

FILOSSILICATOS

O Grupo dos Filossilicatos é um subgrupo de minerais da Classe dos Silicatos que possuem uma estrutura constituída pela alternância entre folhas bidimensionais formadas por tetraedros de SiO_4 polimerizados, e folhas bidimensionais formadas por octaedros coordenados, via de regra, por átomos de Mg ou Al. As camadas e/ou folhas de tetraedros são constituídas por tetraedros $(\text{SiO}_4)^{4-}$ compartilhados em duas dimensões, formando uma folha, na qual, três dos quatro oxigênios dos tetraedros $(\text{SiO}_4)^{4-}$ são compartilhados com os tetraedros vizinhos, levando a uma relação $\text{Si}:\text{O} = 2:5$. Esta folha é denominada de “folha siloxama” ou simplesmente folha tetraédrica (T).

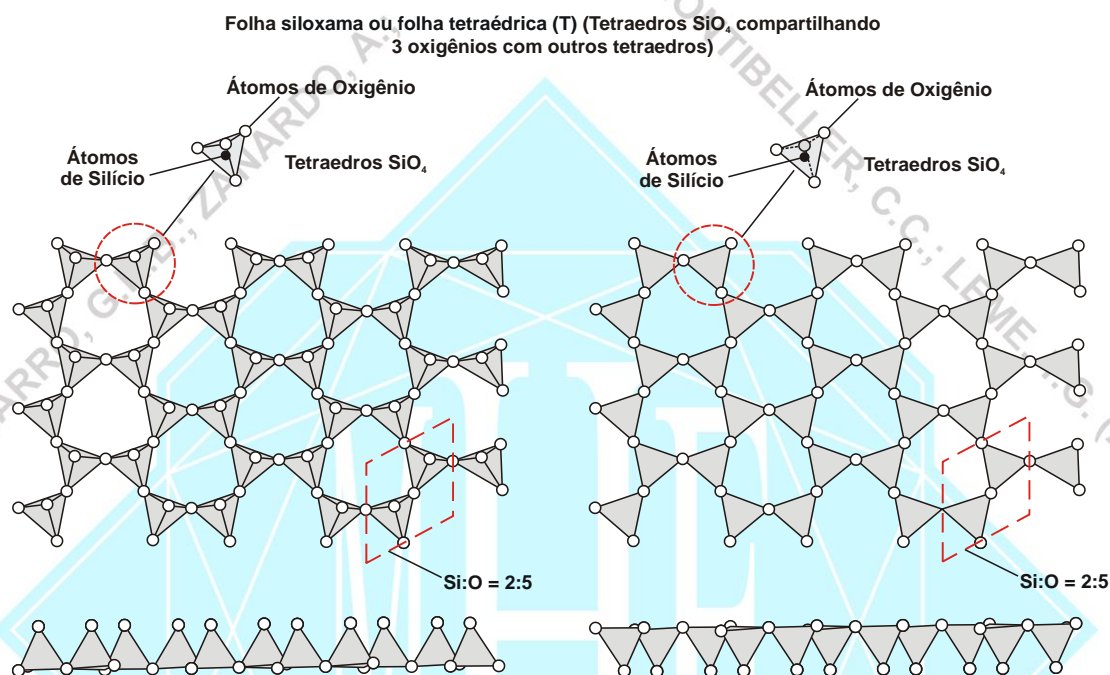


Figura 1 – folha tetraédrica T ou folha siloxama.

As camadas e/ou folhas octaédricas (folhas tipo O) são compostas por octaedros de átomos bivalentes e trivalentes em coordenação 6 (os átomos bivalentes e trivalentes estão em coordenação 6 com o grupo aniônico (OH)) distribuídos bidimensionalmente. Quando os octaedros são de átomos bivalentes (geralmente de Mg), a folha e/ou camada resultante é denominada folha tipo brucita e, quando os octaedros são constituídos por átomos trivalentes (geralmente o Al), a folha e/ou camada é denominada de folha tipo gibbsita.

Na folha tipo brucita, os átomos de Mg estão em coordenação 6, cercados por 6 hidroxilas, gerando octaedros regulares, que se encontram tombados e agrupados, de modo que algumas faces (111) sejam coplanares. Desta forma, os íons hidroxila estão dispostos em duas camadas em empacotamento hexagonal compacto, com os átomos de Mg ocupando os interstícios. O Mg dispõe-se formando anéis hexagonais entrelaçados, de tal modo que sempre existe um íon Mg ocupando o centro desses anéis. Nesse arranjo, os íons hidroxila são compartilhados entre os octaedros adjacentes, de maneira que existem três átomos de Mg para cada octaedro de íons hidroxila. Em consequência, esta configuração recebe o nome de folha tri-octaédrica, podendo acomodar outros átomos, especialmente os bivalentes, com raios iônicos que permitam coordenação seis com a hidroxila. Filossilicatos com folha tipo brucita na estrutura pertencem a família ou clã tri-octaédrico.

Na folha octaédrica tipo gibbsita, a estrutura é formada em função de átomos de Al, que como os átomos de Mg (na folha tipo brucita), formam um poliedro estável de coordenação 6, cercado por 6 hidroxilas. Por causa da carga maior do átomo de Al (o Al é trivalente enquanto o Mg é bivalente), somente dois terços dos átomos de Al podem entrar na estrutura da folha octaédrica, de modo a manter a neutralidade elétrica. Consequentemente, um terço dos interstícios das folhas duplas de hidroxila, não são ocupados pelos átomos de Al, ou seja, de três octaedros compartilhados por algumas faces (111), um não tem átomos de Al no seu centro. Dessa forma, os átomos de Al estão dispostos de maneira a formar anéis

hexagonais, cuja posição central do anel não é ocupada, resultando em dois Al por octaedro. Em razão deste arranjo, esta folha é denominada de folha di-octaédrica. Esta estrutura, praticamente só acomoda íons trivalentes de tamanho apropriado para a coordenação octaédrica com a hidroxila. Filossilicatos com folha tipo gibbsita na estrutura pertencem a família ou clã di-octaédrico.

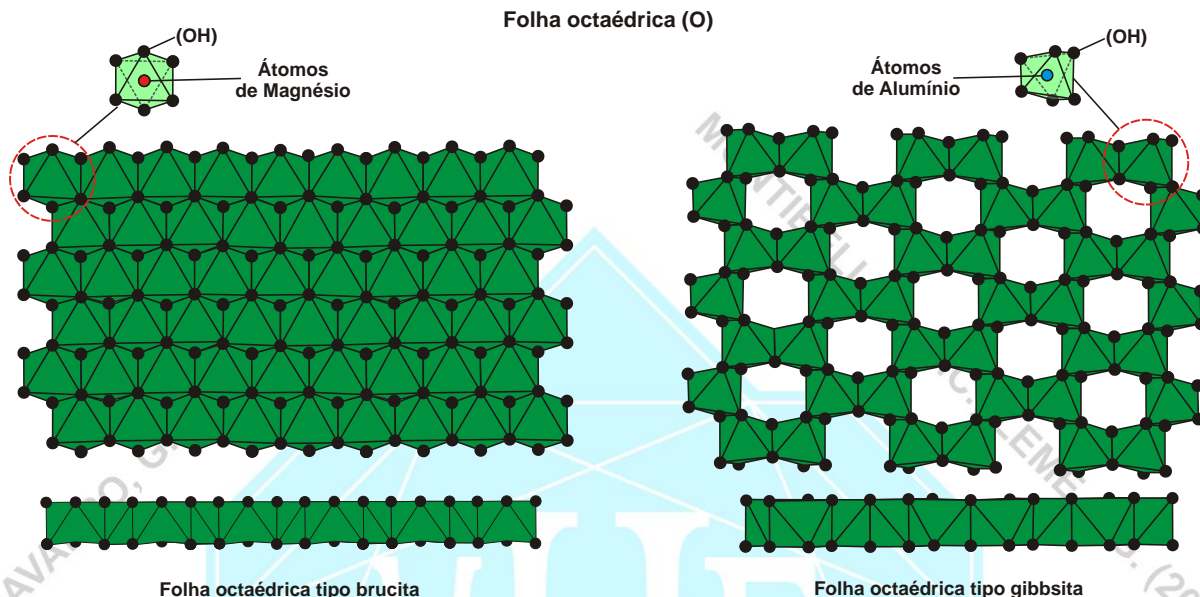


Figura 2 – folhas octaédricas O.

Na estrutura dos filossilicatos, para que ocorra a junção de folhas octaédricas (O), que são eletricamente neutras, com folhas tetraédricas (T), que não são eletricamente neutras e que não podem, por si só, formar uma estrutura estável, ocorre a substituição de parte dos grupos aniônicos (OH) por átomos de oxigênio. Dois oxigênios dos vértices dos tetraedros ocupam a posição de duas hidroxilas da folha octaédrica, ficando desta forma satisfeitas as exigências de espaço e de neutralidade elétrica, uma vez que a hidroxila e o oxigênio têm, essencialmente, as mesmas dimensões, e a carga residual do oxigênio no vértice do tetraedro da folha siloxama é igual à carga da hidroxila.

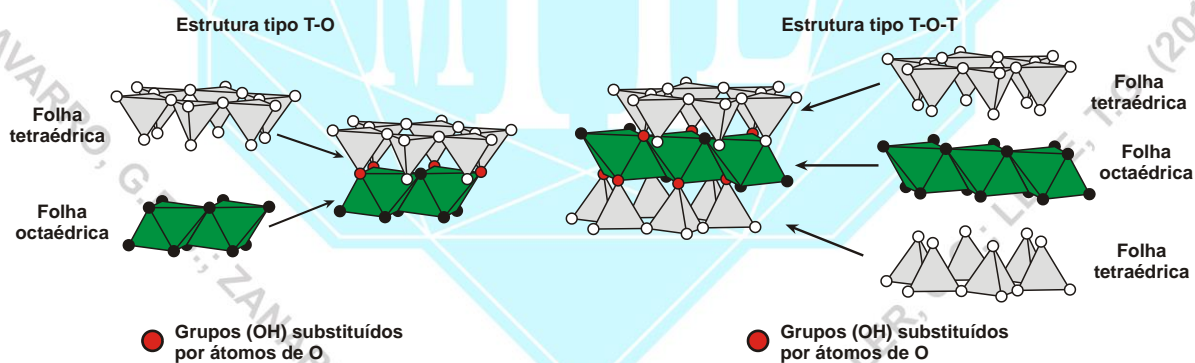


Figura 3 – esquema mostrando a junção entre folhas T e O formando estruturas tipo T-O e T-O-T. (modificado de Dana, 1978).

Desta estrutura interna dos minerais do grupo dos filossilicatos, resultam as características marcantes deste grupo: todos os membros comuns deste grupo possuem hábito achatado ou em escama, clivagem basal perfeita a proeminente e as lamelas de clivagem (placas) são flexíveis, elásticas ou plásticas, mais raramente quebradiças. De um modo geral, os filossilicatos mais comuns exibem dureza baixa, normalmente inferior a 3,5 na escala Mohs, e em geral são relativamente leves a ligeiramente pesados.

As estruturas mais simples dos filossilicatos são aquelas em que apenas uma folha tetraédrica (T), liga-se a uma folha octaédrica (O) tipo brucita ou tipo gibbsita, gerando uma estrutura do tipo T-O (folha tetraédrica – folha octaédrica) ou 1:1. Quando a folha tetraédrica está unida a uma folha octaédrica tipo

brucita, os minerais resultantes são do grupo da serpentina (silicatos básicos de magnésio), e quando a folha tetraédrica está unida a uma folha octaédrica tipo gibbsita, os minerais resultantes são do grupo da caulinita (silicatos básicos de alumínio). Nestas estruturas tipo T-O, para a junção da folha octaédrica (O), que é eletricamente neutra, com a folha tetraédrica (T), que não é eletricamente neutra e que não pode, por si só, formar uma estrutura estável, ocorre o posicionamento de dois oxigênios dos vértices dos tetraedros não compartilhados nos planos da folha, no local das posições de duas hidroxilas da folha octaédrica (a posição de duas hidroxilas no octaedro é ocupada por dois átomos de oxigênios), ficando satisfeitas as exigências de espaço e de neutralidade elétrica, uma vez que a hidroxila e o oxigênio têm, essencialmente, as mesmas dimensões, e a carga residual do oxigênio no vértice do tetraedro da folha siloxama é igual à carga da hidroxila. Dessa maneira, as fórmulas químicas resultantes da família trioctaédrica (grupo da serpentina) e da dioctaédrica (grupo da caulinita), são:

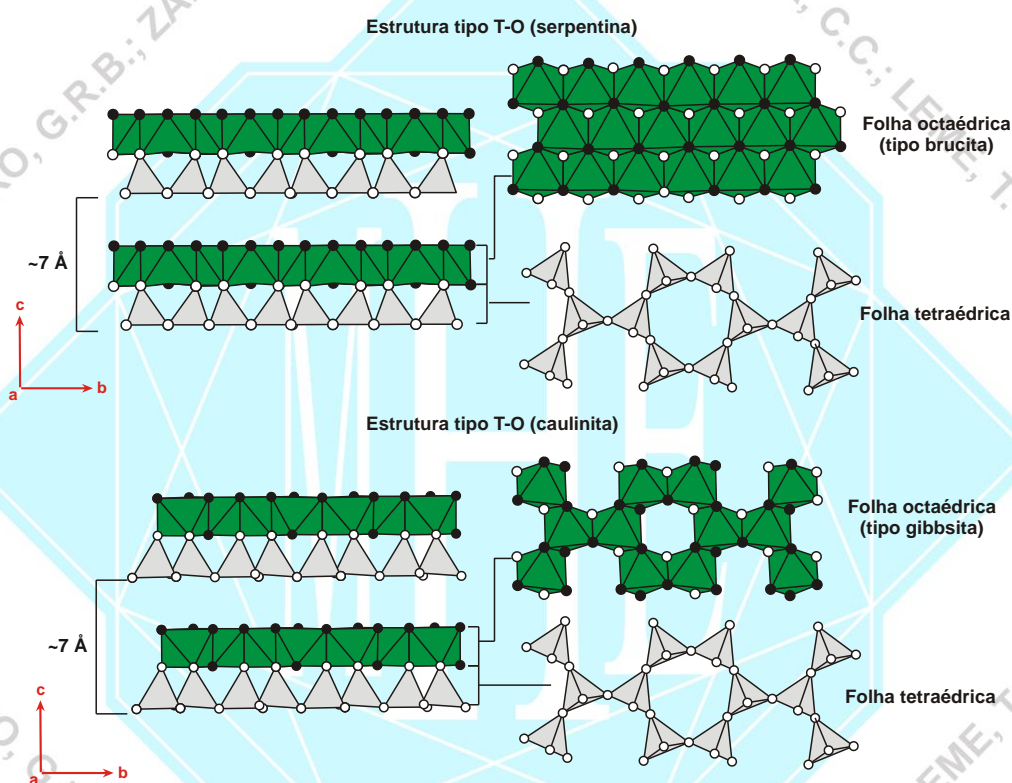
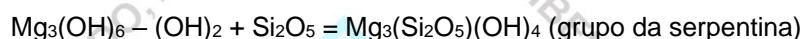


Figura 4 - estrutura tipo T-O: grupo serpentina e grupo caulinita.

A estrutura T-O é uma estrutura polar, fato responsável pela geração de cargas residuais relativamente grandes na junção das camadas duplas, através de ligação molecular ou de Van der Waals, para formar os minerais. A união entre as estruturas T-O, na estrutura dos minerais é feita através destas ligações fracas (ligação molecular ou de Van der Waals), resultando na dureza ao redor de 2-3 na escala Mohs e na clivagem perfeita {001} nos minerais com esta estrutura.

De maneira idêntica, pode ser deduzida a fórmula química dos outros membros mais complexos da família dos filossilicatos, como do grupo do talco e da pirofilita. Nesses minerais, ocorre a junção de duas folhas tetraédricas (T) com uma folha octaédrica (O) tipo brucita ou tipo gibbsita. No primeiro caso, os minerais resultantes são do grupo (ou clã) trioctaédrico e no segundo do grupo (ou clã) dioctaédrico, gerando uma estrutura do tipo T-O-T (folha tetraédrica – folha octaédrica - folha tetraédrica) ou 2:1. Nesta estrutura, a folha octaédrica (O) dispõe-se entre as duas folhas tetraédricas (T) e a junção entre as folhas dá-se substituindo duas hidroxilas de um lado do octaedro por dois oxigênios dos vértices da folha tetraédrica e mais duas hidroxilas do outro lado do octaedro por dois oxigênios dos vértices da outra folha tetraédrica. Dessa maneira podemos deduzir as folhas triplas da seguinte maneira:

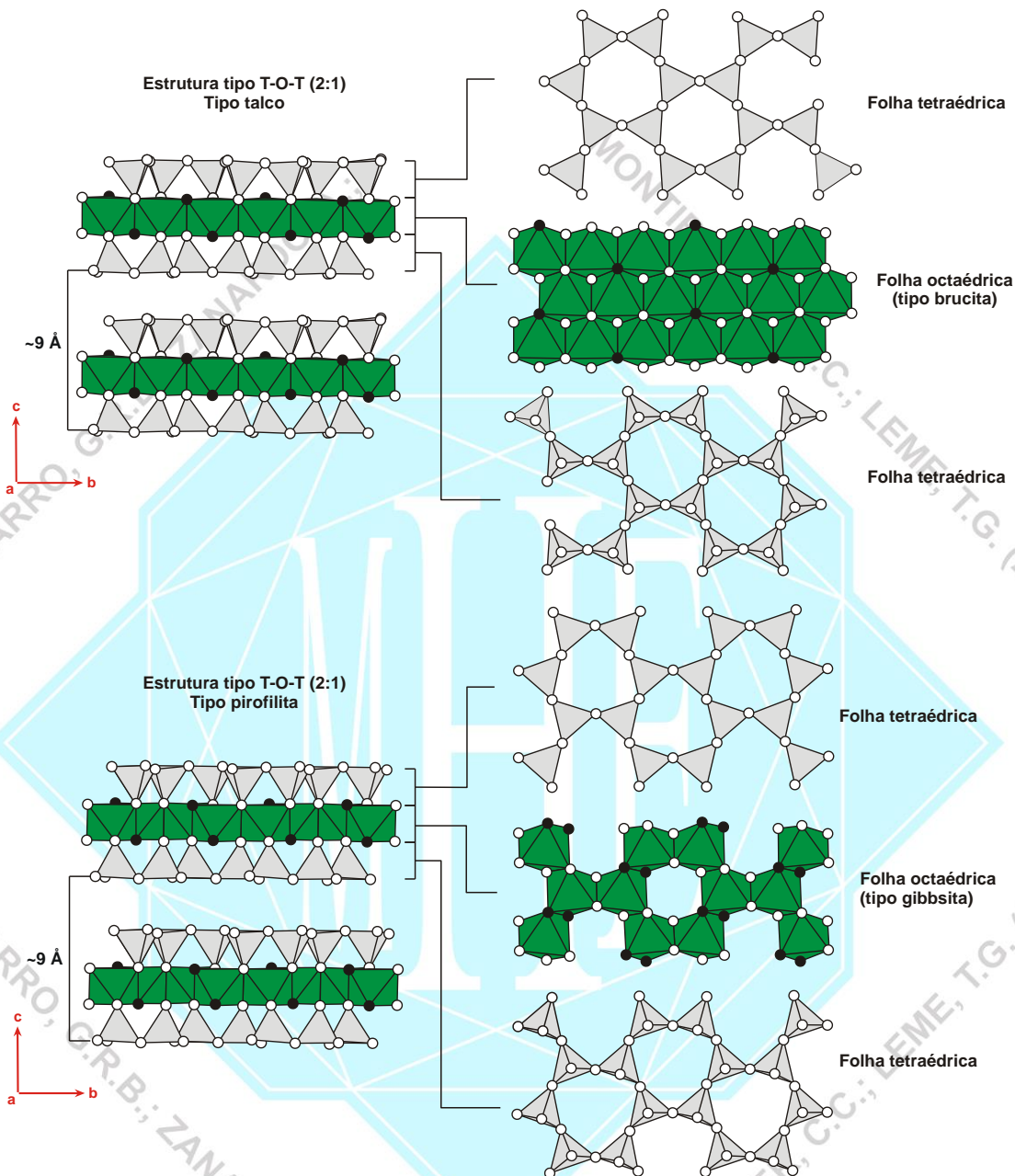
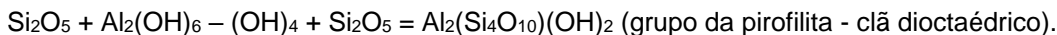
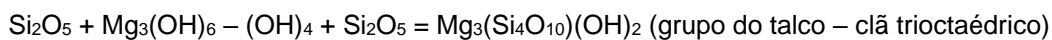


Figura 5 - estrutura tipo T-O-T: grupo talco e grupo pirofilita.

As estruturas do talco e da pirofilita (tipo T-O-T), são eletricamente neutras e formam estruturas estáveis, e as folhas estão unidas somente pela ligação de Van der Waals, como no caso anterior (folhas tipo T-O). Todavia, neste caso, as folhas triplas geram estruturas apolares, fato que leva a ligações mais fracas, resultando em dureza 1 a 1,5 na escala Mohs, enquanto que no primeiro caso, os minerais do grupo da caulinita e da serpentina possuem dureza bem maior (ao redor de 2-3 na escala Mohs). A ligação fraca do talco e da pirofilita, aliada à estruturação em camadas, resulta em clivagem excelente (proeminente), deslizamento fácil e tato untuoso, característicos desses minerais.

Ainda no grupo dos filossilicatos, encontram-se os minerais do grupo das micas ou micas verdadeiras. A estrutura destes minerais também é do tipo (T-O-T) semelhante à estrutura do talco e da pirofilita, ou seja, a estrutura é constituída por uma folha octaédrica (O) do tipo brucita ou tipo gibbsita, entre

duas folhas tetraédricas (T), gerando uma estrutura do tipo T-O-T, ou 2:1. No primeiro caso, os minerais resultantes são do grupo (ou clã) trioctaédrico e no segundo do grupo (ou clã) dioctaédrico. Entretanto, na estrutura das micas, parte do Si da folha octaédrica é substituído por Al. Como o Al é trivalente, e o Si é tetravalente, cada substituição de um Si por um Al resulta, na superfície das folhas, em uma carga elétrica livre. Se de quatro Si um for substituído por um Al, origina-se uma carga negativa, que é compensada pela entrada de um cátion monovalente em coordenação 12 regular (K, Na, Cs, Rb ou Li), que se dispõe entre as folhas T-O-T. Desta forma, a união entre as camadas T-O-T na estrutura das micas ocorre através destes cátions intersticiais.

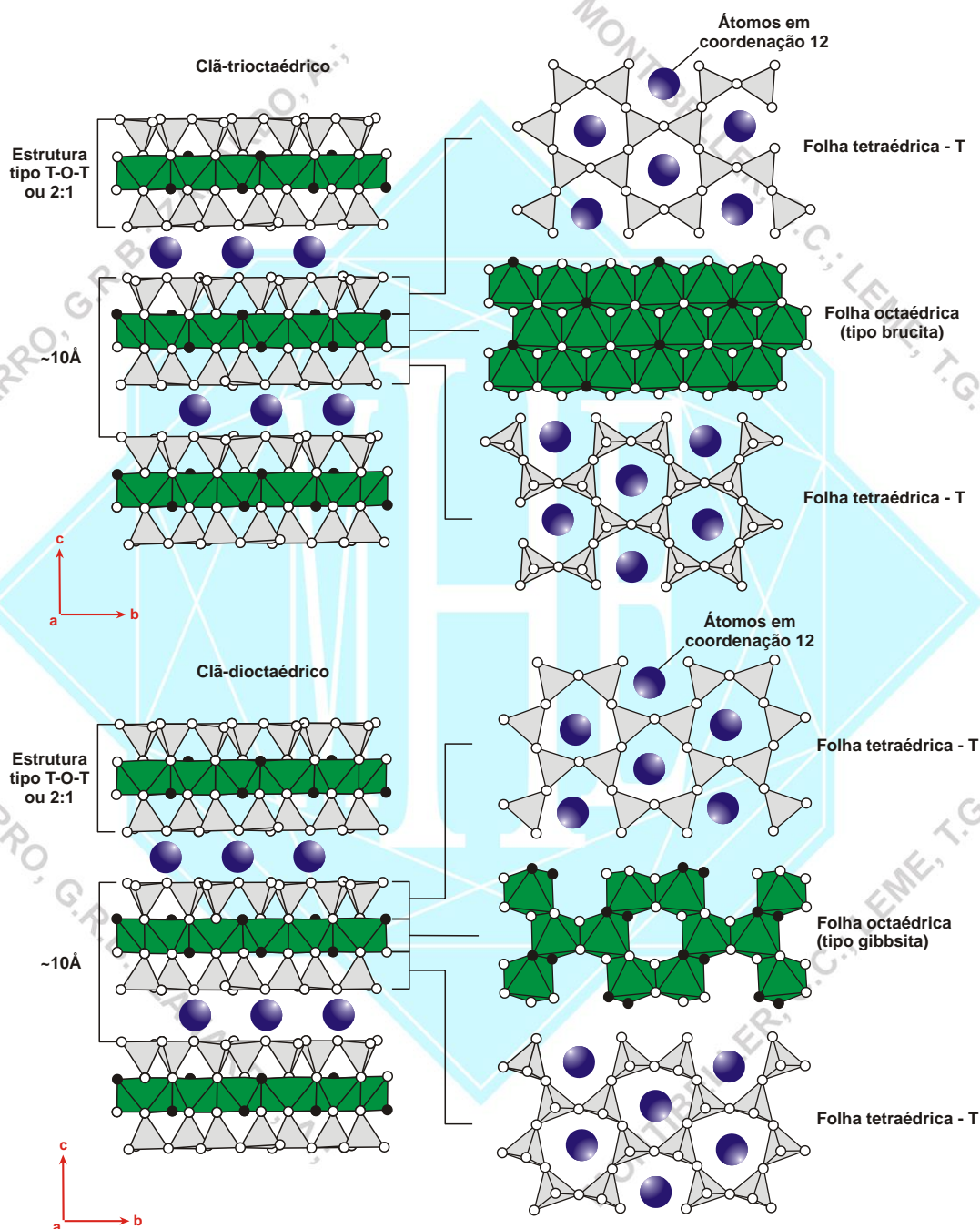


Figura 6 - estrutura das micas.

Em virtude destas ligações, na qual os cátions grandes dispõem-se entre as folhas T-O-T, resultando em cargas residuais, as folhas triplas (T-O-T) unidas aos cátions ligam-se umas às outras de maneira bem mais firme que no caso do talco e da pirofilita, fazendo com que diminua a facilidade de

deslizamento entre as folhas e aumenta a dureza, causando perda da sensação untuosa. O clã trioctaédrico é formado pela família da flogopita e da biotita e o clã dioctaédrico pela família da muscovita.

Nos filossilicatos, a substituição máxima de átomos de Si da posição tetraédrica por átomos de Al é dois em quatro. Se de quatro átomos de Si, dois forem substituídos por átomos de Al, originam-se duas cargas negativas. Nesse caso, ficam disponíveis duas cargas por unidade de folha T-O-T para a ligação de cátions dispostos entre as camadas. Assim, podem estar presentes íons Ca, Mg e Fe²⁺ (ou outros cátions bivalentes), presos entre as folhas T-O-T por ligações iônicas. Devido à maior carga e menores dimensões destes cátions bivalentes em relação aos cátions monovalentes grandes (como K, Na, Rb), ocorrem ligações mais fortes entre as camadas, aumentando a dureza e a densidade, ao mesmo tempo em que diminui a flexibilidade e a qualidade da clivagem desses minerais. Devido a este fato, os filossilicatos que são formados por camadas T-O-T unidas por cátions bivalentes passam a ter um comportamento quebradiço, sendo denominados de micas quebradiças. Assim como nas micas verdadeiras, a folha octaédrica (O) é do tipo brucita ou gibbsita, resultando no grupo (ou clã) trioctaédrico e grupo (ou clã) dioctaédrico, respectivamente.

Outra derivação importante do grupo dos filossilicatos resulta da inserção de folhas simples do tipo brucita entre as camadas triplas do clã trioctaédrico (tipo talco), dando origem ao grupo das cloritas.

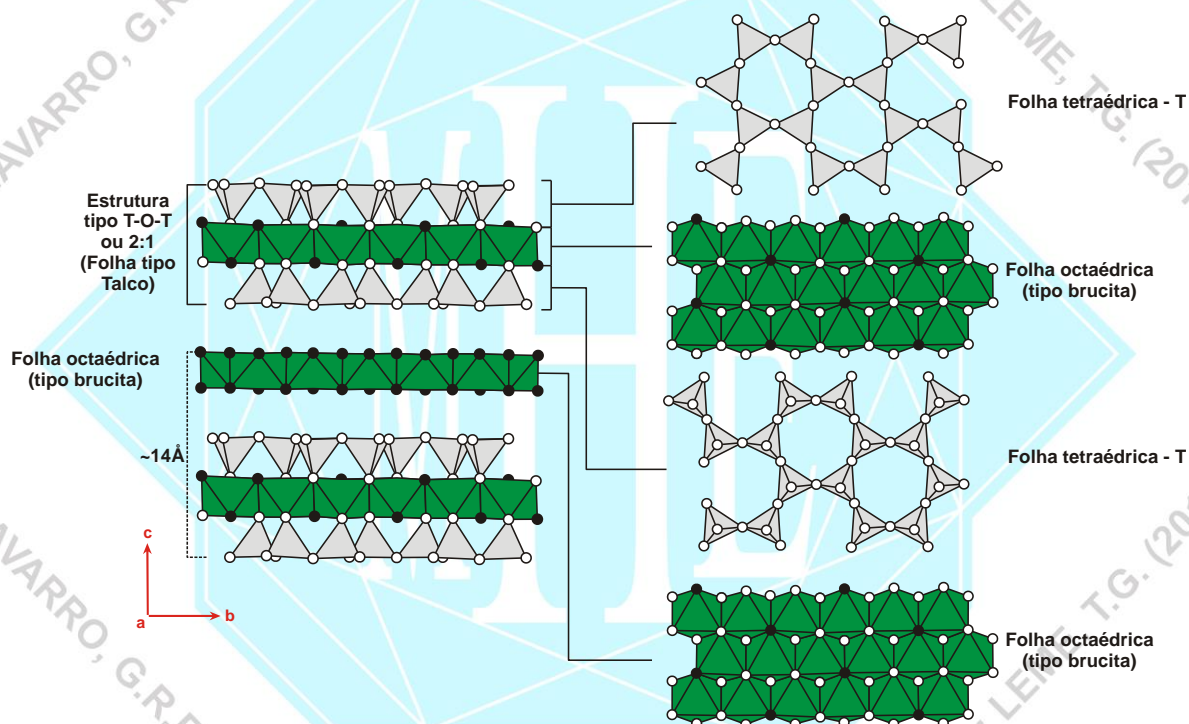


Figura 7 - estrutura das cloritas.

Os minerais do grupo das argilas ou argilominerais também fazem parte do grupo dos filossilicatos, e incluem os minerais do grupo da serpentina/caulinita, da esmectitas/montmorillonita, da vermiculita, da sepiolita e da palygorskita. Dentre os minerais de argila, a estrutura importante do grupo da esmectita e/ou montmorillonita pode ser derivada da estrutura da pirofilita (tipo T-O-T, clã dioctaédrico), mediante a inserção de folhas de água molecular contendo cátions livres entre as camadas triplas T-O-T da pirofilita. Como as folhas de pirofilita normalmente estão desprovidas de carga, elas podem expandir-se muito, apresentando capacidades extremas de intumescência pela umidade e grande capacidade de troca catiônica. De maneira idêntica à da esmectita, as vermiculitas derivam da estrutura do talco (tipo T-O-T, clã trioctaédrico), pela inserção de água molecular entre as folhas triplas T-O-T do talco. Tanto os minerais do grupo da montmorillonita como da vermiculita, por terem a folha T-O-T, ou seja, duas camadas de tetraedros por uma de octaedro, são denominadas de 2 para 1 (2:1). Outra estrutura presente nos minerais do grupo dos argilominerais consiste em estratos constituídos por uma folha O entre duas estruturas T-O-T, com cátions entre as folhas T-O-T e O. Neste tipo de estrutura, a água é facilmente adsorvida entre os estratos,

formando camadas completas de água, dispostas de maneira específica, em relação às redes tetraédricas vizinhas.

Dentre os filossilicatos, também existem membros transicionais entre os minerais do grupo da montmorillonita e das micas verdadeiras, devido à substituição fortuita do Si pelo Al, nas posições tetraédricas das folhas de pirofilita, sem agregar carga suficiente nas camadas triplas para produzir uma estrutura ordenada de mica, com preenchimento de todas as posições catiônicas possíveis, situadas entre as camadas. Dessa forma, posições ocasionais de cátions podem estar ocupadas, originando propriedades intermediárias entre as das argilas e as das micas. Este quadro, pela presença de água molecular, pode resultar no grupo da illita ou hidromica. Por outro lado, é bastante comum o aparecimento de uma ou mais espécie de argilo-minerais interestratificados, podendo até mesmo aparecer camadas de clorita e serpentina. Alguns minerais de argila como attapulguita e sepiolita têm estruturas cristalinas do tipo em cadeia. A estrutura em cadeia é menos frequente que a estrutura estratificada.

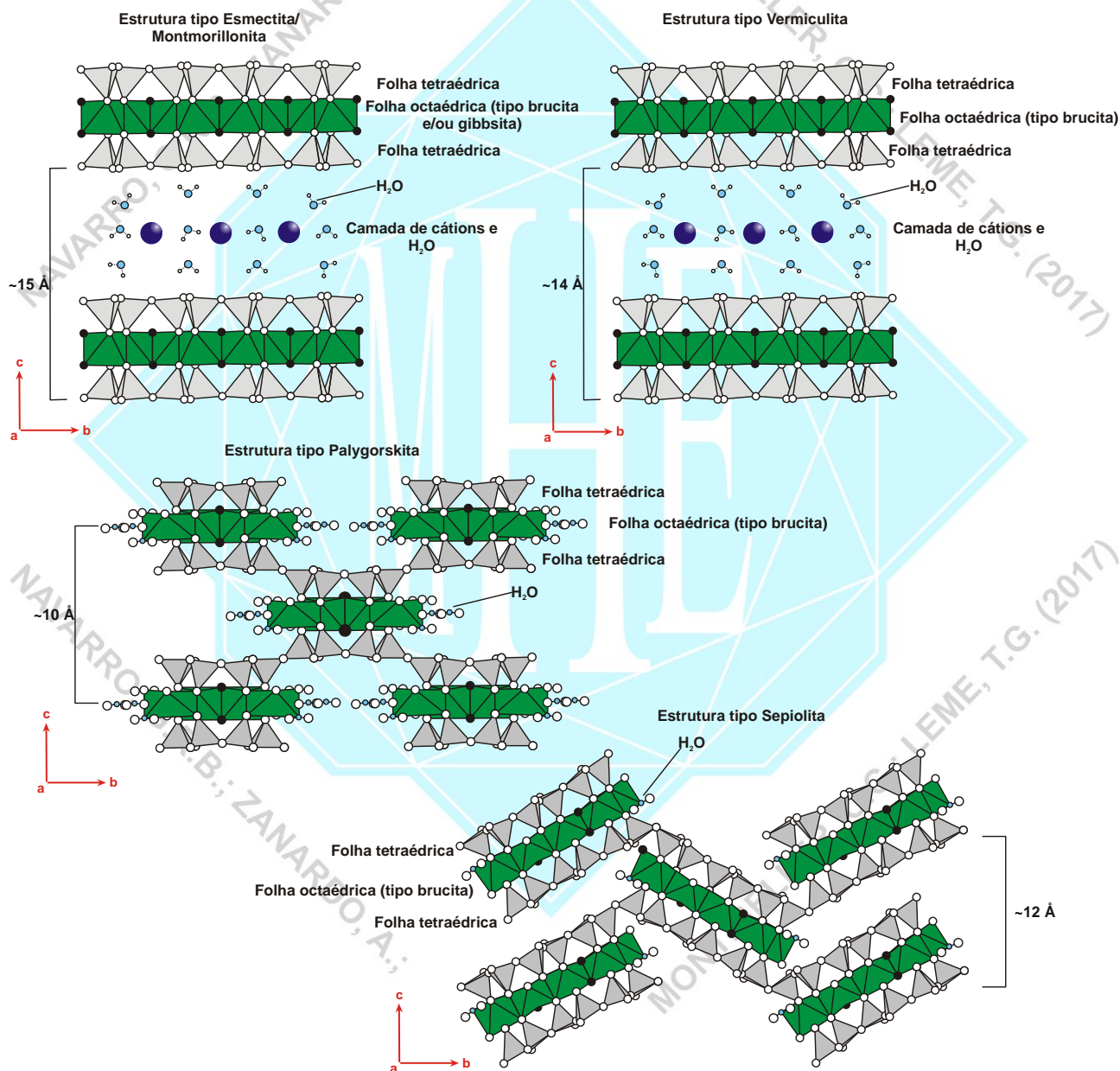


Figura 8 - representação esquemática da estrutura de minerais do grupo da esmectita e/ou montmorillonita, da estrutura da vermiculita, da estrutura da palygorskita e da estrutura da sepiolita.

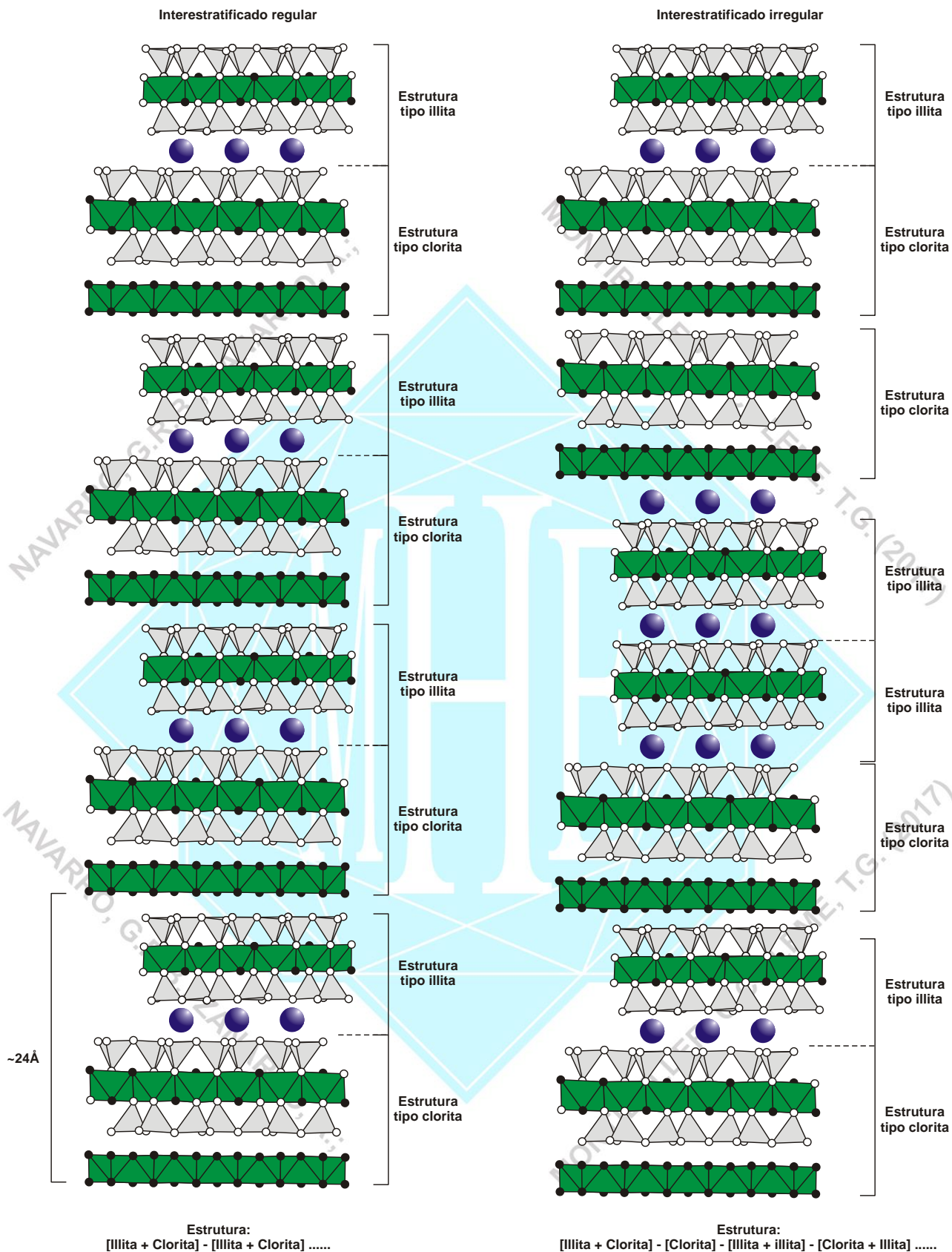


Figura 9 - representação esquemática da estrutura de minerais interestratificados regulares e irregulares.

Este grupo de minerais é bastante numeroso (cerca de 220 minerais são classificados como filossilicatos), e possui grande importância para a geologia, pedologia e para a indústria. Filossilicatos são



constituintes essenciais de muitas rochas metamórficas, magmáticas, sedimentares e de solos. Resultam de processos metamórficos, magmáticos, hidrotermais, diagenéticos e intempéricos, sendo usados na indústria como carga, matéria-prima para cerâmica, desodorizantes, etc.

Os principais e/ou mais comuns minerais desta classe são listados na tabela a seguir:

Lista dos FILOSSILICATOS mais comuns	
Talco	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
Pirofilita	$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$
Grupo das Micas	
Micas Verdadeiras (dioctaédricas)	
- Muscovita	$KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH,F)_2$
- Paragonita	$NaAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$
Micas Verdadeiras (trioctaédricas)	
- Biotita	$K(Mg,Fe^{2+})_3[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$ ou $K(Mg,Fe^{2+})_3(Al,Fe^{3+})Si_3O_{10}(OH,F)_2$
- Flogopita	$KMg_3Si_3AlO_{10}(OH,F)_2$
- Glauconita	$(K,Na)(Fe^{3+},Al,Mg)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$
- Lepidolita	$K(Li,Al)_3(Si,Al)_4O_{10}(F,OH)_2$
- Zinnwaldita	$KLiFe^{2+}Al(AlSi_3)O_{10}(F,OH)_2$
Micas Quebradiças (dioctaédricas)	
- Margarita	$CaAl_2(Al_2Si_2)O_{10}(OH)_2$
Grupo da Clorita	
- Chamosita	$(Fe^{2+},Mg,Fe^{3+})_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH,O)_8$
- Clinocloro	$(Mg,Fe^{2+})_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$
Apofilita	$KCa_4Si_8O_{20}(F,OH).8H_2O$ ou $(K,Na)Ca_4Si_8O_{20}(F,OH).8(H_2O)$
Estilpnomelano	$K(Fe^{2+},Mg,Fe^{3+})_8(Si,Al)_{12}(O,OH)_{27}$ ou $K(Fe^{2+},Mg,Fe^{3+})_8(Si,Al)_{12}(O,OH)_{27}.n(H_2O)$
Prehnita	$Ca_2Al_2Si_3O_{10}(OH)_2$
ARGILO-MINERAIS	
Grupo da Caulinita-Serpentina:	
Caulinitas	
- Caulinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
- Dickita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
- Halloysita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
Serpentinas	
- Antigorita	$(Mg,Fe^{2+})_3Si_2O_5(OH)_4$
- Crisotilo	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$
- Lizardita	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$
Grupo das Esmectitas/Montmorillonitas	
- Hectorita	$Na_{0,3}(Mg,Li)_3Si_4O_{10}(OH)_2$
- Montmorillonita	$(Na,Ca)_{0,3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2.nH_2O$
- Nontronita	$(Ca,Na)_{0,3}Fe^{3+}_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2.nH_2O$ ou $Na_{0,3}Fe^{3+}_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2.n(H_2O)$
Illita	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$.
Sepiolita	$Mg_4Si_6O_{15}(OH)_2.6H_2O$
Vermiculita	$(Mg,Fe^{3+},Al)_3(Al,Si)_4O_{10}(OH)_2.4H_2O$



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Betejtin, A. 1970. **Curso de Mineralogia (2º edición)**. Traduzido por L. Vládov. Editora Mir, Moscou, Rússia. 739 p.
- Betekhtin, A. 1964. **A course of Mineralogy**. Translated from the Russian by V. Agol. Translation editor A. Gurevich. Peace Publishers, Moscou, Rússia. 643 p.
- Branco, P. M. 1982. **Dicionário de Mineralogia (2º edição)**. Editora da Universidade (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), Porto Alegre, Brasil. 264 p.
- Branco, P. M. 2008. **Dicionário de Mineralogia e Gemologia**. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil. 608 p.
- Brigatti, M. F.; Galan, E.; Theng, B. K. G. 2006. **Structures and mineralogy of clay minerals**. Handbook of Clay Science. Edited by F. Bergaya, B. K. G. Theng and G. Lagaly. Developments in Clay Science, Vol. 1. p. 19-86.
- Dana, J. D. 1978. **Manual de Mineralogia (5º edição)**. Revisto por Hurlbut Jr., C. S. Tradução: Rui Ribeiro Franco. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, Brasil. 671 p.
- Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J. 1981. **Minerais Constituintes das Rochas – uma introdução**. Tradução de Luis E. Nabais Conde. Fundação Calouste Gulbenkian, Soc. Ind. Gráfica Telles da Silva Ltda, Lisboa, Portugal. 558 p.
- Gribble, C. D. & Hall, A. J. 1985. **A Practical Introduction to Optical Mineralogy**. George Allen & Unwin (Publishers) Ltd, London. 249 p.
- Gribble, C. D. & Hall, A. J. 1992. **Optical Mineralogy Principles and Practice**. Chapman & Hall, Inc. New York, USA. 303 p.
- Heinrich, E. W. 1965. **Microscopic Identification of minerals**. McGraw-Hill, Inc. New York, EUA. 414 p.
- Kerr, P. F. 1965. **Mineralogia Óptica (3º edición)**. Traducido por José Huidobro. Talleres Gráficos de Ediciones Castilla, S., Madrid, Espanha. 432 p.
- Klein, C. & Dutrow, B. 2012. **Manual de Ciências dos Minerais (23º edição)**. Tradução e revisão técnica: Rualdo Menegat. Editora Bookman, Porto Alegre, Brasil. 716 p.
- Klein, C. & Hurlbut Jr., C. S. 1993. **Manual of mineralogy (after James D. Dana) (21º edition)**. Wiley International ed., New York, EUA. 681 p.
- Klockmann, F. & Ramdohr, P. 1955. **Tratado de Mineralogia (2º edición)**. Versión del Alemán por el Dr. Francisco Pardillo. Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, Espanha. 736 p.
- Leinz, V. & Campos, J. E. S. 1986. **Guia para determinação de minerais**. Companhia Editorial Nacional. São Paulo, Brasil. (10º edição). 150 p.
- Navarro, G. R. B. & Zanardo, A. 2012. **De Abelsonita a Zykaíta – Dicionário de Mineralogia**. 1549 p. (inédito).
- Navarro, G. R. B. & Zanardo, A. 2016. **Tabelas para determinação de minerais**. Material Didático do Curso de Geologia/UNESP. 205 p.
- Nesse, W. D. 2004. **Introduction to Optical Mineralogy (3º edition)**. Oxford University Press, Inc. New York, EUA. 348 p.
- Sinkankas, J. 1964. **Mineralogy for Amateurs**. Van Nostrand Reinhold Company, New York, EUA. 585 p.
- Winchell, A. N. 1948. **Elements of Optical Mineralogy: an introduction to Microscopic Petrography, Part II. Descriptions of Minerals (3º edition)**. John Wiley & Sons, Inc., New York (3º edition). 459 p.



GUILLERMO RAFAEL B. NAVARRO, ANTENOR ZANARDO, CIBELE CAROLINA MONTIBELLER,
THAIS GÜTZLAF LEME. (2017)
Livro de referência de Minerais Comuns e Economicamente Relevantes: FILOSSILICATOS.
Museu de Minerais, Minérios e Rochas “Prof. Dr. Heinz Ebert”

sites consultados:

www.handbookofmineralogy.org
www.mindat.org
www.mineralienatlas.de
<http://rruff.info>
www.smorf.nl
www.webmineral.com

