

## Capítulo IV

# METAMORFISMO E QUÍMICA MINERAL DAS ROCHAS METASSEDIMENTARES

### 1 - INTRODUÇÃO:

Neste capítulo são apresentados e interpretados os dados de química dos minerais que compõem as rochas metassedimentares. O estudo tem como objetivo principal a determinação das condições de pressão e temperatura que estas rochas foram submetidas.

Os metassedimentos da faixa oeste apresentam paragêneses minerais variadas, todas típicas de pelitos submetidos a metamorfismo de fácies anfíbolito, zona barrovia da estauroлита/cianita. Foram escolhidas 5 amostras representativas das variações mineralógicas apresentadas pelas rochas metassedimentares. As abreviações dos nomes de minerais utilizadas são de Kretz (1983).

A determinação da composição dos minerais foi obtida com o uso de uma microsonda eletrônica CAMECA SX 50, do Laboratório de Microsonda Eletrônica da Universidade de Brasília. As condições de uso foram 15KV e 25nA, com feixe variando entre 5 e 10  $\mu$ . Silicatos naturais foram utilizados como padrões para todos os elementos.

### 2 - QUÍMICA MINERAL:

Cinco amostras de xistos, com representatividade litológica e areal, foram analisadas para a determinação da composição de sete minerais; anfíbólio, biotita, muscovita, estauroлита, epídoto, plagioclásio e granada. Nos dois últimos minerais foram feitos perfis com a finalidade de observar a zonação composicional.

A tabela IV-1 apresenta as amostras com as respectivas paragêneses analisadas e o número de análises feitas. Os dados obtidos são apresentados no anexo 1.

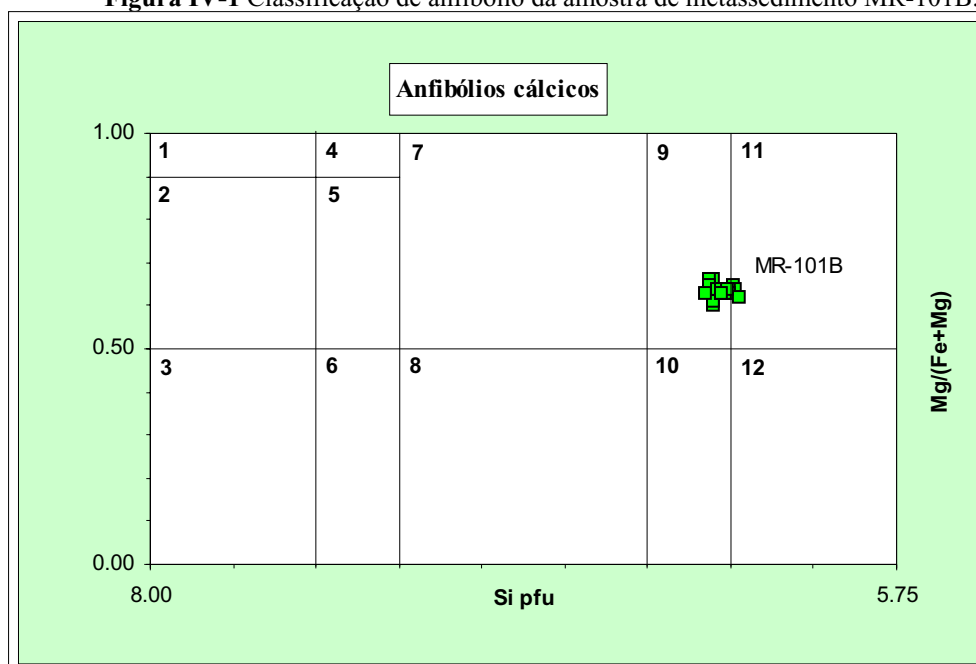
Tabela IV-1 Número de análises por minerais e amostras.

Amostra	Rocha	Hbl	Pl	Grt	Bt	Ms	St	Ep	Total
MR-101B	Hbl-Bt xisto c/Ky	18	23	28	20				89
MR-31C	Grt-Bt xisto		24	39	22	3		3	91
MR-173	Grt-Bt xisto c/Ky		23	52	40	6			121
MR-104A	Grt-St-Ms-Bt xisto		13	20	18		14		65
MR-137A	Grt-St-Ms-Bt xisto		16	41	22	3	18		100
<b>Total</b>		18	99	180	122	12	32	3	466

## 2.1 - Análises minerais:

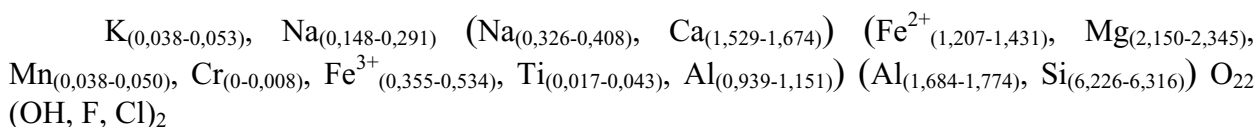
**Anfibólio:** O anfibólio da amostra MR-101B (Hbl-Bt xisto) contém teores de  $TiO_2$  inferiores a 0,5% ( $\approx 0,029$  íons pfu, por fórmula unitária),  $CaO + NaO$  maior que 1,34% ( $\approx 2,2$  íons pfu) e  $NaO$  menor que 0,67% ( $\approx 0,58$  íons pfu). Segundo a classificação de Hawthorne (1981) estes parâmetros colocam o anfibólio desta amostra no grupo de anfibólios cálcicos (hornblenda) e no gráfico que utiliza a razão  $Si \times Mg / (Mg + Fe)$ , o posicionamento da média dos grãos dá-se no campo da hornblenda tschermatítica no limite com o campo da tschermaquita (figura IV-1).

Figura IV-1 Classificação de anfibólio da amostra de metassedimento MR-101B.



**Campos:** 1 Tremolita; 2 Actinolita; 3 Fe-actinolita; 4 Hbl tremolítica; 5 Hbl actinolítica; 6 Hbl Fe-actinolítica; 7 Mg hornblenda; 8 Fe-hornblenda; 9 Hbl tschermatítica; 10 Hbl Fe-tschermatítica; 11 Tschermaquita e 12 Fe-Tschermaquita.

A Fórmula estrutural do anfibólio da amostra MR-101B é:

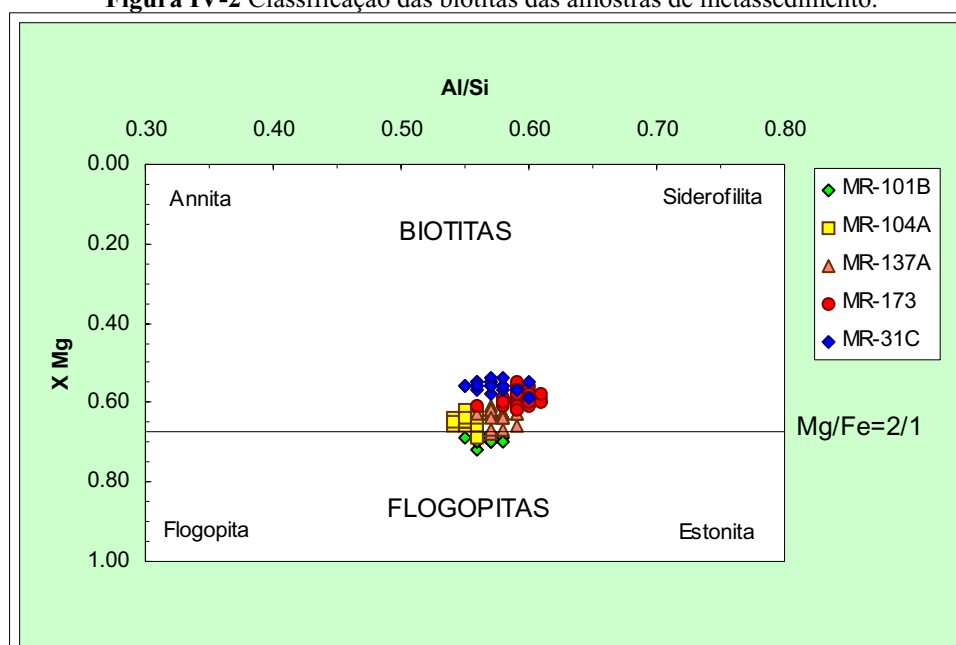


### **Biotita:**

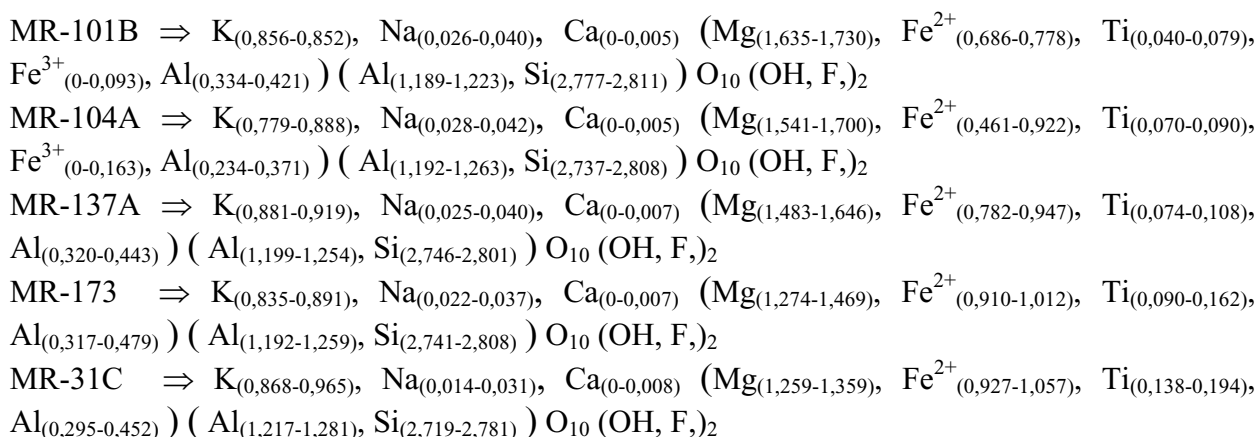
A análise de biotita foi feita em grãos individuais, com cerca de duas análises por grão. Para a classificação das micas foi utilizado o diagrama de razões de Al/Si x X<sub>Mg</sub> (Mg/Mg+Fe) (figura IV-2).

As biotitas são bastante ricas em Mg, com X<sub>Mg</sub> variando de 0,59 a 0,69. A classificação da maioria das amostras fica no campo das biotitas com uma amostra no campo das flogopitas. Estas micas possuem razões Al/Si de 0,59 a 0,69, um meio termo entre as razões das micas ricas em Fe-Mg e Al, que variam de 0,33 a 0,8 respectivamente.

**Figura IV-2** Classificação das biotitas das amostras de metassedimento.

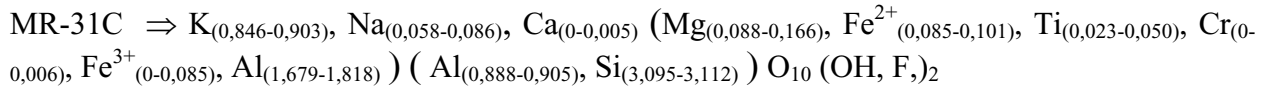
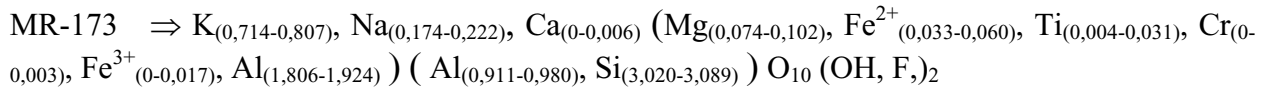
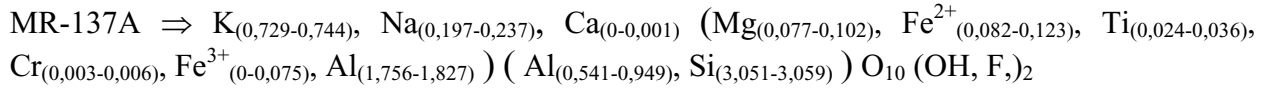


As fórmulas estruturais da biotita para cada amostra são as seguintes:



### ***Muscovita:***

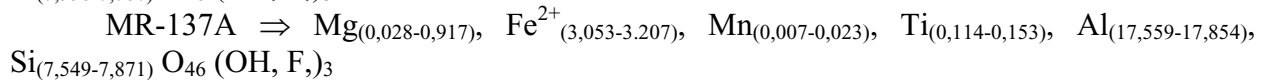
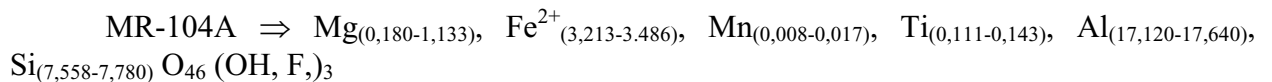
A muscovita analisada apresenta razões Si/Al menores que 3 (1,08 a 1,17), e para cada amostra foram calculadas as seguintes fórmulas estruturais:



### ***Estaurolita:***

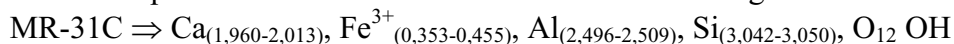
A estaurolita, além de mineral índice no esquema zonal barroviano, indica que a rocha é um pelito verdadeiro, rico em Al e pobre em Ca (Yardley, 1989), isto é sem contribuição de rochas carbonáticas.

Foram analisadas duas amostras de xistos com estaurolita, MR-104A e MR-137A, cujos valores de  $X_{\text{Mg}}$  variam pouco (0,21-0,25), sendo suas fórmulas estruturais:



### ***Epidoto:***

O epidoto da amostra MR-31C teve calculada a seguinte fórmula estrutural:



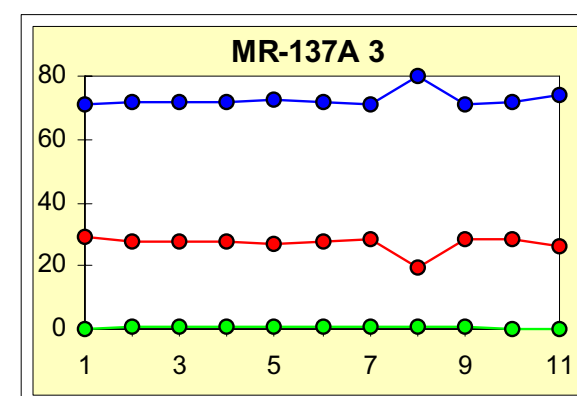
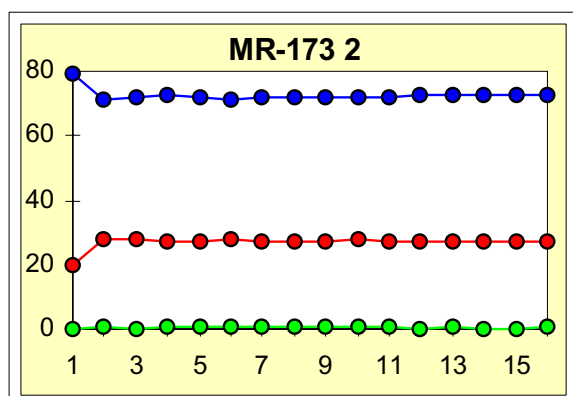
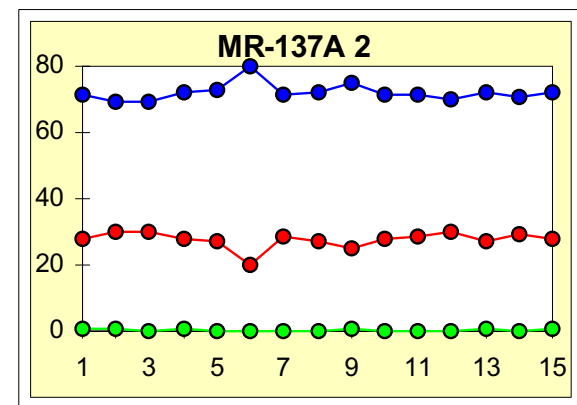
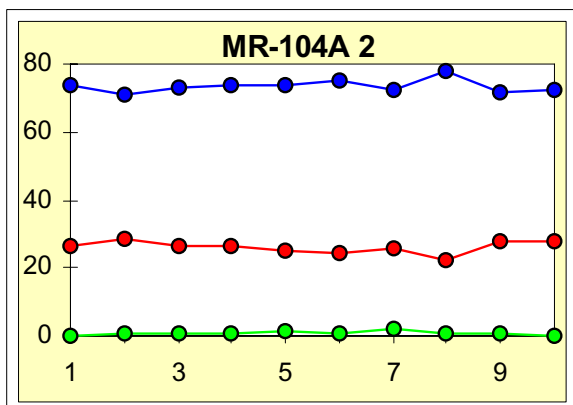
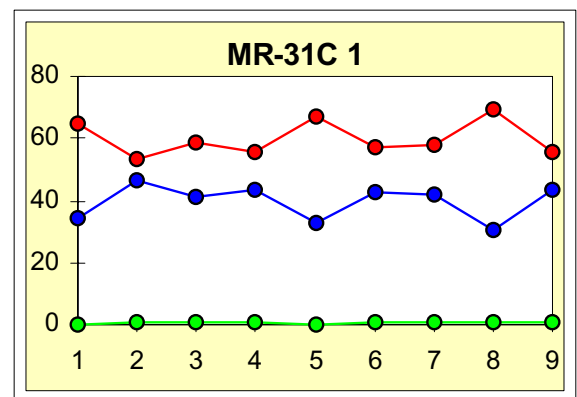
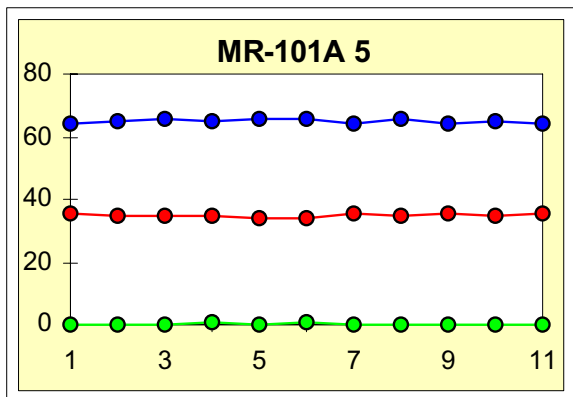
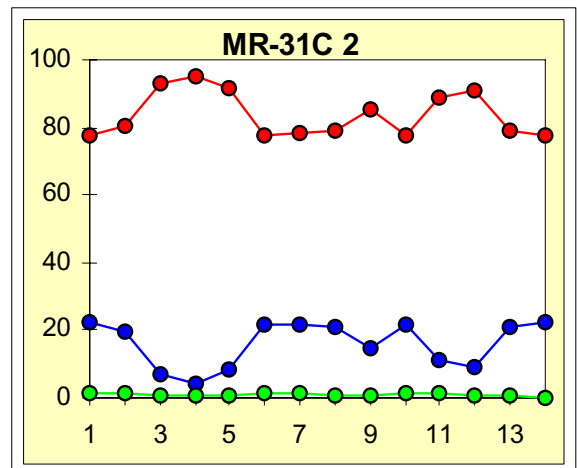
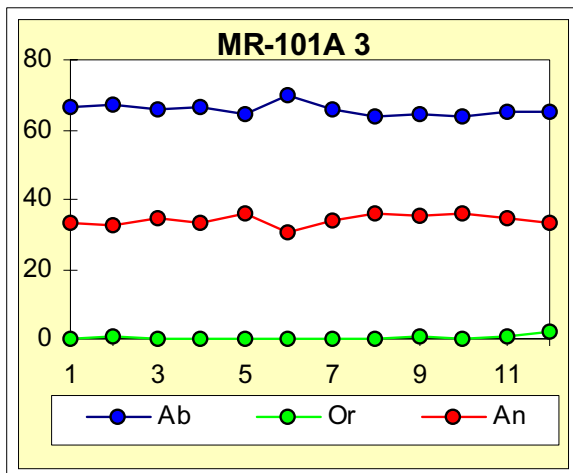
## **2.2 - Análises de porfiroblastos de plagioclásio e granada:**

Cristais zonados são tidos como o registro químico pela qual a história da evolução metamórfica da rocha é registrada (Spear & Selverstone, 1983). Assim sendo, foram realizadas análises composicionais de porfiroblastos de plagioclásio e granada, na forma de perfis, em grãos de 0,5 a 1,5mm, com a finalidade de observar as variações composicionais, já que estas variações são resultantes da evolução metamórfica.

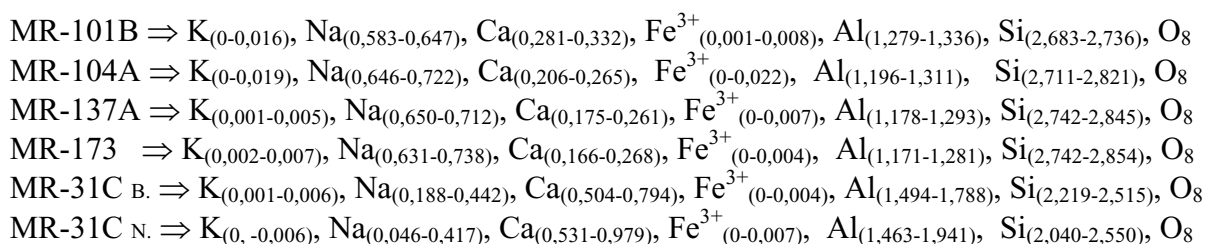
### ***Plagioclásio:***

As análises de microsonda eletrônica indicam que o plagioclásio dos xistos é do tipo oligoclásio, com  $\text{An}_{23-27}$  nos granada-estaurolita-muscovita-biotita xistos (MR-104A e MR-137A) e granada-biotita xistos (MR-173), e andesina,  $\text{An}_{30-35}$ , nos hornblenda-biotita xistos (MR-101B). O plagioclásio do granada-biotita xisto (MR-31C) tem teores de anortita altos,  $\text{An}_{77-91}$ , o que diferencia este xisto dos demais.

Figura IV- 3 Perfis composicionais de plagioclásio dos metassedimentos.



Foram calculadas as seguintes fórmulas estruturais para o plagioclásio dos xistos:



Perfis composicionais de alguns grãos de plagioclásio, de 0,7 a 1,5mm, foram confeccionados (figura IV-3) com a finalidade de observar variações através dos grãos. A maioria das amostras apresenta grãos de plagioclásio com um perfil composicional constante, sem variação significativa entre núcleo e borda. Uma exceção é a composição dos grãos da amostra MR-31C (granada-biotita xisto) que apresentam uma zonação normal, com composição variando entre anortita,  $An_{91}$ , no núcleo, a bitownita,  $An_{77}$ , nas bordas.

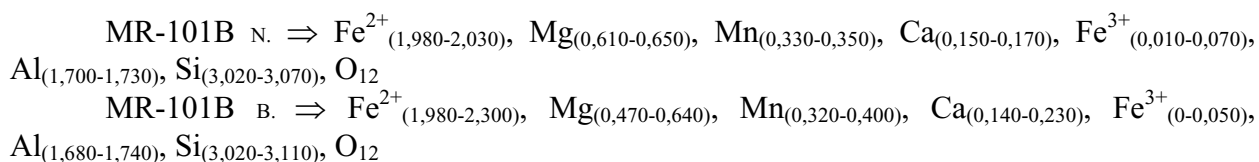
Na maioria dos xistos a composição do plagioclásio varia entre oligoclásio e andesina; o que é compatível com o grau metamórfico a que estas rochas foram submetidas.

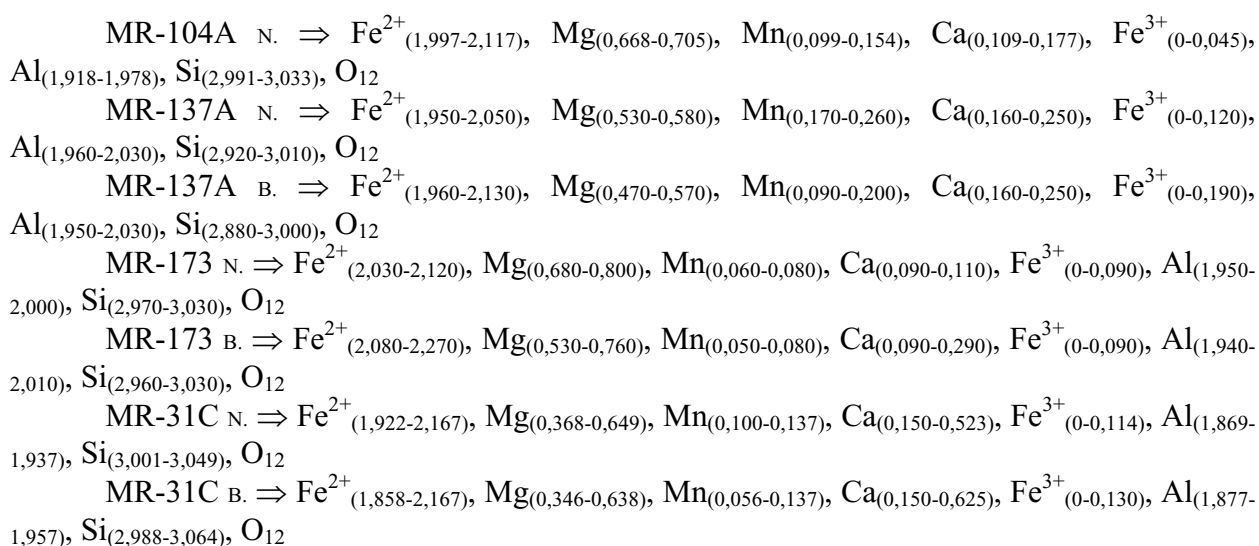
Plagioclásio com alto teor de anortita não é comum em rochas metamórficas de origem pelítica. Os grãos da amostra MR-31C são ricos em anortita, deste modo a sua composição é interpretada como reliquiar. A composição original destes grãos pode estar relacionada a uma significativa contribuição ígnea para a fonte dos sedimentos. Um processo rápido de sedimentação, com pouca ou nenhuma alteração intempérica, aliado ao tamanho do grão, contribuiu para que a composição original do feldspato desta amostra não fosse modificada pelo metamorfismo.

### ***Granada:***

Na maioria dos xistos a granada é dominada pelo par almandina ( $Fe^{2+}$ )  $Alm_{67-72}$  e piropo (Mg)  $Prp_{(17-26)}$ . Espessartita (Mn)  $Sps_{(1-10)}$  e grossulária (Ca)  $Grs_{(1-10)}$  aparecem em teores pouco expressivos, e uvarovita (Cr) e andradita ( $Fe^{3+}$  e Ti) são praticamente inexistentes. A granada do granada-biotita xisto (MR-31C) apresenta um pequeno aumento nos teores de grossulária ( $Grs_{1-16}$ ) no núcleo dos grãos.

Foram calculadas as seguintes fórmulas estruturais para as granadas dos xistos:





A granada apresenta um perfil composicional do tipo “sino” e a composição é dominada por almandina que aumenta do centro para as bordas, ocorrendo o inverso para o piropo. Os perfis de espessartita e grossulária são praticamente planos e os teores pouco representam na composição final que é dominado pelo par almandina piropo (figura IV-4). Na borda de alguns grãos ocorre uma particular queda nos teores de almandina.

Feições texturais mostram que a granada cresceu sobre a estauroлита, isto é, a partir do consumo desta ( ver fotomicrografias III-13 e III-14, capítulo III).

O padrão de crescimento de almandina do núcleo para as bordas é interpretado por Hollister (1966) como um fracionamento dos elementos a uma temperatura constante, e Treczinski (1977) atribui este padrão a uma reação contínua acompanhada por aumento de temperatura.

A queda dos teores de almandina nas bordas de alguns grãos pode ser devida a um reequilíbrio da granada com a matriz durante a diminuição de temperatura após o pico metamórfico, onde estauroлита ou biotita retomam seu crescimento, aumentando o consumo de ferro da matriz e as granadas conseqüentemente tendo suas bordas empobrecidas em ferro.

A razão X<sub>Mg</sub> varia de 0,20 a 0,28 no interior dos grãos decrescendo para valores de 0,13 a 0,22 nas bordas. Os valores são mais baixos que o da estauroлита e da biotita das mesmas amostras, o que é coerente com os modelos de coexistência mineral de xistos pelíticos (Yardley; 1989, Philpotts; 1990).

Figura IV-4 perfis composicionais de granada dos metassedimentos.

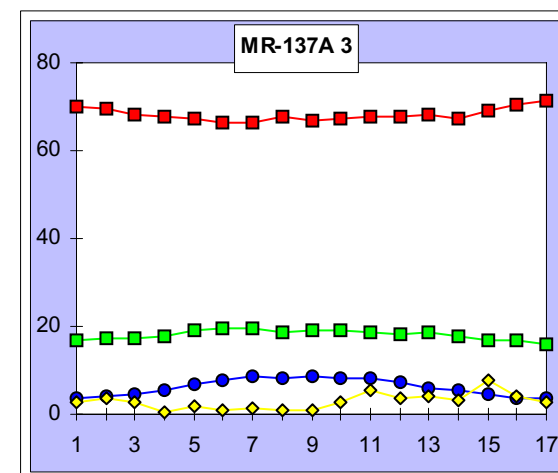
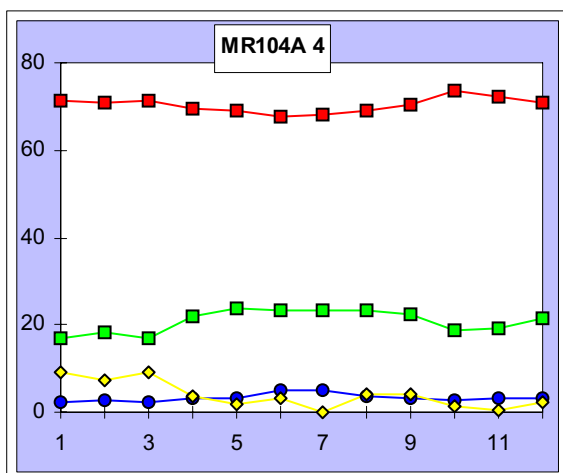
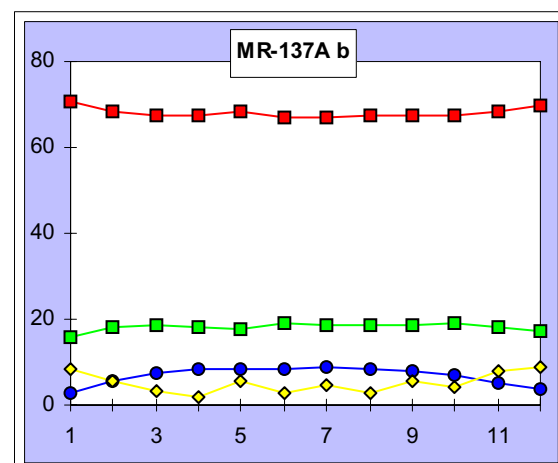
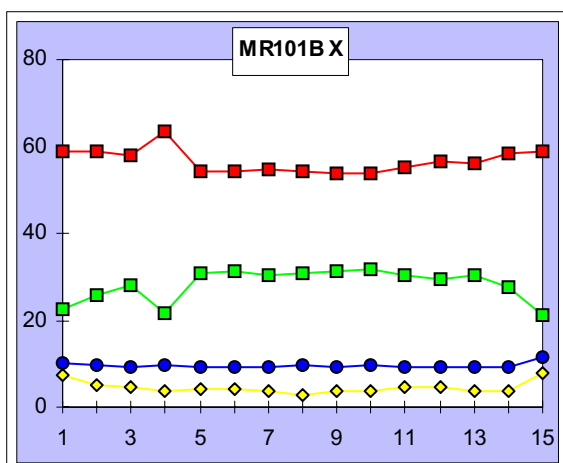
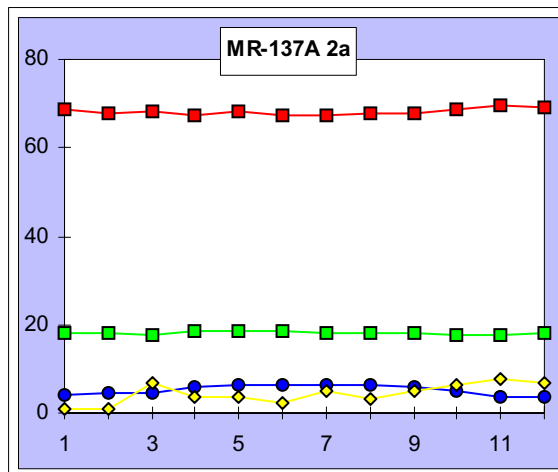
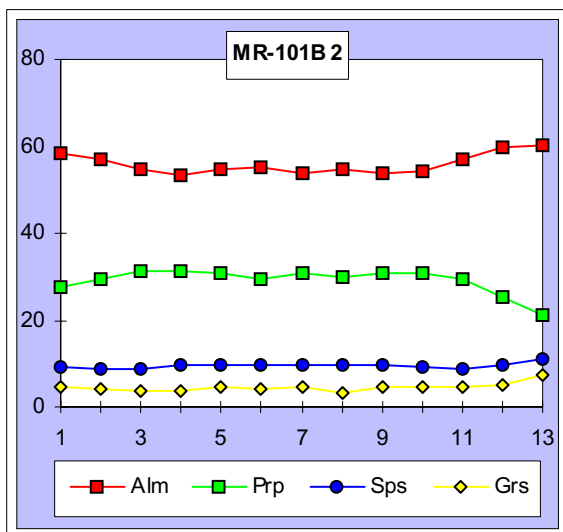
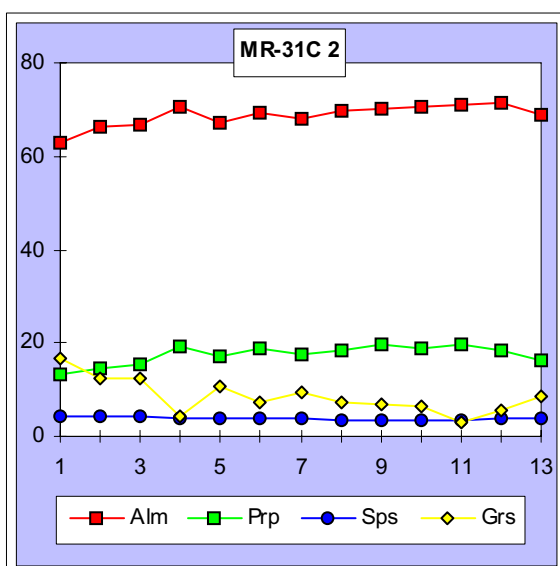
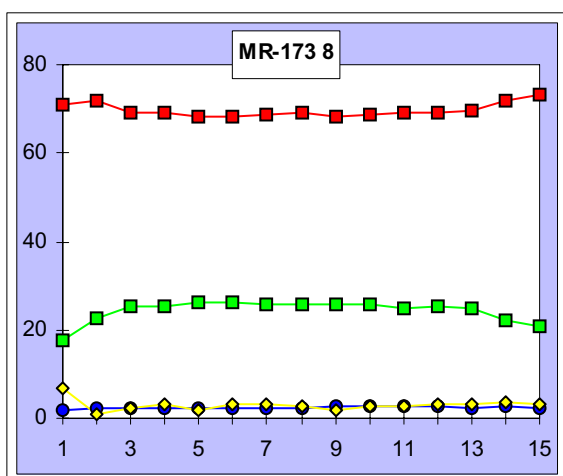
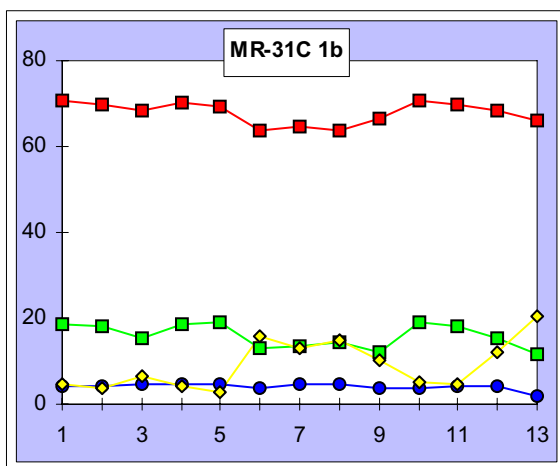
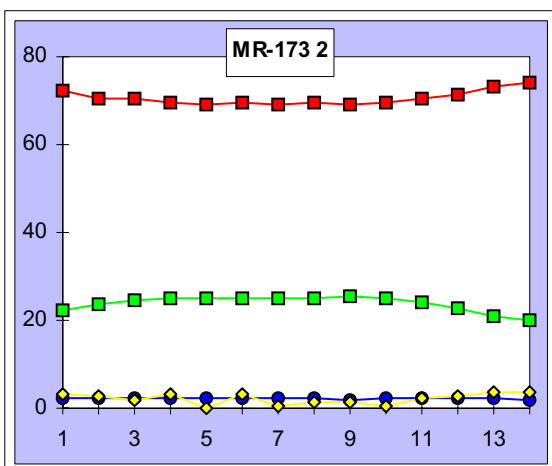
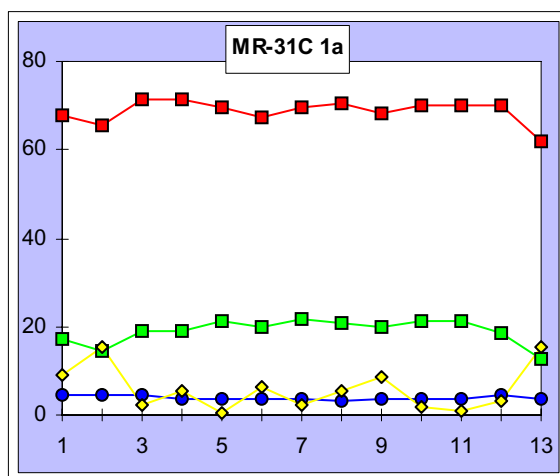
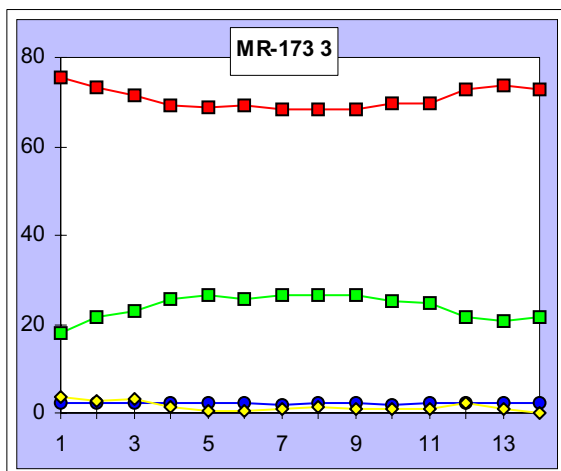




Figura IV-4 (cont) perfis composicionais de granada dos metassedimentos.



### **3 - GEOTERMOBAROMETRIA:**

As rochas metassedimentares da seqüência vulcanossedimentar de Mara Rosa possuem paragêneses que favorecem a determinação das condições de temperatura e pressão do metamorfismo. As amostras escolhidas para o estudo apresentam associações metamórficas variadas, formadas durante o pico do metamorfismo, com poucas evidências de retrometamorfismo. Foram selecionadas amostras distribuídas ao longo de toda a faixa oeste a fim de se obter dados de pressão e temperatura (P e T) para toda a sua extensão.

#### **3 . 1 - Conceitos básicos:**

A geotermobarometria tem por finalidade quantificar as condições de temperatura (T) e pressão (P) do metamorfismo a partir da composição química de minerais coexistentes em uma rocha (Spear 1989, 1993).

A determinação da temperatura é baseada em reações de troca catiônica, que evoluem com grande variação de entalpia ( $\Delta H$ ), pequena variação de volume ( $\Delta V$ ) e sendo por isso, pouco dependentes da pressão. A substituição de Fe por Mg é um bom exemplo de reação de troca catiônica estando presente na maioria dos minerais metamórficos ferro-magnesianos como granada, biotita, estauroлита, cordierita, etc. Em geral as reações que envolvem esta substituição são bons geotermômetros (Philpotts, 1990; Spear, 1993).

A determinação da pressão é baseada em reações metamórficas que apresentam grande variação de volume ( $\Delta V$ ). Em geral, a variação química dos minerais presentes nestas reações ocorre via substituições acopladas, por exemplo a substituição do plagioclásio ( $\text{Ca Al Na}_1 \text{Si}_1$ ) que envolve cátions com valências diferentes (Spear, 1993).

#### **3 . 2 - Metodologia:**

A determinação das condições de P e T foi feita com o uso do programa Thermocalc, um banco de dados termodinâmicos internamente consistente (Powell & Holland, 1988), sendo utilizada a versão V2.6 com banco de dados atualizado em abril de 1996. Foram utilizadas as seguintes paragêneses minerais para a determinação de P e T:

MR-101A (Hbl-Bt xisto c/ Ky) - Hbl, Pl, Grt, Bt, Qtz e Ky.

MR-104A (Grt-St-Ms-Bt xisto) - Pl, Grt, Bt, St, Ms e Qtz.

MR-137A (Grt-St-Ms-Bt xisto) - Pl, Grt, Bt, St, Ms, Qtz e Ky.

MR-173 (Grt-Bt xisto c/ Ky) - Pl, Grt, Bt, Ms, Qtz e Ky.

MR-31C (Grt-Bt xisto) - Pl, Grt, Bt, Ms, Ep e Qtz.

### 3.3 - Resultados:

Os cálculos forneceram valores de pressão (P) e temperatura (T) cujos resultados obtidos são apresentados na tabela IV-2.

**Tabela IV-2** Dados de temperatura e pressão das rochas metassedimentares da faixa oeste.

Amostra	Rocha	P (Kbar)	T (°C)
MR-137A 2	Grt-St-Ms-Bt xisto	7,3 ± 0,6	609 ± 12
MR-137A 3	Grt-St-Ms-Bt xisto	7,6 ± 0,8	613 ± 23
MR-101B 3	Hbl-Bt xisto c/Ky	5,8 ± 1,1	731 ± 41
MR-101B 5	Hbl-Bt xisto c/Ky	6,0 ± 1,1	711 ± 43
MR-173 2	Grt- Bt xisto c/Ky	5,6± 1,1	710 ± 43
MR-173 3	Grt -Bt xisto c/Ky	5,0± 1,1	706 ± 52
MR-104A 2	Grt-St-Ms-Bt xisto	6,6 ± 1,0	638 ± 35
MR-104A 4	Grt-St-Ms-Bt xisto	8,1 ± 0,9	616 ± 32
MR-31C 1	Grt-Bt xisto	8,1 ± 0,6	608 ± 20
MR-31C 2	Grt-Bt xisto	5,8 ± 1,4	657 ± 47

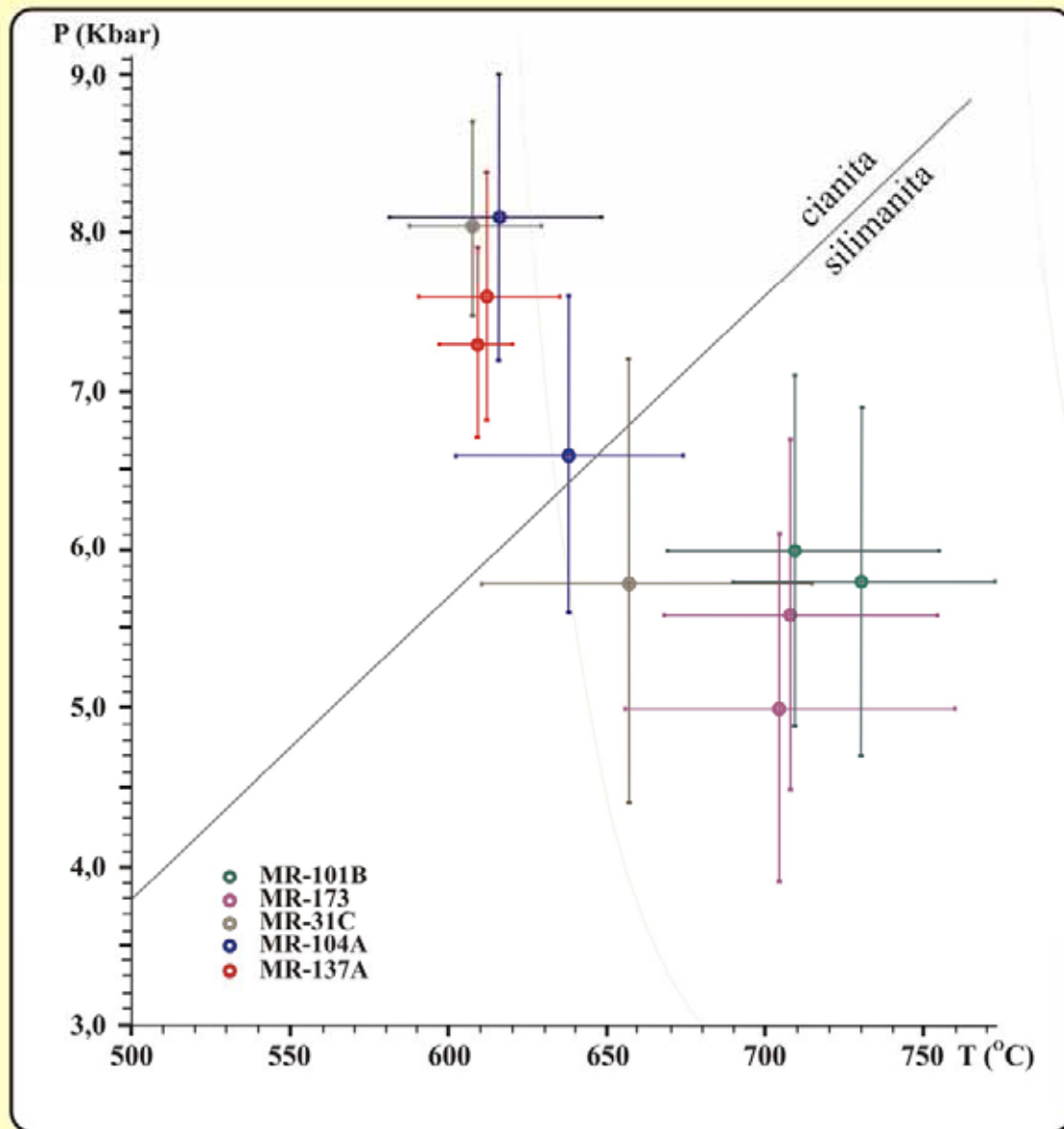
O número após a identificação da amostra refere-se a diferentes campos da mesma amostra.

Com base nos dados de temperatura e pressão obtidos e apresentados na tabela VI-2 e figura IV-5 foi possível obter as seguintes interpretações:

Os metassedimentos apresentam dois conjuntos P-T distintos: O conjunto onde razão P/T é alta, como na amostra MR-137A que apresenta pressão de cerca de 7,5Kbar e temperatura de cerca de 620°C, e o conjunto onde a razão P/T mais é mais baixa, como nas amostras MR-101B, MR-173 que apresentam pressão de 5 a 6 Kbar e temperatura de 700 a 740°C.

As amostras MR-101B e MR-173 apresentam em sua composição mineral cianita, mas são plotadas abaixo da reta univariante cianita/silimanita, indicando uma condição meta-estável da cianita, isto é, sua geração ocorreu em condições de razão P/T mais alta, mas não foi totalmente reequilibrada nas novas condições.

As amostras MR-104A e MR-31C apresentam valores transitórios da razão P/T, principalmente no que se refere a pressão. Esta variação pode ser interpretada como o registro dos dois eventos metamórficos, mas também pode ser devida a um baixo grau de homogeneização metamórfica da rocha. Particularmente no caso da amostra MR-31C o plagioclásio, cuja composição é importante no cálculo de pressão, apresenta uma composição reliquiar ígnea, o que compromete a confiabilidade dos resultados obtidos para esta amostra.



**Figura IV - 5** Diagrama de P x T das rochas metassedimentares da Seqüência vulcanossedimentar de Mara Rosa.

#### **4 - CONCLUSÕES:**

Os dados de geotermobarometria dos metassedimentos mostram a existência de dois conjuntos P-T, ambos do fácies anfibolito, zona da cianita/silimanita. Um conjunto apresenta pressão de cerca de 7,5Kbar e temperatura de cerca de 620°C, e outro onde a pressão é mais baixa, de 5 a 6 Kbar, e a temperatura mais alta, de 700 a 740°C.

Os valores transitórios de P-T das amostras MR-104A e MR-31C, entre os dois conjuntos encontrados, são interpretados como resultado de cálculos a partir de uma paragênese mineral que não apresenta um equilíbrio químico total.

A presença de cianita em amostras cujos dados de P-T estão abaixo das condições de geração de cianita indica que a rocha já havia estado em condições de pressão mais alta.

Os dados de P-T podem indicar dois eventos metamórficos distintos, mas também podem representar um gradiente metamórfico entre os pontos amostrados, ou ainda ambos.

Para evidenciar a existência de um gradiente metamórfico é necessária uma quantidade muito maior de pontos de amostragem de P-T com distribuição areal homogênea, e para evidenciar a existência de dois eventos pode-se fazer a datação de cada um dos conjuntos de P-T.