

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – USP**  
**DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E GEOTECTÔNICA**  
**GMG0332 – Petrologia Metamórfica**

Nome: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

### **Exercício: sistemas e diagramas de fases para rochas metaultramáficas**

Este exercício tem por objetivo analisar o metamorfismo progressivo de rochas ultramáficas a partir de seus equivalentes completamente hidratados em baixo grau (serpentinitos), utilizando grades petrogenéticas e diagramas de fase quimiográficos (ou de compatibilidade). Serão abordados os subsistemas MSH e CMSH e suas projeções, além de alguns tópicos relacionados aos sistemas mais completos CMASH e NCMASH, para paragêneses em equilíbrio apenas com uma fase fluida aquosa ( $P_t = P_{fl} = P_{H_2O}$ ).

**1)** Projete, nos diagramas quimiográficos MSH e CMS (+H), os minerais mais comuns das paragêneses de rochas metaultramáficas, utilizando suas composições ideais simplificadas (v.lista abaixo). Transforme (indicando o procedimento gráfico), através de projeção a partir do vértice H, o sistema ternário MSH em um sistema pseudo-binário MS (+H);

**2)** Indique, nos três diagramas: MSH, MS (+H) e CMS (+H), os campos composicionais correspondentes às rochas ultramáficas cumuláticas e mantélicas mais comuns (peridotitos *latu senso*);

**3)** Projete a composição química média de peridotitos mantélicos da Tabela 2 nos diagramas MSH, MS (+H) e CMS (+H) (Atenção: a projeção deve ser feita em **proporções moleculares!**). Em relação a uma rocha natural: que simplificações são assumidas neste procedimento para cada diagrama?

**4)** Considerando um peridotito com a composição química similar à composição média de peridotitos mantélicos do exemplo anterior, submetido a metamorfismo de baixo grau / fácies xisto verde com hidratação pervasiva:

- a) Quais minerais metamórficos devem substituir a paragênese ígnea em **baixo grau**, e em que proporção?
- b) Considerando um metamorfismo progressivo de pressão intermediária, com  $P_t = P_{fl} = P_{H_2O}$  atuando sobre a paragênese completamente reconstituída em baixo grau do peridotito em questão: que paragêneses metamórficas devem se desenvolver, sucessivamente, nas seguintes condições:

- A – 450 °C, 3 Kbar
- B – 525 °C, 4 Kbar
- C – 650 °C, 5 Kbar
- D – 725 °C, 6 Kbar
- E – 775 °C, 8 Kbar
- F – 825 °C, 9 Kbar

Esboce as representações quimiográficas destas paragêneses para os campos correspondentes da grade petrogenética do sistema CMS (+H) (v. figura em anexo!).

**5)** O que aconteceria se o peridotito em questão desenvolvesse clorita magnésiana (Mg-Chl - clinocloro) ao ser hidratado em baixo grau, além dos minerais do sistema CMS (+H)? Como ficariam as paragêneses de A a F no sistema CMASH com pouco  $Al_2O_3$ ?

6) Considerando o sistema mais completo NCMASH: que modificações ocorreriam nas associações minerais e/ou nas variações composicionais de anfibólios e clorita (reações metamórficas contínuas)? Discuta, indicando os mecanismos responsáveis pelas variações composicionais apontadas e a evolução destas variações composicionais com o aumento do grau metamórfico.

7) Que paragênese se desenvolveria se o protólito hidratado em baixo grau no item 4 fosse submetido a metamorfismo de fácies xisto verde sob condições de  $X_{CO_2} > 0,3$  na fase fluida?

**Tabela 1:** Minerais metamórficos característicos de rochas metaultramáficas (sistema NCMASH e subsistemas):

**Sistema MSH:**

Serpentinas: antigorita (Atg), crisotila (Ctl), lizardita -  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$

Talco (Tlc) –  $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$

Brucita (Brc) –  $Mg(OH)_2$

Olivina: forsterita (Fo) -  $Mg_2SiO_4$

Antofilita (Ath) –  $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$

Enstatita (En) –  $Mg_2Si_2O_6$

**Sistema CMSH:** adicionalmente

Diopsídio (Di) –  $CaMgSi_2O_6$

Tremolita (Tr) –  $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$

**Sistema MASH / CMASH:** adicionalmente

Clorita (clinocloro - Chl) –  $Mg_5Al_2Si_3O_{10}(OH)_8$

Espinélio (Spl) –  $MgAl_2O_4$

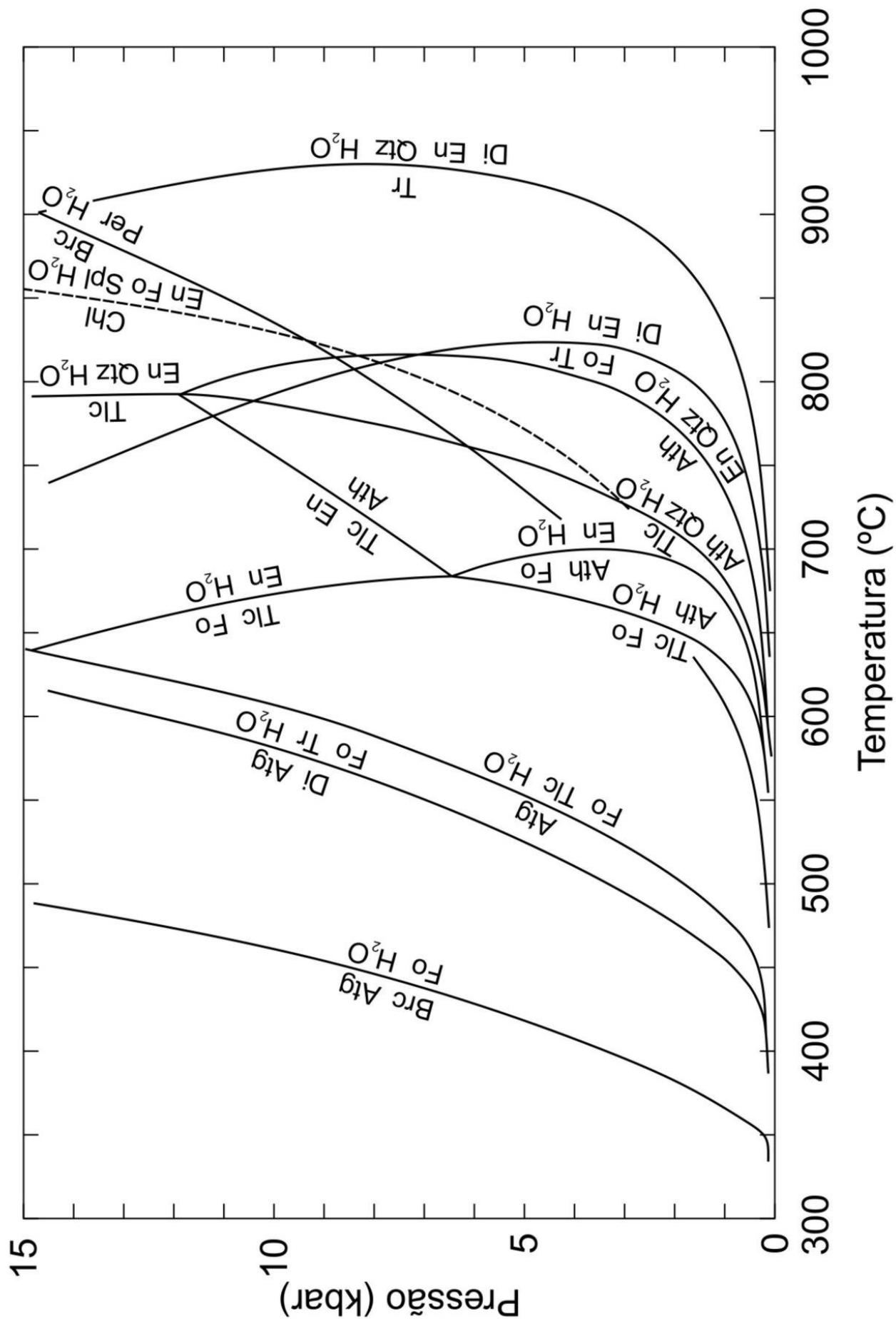
**Sistema NCMASH:** adicionalmente

Hornblenda (Hbl) –  $NaCa_2Mg_4Al_3Si_6O_{22}(OH)_2$

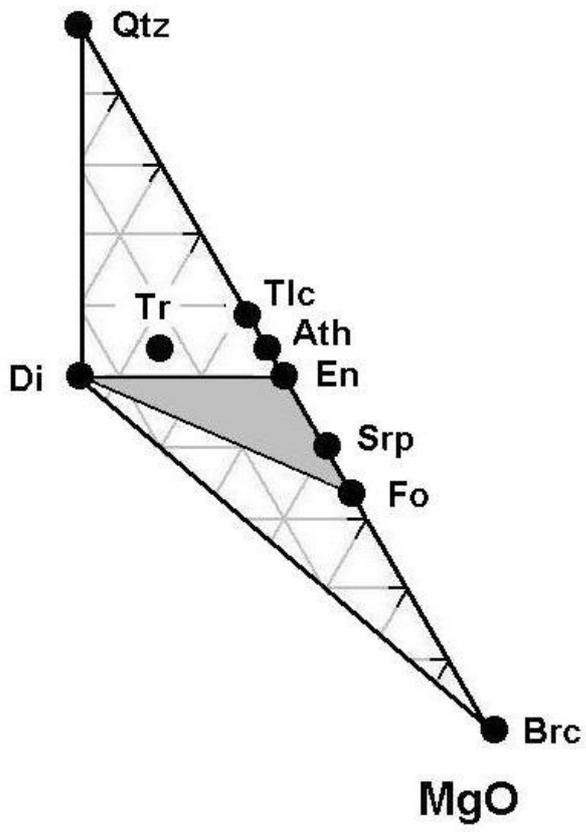
**Tabela 2:** Exemplo de composição química média de peridotitos do manto (em % em peso). Fonte: White 1967 – Earth Planet.Sci.Lett. **3:** 11-18.

Análise química (% em peso)	
SiO <sub>2</sub>	44,50
TiO <sub>2</sub>	0,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,50
FeO	7,30
MnO	0,14
MgO	41,70
CaO	2,30
Na <sub>2</sub> O	0,25
K <sub>2</sub> O	0,02
Total:	100,66

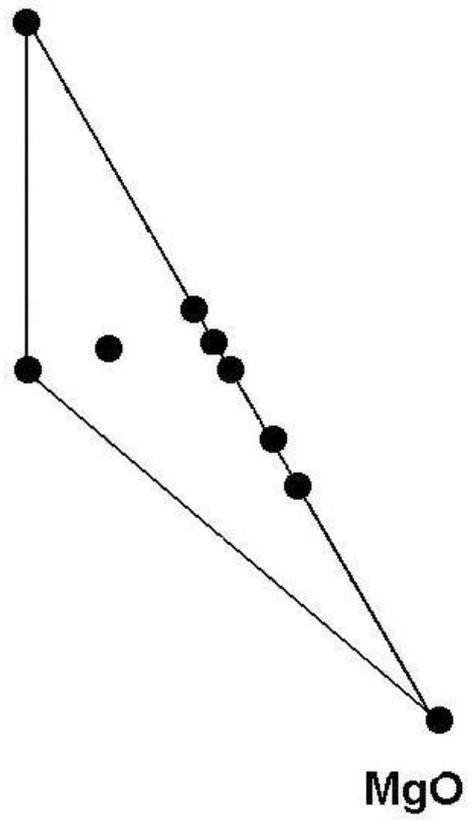
Bibliografia: Candia, M.A.F.; Szabó, G.A.J.; Del Lama, E.A. – 2003 – Petrologia Metamórfica: Fundamentos para a interpretação de diagramas de fase. Edusp (Capítulos 7 e 8).



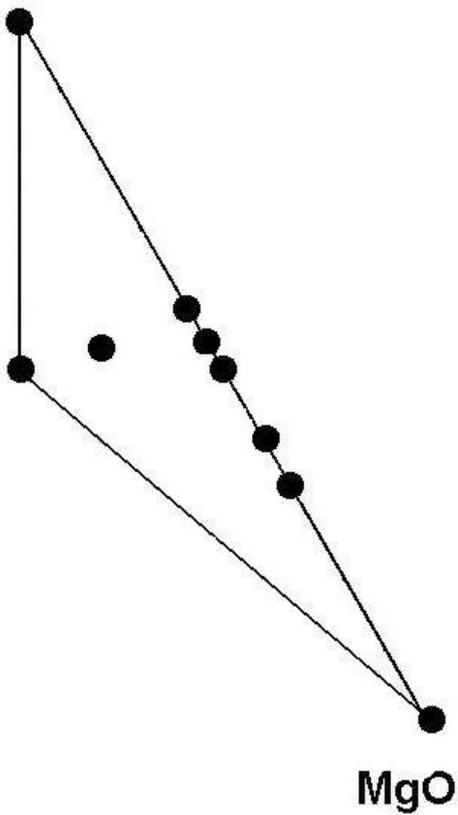
SiO<sub>2</sub>



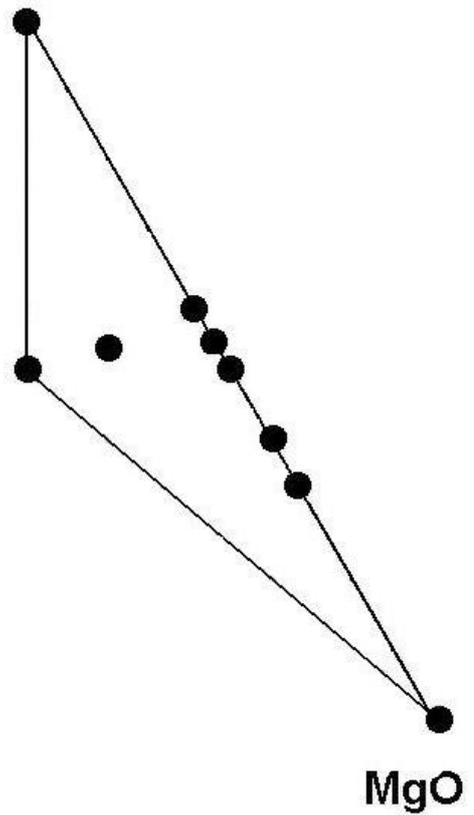
SiO<sub>2</sub>



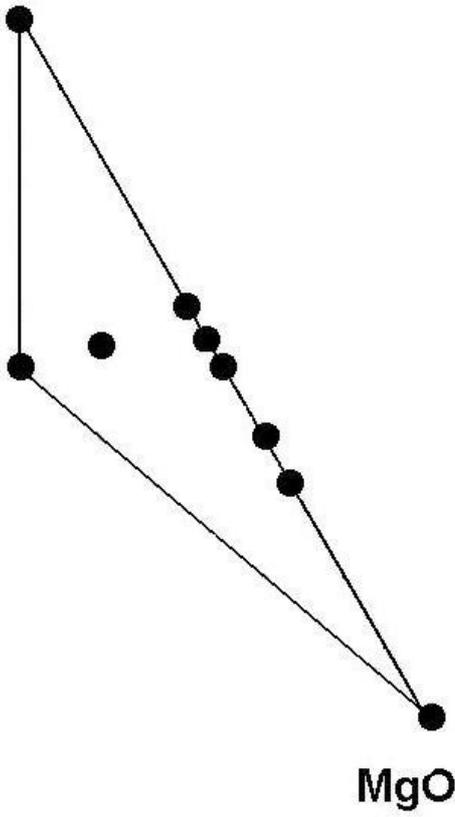
SiO<sub>2</sub>



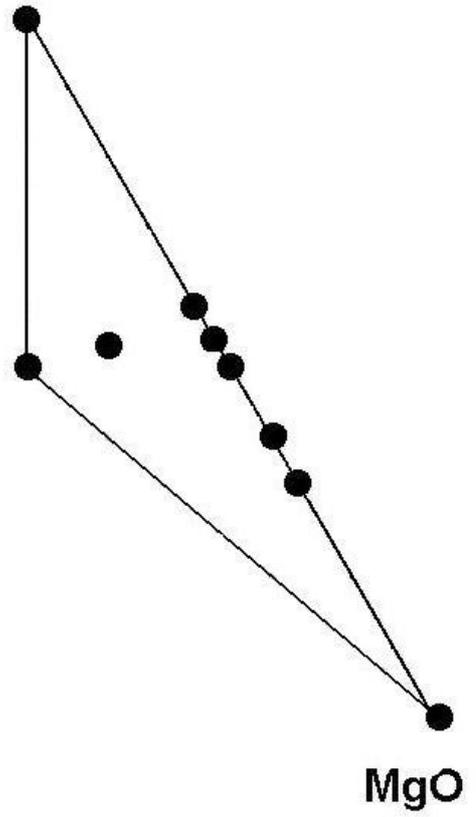
SiO<sub>2</sub>



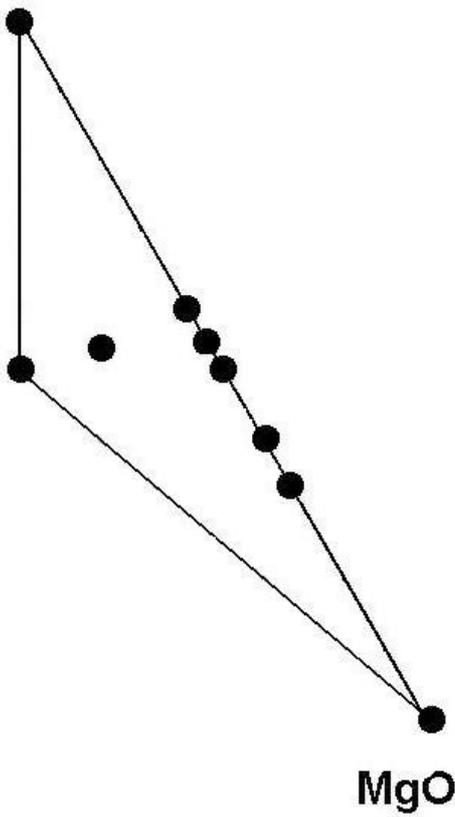
SiO<sub>2</sub>



SiO<sub>2</sub>



SiO<sub>2</sub>



SiO<sub>2</sub>

