SONDAGEM FP-01-PR COM A VARIÇÃO DOS ÓXIDOS MAIORES DE SÓDIO, POTÁSSIO, TITÂNIO, MANGANÊS E FÓSFORO. ....	227
APÊNDICE 3. 4 - PERFIL QUIMIOESTRATIGRÁFICO DAS ROCHAS DO TESTEMUNHO FP-01-PR COM A VARIÇÃO DOS ELEMENTOS TRAÇOS ESTRÔNCIO, BÁRIO, ENXOFRE E CLORO. ....	227



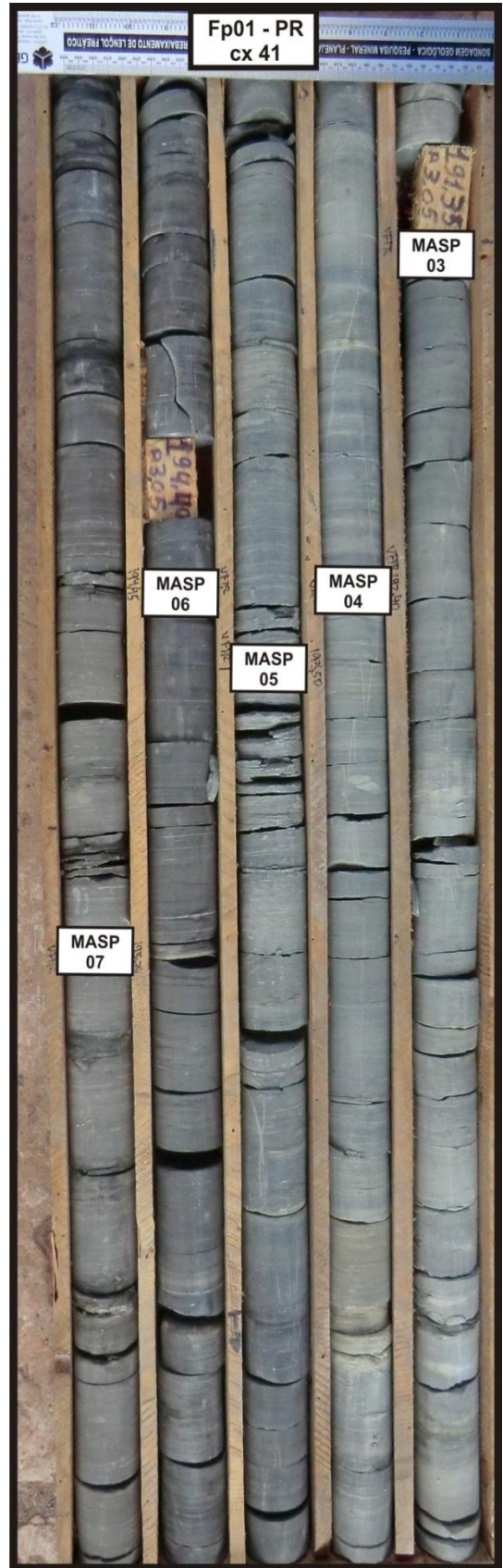
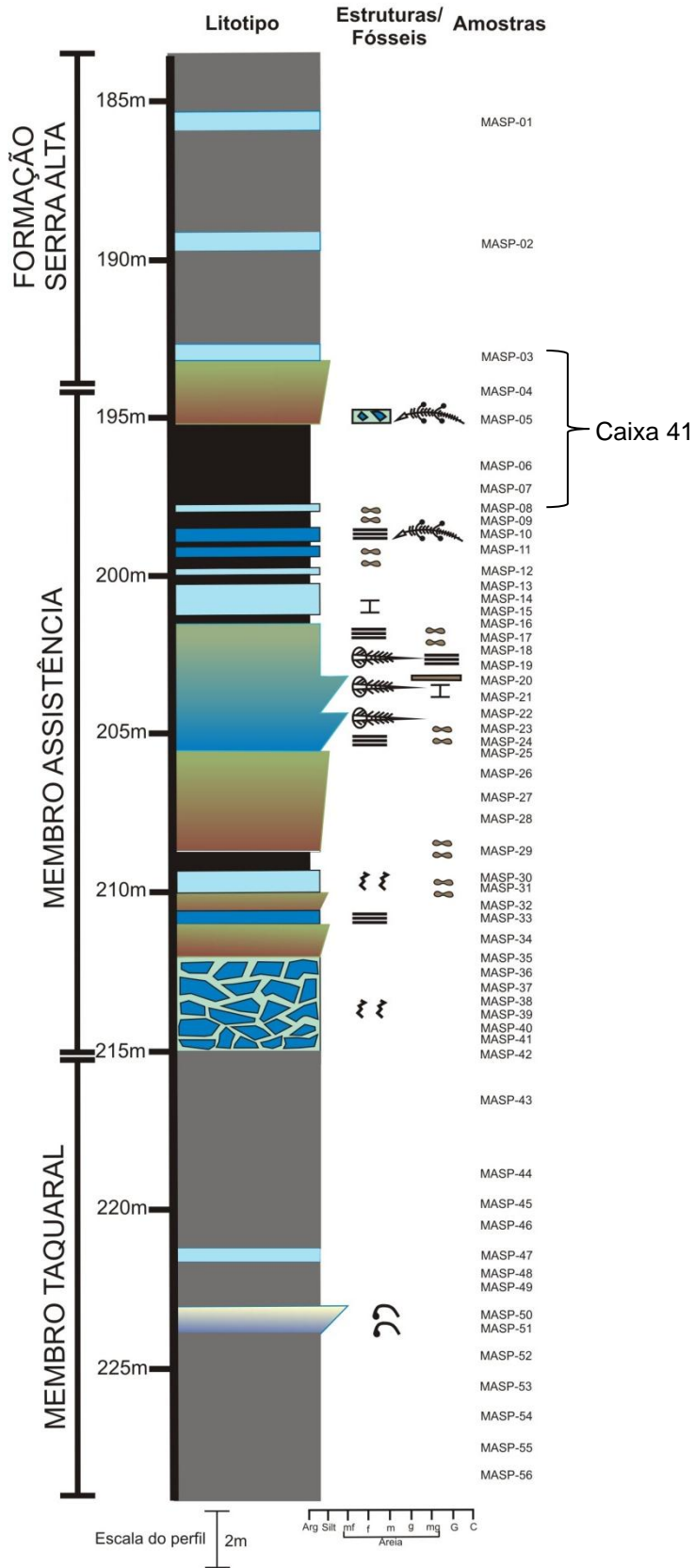
APÊNDICE 1. 1 - Disposição no perfil do testemunho de sondagem FP-01-PR do intervalo onde foram amostradas duas camadas centimétricas de rochas carbonáticas (caixa 47) do Membro Taquaral.



APÊNDICE 1. 2 - Disposição no perfil do testemunho de sondagem FP-01-PR do intervalo onde ocorrem os ritmitos inferiores do Membro Assistência (caixa 44).



APÊNDICE 1. 3 - Disposição no perfil do testemunho do testemunho FP-01-PR do intervalo onde ocorrem os ritmos superiores do Membro Assistência (caixa 42).



APÊNDICE 1. 4 - Disposição no perfil do testemunho de sondagem FP-01-PR do intervalo que representa o contato do Membro Assistência com a Formação Serra Alta (caixa 41).

APÊNDICE 2. 1 - DADOS SEMIQUANTITATIVOS DOS MINERAIS IDENTIFICADOS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X DAS AMOSTRAS DO BANCO DOLOMÍTICO DA PEDREIRA VITTI

Amostra	Cota (m)	Dolomita (%)	Quartzo (%)	Albita (%)
MAVT-01	0,00	88	12	*
MAVT -02	0,30	87	13	*
MAVT -03	0,60	93	7	*
MAVT -04	0,90	95	5	
MAVT -05	1,20	89	11	
MAVT -06	1,50	82	18	*
MAVT -07	1,80	87	13	
MAVT -08	2,10	90	10	
MAVT -09	2,40	95	5	
Média		89,55	10,44	

\* Provável presença

APÊNDICE 2. 2 - DADOS SEMIQUANTITATIVOS DOS MINERAIS IDENTIFICADOS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X NAS AMOSTRAS DA SEÇÃO RÍTMICA DA PEDREIRA VITTI

AMOSTRA	COTA (m)	DOLOMITA (%)	QUARTZO (%)	ARGILOMINERAIS (%)	ALBITA (%)	PIRITA (%)	ANALCIMA (%)
MAVT-10	2,70	99	1	*			
MAVT-11	3,00	50	50	*			
MAVT-12	3,30	81	19	*			
MAVT-13	3,60	44	56	*			
MAVT-14	3,90	86	14	*	*		
MAVT-15	4,20	96	4	*			
MAVT-16	4,50	72	28	*	*		
MAVT-17	4,80	68	32	*			
MAVT-18	5,10	61	39	*		*	
MAVT-19	5,40	72	28	*			
MAVT-20	5,70	65	35	*	*	*	
MAVT-21	6,00	65	35	*	*	*	
MAVT-22	6,30	54	46	*		*	
MAVT-23	6,60	66	34	*		*	
MAVT-24	6,90	66	34	*		*	
MAVT-25	7,20	58	42	*		*	
MAVT-26	7,50	53	47	*			
MAVT-27	7,80	69	31	*			
MAVT-28	8,10	71	29	*			
MAVT-29	8,40	84	16	*			
MAVT-30	8,70	70	30	*		*	
MAVT-31	9,00	69	31	*			
MAVT-32	9,30	80	20	*			
MAVT-33	9,60	80	20	*		*	
MAVT-34	9,90	48	52	*		*	
MAVT-35	10,20	69	31	*		*	
MAVT-36	10,50	88	12	*			
MAVT-37	10,80	77	23	*		*	

continua



APÊNDICE 2.2 – DADOS SEMIQUANTITATIVOS DOS MINERAIS IDENTIFICADOS POR DIFRAÇÃO DE RAIO X NAS AMOSTRAS DA SEÇÃO RÍTMICA DA PEDREIRA VITTI

continuação e conclus

AMOSTRA	COTA (m)	DOLOMITA (%)	QUARTZO (%)	ARGILOMINERAIS (%)	ALBITA (%)	PIRITA (%)	ANALCIMA (%)
MAVT-38	11,10	60	40	*			
MAVT-39	11,40	91	9	*			
MAVT-40	11,70	71	29	*			
MAVT-41	12,00		20	*	6		74
MAVT-42	12,30		51	*	49		1
MAVT-43	12,60	65	35	*		*	
MAVT-44	12,90	95	5			*	
MAVT-45	13,20	63	37	*			
MAVT-46	13,50	92	8	*			
MAVT-47	13,80		70	*		7	17
MAVT-48	14,10		77	*		7	16
MAVT-49	14,40	90	10				
MAVT-50	14,70	98	2				
MAVT-51	15,00	96	4			*	
MAVT-52	15,30		77	*	27		
MAVT-53	15,60	93	7				
MAVT-54	15,90	85	15			*	

\*Provavel presença

APÊNDICE 2. 3 - DADOS SEMIQUANTITATIVOS DOS MINERAIS IDENTIFICADOS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X NAS AMOSTRAS DO *MUDSTONE* LAMINADO BRECHADO DO TESTEMUNHO FP-01-PR

Amostra	Profundidade (m)	Dolomita (%)	Quartzo (%)	Argilomineral (%)	Albita (%)	Anortita (%)
MASP -35	211,95	7	93	*		
MASP -36	212,3	44	31	*	24	
MASP -37	213,1	77	23			
MASP -38	213,5	34	66	*		
MASP -39	214	20	65			16
MASP -40	214,2	71	29			
MASP -41	214,8	49	51	*		
MASP -42	215	58	42	*		

\* Provável presença

APÊNDICE 2. 4 - - DADOS SEMIQUANTITATIVOS DOS MINERAIS IDENTIFICADOS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X NAS AMOSTRAS DO BANCO DOLOMÍTICO DO TESTEMUNHO FP-01-PR

Amostra	Profundidade (m)	Dolomita (%)	Quartzo (%)	Albita (%)
MASP -17	201,9	58	36	
MASP -18	202,3	67	19	13
MASP -19	202,8	55	31	14
MASP -20	203	68	32	
MASP -21	203,55	76	24	
MASP -22	204,25	57	32	
MASP -23	204,45	84	16	*
MASP -24	205	77	33	

APÊNDICE 2. 5 - DADOS SEMIQUANTITATIVOS DOS MINERAIS IDENTIFICADOS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X NAS AMOSTRAS DE ROCHAS CARBONÁTICAS DA SEÇÃO RÍTMICA INFERIOR DO TESTEMUNHO FP-01-PR

Amostra	Profundidade (m)	Dolomita (%)	Ankerita (%)	Quartzo (%)	Argilominerais (%)
MASP -30	209,0	90	-	10	-
MASP -31	209,8	59	-	41	*
MASP -33	210,6	-	52	48	*

\*Provável presença

APÊNDICE 2. 6 - DADOS SEMIQUANTITATIVOS DOS MINERAIS IDENTIFICADOS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X NAS AMOSTRAS DE ROCHAS CARBONÁTICAS DA SEÇÃO RÍTMICA SUPERIOR DO TESTEMUNHO FP-01-PR

Amostra	Profundidade (m)	Dolomita (%)	Calcita (%)	Ankerita (%)	Quartzo (%)
MASP -10	198,8	66	21		13
MASP -11	199,3	66		10	24
MASP -12	199,9	70			30
MASP -13	200,2	63		10	27
MASP -14	200,4	71		7	22
MASP -15	201,1	48			52

APÊNDICE 2. 7 – DADOS ISOTÓPICOS DAS AMOSTRAS ANALISADAS NA PEDREIRA VITTI E SUAS RESPECTIVAS UNIDADES QUÍMICAS

AMOSTRA	COTA (m)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	UNIDADES QUÍMICAS
MAVT -01	0,00	-5,62	-4,08	A
MAVT -02	0,30	-3,16	-6,62	A
MAVT -03	0,60	-2,14	-7,03	A
MAVT -04	0,90	-2,04	-7,01	A
MAVT -05	1,20	-2,65	-7,19	A
MAVT -06	1,50	-1,95	-7,96	A
MAVT -07	1,80	-1,29	-7,53	A
MAVT -08	2,10	0,06	-7,06	A
MAVT -09	2,40	1,67	-8,08	A
MAVT -10	2,70	0,00	-7,84	B
MAVT -11	3,00	5,47	-7,92	B
MAVT -12	3,30	-1,85	-7,97	B
MAVT -13	3,60	-5,56	-7,46	B
MAVT -14	3,90	-5,15	-7,26	B
MAVT -15	4,20	-5,61	-7,29	B
MAVT -16	4,50	-2,07	-7,26	C
MAVT -17	4,80	10,49	-5,90	C
MAVT -18	5,10	1,16	-7,01	C
MAVT -19	5,40	-0,80	-6,49	C
MAVT -20	5,70	12,18	-5,14	C
MAVT -21	6,00	-2,51	-6,76	C
MAVT -22	6,30	14,04	-6,52	C
MAVT -23	6,60	4,15	-7,04	C
MAVT -24	6,90	9,17	-6,89	C
MAVT -25	7,20	9,81	-7,16	C
MAVT -26	7,50	12,98	-4,97	C
MAVT -27	7,80	9,1	-6,49	C
MAVT -28	8,10	4,26	-6,96	C
MAVT -29	8,40	10,94	-6,3	C
MAVT -30	8,70	16,01	-7,27	C
MAVT -32	9,30	15,24	-7,28	C
MAVT -33	9,60	15,3	-7,47	C
MAVT -34	9,90	15,14	-7,45	C
MAVT -35	10,20	2,93	-6,94	C
MAVT -36	10,50	-8,55	-6,79	C
MAVT -37	10,80	13,15	-7,49	C
MAVT -38	11,10	15,12	-7,56	C
MAVT -39	11,40	13,92	-7,34	C
MAVT -40	11,70	10,52	-6,12	D
MAVT -43	12,60	14,81	-6,6	D
MAVT -44	12,90	12,93	-6,84	D
MAVT -45	13,20	16,14	-7,37	D
MAVT -46	13,50	13,34	-7,15	D
MAVT -49	14,40	14,11	-7,32	D
MAVT -50	14,70	13,63	-7,76	D
MAVT -51	15,00	16,14	-7,62	D
MAVT -53	15,60	14,84	-7,69	D
MAVT -54	15,90	11,49	-7,23	D

APÊNDICE 2. 8 - DADOS ISOTÓPICOS DAS AMOSTRAS ANALISADAS NO TESTEMUNHO FP-01-PR E SUAS RESPECTIVAS UNIDADES QUÍMICAS

AMOSTRA	PROFUNDIDADE (m)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	UNIDADES QUÍMICAS
MASP -01	185,55	4,81	-13,38	4
MASP -02	189,50	9,96	-11,17	4
MASP -10	198,80	12,54	-9,49	4
MASP -11	199,30	17,39	-7,99	3
MASP -12	199,90	17,84	-8,14	3
MASP -13	200,20	15,63	-8,10	3
MASP -14	200,40	14,63	-8,16	3
MASP -15	201,10	10,94	-8,04	3
MASP -17	201,90	7,32	-8,16	3
MASP -18	202,30	6,13	-8,04	3
MASP -19	202,80	3,11	-8,15	3
MASP -20	203,00	-1,17	-8,04	3
MASP -21	203,55	-2,31	-7,64	3
MASP -22	204,25	-0,72	-7,87	3
MASP -23	204,45	-4,93	-7,24	3
MASP -24	205,00	-6,84	-6,66	3
MASP -30	209,35	-4,15	-8,24	2
MASP -31	209,80	2,82	-8,13	2
MASP -35	211,95	-8,41	-8,52	2
MASP -36	212,30	-12,52	-8,96	2
MASP -37	213,10	-10,65	-8,93	2
MASP -38	213,50	-13,54	-8,77	2
MASP -39	214,00	-15,50	-9,19	2
MASP -40	214,20	-11,81	-8,48	2
MASP -41	214,80	-10,67	-8,77	2
MASP -42	215,00	-8,56	-8,51	2
MASP -47	221,85	-12,72	-13,31	1
MASP -50	223,45	-1,28	-13,41	1
MASP -51	223,75	0,50	-13,02	1

## APÊNDICE 2. 9 - DADOS QUÍMICOS OBTIDOS POR FRX DAS AMOSTRAS ANALISADAS DA PEDREIRA VITTI

UNIDADE	AMOSTRA	CaO (%)	MgO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	S (ppm)	Cl (ppm)
A	MAVT-01	27,04	18,65	10,47	0,9	0,37	0,07	0,16	0,037	0,219	0,058	279	6	1452	63
A	MAVT -02	28,25	19,74	7,69	0,68	0,39	0,09	0,16	0,04	0,216	0,041	454	55	1661	183
A	MAVT -03	29,44	20,46	4,85	0,22	0,16	0,07	0,06	0,016	0,168	0,03	538	11	822	217
A	MAVT -04	30,06	20,45	3,09	0,18	0,19	0,07	0,04	0,014	0,226	0,039	797	7	967	188
A	MAVT -05	28,02	19,61	8,13	0,7	0,45	0,1	0,17	0,045	0,161	0,029	523	23	1776	232
A	MAVT -06	26,72	19,38	10,59	0,71	0,45	0,09	0,18	0,045	0,11	0,032	459	20	1958	246
A	MAVT -07	30,07	18,43	4,35	0,18	0,14	0,1	0,05	0,017	0,245	0,027	735	25	1611	357
A	MAVT -08	27,51	19,05	8,54	0,4	0,26	0,08	0,09	0,025	0,143	0,032	677	17	1095	338
A	MAVT -09	29,75	17,96	3,43	0,16	0,13	0,12	0,04	0,015	0,098	0,026	638	22	2639	602
B	MAVT -10	29,55	21,14	1,62	0,23	0,1	0,11	0,03	0,011	0,495	0,054	497		480	250
B	MAVT -11	17,45	13,63	41,25	0,22	0,4	0,02	0,03	0,012	0,911	0,06	358		343	261
B	MAVT -12	23,44	19,4	17,13	0,73	0,33	0,06	0,1	0,03	0,285	0,04	599	23	888	153
B	MAVT -13	19,29	15,74	34,2	0,12	0,51	0,03	0,03	0,014	0,8	0,053	587		899	220
B	MAVT -14	25,17	19,91	12,91	0,51	0,42	0,08	0,07	0,029	0,319	0,042	760	17	1339	175
B	MAVT -15	27,96	21,84	4,7	0,25	0,22	0,07	0,04	0,018	0,283	0,036	747		851	146
C	MAVT -16	24,37	18,07	17,39	0,32	0,54	0,07	0,05	0,022	0,574	0,037	922		2359	176
C	MAVT -17	19,21	19,36	25,46	1,01	0,54	0,03	0,07	0,034	0,738	0,071	844	15	1458	250
C	MAVT -18	19,53	18,44	29,24	0,75	0,51	0,04	0,06	0,026	0,53	0,053	773		1488	219
C	MAVT -19	24,98	18,91	17,05	0,18	0,41	0,07	0,03	0,016	0,504	0,052	827	8	1476	206
C	MAVT -20	19,05	18,66	27,05	1,01	0,98	0,04	0,09	0,045	0,831	0,083	794		2664	274
C	MAVT -21	22,16	17,82	24,01	0,35	0,55	0,05	0,04	0,021	0,451	0,048	852		1465	167

continuação

## APÊNDICE 2.9 – DADOS QUÍMICOS OBTIDOS POR FRX DAS AMOSTRAS ANALISADAS DA PEDREIRA VITTI

continuação

UNIDADE	AMOSTRA	CaO (%)	MgO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	S (ppm)	Cl (ppm)
C	MAVT -22	18,52	17,7	28,07	1,06	1,2	0,06	0,12	0,056	0,94	0,085	746		3651	316
C	MAVT-23	19,1	19,51	25,38	0,99	0,87		0,09	0,034	0,528	0,055	778	34	2337	220
C	MAVT 24	20,93	18,51	23,29	0,73	0,66	0,06	0,07	0,028	0,709	0,067	44	32	1792	67
C	MAVT -25	17,93	20,37	25,96	1,96	2,09	0,04	0,3	0,104	0,919	0,087	05	38	6203	84
C	MAVT -26	18,76	16,17	31,09	0,93	0,91	0,1	0,09	0,048	0,947	0,078	49	17	864	18
C	MAVT -27	20,43	19,02	24,23	0,98	0,76	0,08	0,06	0,031	0,877	0,068	29	16	956	35
C	MAVT -28	21,06	19,7	22,67	0,92	0,73	0,04	0,08	0,031	0,486	0,054	83	13	921	72
C	MAVT -29	22,46	20,32	16,99	0,9	0,55	0,1	0,06	0,025	0,685	0,073	70	23	633	47
C	MAVT -30	18,28	19,61	26,63	1,61	1,34	0,06	0,2	0,071	0,903	0,094	97	49	553	66
C	MAVT -31	22,52	17,54	23,84	0,64	0,36	0,15	0,05	0,023	1,174	0,104	47	29	070	50
C	MAVT -32	21,41	19,29	17,58	1,24	0,86	0,18	0,09	0,046	1,193	0,095	11	40	629	04
C	MAVT -33	21,32	19,21	21,21	1,07	0,78	0,1	0,1	0,035	0,83	0,085	96	41	282	78
C	MAVT -34	14,57	16,98	36,85	2,25	3,27		0,42	0,144	1,091	0,123	40	72	457	44
C	MAVT -35	18,93	16,71	29,94	1,31	1,14	0,06	0,19	0,063	0,571	0,057	70	35	575	79
C	MAVT -36	24,44	18,99	16,7	0,73	0,85	0,09	0,13	0,041	0,216	0,04	69		622	12
C	MAVT -37	21,51	19,1	20,19	1,02	0,81	0,09	0,09	0,034	1,004	0,065	33	33	700	61
C	MAVT -38	17,19	16,87	33,62	1,69	1,53	0,06	0,28	0,085	0,731	0,069	68	72	976	59
C	MAVT -39	27,96	20,24	7,16	0,33	0,38	0,15	0,07	0,017	0,701	0,076	52	36	329	29
D	MAVT -40	22,1	16,3	27,5	0,73	0,81	0,11	0,12	0,041	0,53	0,072	86	32	350	59
D	MAVT -41	0,7	6,5	65,8	10,1	1,9	4,6	0,6	0,3	0	0,1			1,6	
D	MAVT -42	1,5	9,2	46,6	6,2	8	1,2	1,3	0,3	0,1	0,5			8,2	

continua

PÊNDICE 2.9 – DADOS QUÍMICOS OBTIDOS POR FRX DAS AMOSTRAS ANALISADAS DA PEDREIRA VITTI

UNIDADE	AMOSTRA	Continuação e conclusão													
		CaO (%)	MgO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	S (ppm)	Cl (ppm)
D	MAVT -43	16,02	34,94	1,6	1,75	0,07	0,3	0,087	0,669		0,098	480	82	4850	
D	MAVT -44	29,04	19,73	5,76	0,46	0,63	0,18	0,08	0,027	1,309	0,059	546	32	2511	290
D	MAVT -45	16,54	25,99	0,69	0,91	0,13	0,08	0,025	0,909		0,074	496	44	3139	
D	MAVT -46	27,95	19,61	8,88	0,51	0,69	0,17	0,1	0,029	1,033	0,064	545	34	2514	261
D	MAVT -47	0,7	8,8	53,6	8,2	6,2	2	1,6	0,4	0,1	0,1	0		6,1	
D	MAVT -48	0,6	8	49,9	7	7,9	1,6	1,4	0,3	0,1	0,1	0		8,4	
D	MAVT -49	27,77	19,34	9,19	0,61	0,67	0,19	0,11	0,033	1,205	0,072	498	54	2348	342
D	MAVT -50	30,33	19,79	3,16	0,61	0,85	0,22	0,13	0,036	1,275	0,07	538	68	3428	355
D	MAVT -51	29,84	20,19	3,52	0,6	0,91	0,2	0,14	0,035	0,673	0,087	484	83	2858	403
D	MAVT -52	0,8	7	53	5,8	6,8	1,1	1,2	0,3	0,1	0,3	0		8	
D	MAVT -53	28,83	19,57	6,44	0,43	0,74	0,15	0,1	0,024	0,986	0,071	464	81	1678	320
D	MAVT -54	27,7	17,65	14,44	0,33	0,94	0,11	0,05	0,018	1,263	0,068	460	76	2937	291



## APÊNDICE 2. 10 - DADOS QUÍMICOS QUANTITATIVOS OBTIDOS POR FRX DAS AMOSTRAS ANALISADAS DO TESTEMUNHO FP-01-PR

UNIDADE	AMOSTRA	CaO (%)	MgO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	S (ppm)	Cl (ppm)
4	491/11 01	33,21	1,81	23,44	3,95	3,86	1,16	0,9	0,252	3,067	0,1	292	144	1052	126
4	491/11 02	38,62	2,16	12,48	2,11	2,39	0,9	0,44	0,131	7,919	0,141	426	172	1070	111
4	491/11 03	2,44	2,42	68,99	11,09	4,08	0,98	2,81	0,777	0,152	0,093	193	432	8570	69
4	491/11 04	2,94	2,4	69,7	9,86	3,88	0,87	2,36	0,749	0,192	0,532	340	954	12189	103
4	491/11 05	18,96	1,94	41,35	6,57	2,25	1,7	1,09		2,223	13,023	2922	25108	14290	304
4	491/11 08	17,02	1,89	48,78	8,46	1,57	3,74	0,97	0,381	1,751	0,099	245	361	2910	263
4	491/11 10	34,22	14,09	7,5	0,54	1,2	0,22	0,11	0,032	1,089	0,074	358	385	1523	418
3	491/11 11	24,99	16,98	13,96	0,82	1,29	0,14	0,13	0,038	1,497	0,077	288	239	1424	392
3	491/11 12	24,51	16,06	18,17	0,5	0,71	0,09	0,1	0,031	0,953	0,064	281	10	1011	376
3	491/11 13	24,37	17,58	15,63	0,72	0,92	0,09	0,12	0,037	0,658	0,059	250	8	1511	282
3	491/11 14	24,53	18,13	16,66	0,55	0,63	0,08	0,09	0,025	0,886	0,067	335	10	780	228
3	491/11 15	22,62	14,17	28,36	0,44	0,54	0,05	0,11	0,032	0,492	0,051	220		720	210
3	491/11 17	20,39	13,72	27,66	1,87	1,16	0,24	0,42	0,121	0,313	0,069	422	27	4637	174
3	491/11 18	23,35	15,92	19,83	1,46	0,98	0,2	0,34	0,086	0,226	0,072	375	20	4130	206
3	491/11 19	22,71	15,32	22,73	1,86	1,11	0,25	0,45	0,099	0,287	0,085	288	21	4291	152
3	491/11 20	25,03	17,47	17,39	1,28	1,19	0,22	0,32	0,08	0,385	0,08	433	22	5030	197
3	491/11 21	26,77	19,04	13,37	0,74	0,94	0,14	0,19	0,042	0,351	0,056	389		2958	213
3	491/11 22	30,63	16,63	14,7	0,17	1,72	0,1	0,05	0,013	0,249	0,068	280		5288	288
3	491/11 23	27,72	18,94	9,06	1,05	1,03	0,22	0,27	0,073	0,429	0,105	281	4	4873	264
3	491/11 24	26,91	18,29	11,84	0,56	0,71	0,11	0,12	0,026	0,21	0,068	234		2404	159
2	491/11 29	4,11	3,72	57,06	15,14	1,34	6,81	0,29	0,131	0,106	0,189	119		1868	576
2	491/11 30	30,95	18,62	5,27	0,32	0,62	0,1	0,04	0,023	1,032	0,067	271		2283	267
2	491/11 31	20,96	14,5	30,55	0,78	1,03	0,03	0,08	0,036	0,507	0,082	160		1942	210
2	491/11 33	15,3	18,96	35,27	3,44	1,57	0,03	0,33	0,188	0,416	0,04	267	10	1555	290

continua

## APÊNDICE 2.10 – DADOS QUÍMICOS QUANTITATIVOS OBTIDOS POR FRX DAS AMOSTRAS ANALISADAS DO TESTEMUNHO FP-01-PR

Continuação e conclusão

UNIDADE	AMOSTRA	CaO (%)	MgO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	S (ppm)	Cl (ppm)
2	491/11 35	3,86	10,98	72,61	2,57	1,81	0,03	0,23	0,231	0,281	0,03	115		899	100
2	491/11 36B	13,09	19,71	36,24	4,13	2,44		0,35	0,271	0,963	0,079	217	3	3212	142
2	491/11 37A	28,37	19,21	8,13	0,24	0,4	0,12	0,04	0,019	0,553	0,083	227		1546	536
2	491/11 38	14,71	13,57	42,55	2,34	1,79		0,14	0,092	0,822	0,04	131		1486	160
2	491/11 39	13,38	16,12	40,98	4,3	2,89	0,02	0,32	0,287	0,917	0,066	115	12	3807	259
2	491/11 40	23,94	16,52	20,37	0,5	0,7	0,06	0,03	0,023	0,736	0,046	180	230	1468	292
2	491/11 41	18,98	16,27	28,9	3,02	2,61	0,1	0,19	0,207	1,22	0,072	185	45	5406	307
2	491/11 42	21,7	17,12	23,84	1,37	1,21	0,07	0,07	0,049	0,843	0,066	200	52	1910	404
1	491/11 47	35,89	1,25	25,46	2,41	1,87	0,7	0,54	0,159	3,345	0,049	125	9	3881	74
1	491/11 50	9,16	1,79	67,03	6,1	3,62	0,48	1,4	0,529	0,866	0,2	210	157	9163	154
1	491/11 51	36,52	1,88	39,01	4,34	3,26	1,14	0,85	0,337	1,13	0,161	427	79	8941	217
1	491/11 55	2,36	2,29	68,67	11,32	4,43	0,86	2,71	0,798	0,121	0,088	147	256	6577	64

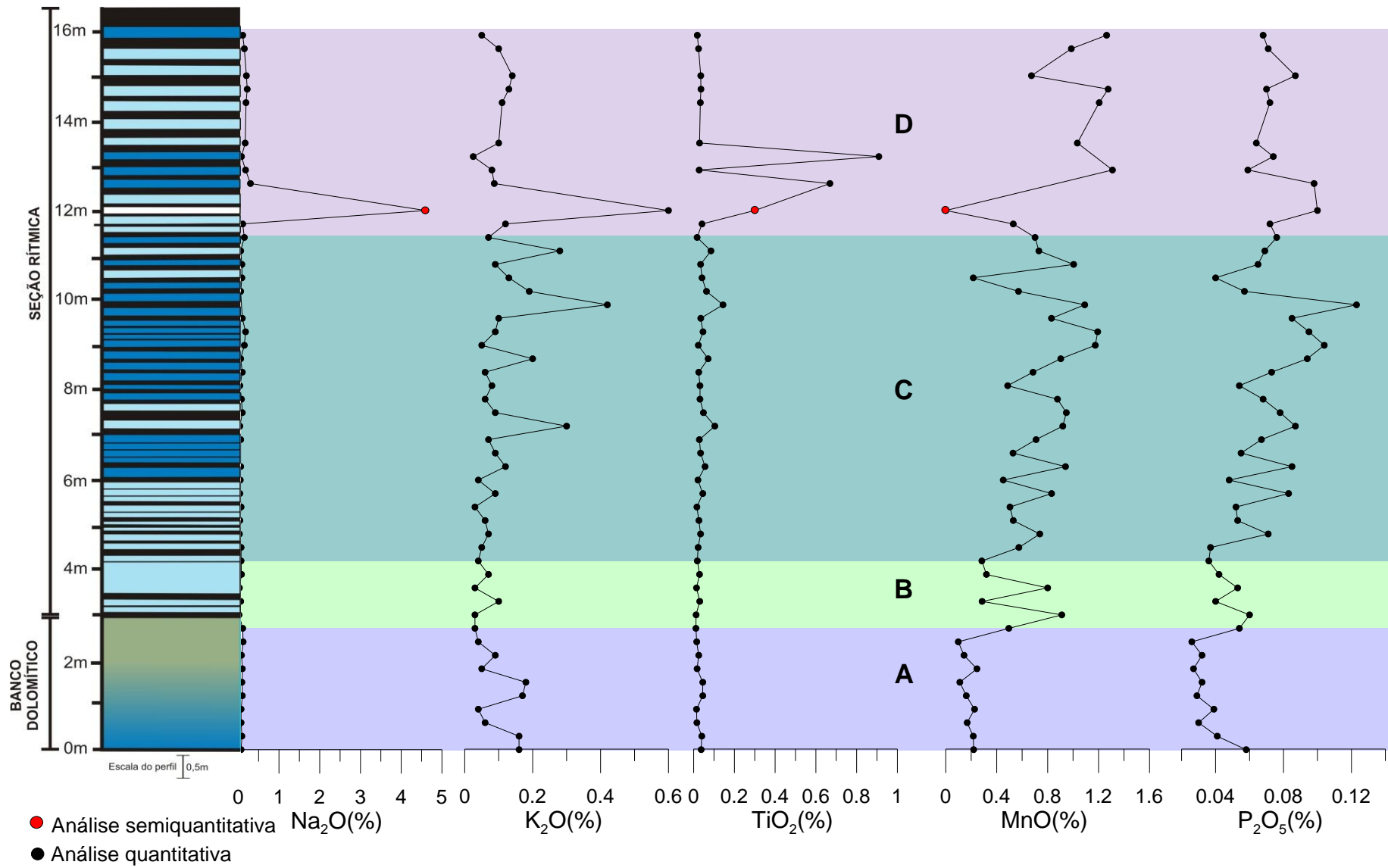
## APÊNDICE 2. 11 – DADOS MINERALÓGICOS OBTIDOS POR DRX DAS CINZAS VULCÂNICAS E ROCHAS COM ANALCIMA

MOSTRA	DOLOMITA (%)	CALCITA (%)	QUARTZO (%)	ARGILOMINERAIS (%)	ALBITA (%)	PIRITA (%)	ANALCIMA (%)
#MAVT-41			20	*	6		74
#MASP-29		4	22	*			74
#Cinza-SIX			41	*			59
#Cinza-SIX			90	*			10
MASP-08		12	32	*	17		39
MASP-09			55	*	25	7	13
MASP-16			71	*	15	2	12
MASP-17	58		36				6
MASP-28			69	*	25		6
MAVT-47			70	*		7	17
MAVT-48			77	*		7	16

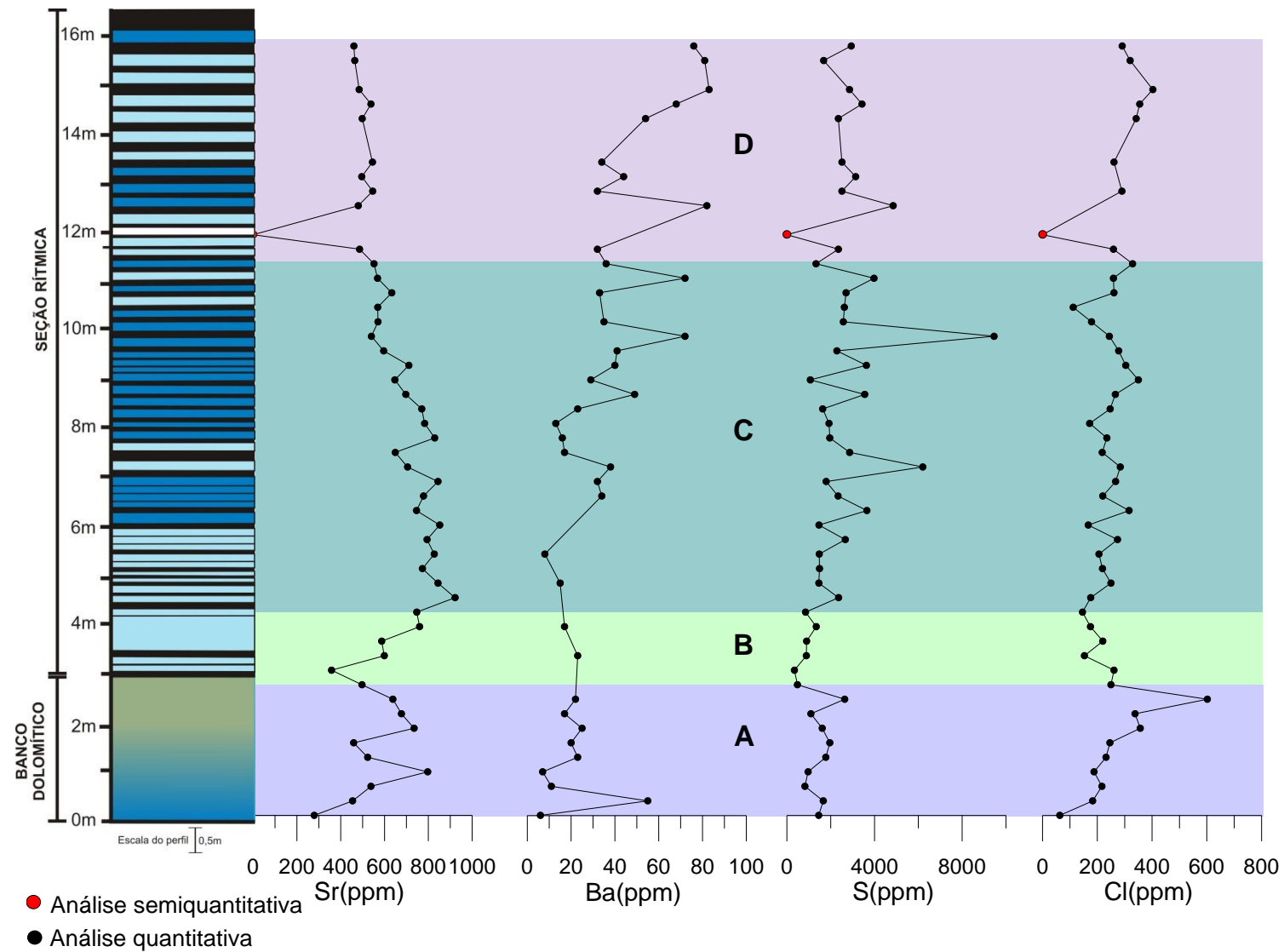
---

\*Provavel presença

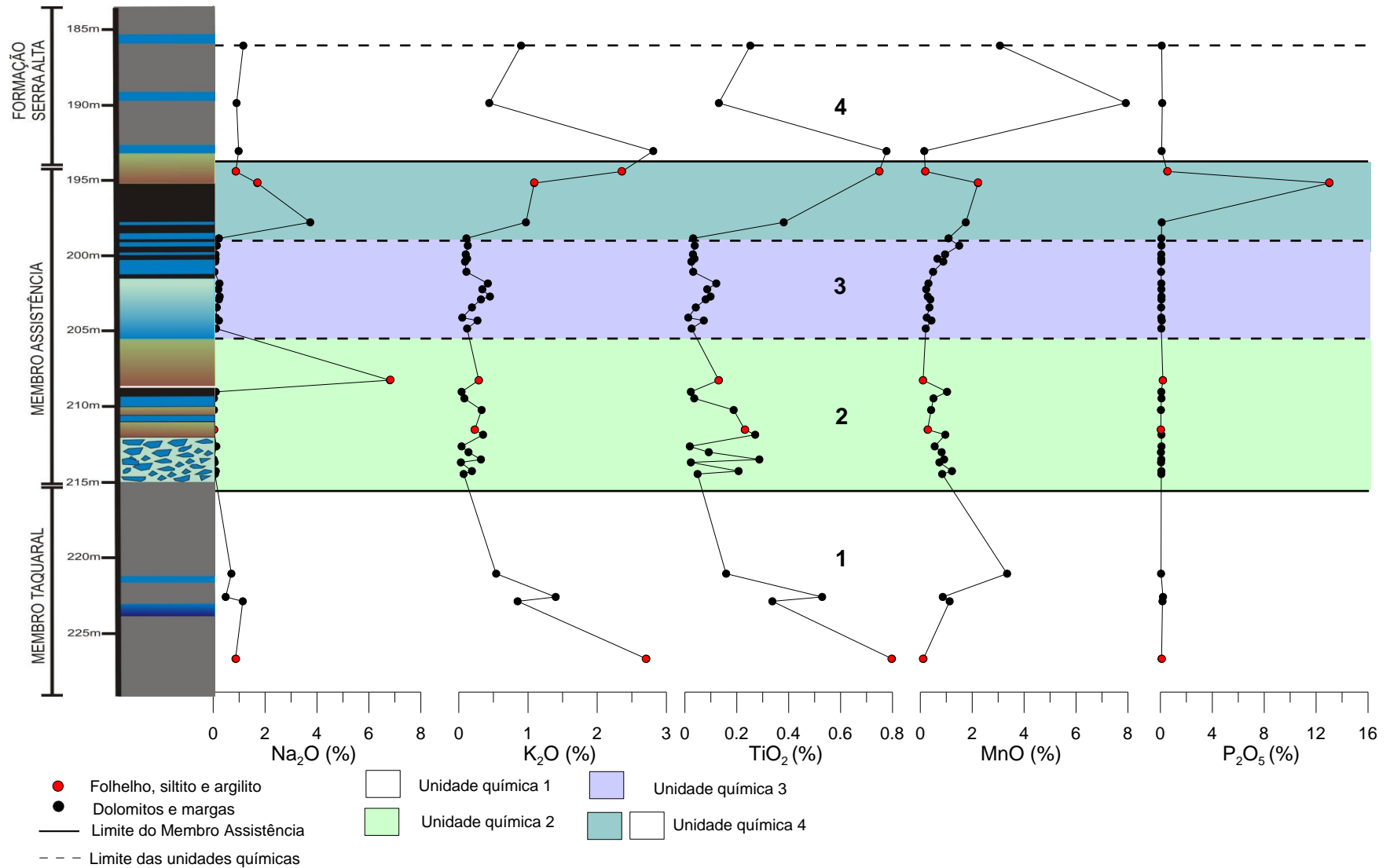
#Cinza Vulcânica



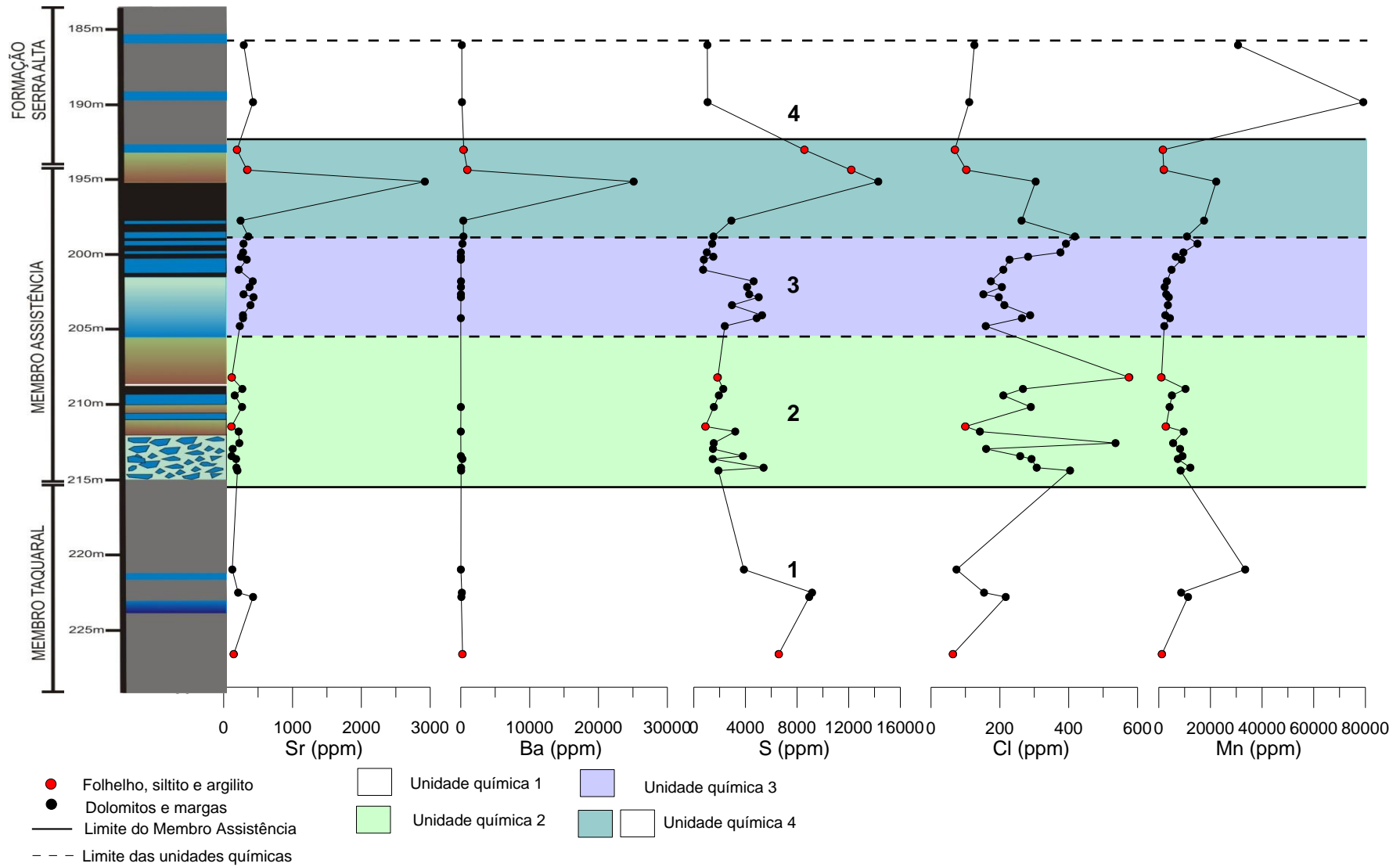
APÊNDICE 3. 1 - Perfil quimioestratigráfico das rochas da Pedreira Vitti com a variação dos óxidos maiores de sódio, potássio, titânio, manganês e fósforo.



APÊNDICE 3. 2 - Perfil quimioestratigráfico das rochas da Pedreira Vitti com a variação dos elementos traços estrôncio, bário, enxofre e cloro.



APÊNDICE 3. 3 - Perfil quimioestratigráfico das do testemunho de sondagem FP-01-PR com a variação dos óxidos maiores de sódio, potássio, titânio, manganês e fósforo.



APÊNDICE 3. 4 - Perfil quimioestratigráfico das rochas do testemunho FP-01-PR com a variação dos elementos traços estrôncio, bário, enxofre e cloro.