



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria da Educação

ESCOLA ESTADUAL DE
EDUCAÇÃO PROFISSIONAL - EEEP
ENSINO MÉDIO INTEGRADO À EDUCAÇÃO PROFISSIONAL

CURSO TÉCNICO EM CERÂMICA

GEOLOGIA E MINEROLOGIA



**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**
Secretaria da Educação

Governador

Cid Ferreira Gomes

Vice Governador

Domingos Gomes de Aguiar Filho

Secretária da Educação

Maria Izolda Cela de Arruda Coelho

Secretário Adjunto

Maurício Holanda Maia

Secretário Executivo

Antônio Idilvan de Lima Alencar

Assessora Institucional do Gabinete da Seduc

Cristiane Carvalho Holanda

Coordenadora da Educação Profissional – SEDUC

Andréa Araújo Rocha

SECRETARIA DA EDUCAÇÃO

ESCOLA ESTADUAL DE EDUCAÇÃO

PROFISSIONAL-EEEP

ENSINO MÉDIO INTEGRADO À EDUCAÇÃO

PROFISSIONAL

CURSO TÉCNICO EM CERÂMICA VERMELHA

APOSTILA DE GEOLOGIA MINEROLOGIA

ANTÔNIO WILLIAMS DE LIMA BRITO

Fevereiro 2012

Cada dia a natureza produz o suficiente para nossa carência. Se cada um tomasse o que lhe fosse necessário, não havia pobreza no mundo e ninguém morreria de fome.

Mahatma Gandhi

PROGRAMA DE DISCIPLINA

| Curso | Disciplina | Carga - horária |
|---|----------------------|-----------------|
| Técnico de Nível Médio em Cerâmica Vermelha | Geologia Mineralogia | 80 h/a |

Ementa

Geoquímica da crosta terrestre. Origem das rochas e dos minerais. Dinâmica externa e dinâmica interna. Mineralogia das rochas e dos solos e sua importância econômica. Introdução à cristalografia. Formas e estruturas dos cristais. De fração de raios X(DRX). Propriedades físicas e químicas dos minerais. Técnicas de instrumentação em mineralogia. Classificação dos minerais empregando suas propriedades físicas e químicas. Princípios minérios do Brasil, Ceará e seus empregos na indústria cerâmica.

Conteúdo Programático

Histórico da geologia: Introdução, objetivo; Divisão da geologia. Mineralogia Física: introdução; cristalogia; propriedades físicas; clivagem; Dureza; Tenacidade; densidade; propriedades ópticas. Tipos de Minerais: Grupo da Mica; Grupo do Feldspato; Grupo do Fledspatóides; Grupo da Sílcas; calcita; pirita; Dolomita; fluorita; coríndon. Petrologia: introdução; Definição; classificação; Rochas ígneas; Rochas sedimentares; Rochas metamórficas. Argila: Definição; Critérios de classificação; propriedades Físicas. Argilominerais: Definição; Formação; Classificação. Caulin: Mineralogia: Propriedades físicas: Uso em Geral. Bentonitas: Mineralogia; Formação; Propriedades físicas; tipos. Jazimento: introdução; conceito; Métodos de pesquisa; critérios de identificação; Transporte; Armazenamento: controles; ensaios físicos Técnicos de Mineração. Mapa Geológico; Matérias-primas da Região do Baixo Jaguaribe.

Sumario

| | |
|--|-----------|
| Histórico da geologia: introdução; Objetivo; Divisão da geologia. | 6 |
| Mineralogia Física: Introdução Cristalografia; propriedades físicas; clivagem; dureza; tenacidade; densidade; propriedades ópticas. | 9 |
| Tipos de minerais: Grupo da Mica; Grupo do feldspato; Grupo do Feldspatóides | 23 |
| Grupo da Sílica; calcita; pirita; Dolomita Fluorita; coríndon | 26 |
| Petrografia | 37 |
| Introdução; Definição; Formação; Classificação; Rochas ígneas; rochas sedimentares; rochas metamórficas. | 41 |
| Mineralogia: Minerais | 56 |
| Argila | 68 |
| Definição de argilominerais | 69 |
| Caulim | 71 |
| Bentonita | 72 |
| Técnica de Mineração | 75 |
| Geologia da região | 76 |
| Matéria-prima da região do baixo Jaguaribe e Ceará | 77 |
| Anexos | 80 |
| Mapa Geológico do Brasil | 81 |
| Tabela periódica | 82 |
| Referencia Bibliográfica | 83 |

INTRODUÇÃO

A geologia é a ciência que estuda a origem e a evolução do nosso planeta, através da análise das rochas e seus minerais. As rochas que formam os continentes e fundos dos oceanos registram os fenômenos de transformação da superfície e do interior da crosta terrestre.

A indústria cerâmica constitui uma atividade tradicional e de grande relevância na economia do Estado do Ceará e, dentro desse contexto, ressalta-se o pólo ceramista do Baixo/Médio Jaguaribe, na porção oriental do Estado do Ceará, pela sua importância econômica e social dentre as microrregiões envolvidas, por agregar cerca de 120 indústrias cerâmicas de pequeno e médio porte, produtoras, principalmente, de tijolos e telhas. Onde que a matéria prima utilizada é a argila um dos minerais citados nesta apostila de geologia mineralogia.

1. Histórico da Geologia: Introdução; Objetivo.

Introdução

A palavra Geologia vem do grego: Geo = terra - logia = palavra, pensamento, ciência.

A Geologia como ciência procura decifrar a história geral da Terra desde o momento em que se formaram as rochas até o presente.

A história da Terra está relacionada a um conjunto de fenômenos físicos, químicos, físico-químicos e biológicos.

A Geologia para fins didáticos está dividida em: Geologia geral ou dinâmica e Geologia Histórica.

A Geologia geral ou dinâmica é o estudo da composição, da estrutura e dos fenômenos genéticos formadores da crosta terrestre, assim como do conjunto geral de fenômenos que agem não somente sobre a superfície como também em todo o interior do nosso planeta.

Duas fontes de energia agem sobre a crosta terrestre. Uma delas provém do sol, que age direta ou indiretamente. Graças a ele é que se esculptura a superfície do globo, constantemente modificada pelas águas e ventos acionados pela energia solar. A esse conjunto de fenômenos dá-se o nome de dinâmica externa.

A fonte de energia provém do interior da terra, formando e modificando sua composição e estrutura. A dinâmica interna trata desses fenômenos. As duas fontes de energia agem independentemente, havendo, contudo, efeitos intimamente recíprocos entre ambos.

A Geologia histórica estuda e procura datar cronologicamente a evolução geral, as modificações estruturais, geográficas e biológicas ocorridas na história da Terra. A seqüência e a cronologia dos acontecimentos são evidenciadas pelo estudo da estratigrafia.

A Paleogeografia tenta sintetizar a configuração dos continentes e dos mares do passado, assim como a distribuição pretérita da vida e do clima. Assim, a Geologia histórica relaciona-se ao tempo, à época, enquanto a Geologia dinâmica geralmente não cogita desses fatores.

Poucos fazem idéia de todos o tempo que a natureza levou para formar todo esse conjunto de solos, plantas e animais. Para que tenhamos uma idéia da época do aparecimento do homem no nosso planeta em relação à sua formação, ou melhor, como descrever o vastíssimo lapso de tempo durante o qual a terra esteve em formação, em comparação com o curto momento em que o homem nela vem vivendo e sobre ela vem agindo, usaremos uma tabela do tempo Geológico como referencia de tempo de formação da terra .

O TEMPO GEOLÓGICO

| Era | Período | Época | Características Principais | Algumas Espécies |
|---|-------------|-------------|--|--|
| Cenozóica (66 milhões de anos atrás até os dias de hoje) | Terciário | Paleoceno | Início da propagação dos mamíferos, aves, insetos e flores. | Gambás e barilambdas. |
| | | Eoceno | Segue a propagação dos mamíferos, aves, insetos e flores. | Eohipos, peixes-boi, uintatérios e diatrimas. |
| | | Oligoceno | Os mamíferos assumem o domínio dos continentes. | Protóceros, hienodontes, meritérios, baluquitérios e arsinoitérios. |
| | | Mioceno | Surtem grandes cadeias montanhosas como os Alpes, os Andes e o Himalaia. | Ceratogaulos, dinotérios, estenomilos e deodontos. |
| | | Plioceno | Surge o <i>homo habilis</i> (cerca de 2 milhões de anos). | Australopitecos, alces gigantes e megatérios. |
| | Quaternário | Pleistoceno | Tem início a idade glacial no Hemisfério Norte. Surgem o <i>homo erectus</i> , o <i>homo sapiens</i> e os primeiros traços culturais humanos (pinturas rupestres). | Homens de Neanderthal e Cro-Magnon, tigres-dente-de-sabre, mamutes, leões e baleias azuis. |
| | | Holoceno | Fim da última idade glacial. Grande desenvolvimento cultural do homem moderno e surgimento da civilização. | Homens modernos, cães e gatos domésticos. |

Objetivo

A Geologia é importantíssima na Engenharia: na construção de túneis, de barragens, de fundações, que deverão suportar grandes cargas; no estudo de deslizamentos, às vezes catastróficos, que podem sepultar grandes áreas e que dependem da natureza e das condições de estabilidade do solo.

CONCEITOS INICIAIS

A Crosta da Terra é a camada mais bem conhecida pelo homem. Sua espessura é extremamente variável, podendo medir poucos quilômetros abaixo dos oceanos (5 a 12 km), ou várias dezenas nos continentes, cerca de 30 a 40 km em regiões mais planas, e chegando a variar entre 50 a 70 km nas regiões montanhosas, conforme Yakushova (1986). Podemos dizer que, excetuando-se a energia proveniente dos raios solares e as trocas gasosas com a atmosfera, nós e toda a vida (animal e vegetal) somos constituídos e nos alimentamos das substâncias existentes na Crosta, portanto somos parte dela!

Sabemos que a Crosta Terrestre varia em composição, de um lugar para outro. A crosta oceânica, de natureza basáltica, difere sensivelmente da crosta continental, sílica. E esta, por sua vez, é extremamente variável na sua composição, quer em profundidade quanto em distribuição areal. Essa variabilidade esta diretamente relacionada com as petrogêneses locais, e por conseqüência, com as assembléias mineralógicas participantes.

Todas as substâncias que conhecemos são formadas por partículas elementares, denominadas de átomos. Os átomos ocorrem na natureza sob a forma isolada ou combinada; e a essa ocorrência natural, dos átomos na Crosta Terrestre, é que denominamos mineral; portanto, por definição-**Minerais são elementos ou compostos químicos naturais que surgem como resultado de processos físico-químicos ocorrentes no interior ou na superfície da crosta terrestre.**

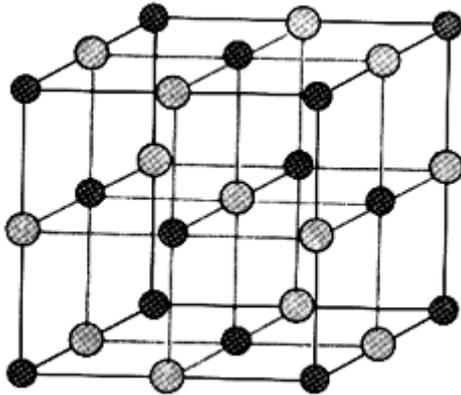
Sendo assim, todos os minerais devem obedecer a alguns princípios:

- **Ocorrer naturalmente** – os minerais devem ser encontrados em estado natural; ou seja, não são considerados minerais aqueles cristais sintéticos produzidos em laboratórios;
- **Ser resultante de processos inorgânicos** – as substâncias formadas por processos orgânicos não são consideradas minerais. Dessa forma, os esqueletos calcínicos, aragoníticos e quartzosos dos animais não são considerados minerais, embora sejam idênticos aos inorgânicos. O material que constitui as conchas dos moluscos, por exemplo, deve ser qualificado como calcita biogênica, para fazer distinção ao mineral calcita inorgânico;
- **Ocorrer no estado sólido** – devem ser feitas exceções, exclusivamente, aos minerais H₂O (água) e Hg (mercúrio);
- **Ter composição química definida** – todo mineral apresenta-se sempre com a mesma composição química; assim, o mineral ouro é sempre composto por Au; e a hematita é sempre composta por Fe₂O₃, como exemplos;
- **Possuir uma estrutura cristalina tridimensional ordenada** – os minerais, salvo as exceções já referidas, apresentam-se no estado cristalino, onde os átomos ou grupamentos de átomos que os compõem, dispõem-se sempre em sistemas tridimensionais fixos e constantes;
- **Ser homogêneo quanto às suas propriedades** – cada mineral possui um elenco de propriedades físicas, químicas ou ópticas, inerentes à sua composição e estrutura cristalina tridimensional, o que o difere dos demais.

PROPRIEDADES DOS MINERAIS

Forma ou Estrutura: é uma propriedade herdada a partir da estrutura cristalina tridimensional ordenada; é a “arquitetura construtiva” pela qual o mineral cresce. Dependendo das distâncias entre os átomos que compõem o mineral, nas três direções do espaço e dos ângulos que estas direções formam entre si, podemos classificar todos os minerais segundo sete sistemas cristalinos possíveis: triclinico, monoclinico, rômico, hexagonal, trigonal, tetragonal e

cúbico. Tomemos por exemplo o mineral halita (sal de cozinha) que é composto por átomos de sódio (Na) e de cloro (Cl). Podemos observar, pela figura 1, que a estrutura cristalina mais compacta naturalmente confeccionada pelas ligações químicas entre cloro e sódio produzem um arranjo estrutural pertencente ao **Sistema cúbico**.



2. Mineralogia Física: Introdução; cristalogia; Propriedade Física; clivagem;

Cristalografia

A cristalografia consiste numa ciência que estuda a disposição interatômica da matéria sólida, as suas causas, a sua natureza e as suas conseqüências. A cristalografia não é somente a ciência que estuda os cristais limitados por faces planas, mas também a ciência que estuda o estado cristalino e a disposição atômica em substâncias amorfas, líquidos, gases, assim como a estrutura da matéria viva. Em 1912 foi descoberto que se poderia determinar nos cristais a forma e o tamanho do padrão de repetição dos seus átomos (células unitárias) através da passagem de raios X pela amostra.

A cristalografia encontra-se dividida nos seguintes ramos: cristalografia geométrica (estudo da forma dos cristais), cristalografia química (estudo das relações entre a forma dos cristais e a sua composição química), cristalografia física (relaciona a forma cristalina e as suas propriedades físicas e óticas), cristalografia estrutural (estudo da disposição dos átomos no interior dos cristais).

Dureza; Tenacidade; Densidade; Propriedades ópticas.

Propriedades Físicas dos Minerais

As propriedades físicas dos minerais são o resultado direto de sua composição química e de suas características estruturais. Existe um conjunto de propriedades físicas que podem ser examinadas ou testadas rapidamente, com auxílio de instrumentos simples como um ímã, uma lupa de mão, um canivete e uma placa de porcelana. Com, freqüência estas propriedades são suficientes para a identificação de um mineral desconhecido e, pela facilidade de seu estudo, são de emprego corriqueiro por mineralogistas, tanto no campo como em laboratório.

2.1 - Hábito → Por hábito de um mineral se entende a (s) forma (s) com a qual ele aparece freqüentemente na natureza, por exemplo: como prismas alongados; como cristais tabulares (achatados); como agregados cristalinos com arranjos geométricos característicos; ou mesmo como grãos sem uma forma definida. Muitas espécies minerais ocorrem preferencialmente com um determinado hábito. Por exemplo, cristais de magnetita $-Fe_3O_4$ são freqüentemente octaédricos, pirita $-FeS_2-$ comumente ocorre como cristais em forma de cubos, e as micas ocorrem como lamelas. Embora nem sempre um determinado mineral tenha que apresentar seu hábito característico, o fato de que isto ocorra com freqüência é de grande auxílio na sua identificação.

A lista a seguir inclui os termos mais comumente usados na descrição do hábito dos minerais.

- **Prismático** - os cristais do mineral são freqüentemente constituídos por prismas (ou combinações de mais de um prisma). Usualmente são empregados adjetivos para qualificar os cristais prismáticos, como **colunares** (prismas alongados, com uma direção- geralmente coincidente com o eixo c- mais desenvolvida que as demais), **aciculares** (muito alongados e finos, com forma que lembra uma agulha), **fibrosos, capilares ou filiformes** (ainda mais finos, lembrando fios de cabelo) **tabulares** (achatados, com duas direção mais bem desenvolvidas do que a terceira), **laminares** (alongados e achatados, como a lamina de uma faca).
- **Cúbico, octaédrico, dodecaédrico, romboédrico, etc.** mineral caracterizado pela ocorrência freqüente de cristais com as formas citadas.
- **Micáceo**- cristais tabulares ou lamelares formados por placas finas (como as micas)
- **Euédrico, subédrico, anédrico**- mineral ocorre comumente como cristais bem formados (euédricos), ou com apenas algumas faces bem desenvolvidas

(subédricos), ou ainda como grãos sem faces cristalinas presentes (anédricos- embora deva ser ressaltado que a ausência de formas cristalinas visíveis externamente não significa que o mineral não possua uma estrutura cristalina ordenada)

Muitos dos termos acima, especialmente os relativos a prismas, podem ser igualmente aplicados a agregados de cristais (por exemplo, agregados colunares, agregados aciculares, etc.). Os seguintes termos são específicos da descrição de agregados cristalinos:

- **Dendrítico**- arborescente, em ramos divergentes, como os de uma planta.
- **Divergente ou radiado**- agregado de cristais (geralmente prismas colunares, aciculares ou tabulares) divergentes a partir de um ponto central. Tipos específicos de agregados radiais podem ser:
 - a) **Globulares**- agregados de cristais radiais, formando pequenas superfícies esféricas ou semi-esféricas
 - b) **Botrioidal**- formas globulares assemelhando-se (em tamanho dos glóbulos) a um cacho de uvas
 - c) **Mamelonar**- grandes superfícies arredondadas, semelhantes a mamas, formadas por indivíduos radiais ou divergentes.
 - d) **Reniforme**- agregados radiados terminando em formas arredondadas com forma de rins.
 - e) **Colomorfo**- termo genérico aplicado a formas arredondadas compostas de agregados radiados, sem levar em conta o tamanho.
- **Granular**- agregado simplesmente composto por grãos (sem nenhuma conotação específica de forma ou tamanho)
- **Concêntrico**- camadas mais ou menos esféricas, superpostas umas as outras.
- **Pisolítico**- massas arredondadas, mais ou menos do tamanho de ervilhas
- **Oolítico**- massa arredondadas, mais ou menos do tamanho de ovas de peixe
- **Bandado**- mineral formado por camadas de diferentes cores ou texturas
- **Maciço**- material compacto, sem formas ou feições especiais.

Outros termos específicos, relacionados ao modo de ocorrência do agregado:

- **Drusa**- superfície coberta de pequenos cristais

- **Geodo**- cavidade (em uma rocha) cuja superfície é coberta de pequenos cristais
- **Concreção**- massas formadas por deposição de material em torno de um núcleo. Algumas concreções são esféricas, mas outras podem ter forma variável.
- **Estalactite**- agregada em cilindros ou cones pendentes (como por exemplo, em cavernas)

2.2- Clivagem, partição e fratura → Um mineral pode apresentar (ou não) tendência a se romper segundo planos preferenciais, quando submetido a um esforço externo. Este comportamento é diretamente relacionado ao tipo de ligação química envolvida e à eventual presença de defeitos ou descontinuidades na estrutura cristalina. Em presença de um esforço externo um cristal pode apresentar tendência a se romper ao longo de direção em que:

- A força de ligação é menor
- Existem menos ligações por unidade de volume
- Existem defeitos estruturais
- Existe um maior espaçamento interplanar, embora as ligações químicas sejam do mesmo tipo

Clivagem, partição e fraturas são propriedades físicas diferentes. A distinção entre elas é extremamente importante do ponto de vista da identificação de minerais

• **Clivagem →** tendência do mineral partir-se paralelamente a planos atômicos identificados por Índices de Miller, tais como faces do cristal. Os planos de clivagem são, portanto, repetitivos desde a escala mesoscópica (do cristal) a escala microscópica e até a escala da própria estrutura cristalina. A clivagem é sempre consistente com a simetria do cristal. Para estudar a clivagem de um mineral não é suficiente apenas reconhecê-la, mas é necessário caracterizá-la em termos de sua orientação e sua qualidade. Em termos de orientação (geometria) a clivagem pode ser descrita por adjetivos que a relacionam com formas cristalinas. Assim, pode-se caracterizar a clivagem como **cúbica** (como na galena PbS), **octaédrica** (como no diamante-C), **dodecaédrica** (como na esfalerita -ZnS), **romboédrica** (como na calcita CaCO₃), **prismática** (como nos piroxênios e anfibólios), **pinacoidal** (como a clivagem basal das micas), etc.

Uma outra maneira de expressar esse conceito É utilizando os Índices de Miller para a forma cristalina em questão, como {111} para a clivagem octaédrica.

Vimos que a clivagem está intrinsecamente relacionada á estrutura cristalina. Portanto, se um mineral possui uma determinada direção de clivagem, existe o potencial para ocorrerem inúmeros planos de clivagem ao longo daquela direção. Entretanto, nem sempre a clivagem é perfeitamente desenvolvida nos cristais. Assim, devem-se utilizar adjetivos para caracterizar a qualidade da clivagem. Isto É feito de acordo com uma escala comparativa e empírica. Assim, pode-se dizer que uma clivagem é excelente (como a clivagem basal das micas e do grafite), **boa**, **pobre** ou **ruim**. Finalmente, alguns minerais se caracterizam pela ausência de clivagem. O quartzo, um dos minerais mais comuns não apresenta clivagem.

- **Partição** → Assim como a clivagem, a partição também está associada a planos cristalográficos, mas não é tão bem desenvolvida. A partição pode ter outras causas, como a presença de planos de geminação no cristal ou ocorrer como resposta á aplicação de pressão. Assim, ao contrário do que ocorre com a clivagem, alguns indivíduos de uma espécie mineral podem apresentar partição. Enquanto outros não a possuem. Por exemplo, em uma população de cristais de um determinado mineral, pode ocorrer que apenas os cristais geminados ou submetidos a pressão apresentem planos de partição visíveis. Outro critério útil para distinguir clivagem de partição é o caráter menos penetrativo da última. Por exemplo, um cristal pode se partir ao longo de planos de geminação relativamente espaçados entre si, e ao mesmo tempo fraturar-se de maneira irregular na região entre dois planos de partição. Exemplos comuns de partição incluem a partição octaédrica da magnetita, a partição basal dos piroxênios e a partição romboédrica do coríndon.

- **Fratura** → Refere-se á maneira pela qual o mineral se rompe, exceto aquelas controladas pelas propriedades de clivagem e partição. Ocorre quando a força das ligações químicas é mais ou menos a mesma em todas as direções e, portanto, o rompimento não ocorre ao longo de nenhuma direção cristalográfica em particular. Assim, ao estudar as fraturas de um mineral, o **estilo** de fraturamento é a observação o importante a ser feita. Alguns minerais apresentam estilos de fratura característicos, o que pode auxiliar na sua identificação. Os termos mais comuns usados para descrever fraturas em um mineral são: **conchoidal** (superfícies lisas e curvas, semelhantes á parte interna de uma concha, comum vidro e no mineral quartzo), **fibrosa** (quando o mineral se rompe formando estilhaços ou fibras), **serrilhada** (superfície denteada, irregular, com bordas cortantes), **irregular** (superfícies rugosas e irregulares).

2.3-Dureza → Esta é uma das mais importantes propriedades para a identificação de muitos minerais. Define-se como dureza de um mineral a resistência que uma superfície lisa do mineral apresenta a ser “arranhada” (sulcada) por outro material (outro mineral, a ponta de uma faca, etc.). Em última instância, a dureza de um mineral está relacionada à reação da estrutura cristalina à aplicação de esforço sem ruptura.

Em cristais formados essencialmente por ligações metálicas, os quais podem fluir plasticamente, o atrito de um material de dureza mais alta contra a superfície do cristal tende a produzir um sulco. Minerais formados por ligações iônicas ou covalentes tendem a apresentar um comportamento mais rúptil. Ao seres submetidos ao mesmo teste, a produção do sulco poderá ser acompanhada da produção de pó do mineral mais mole.

Em compostos iônicos o tamanho e a carga dos íons envolvidos afetam a dureza do mineral. Assim, para um grupo de substâncias diferentes com mesmo tipo de estrutura cristalina, quanto maior à distância interiônica e quanto menores as cargas dos íons, mais fraca ser a ligação e, conseqüentemente, menor será a dureza do mineral.

É importante ressaltar que a força global de uma estrutura cristalina É dada por uma combinação dos diferentes tipos de ligação química presentes, mas a dureza desta mesma estrutura É uma expressão da sua ligação mais fraca.

A dureza É uma característica de cada mineral, e pode ser avaliada quantitativamente através do uso de equipamentos adequados. Entretanto, sua principal utilidade na identificação mineralógica consiste em estimar qualitativamente a dureza do mineral que se deseja identificar, comparando-o com outros minerais e/ou materiais de dureza conhecida. O teste de dureza baseia-se no fato de que um mineral de dureza mais alta

É capaz de provocar um sulco em um mineral de dureza mais baixa, mas o segundo não é capaz de sulcar o primeiro.

O mineralogista austríaco F. Mohs idealizou uma escala de dureza com base em dez minerais relativamente comuns, aos quais atribuiu graus de dureza relativa de um a dez. Esta escala ficou conhecida como Escala de Dureza de Mohs e é de uso corrente entre mineralogistas e outras pessoas interessadas na identificação de minerais. Os minerais da escala de Mohs são listados abaixo, em ordem crescente de dureza:

1 - Talco

2 - Gipso (= gipsita)

3 - Calcita

- 4 - Fluorita
- 5 - Apatita
- 6 - Ortoclásio
- 7 - Quartzo
- 8 - Topázio
- 9 - Coríndon
- 10 - Diamante

Portanto, se um mineral que se deseja identificar é capaz de sulcar a fluorita, mas não sulca a apatita, pode-se dizer que este mineral tem uma dureza entre 4 e 5. Um grupo de materiais de fácil acesso pode ser usado para testar dureza, em complemento aos minerais da escala. Assim, a unha humana possui dureza pouco acima de 2 (sulca talco e gipsita, mas não sulca calcita); o cobre tem dureza pouco abaixo de 3; o aço comum tem dureza pouco acima de cinco; o vidro comum tem dureza $5 \frac{1}{2}$, o aço temperado tem dureza $6 \frac{1}{2}$ etc. Ao avaliar a dureza de qualquer mineral é imprescindível realizar o teste nos dois sentidos (ou seja tentar sulcar o mineral A com o mineral B e vice-versa), porque um mineral excessivamente friável (pulverulento) ou quebradiço pode ser fisicamente desagregado por outro, mesmo que este possua dureza mais baixa.

Em termos de dureza absoluta, a progressão de talco (dureza 1) até diamante (dureza 10) não é linear, mas segue uma curva exponencial, de tal maneira que a diferença de dureza entre o diamante (10) e o coríndon (9) é muito maior do que a diferença de dureza entre a gipsita (2) e o talco (1).

Como a dureza é uma propriedade direcional, alguns minerais possuem dureza diferente segundo direções cristalográficas distintas. Quando ocorre, este fato frequentemente auxilia na identificação do mineral. Por exemplo, os cristais de cianita possuem dureza igual a 5 na direção do comprimento e dureza igual a 7 na direção perpendicular ao comprimento.

2.4 - Tenacidade → A tenacidade é uma medida da coesão de um mineral, ou seja, a sua resistência a ser quebrado, esmagado, dobrado ou rasgado. A tenacidade não guarda necessariamente relação com a dureza. O exemplo clássico desta diferença é o diamante, que possui dureza muito elevada mas tenacidade relativamente baixa, quando submetido a um impacto. Os seguintes termos qualitativos são usados para expressar tenacidade de um mineral:

- **Quebradiço** → o mineral se rompe ou É pulverizado com facilidade
- **Maleável** → o mineral pode ser transformado em lâminas, por aplicação de impacto
- **Séctil** → o mineral pode ser cortado por uma lâmina de aço
- **Dúctil** → o mineral pode ser estirado para formar fios
- **Flexível** → o mineral pode ser curvado, mas não retorna a sua forma original, depois de cessado o esforço
- **Elástico** → o mineral pode ser curvado, mas volta á sua forma original, depois de cessado o esforço

Propriedades como ductilidade, sectilidade e maleabilidade são típicas de materiais constituídos por ligação metálica. Neste tipo de ligação o material é considerado como cátions imersos em uma nuvem de elétrons de alta mobilidade. Quando é aplicado um esforço externo, os cátions podem mover-se relativamente uns aos outros sem necessariamente originar forças eletrostáticas repulsivas (e, conseqüentemente, sem perder coesão). O comportamento flexível É típico de minerais com estruturas em folha, como talco e clorita, onde as folhas são unidas entre si por forças de van der Waals ou pontes de hidrogênio (quando submetida a um esforço externo, a estrutura desliza ao longo dessas ligações mais fracas). Um outro grupo de minerais com estrutura em folha, as micas, apresenta propriedades elásticas, porque nestes minerais as camadas da estrutura são mantidas unidas entre si por ligações iônicas envolvendo álcalis como K^+ (consideravelmente mais fortes do que as forças de van der Waals)

2.5 - Densidade relativa → definida como a relação entre o peso do mineral e o peso de um volume igual de água pura, é um n°mero adimensional, e não tem o mesmo significado que peso específica (medido em unidades de peso por unidade de volume). A densidade relativa é característica para cada mineral, e depende basicamente de dois fatores: os elementos químicos que constituem o mineral e a maneira como estes elementos estão arranjados dentro da estrutura cristalina. Os efeitos destes fatores podem ser facilmente avaliados comparando-se: a) minerais com estrutura semelhante, mas composição distinta, como os carbonatos ortorrômnicos de Ca, Sr, Ba e Pb, onde a densidade relativa aumenta com o aumento do peso atômico do cátion, de 2,95 na aragonita ($CaCO_3$) até 6,55 na cerussita ($PbCO_3$). Por outro lado, a diferença de densidade relativa entre o carbono puro na forma de grafite (2,2) e

de diamante (3,5) ilustra o efeito da estrutura cristalina sobre esta propriedade. Existem vários métodos de determinação quantitativa de densidade em minerais, com o uso de equipamentos adequados (balança de Jolly, balança de Barman, picnômetro), líquido pesados (bromofórmio, iodeto de metileno, etc.), ou cálculos com base na cela unitária do mineral, os quais não serão discutidos aqui. Para um reconhecimento expedito, entretanto, pode-se estimar a densidade relativa por comparação entre amostras de diferentes minerais. Associada ao estudo de outras propriedades físicas, esta análise comparativa de densidade é muitas vezes uma ferramenta fundamental na identificação de minerais.

2.6 - Magnetismo → Materiais que apresentam a propriedade de ser atraídos por um ímã são chamados de ferromagnéticos. O número de minerais que apresentam esta propriedade é muito pequeno. Dentre os minerais comuns na natureza, apenas a magnetita (Fe_3O_4) e a pirrotita (Fe_{1-x}S) apresentam esta propriedade. Portanto, quando presente em um mineral, o magnetismo é de extrema utilidade na identificação. Adicionalmente, o fato de que diferentes minerais possuem diferentes susceptibilidades magnéticas permite a separação física de grãos de minerais distintos mediante o uso de equipamentos

Ao ser aquecido acima de uma temperatura específica, os materiais ferromagnéticos perdem suas fortes propriedades magnéticas, que são substituídas por um magnetismo comparativamente mais fraco (para magnetismo). A temperatura à qual esta mudança ocorre é conhecida como “temperatura de Curie” Para a magnetita, este fenômeno ocorre a 85°C .

2.7- Cor → Esta é provavelmente a primeira propriedade física a chamar a atenção quando alguém examina um mineral. O que o nosso cérebro interpreta como cor é, na verdade, o resultado da absorção seletiva de determinados comprimentos de onda da luz que atravessa o mineral. Os comprimentos de onda que não são absorvidos tornam-se dominantes no espectro que emerge do mineral, e a combinação destes comprimentos de onda é o que é percebido como cor.

A maior parte dos mecanismos que produzem cor são produtos da interação de ondas luminosas com elétrons. A origem da cor em minerais está ligada a uma variedade de razões, tais como a presença de **Íons metálicos** (em especial metais de transição como Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni e Cu), fenômeno de **transferência de carga**, efeitos de **radiação ionizante**, entre outros. Para muitos minerais a cor é uma característica diagnóstica fundamental, enquanto para outros ela é tão variável que não pode ser usada como um critério de identificação. Devido à possibilidade de alteração de muitos minerais por

contato com o ar, água, etc., a cor deve ser sempre observada preferencialmente em uma fratura recente do mineral.

- **Metais de transição** → podem estar presentes em minerais em quantidades importantes (como os constituintes principais) ou em quantidades muito pequenas (como impurezas). Em ambos os casos, estes elementos podem provocar o aparecimento de cor.

Em estruturas cristalinas que admitem substituição de grandes quantidades de um cátion por outro, as variações químicas podem implicar em um amplo espectro de variação de cor. Este é o caso da esfalerita (ZnS), que admite a substituição do Zn por quantidades variáveis de Fe e cuja cor varia em tons de branco, amarelo, castanho e preto, dependendo da quantidade de Fe presente.

Em outros casos, onde um determinado metal ocorre em pequenas quantidades na estrutura, variedades coloridas podem ocorrer em um mineral cuja composição química global é essencialmente constante. No caso do mineral berilo, por exemplo, a presença de pequenas quantidades de Fe^{2+} produz cor azul enquanto a presença de Cr^{3+} como impureza produz coloração verde. As variedades azul e verde do mineral berilo possuem importância econômica como gemas preciosas (água-marinha e esmeralda, respectivamente). Com exceção da cor, as demais propriedades físicas da água-marinha e da esmeralda são idênticas às do berilo comum. O mesmo ocorre com o mineral coríndon: a presença de Cr^{3+} como impureza no coríndon gera a variedade vermelha conhecida como rubi.

- **Transferência de carga** → este processo só ocorre em compostos que tenham pelo menos dois elementos com estados de oxidação diferentes e variáveis. O processo pode produzir cores intensas em minerais e gemas, e envolve a transferência de elétrons entre elementos diferentes. Alguns exemplos de elementos que participam no processo de transferência de carga são: Fe^{2+} e Fe^{3+} ; Ti^{3+} e Ti^{4+} ; Mn^{2+} , Mn^{3+} e Mn^{4+} , ou combinação entre eles (por exemplo, minerais contendo ferro e manganês). A transferência de um elétron de um átomo a outro envolve a absorção de energia, a qual pode ocorrer segundo um comprimento de onda definido. Por exemplo, a transferência de um elétron entre Fe^{2+} e Ti^{4+} envolve a absorção de energia luminosa no comprimento do vermelho, e, portanto produz a cor azul da Safira. O mesmo processo pode ocorrer entre ânions (por exemplo, a cor azul do mineral lazurita decorre da transferência de carga entre um triângulo de átomos de enxofre) ou entre cátion e ânion.

Centros de cor → são imperfeições na estrutura cristalina que causam absorção de energia luminosa e, conseqüentemente, o aparecimento de cor. Na maioria dos casos este fenômeno está associado à exposição à radiação ionizante. A fonte da radiação pode ser natural (elementos radioativos, como U, Th, K presentes em minerais) ou artificial e, em raros casos, radiação ultravioleta pode produzir centros de cor. Quando um mineral é exposto à radiação, elétrons podem ser removidos de suas posições normais e, depois de perder energia, ficar aprisionados em uma posição vaga na estrutura cristalina. Estes elétrons aprisionados absorvem seletivamente determinados comprimentos de onda, produzindo cor.

Um exemplo deste fenômeno é a variedade violeta (ametista) de quartzo (SiO_2). A presença de pequenas quantidades de Fe^{3+} como impureza no quartzo produz cores amarelas (variedade citrino). Quando submetido a radiação, o Fe^{3+} pode perder um elétron (efetivamente tornando-se Fe^{4+}), o qual é aprisionado em um centro de cor na estrutura do quartzo, produzindo a cor violeta típica da ametista. Como os centros de cor são um tipo de defeito causado por radiação, este defeito pode ser eliminado pela adição de energia. Por exemplo, ao submeter a ametista a um tratamento térmico, o processo é revertido, e a cor passa de violeta a amarelo. Na verdade, alguns tipos de ametista tendem a perder a cor com a simples exposição prolongada à luz (radiação ultravioleta). Tratamento térmico é um recurso freqüentemente usado na indústria de pedras preciosas, para modificar, melhorar ou controlar a coloração de uma determinada gema. Ametrino é uma variedade natural de quartzo que apresenta setores com cor de ametista e setores com cor de citrino.

2.8-Traço → É definido como a cor do pó fino de um mineral. A observação do traço de um mineral é geralmente feita atritando-se o mineral contra uma superfície de porcelana não polida (dureza 7). Embora a cor de um mineral seja freqüentemente variável, o seu traço tende a ser relativamente constante, e, portanto é uma propriedade extremamente útil na identificação do mineral. Os óxidos de ferro magnetita (Fe_3O_4) e hematita (Fe_2O_3), por exemplo, podem ser distinguidos por seu traço preto e avermelhado, respectivamente. Alguns minerais possuem dureza tão baixa que são capazes de deixar traço em materiais como papel, como é o caso do grafite e da molibdenita (MoS_2)

2.9-Brilho → refere-se à aparência do mineral à luz refletida. Em uma classificação ampla, o brilho dos minerais pode ser dividido em metálico e não metálico, com uma categoria transicional (sub-metálico) entre eles. Os termos geralmente utilizados para descrever o brilho dos minerais são:

- **Metálico** → brilho semelhante ao dos metais. Característico de minerais dominados por ligações metálicas ou parcialmente metálicas. Minerais de brilho metálico geralmente (mas nem sempre) apresentam traço escuro. Este tipo de brilho é comum em minerais do grupo dos metais nativos, sulfetos e óxidos.
- **Não metálico** → sem aparência de metal. Típico de minerais dominados por ligações iônicas ou covalentes. Geralmente possuem traço claro. Uma série de termos são usados para descrever os tipos de brilho não-metálico:
 - **Vítreo** → brilho como o do vidro. O exemplo típico é o mineral quartzo.
 - **Resinoso** → brilho semelhante ao de resina
 - **Nacarado** → brilho semelhante ao brilho da pérola. Normalmente É melhor observado nos planos de clivagem
 - **Gorduroso ou graxo** → brilho que lembra uma superfície coberta de óleo. O mineral nefelina é um exemplo típico
 - **Sedoso** → brilho que lembra a seda. Comum em agregados fibrosos, como o asbesto e a gipsita fibrosa.
 - **Adamantino** → brilho que lembra o brilho do diamante. Além do diamante, ocorre tipicamente em minerais transparentes de chumbo, como a cerussita (PbCO_3) e a anglesita (PbSO_4)

2.9.1 - Outras propriedades dependentes da luz

- **Jogo de cores** → a cor muda em sucessão rápida, quando o mineral é girado (diamante, opala)
- **Mudança de cores** → idem, mas a variação é lenta (labradorita)
- **Iridescência** → espectro de cores no interior (fraturas, clivagens) ou na superfície (revestimento superficial) do mineral (bornita, calcopirita)
- **Opalescência** → reflexão leitosa ou nacarada no interior do mineral (opala)
- **Embasamento** → a cor da superfície É diferente da cor do interior do mineral (calcocita, bornita, calcopirita)

- **Asterismo** → formação de raios de luz como uma estrela, quando o mineral é observado ao longo do eixo vertical. Ocorre principalmente em minerais hexagonais.
 - **Luminescência** → emissão de luz, exceto as provocadas por incandescência. Normalmente é tênue, melhor observável no escuro
 - **Triboluminescência** → emissão de luz provocada por atrito. Ocorre em minerais não metálicos e anidros (fluorita, esfalerita)
 - **Termoluminescência** → emissão de luz provocada por aquecimento (fluorita)
 - **Fluorescência e fosforescência** → emissão de luz provocada por exposição a determinados tipos de radiação, como luz ultravioleta, raios-x, raios catódicos. (fluorita, scheelita)
-
- **Transparência** → capacidade do mineral de ser atravessado pela luz
 - **Transparente** → É possível ver contornos de objetos através do mineral
 - **Translúcido** → h- passagem de luz, mas não é possível distinguir contornos de objetos
 - **Opaco** → não permite a passagem de luz, mesmo em seções delgadas
-
- **Refração** → mudança na direção da luz, quando passa de um meio para outro de densidade diferente (por exemplo, do ar para o mineral). Depende do Índice de refração (n) do mineral. Para minerais com $n = 2$, a velocidade da luz no mineral é a metade da velocidade no ar. Esta propriedade é de vital importância para os minerais utilizados como gemas, pois influencia o tipo de brilho dos minerais transparentes. Assim, um mineral com $n = 1.5$ tender- a apresentar brilho vítreo, enquanto um mineral com $n = 2.4$ tender- a apresentar brilho adamantino.
 - **Dupla refração** → Quando um raio de luz penetra em um mineral ele se desdobra em dois raios, cada um viajando com velocidade e direção diferentes. A dupla refração ocorre na maioria dos minerais não isométricos, mas geralmente É muito fraca para poder ser observada. Uma exceção notável É a calcita de qualidade ótica (espato de Islândia), que possui dupla refração forte.

2.10 - Propriedades elétricas

A condução de eletricidade em minerais é fortemente controlada pelo tipo de ligação existente. Assim, minerais formados exclusivamente por ligações metálicas (p.ex. os metais nativos) são condutores, minerais formados por ligações parcialmente metálicas (p.ex. alguns sulfetos) são semicondutores, e minerais formados por ligação iônicas e/ou covalentes são maus condutores de eletricidade.

- **Piezoelasticidade** → produção de eletricidade por aplicação de pressão ao longo de um eixo polar (eixo com formas cristalinas distintas em cada uma das pontas). Este efeito só pode ocorrer em cristais que não possuem centro de simetria.

- **Piroelasticidade** → produção de eletricidade por variação de temperatura. Ocorre apenas em minerais que não possuem centro de simetria e têm pelo menos um eixo polar (piroelasticidade verdadeira). A piroelasticidade secundária ocorre em minerais que sofre expansão desigual ao longo de direção distinta, ao ser aquecido. A deformação do retículo resulta em pressão localizada, gerando piezeletricidade.

2.11- Radioatividade

Ocorre em minerais formados por elementos radioativos, tais como U e Th, e pode ser um importante critério de identificação nestes casos.

2.12-Na prática, a dureza de qualquer mineral pode ser medida através da comparação por equivalência com a dureza de um dos minerais da Escala de Mohs (Quadro 1). Para tanto, basta tentarmos riscar o mineral de dureza desconhecida sucessivamente com cada um dos minerais da Escala de Mohs. Dizemos que um mineral possui dureza 4, por exemplo, quando ele risca um de dureza 3, e é riscado por outro de dureza 5.

| Dureza | Mineral | Característica | Dureza | Mineral | Característica |
|--------|---------|---------------------------|--------|------------|----------------|
| 1 | Talco | É riscado até pelas unhas | 6 | Ortoclásio | Risca o vidro |
| 2 | Gipsita | É riscado até pelas unhas | 7 | Quartzo | Risca o vidro |

| | | | | | |
|---|----------|---------------------------|----|----------|---------------|
| 3 | Calcita | É riscado por aço e vidro | 8 | Topázio | Corta o vidro |
| 4 | Fluorita | É riscado por aço e vidro | 9 | Coríndon | Corta o vidro |
| 5 | Apatita | É riscado por aço e vidro | 10 | Diamante | Corta o vidro |

Quadro 1 – Escala de Mohs.

OBJETIVOS

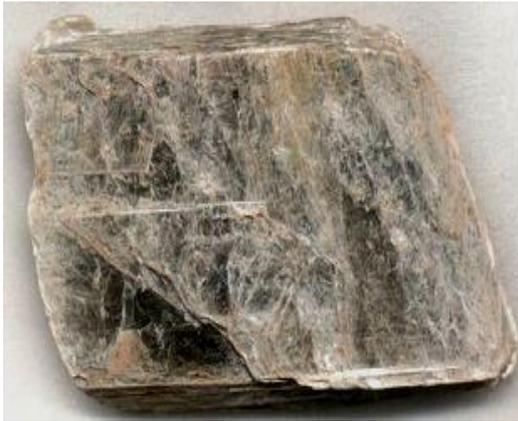
A partir da conceituação sobre os minerais e as suas propriedades físicas, químicas (mais corriqueira) e ópticas (exceto microscopia óptica) que acabamos de ver, buscaremos reconhecer alguns dos minerais mais comuns e importantes, utilizando-se de suas propriedades determinativas.

3. Tipos de minerais: Grupo da Mica; Grupo do feldspato; Grupo do Feldspatóides

Grupo das micas

É um mineral comum. Associa-se com ao Ortoclásio, quartzo, anfibólios e feldspatos.

Pouca resistente ao intemperismo Forma clorita e outros argilominerais A biotita é importante fonte de K às plantas. Rochas ricas em biotita, em geral, originam solos que raramente são deficientes em K.



Mica

O grupo de minerais mica inclui diversos minerais proxicamente relacionados, do grupo dos filossilicatos, que têm a divisão basal altamente perfeita. Todos são cristais monoclinicos, com tendência para pseudo-hexagonal, e são similares na composição química.

A divisão altamente perfeita, que é a característica mais proeminente da mica, é explicada pela disposição hexagonal de seus átomos ao longo de planos sucessivamente paralelos. A palavra "mica" pensa-se ser derivada do latim palavra "micare", significando brilho, em referência à aparência brilhante deste mineral (especial quando em escalas pequenas).

Segmentos de Uso:

Indústria de Eletrônicos A mica tem uma alta resistência dielétrica e excelente estabilidade química tornando-se por isto o material preferido para a confecção de capacitores para aplicações de rádio frequência. Também é usada como isolante em equipamentos para alta-voltagens, além de ser um birrefringente sendo comumente usado para fazer um polarizador de onda de 180 e 90 graus. Ela é usada também para separar condutores elétricos em cabos que são projetados para possuírem uma resistência ao fogo de forma a garantir a integridade do circuito.

Construção Civil

Lâminas de mica prensadas são freqüentemente usadas no lugar do vidro em estufas. Devido a resistência ao calor da mica ela é usada no lugar do vidro em janelas para fogões e aquecedores a querosene.

Indústria da Borracha

Utilizado como material de incorporação devido à sua boa dispersibilidade, por serem quimicamente inertes, apresentarem pH estável, alta resistência abrasão e congelamento e pelo seu índice de refração (nestas aplicações usam-se feldspatos finamente moídos).

Indústria Química

Alguns tipos de pasta de dente incluem mica branca beneficiada. Ela atua como um abrasivo suave para ajudar no polimento da superfície do dente, e também adicionar uma cintilação brilhante cosmeticamente agradável a pasta. Mica Moscovita é o substrato mais comum usado na preparação de substrato para amostras em microscópio de força atômica.

3.1. Feldspato

CONSIDERAÇÕES GERAIS: O grupo dos feldspatos possui diferentes espécies que se cristalizam em diferentes temperaturas. Porém, este grupo de mineral possui a mesma estrutura cristalina, com diferenças de elementos incompatíveis. Os minerais cristalizados tardiamente fazem parte das rochas de profundidade como o granito, corpos batólicos, e pegmatitos. Esses minerais são conhecidos como feldspatos alcalinos. E constituem o ortoclásio, microclínio e albita. Os minerais cristalizados primeiramente estão associados com vulcanismo e rochas efusivas. São relacionados com os minerais de alta temperatura, sendo eles a sanidina e anortita.

APLICAÇÕES

O feldspato de interesse comercial varia em composição de feldspato potássico (ortoclásio e microclina) a albita-oligoclásio.

As principais indústrias que utilizam feldspato são a vidreira, a cerâmica tradicional (revestimentos cerâmicos, louça sanitária, louça de mesa e porcelana elétrica) e as indústrias de fritas metálicas e esmaltes. “Na cerâmica o feldspato funciona como um fluxo, ou seja, ele forma um vidro no interior do corpo cerâmico, isso se deve ao seu conteúdo em álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$). Ele é um material cerâmico básico na manufatura de porcelana, porcelana china, azulejos, cerâmica branca vitrificada e chapas de ferro esmaltada.” (BATES 1969).

A maioria das empresas do segmento cerâmico nacional beneficia grande parte do feldspato consumido no Brasil. Três segmentos (vidro, revestimentos e coloríficos) são responsáveis por cerca de 88% do feldspato de pegmatito consumido no Brasil. O ortoclásio é empregado principalmente na manufatura de porcelana. Moído bem fino, é misturado com caulim ou argila e quartzo. Quando aquecido a temperaturas elevadas, o feldspato sofre fusão e age como cimento ligando o material. O ortoclásio fundido também fornece a maior parte do brilho dos artigos de porcelana.

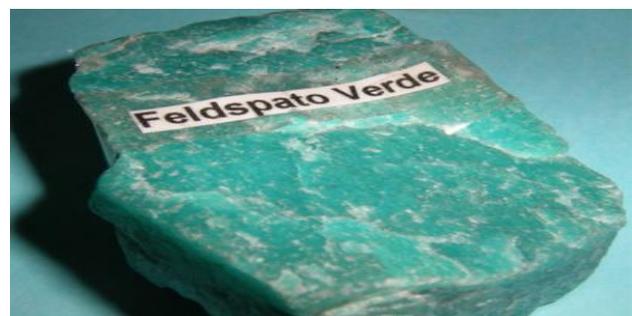
O conteúdo em alumina do feldspato permite o seu uso na manufatura do vidro para justamente fornecer alumina à fornada. (Bates, 1969).

Os plagioclásios são menos usados do que os outros tipos de feldspatos. Emprega-se a albita, conhecida comercialmente pelo nome de espato sódico na cerâmica de modo parecido com o ortoclásio.

A anortita, plagioclásio cálcico, contém duas vezes mais alumina do que o feldspato K-Na, além de conter também outro ingrediente do vidro – o Ca. Entretanto ela é pouco usada na indústria vidreira, pois o Ca pode ser obtido de uma fonte muito mais barata - o calcário. (BATES, 1969).

Também usado para fins ornamentais. A microclina possui o mesmo uso que o ortoclásio. Sua variedade verde, a amazonita, é usada como gema.

A labradorita, que exhibe jogo de cores, é polida e usada como pedra de ornamentação. As variedades mostrando opalescência são lapidadas e vendidas sob o nome de pedra-da-lua e pedra-do-sol.



3.2. Feldspatóides

Já os feldspatóides ocorrem somente em rochas provenientes de magmas ricos em álcali e deficientes em sílica, como fonólitos e nefelina sienitos.

Os feldspatos e feldspatóides, devido ao elevado teor de álcalis, têm como principal característica sua atuação como fundente para auxiliar na formação da fase vítrea, tanto na massa cerâmica (biscoito), como no acabamento (vitrificação superficial), além de melhorar a compactação a verde e diminuir a retração de queima.

4. Grupo da Sílica; calcita; pirita; Dolomita Fluorita; coríndon.

Sabe aquele cristal transparente ou branquinho que você achou na terra quando era criança? Que tinha uma aparência bonita e brilhante, provavelmente se tratava de um Quartzo, que faz parte do GRUPO DA SÍLICA, conheça um pouco mais...

O grupo da Sílica abrange minerais e mineraloides compostos basicamente por SiO_2 , que é um composto eletricamente neutro e não contém outras unidades estruturais a não ser o tetraedro. Existem pelo menos nove maneiras diferentes de arranjar os tetraedros de modo a compartilhar todos os oxigênios, gerando estrutura contínua e eletricamente neutra. Estes nove modos de arranjo

geométrico correspondem aos nove polimorfos (diferentes minerais com a mesma fórmula química) conhecidos de SiO_2 , além de diversas variedades com estrutura criptocristalina e microcristalina. Cada um destes polimorfos tem sua estrutura interna, morfologia externa características, dimensões de cela e energia reticular específicas. As variedades de maior temperatura possuem estruturas mais espaçosas e menor energia reticular; portanto, são menos estáveis.

Das variedades cristalinas do Quartzo:

Quartzo Hialino (cristal de rocha), Quartzo Leitoso (quartzo branco), Quartzo Rosa, Quartzo Ametista, Quartzo Citrino, Quartzo Azul (quartzo safira), Quartzo Fumê, Ônix (quartzo negro).



Quartzo Hialino



Quartzo Ametista



Quartzo Fumê

Das variedades Criptocristalinas (Calcedônias):

Ágata, Prásio (quartzo verde), Jaspe, Crisoprásio (verde claro), Aventurina, Heliotrópio (verde musgo com manchas vermelhas), Chert e Cornalina (laranja forte).



Crisoprázio



Cornalina



Ágata

Cada um desses polimorfos pode transformar-se em outro mediante o rompimento das ligações silício-oxigênio e o rearranjo dos tetraedros em outro padrão. Esse rompimento pode acontecer devido a variações relativamente rápidas de pressão e de temperatura. Como consequência temos um aumento do volume, podendo gerar defeitos, trincas ou empenamentos.

O efeito do aumento da pressão consiste em elevar todas as temperaturas de inversão e, para qualquer temperatura, favorece a formação do polimorfo que ocupe o menor espaço. Há variedades de pressão alta, com densidades relativas entre 3,00 e 4,50, enquanto a densidade do quartzo é $2,60\text{g/cm}^3$.

4.1. Calcita



Calcite, por vezes também designada por calcita ou calcário, junto com a aragonita, é um mineral com composição química CaCO_3 , com clivagem ortorrômbico perfeita. É muito mais estável e menos solúvel em água que a aragonita.

Segmentos de Uso:

Agricultura

A acidificação do solo é provocada pela lixiviação de elementos nutrientes (Ca, Mg, K) substituídos por hidrogênio (reação ácida), e alumínio (elemento tóxico),

a calcita vai funcionar como um corretivo de acidez do solo pela seguinte reação química:

Coloide H H + CaCO₃ ==> Coloide Ca + H₂O + CO₂ (essa é a reação química transformada pela acidez do solo)

4.2. Pirita



Autor: Eurico Zimbres Cristais de Pirita

Pirita: *s. f. Min* - Mineral amarelo metálico também conhecido como "ouro dos tolos", pelo fato de ter cor parecida com o ouro. Distingue-se deste pela menor densidade e pelo fato de que não é maleável como o ouro. Sulfeto de ferro natural. É matéria prima na produção de enxôfre e ácido sulfúrico. Também conhecida popularmente como **Ouro dos tolos**, em função da cor amarela, distingue-se facilmente do ouro verdadeiro pela dureza, e pelo fato de que o ouro é muito maleável, enquanto a pirita se quebra com facilidade, não possuindo maleabilidade.

Propriedades Físicas

- Brilho: metálico
- Clivagem: pobre
- Cor: amarelo metálico, amarelo bronze
- Fratura: irregular a conchoidal
- Transparência: opaco
- Dureza (Escala de Mohs): 6,5
- Densidade: 5,1 g/cm³
- Hábito: cúbico com faces estriadas, octaédrico
- Tenacidade: Friável

- Traço: preto esverdeado

Propriedades Óticas e Cristalográficas

- Sistema Cristalino: Isométrico
- Sob luz polarizada:

Propriedades Químicas:

- Classe: Sulfeto
- Composição: sulfeto de ferro
- Fórmula Química -FeS₂
- Elementos Químicos: Ferro e enxôfre

Outras informações

História:

- Usos: matéria prima na produção de enxôfre e ácido sulfúrico

***Forma de ocorrência:** Muito comum em vários ambientes. Em carvão mineral ocorre como subproduto

Paragênese: Mineral de fácil ocorrência em calcáreos, mármore, pegmatitos e granitos, junto com outros sulfetos.

- IMA: Espécie válida
- **Outras observações:** O nome se origina pelo fato de produzir faísca quando é fortemente riscada no ferro. Distingue-se facilmente do ouro por não ser maleável. Para testar a maleabilidade, muitos garimpeiros usam morder o mineral amarelo que está sendo testado. Se ela ficar marcado pelos dentes é ouro, caso contrário não é. Este procedimento é desaconselhável pois submete os dentes ao um grande esforço e pode provocar danos irreparáveis. A forma mais simples de verificar se um mineral é maleável, quando se tem uma amostra muito pequena, é comprimi-la entre duas placas de vidro grosso. Se for maleável (ouro) poderá ser visto o mineral se deformando à medida que é as duas placas vão sendo apertadas. Se for pirita ou outro sulfeto, ele se romperá, por ser friável

4.3. Dolomita (CaMg(CO₃)₂)



Dolomito é uma rocha que vem sendo estudada em profundidade devido às suas diversas aplicações, competindo em custos menores com outras matérias-primas, além de não sofrer limitações de uso nas questões ambientais. O problema da hidratação do dolomito calcinado ou cal magnesiana é resolvido através de técnicas de conservação com embalagens protegidas da umidade do ar. Em geral, a sinterização do dolomito é afetada pelos aspectos da microestrutura dos calcários dolomíticos, bem como pela composição química e mineralógica. A distribuição de óxido como FeO/MnO na estrutura cristalina tem influência significativa na sinterização, produzindo a cor escura no material calcinado ou cal magnesiana (PRANGE, 1993). As condições geológicas de deposição do dolomito também devem ser consideradas para esclarecer a microestrutura e a composição.

É um carbonato comum. Frequentemente associa-se a calcita. Pode originar-se a partir da calcita pela influência de soluções magnesianas. É o principal componente mineralógico dos calcários e mármore magnesianos. Em depósitos hidrotermais, é comum sua associação com sulfetos. Se originam geralmente por precipitação.

Usos gerais: tem ampla aplicação como material de construção, pedra ornamental e na produção de alguns tipos de cimento.

DOLOMITA:

É uma rocha cuja composição química básica é: 54% CaO (*carbonato de cálcio*) e 36% CaMg (*carbonato de magnésio*) é a combinação perfeita da natureza e que esta na proporção exata que favorece a absorção e fixação do cálcio nos ossos e descalcificando as articulações e artérias e magnésio ativando mais de 326 sistemas enzimáticos do corpo humano, elementos fundamentais para o organismo.

100% natural foi descoberta nos Alpes Italianos pelo geólogo francês Deodat Dolomieu em (1750-1801), daí o nome "DOLOMITA".

O uso desses minerais é recomendado, na Europa e EUA tanto para funções de calcificação dos ossos e dentes como na transmissão neural e muscular.

São essenciais na construção muscular, onde o Cálcio age como estimulador e o Magnésio age como um relaxante.

Melhoram a elasticidade do músculo cardíaco e promovem coagulação sanguínea. (Medicina – Fisiologia Humana – A. C. Guyton).

A carência do Cálcio e do Magnésio na vida moderna está ligada principalmente ao estresse, ao consumo de água desmineralizada, ao consumo de produtos artificiais, ao fumo, a bebida e a vida sedentária.

Curiosidades da Dolomita

PARA QUE SERVE A DOLOMITA:

Para uso via oral serve para: osteoporose, dor reumática, dor muscular, dor lombar, cãibra, fraqueza, artrite, anemia, Insônia e estresse.

Para uso tópico externo serve para: úlcera varicosa, ferida de herpes, ferida do diabético, máscara facial, assadura, escaras, olheiras e pés pretos.

Prevenindo a osteoporose você melhora a capacidade funcional. Osteoporose é o aumento da porosidade do osso devido a sua descalcificação (perda da massa óssea). Essa doença deixa o osso mais frágil, fazendo com que ele se quebre com facilidade. O osso é uma estrutura viva, composta principalmente de cálcio. Exercícios e exposição moderada ao sol auxiliam na fixação do cálcio.

Uma em cada três mulheres tem ou terá osteoporose. Porém esse problema não é exclusivo das mulheres.

Como usar a Dolomita:

Em pó:

Pode ser ingerida em sucos, refeições, etc.

Dose recomendada 2 granas equivalente a 2 colheres de café duas vezes ao dia.

Uso externo:

Úlcera varicosa, afecção dermatológica, cortes e feridas do diabético na forma de creme (pasta).

Modo de preparar:

Colocar a quantidade desejada do pó de dolomita em um recipiente.

Acrescentar soro fisiológico ou água filtrada

Mexer até formar uma massa homogênea e cremosa.

“Aplicar de 3 a 4 vezes ao dia no local”

Como máscara facial:

Previne manchas, acnes, rugas, olheiras e flacidez. A DOLOMITA na forma de creme amacia e dá vida à pele.

Prepare o creme conforme indicado acima e...

Para facilitar a fixação do creme, misture gotinhas de mel, azeite de oliva ou óleo mineral.

Aplique uma fina camada com espátula ou pincel de cosmética.

O resultado reparador é surpreendentemente imediato.

Como cataplasma:

Uso na forma de cataplasma em inflamações, cólica estomacal, contusão de atleta, dores superficiais.

Espalhar a DOLOMITA em pó no meio do tecido hidrofílico

Formar cataplasma

Despeje água e alise com a mão até formar uma pasta.

Aplique sobre o local afetado e prenda com uma faixa.

Como talco anti-séptico:

Uso do pó (talco) em frieiras, assaduras e micoses.

Aplique a DOLOMITA em pó seco no local afetado, renovando-o para perfeita utilização das propriedades cicatrizantes e absorventes dos minerais.

Ideal para a higiene dos pés dos diabéticos e dos esportistas em geral, eliminando o mal odor dos pés.

4.5. FLUORITA

São apresentados os principais aspectos referentes à produção, consumo, importação e exportação de fluorita considerando o panorama nacional. A demanda de fluorita no Brasil está historicamente ligada às produções de aço, alumínio e ácido fluorídrico, vitais para diversos segmentos da indústria.

A fluorita é a principal fonte comercial de flúor. Embora seja um mineral de ampla distribuição, geralmente ocorre como acessório em diversos tipos de rochas. As reservas comerciais de fluorita são depósitos filonianos em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares.

A forma mais comum de ocorrência desses minerais são cristais de hábito cúbico, com clivagem perfeita, brilho vítreo nas cores violeta, azul, roxo e, mais raramente incolor, branco, verde e amarelo. Apresenta dureza 4 na escala Mohs e densidade entre 3,0 g/cm³ e 3,6 g/cm³

. A composição química em cristais puros é CaF₂, sendo 51,3% de Ca (cálcio) e 48,7% de F (flúor). Elementos como ítrio e cério podem substituir parcialmente o cálcio. (WENK & BULAKH, 2008). O fluoreto de cálcio contido (CaF₂) é o principal critério utilizado para a classificação comercial da fluorita em grau metalúrgico ou grau ácido. Segundo o Sumário Mineral Brasileiro (DNPM, 2008), as reservas brasileiras de fluorita localizam-se nos Estados de Santa Catarina (58%), Paraná (29%) e Rio de Janeiro (13%). Existem também ocorrências de criolita (Na₃AlF₆) associada à cassiterita na mina de Pitinga,

em Presidente Figueiredo – AM, que constituem potencial fonte de flúor, entretanto sem viabilidade econômica comprovada até o momento.

A produção de flúor recebe ainda contribuição das rochas fosfatadas, geralmente com teor de 2% a 3% desse elemento, que pode ser recuperado na fase de acidulação durante a produção de ácido fosfórico.

As principais reservas brasileiras de fluorita são do tipo filoniana, e sua exploração se desenvolvem em minas subterrâneas, cujos custos contribuem para o elevado preço do produto no mercado interno em relação aos principais produtores mundiais que exportam para o Brasil (México e África do Sul). As características e volumes das reservas totais (lavráveis, medidas e indicadas) atualmente conhecidas não permitem a inserção do Brasil, como produtor de fluorita num horizonte além do atual, ou seja, inferior a 1% do volume mundial.

Para os próximos anos espera-se que as importações aumentem para suprir demandas internas da fluorita grau ácido, sendo a produção do grau metalúrgico concentrada na mina de Tanguá, no estado do Rio de Janeiro.

Algumas das principais minas de Santa Catarina encontram-se atualmente paralisadas, ao passo que a mina em Cerro Azul, no Paraná, realizou investimentos em infra-estrutura e modernização de equipamentos focando a produção do grau ácido e metalúrgico. Para a mina no Rio de Janeiro a expectativa é de aumento da capacidade produtiva.



| | |
|--------------------------------------|---|
| Classificação Strunz | III/A.08-10 |
| Fórmula química | CaF ₂ |
| PROPRIEDADES CRISTALOGRÁFICAS | |
| Sistema cristalino | Isométrico |
| Hábito cristalino | Cúbico, octaédrico |
| Classe de simetria | |
| Parâmetros da célula | |
| Grupo espacial | F m3m |
| PROPRIEDADES FÍSICAS | |
| Densidade | +/- 3,18 g/cm ³ |
| Dureza | 4 |
| Clivagem | <u>Perfeita</u> |
| Fratura | |
| Cor | Muito variável (incolor, amarelo, róseo, verde) |
| Brilho | Vítreo |

| | |
|-------------------|--------------------------------|
| Opacidade | Transparente a translúcida |
| Risca | Branco |
| Ocorrência | Comum e amplamente distribuído |

4.6. Corindon



Corindon, Corindo ou Corundum é um mineral à base de óxido de alumínio, que representa valor 9 em dureza, na escala de Mohs, Naturalmente transparente pode ter cores diferentes de acordo com impurezas que estejam incorporadas à sua matriz. Os espécimes translúcidos, são usados como jóias; o de coloração vermelha é chamado de rubi, ocorrendo outras variações: amarelo, rosa, púrpura, verde e cinzento; o azul é chamado de safira.

Etimologia

A palavra corindon vem do francês que significa rubi.

Descoberta

Identificado pela primeira vez na Índia, cujas variedades preciosas são o rubi e a safira, é empregado para fabricação de jóias, em mecanismos de precisão, como relógios, motores especiais, como abrasivo e esmeril para polimento.

Características físicas químico

Composição

É um mineral à base de óxido de alumínio, Al_2O_3 , cristaliza no sistema hexagonal.

Cristalografia

Seus cristais são geralmente prismáticos, embora possam, algumas vezes, apresentar-se arredondados, à semelhança de pequenos barris, em que é freqüente a presença de estriações horizontais profundas. O mineral ocorre na

forma de cristais hexagonais perfeitos ou em granulometrias de diversas configurações, ora grossas, ora finas.

Translucidez e pureza

Com brilho adamantino, os cristais têm dureza nove na escala de Mohs, que vai até dez pontos. O peso específico oscila entre 4,0 e 4,2. Podem ser transparentes, translúcidos e opacos.

Colorimetria

É um mineral alcromático, com diversas cores ou matizes diferentes de uma mesma cor, graças à presença de impurezas metálicas em sua composição. Essa propriedade é responsável pelo grande número de variedades encontradas na natureza.

O rubi, vermelho vivo, contém cromo, enquanto a safira, azulada, é composta de ferro ou titânio. Pode apresentar-se, ainda, nas cores lilás, amarela, verde, arroxeadas e outras. As variedades constituídas exclusivamente de óxido de alumínio são incolores e se denominam safiras incolores.

Ocorrência

Mineral relativamente encontra-se comum, micaxistos e gnaisses. Algumas rochas magmáticas possuem o coríndon como um de seus minerais primários, é encontrado em formações rochosas e nos aluviões dos rios. No Brasil, é encontrado em formações rochosas e nos aluviões dos rios nos estados do Rio Grande do Norte, Roraima, Paraíba, Ceará, Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro.

Procedência artificial

O coríndon artificial possui a mesma composição química, estrutura cristalina e as mesmas propriedades do natural, pode ser fabricado a partir da bauxita, $Al_2O_3 \cdot nH_2O$, e do óxido de alumínio puro.

Indício da fabricação

Safiras e rubis sintéticos têm sido produzidos desde 1902 pelo processo Verneuil e, posteriormente, por processos hidrotermais ou por fusão em fluxos. Os primeiros fabricantes eram suíços, franceses e alemães. A partir de 1940, passou a ser produzido também nos Estados Unidos.

5. Petrografia

A PETROGRAFIA estuda a previsão e o desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos tendo o compromisso na busca contínua do desenvolvimento sustentável.

Petrologia - O Estudo das Rochas

Na interpretação da gênese das rochas, é de grande valia o conhecimento e os métodos experimentais da petrologia, que permitem sintetizar minerais e rochas, bem como determinar suas constantes termodinâmicas.

Petrologia é o ramo das geociências que se ocupa do estudo das rochas. Como a maioria das rochas se compõe de minerais, a petrologia depende em grande parte da mineralogia. Em muitos aspectos, as duas disciplinas partilham as mesmas questões e problemas, como, por exemplo, as condições físicas predominantes (pressão, temperatura, tempo, e presença ou ausência de água) quando se formam determinados minerais ou composições de minerais. O estudo do modo como as rochas se agrupam constitui um ramo da petrologia denominado petrografia.

Em princípio, a petrologia abrange não só o estudo das rochas existentes na crosta terrestre, mas inclui também as do manto, camada mais profunda da Terra. Na prática, porém, lida principalmente com as rochas acessíveis na superfície da crosta. Também são objetos de estudo da petrologia exemplares de rochas trazidos da superfície da Lua, de outros planetas e meteoritos. As áreas de especialização da petrologia correspondem aos três tipos principais de rocha: magmáticas (ou ígneas), sedimentares e metamórficas. As técnicas são específicas para cada grupo de rochas.

Petrologia magmática ou ígnea. Identificação, classificação, origem, evolução e processos de formação e cristalização das rochas magmáticas são o objeto da petrologia magmática. Seu campo de estudo é muito vasto, pois as rochas magmáticas formam a maior parte do bloco continental e oceânico, bem como das cadeias de montanhas do mundo, cujos nascimentos vão do início da era pré-cambriana até a atualidade. As rochas magmáticas englobam as rochas

vulcânicas (ou efusivas) e as intrusivas, formadas em camadas internas mais profundas da crosta

A geoquímica é de grande importância para o trabalho de pesquisa da petrologia magmática, pois se ocupa de determinar a composição principal e os traços dessas rochas, assim como os magmas dos quais elas se originaram. Alguns dos principais objetos de pesquisa no campo da petrologia magmática são: (1) a forma e a estrutura dos corpos magmáticos ou ígneos, sejam eles fluxos de lava ou intrusões graníticas, e suas relações com as rochas que os cercam; (2) a história da cristalização dos minerais que formam as rochas magmáticas, cuja determinação é inicialmente feita com o microscópio polarizador petrográfico; (3) a classificação das rochas com base em características de textura, tamanho dos grãos, frequência e composição dos minerais constituintes; (4) o fracionamento dos magmas de origem pelo processo de diferenciação magmática, que pode resultar numa seqüência evolutiva de produtos magmáticos geneticamente relacionados; e (5) a evolução das rochas magmáticas ao longo do tempo geológico. A petrologia experimental de alta pressão estuda as condições de pressão e temperatura sob as quais se formam os diferentes magmas e se cristalizam seus componentes ígneos.

O microscópio polarizador petrográfico é o instrumento básico da petrologia magmática, que também utiliza outros aparelhos, quase todos com a finalidade de determinar a composição química das pedras e dos minerais. Alguns exemplos são os espectrômetros de massa e de fluorescência de raios X, e o equipamento para análise de ativação de nêutrons. Esses instrumentos são automáticos e computadorizados, capazes de produzir resultados rapidamente. Também é grande a contribuição dos laboratórios experimentais de alta pressão, que fornecem dados indispensáveis. Dispondo desses e de outros sofisticados instrumentos, o petrologista pode obter respostas para questões fundamentais, como a composição de camadas suboceânicas.

A área da petrologia sedimentar abrange a descrição e a classificação de rochas sedimentares, a interpretação dos processos de transporte e deposição dos materiais sedimentares na formação das rochas, o ambiente predominante quando os sedimentos foram depositados, e alterações como compactação, cimentação, modificações químicas e mineralógicas dos sedimentos após a deposição.

Há dois ramos principais da petrologia sedimentar. Um deles lida com as rochas sedimentares de precipitação bioquímica como, por exemplo, as rochas calcárias, mais especificamente calcárias e dolomitas, compostos principalmente de carbonato de cálcio (calcita) e carbonato de magnésio e cálcio. Outro ramo se ocupa das rochas clássicas.

Grande parte da dificuldade na classificação das rochas calcárias se deve ao fato de que muitos calcários e dolomitas se formaram, direta ou indiretamente, pela influência de organismos vivos, inclusive bactérias, algas secretoras de limo, animais de conchas, como moluscos e braquiópodes, e corais. Em

calcários e dolomitas formados sob condições marinhas, comumente em mares mornos e rasos, grande parte do material que inicialmente forma a rocha consiste de carcaças de organismos secretores de óxido de cálcio. Em muitos casos, esse material é preservado na forma de fósseis. Algumas das principais questões com que lida a petrologia calcária giram em torno das condições físicas e biológicas dos ambientes nos quais o calcário foi depositado, inclusive profundidade da água, temperatura, grau de iluminação pelo Sol, movimento de marés e correntes, salinidade e outras particularidades químicas da água em que ocorreu a deposição.

O outro ramo principal da petrologia sedimentar lida com os sedimentos e as rochas sedimentares essencialmente não-calcárias, que incluem areias e arenitos, argilas e rochas argilosas, bem como variedades de arenitos. Essas rochas são conhecidas como rochas clássicas, pois se compõem de partículas distintas (em inglês, clasts). A petrologia sedimentar clássica se ocupa da classificação, particularmente no que tange à composição mineral de fragmentos ou partículas, assim como às formas das partículas (angulosas ou arredondadas), e ao grau de homogeneidade das partículas quanto ao tamanho. Outras questões tratadas pela petrologia clássica são a forma de transporte dos materiais sedimentares, inclusive da argila e da areia fina pelo vento; e o transporte desses e de outros materiais mais grossos pela suspensão em água, pela tração, pelas marés e correntes em rios, lagos e mares, e pelo gelo.

A petrologia sedimentar também se ocupa dos aspectos estruturais de pequena escala dos sedimentos e das rochas sedimentares. As características que podem ser convenientemente observadas num espécime mineral a olho nu pertencem ao domínio da petrologia sedimentar. Esses aspectos observáveis incluem o comportamento de uns grãos de minerais com relação a outros, a estratificação cruzada de pequena escala, as formas e interconexões dos espaços porosos, e a presença de fraturas e pequenos veios.

Os instrumentos e métodos utilizados pela petrologia sedimentar incluem além do microscópio petrográfico para descrição e classificação, a mineralogia de raios X para definição de padrões e estruturas de pequena escala, os experimentos para estudar os efeitos das correntes como agentes de transporte e a evolução das estruturas sedimentares, e a espectrometria de massa para calcular os isótopos estáveis e as temperaturas de deposição, cimentação, e dia gênese. O mergulho com escafandro permite observar diretamente os processos das correntes nos recifes de coral, e submersíveis de controle manual permitem a observação, a grandes profundidades, do assoalho e das cristas médio-oceânicas.

O advento da teoria da tectônica de placas fez crescer o interesse nas relações entre os processos de sedimentação e a tectônica, ramo da geologia que estuda os processos mecânicos responsáveis pelas deformações da litosfera e as estruturas resultantes desses movimentos. Nas últimas décadas do século XX, muitas subdivisões da petrologia sedimentar se ocupavam da pesquisa detalhada de vários processos sedimentares que ocorrem no interior de ambientes tectônicos resultantes de movimentos de expansão (fraturas intracontinentais, estágios iniciais de faturamento intercontinental, como o mar

Vermelhos, e finais, como as áreas costeiras do atual oceano Atlântico), de colisão (cinturão Alpes-Himalaia), e ambientes oceânicos (fraturas e falhas transcorrestes).

Metamorfismo significa mudança na forma. Em geologia, o termo é usado para se referir à recristalização no estado sólido de antigas rochas magmáticas, sedimentares ou metamórficas. Há dois tipos principais de metamorfismo: (1) metamorfismo de contato, no qual as mudanças provocadas pelo aumento da temperatura se localizam nos contatos de intrusões magmáticas; e (2) metamorfismo regional, no qual o aumento da pressão e da temperatura provoca a recristalização ao longo de extensas regiões em cadeias de montanhas. Outros tipos de metamorfismo incluem os efeitos locais da deformação em zonas de falhamentos; recristalização extensiva causada por correntes de alta temperatura em cristas médio-oceânicas; e metamorfismo de choque, provocado por impactos de alta pressão de meteoritos contra a Terra e a Lua.

O campo da petrologia metamórfica abrange o estudo dos ambientes tectônicos locais e suas inter-relações. Sua área de estudo, porém, inclui ainda a descrição e a classificação das rochas metamórficas em termos de sua textura e composição química; o estudo dos minerais e de suas características químicas, a fim de obter dados sobre as temperaturas e pressões nas quais as rochas recristalizaram; e o estudo dos materiais e da transição do mineral para outros estados de deformação e outras estruturas, a fim de conhecer as condições sob as quais as rochas metamórficas se formaram.

Um suplemento do metamorfismo é o metassomatismo: processo pelo qual ocorre a substituição química de elementos das rochas por dissolução e deposição de elementos presentes em solução nos fluidos que as atravessam. Grande parte da pesquisa em petrologia se ocupa da determinação da quantidade e da composição desses fluidos. Quando numa crista médio-oceânica uma nova crosta é formada e metamorfoseada, a água do mar, que atravessa a crosta por alguns quilômetros, carrega muito sódio. Durante a formação de uma auréola de contato metamórfico em torno de uma intrusão granítica, os fluidos hidrotérmicos, que carregam elementos como ferro, boro e flúor, passam do granito para as rochas encaixantes. Quando a crosta continental se torna mais espessa, sua parte inferior pode sofrer desidratação e formar granulemos; os fluidos expelidos, que carregam substâncias produtoras de calor como o rubídio, o urânio e o tório, migram para cima em direção à crosta superior.

O principal instrumento utilizado pelo petrologista metamórfico é o microscópio petrográfico, que permite o estudo detalhado e a definição dos tipos de minerais, associações e reações. Se um estágio de aquecimento ou congelamento for observado ao microscópio, pode-se calcular a temperatura de formação e composição das inclusões de fluidos dentro dos minerais. Tais inclusões são remanescentes dos fluidos que passaram através das rochas durante os estágios finais de sua recristalização. A microsonda eletrônica é muito utilizada para analisar a composição dos minerais que formam uma rocha. O petrologista pode ainda combinar a química mineral com dados obtidos em estudos experimentais e de termodinâmica para calcular as pressões e temperaturas nas quais as rochas recristalizaram.

De posse da informação sobre a idade isotópica dos sucessivos eventos metamórficos, fornecida por um espectrômetro de massa, podem-se traçar curvas que relacionam pressão, temperatura e tempo. Essas curvas mostram o movimento das rochas ao longo do tempo, quando foram trazidas das camadas mais profundas da crosta terrestre para a superfície. Essa técnica é importante para compreender os processos metamórficos em dois ambientes de placas tectônicas: nas zonas de subducção e nas zonas de colisão continental, onde as rochas são carregadas por várias dezenas de quilômetros sob a crosta antes de ficarem expostas na superfície no local em que se encontram. Esses exemplos demonstram que a petrologia metamórfica desempenha importante papel na compreensão dos processos tectônicos ocorridos em cinturões montanhosos que passaram pelo ciclo de eventos das placas tectônicas.

A pesquisa em petrologia normalmente segue os seguintes passos: (1) determinação das relações de campo das rochas; (2) determinação dos graus de alteração; (3) determinação, no campo, quando for o caso, das direções de diaclasamento, da textura fluidal, da gnaissificação da xistosidade, do lineamento, da estratificação e observação de outras estruturas eventualmente presentes; (4) coleta de amostras; (5) confecção de lâminas delgadas para estudo no microscópio petrográfico; (6) análise química; (7) desagregação e subsequente separação dos componentes para vários estudos, principalmente no caso de rochas sedimentares. Para o estudo descritivo puro e simples de uma rocha, pode não ser necessário cumprir todos os itens ligados à observação de campo, mas eles são de grande valor para o geólogo e para o próprio petrógrafo que queira interpretar a gênese da rocha e fenômenos correlatos.

O estudo microscópico das rochas é da maior importância para sua descrição e classificação. Da amostra selecionada, e de acordo com o que o pesquisador deseja saber sobre a rocha, obtêm-se lâminas delgadas, que são estudadas no microscópio petrográfico. Esse instrumento difere do microscópio biológico por contar com alguns dispositivos e acessórios especiais, entre eles dois polaróides ou prismas de nicol. Um dos prismas, conhecido pelo nome de polarizador, está colocado sob a platina do microscópio e serve para transformar a luz branca da fonte (lâmpada ou espelho) em luz polarizada. O segundo, chamado analisador, acha-se no tubo do microscópio, logo acima da objetiva e tem a mesma natureza do polarizador, mas tem a direção de polarização perpendicular à deste.

6. Classificação; Rochas ígneas; rochas sedimentares; rochas metamórficas.

O ciclo das rochas

As rochas estão todas envolvidas num ciclo de transformação que se pode repetir indefinidamente. O ciclo das rochas (Figura 1) é um meio de visualizar a origem dos três tipos básicos de rochas e o modo como os vários processos geológicos transformam um tipo de rocha noutro diferente. O conceito do ciclo das rochas pode ser considerado como a base da geologia física. As setas na

Figura 1. Indicam os processos químicos e físicos e as caixas representam os materiais da terra.

Tabela. 1: Pesos volúmicos de minerais

Mineral γ (kN/m³)

Biotite 27,5-31,4

Calcite 26,7

Caulinite 25,5

Feldspato 25,0-27,1

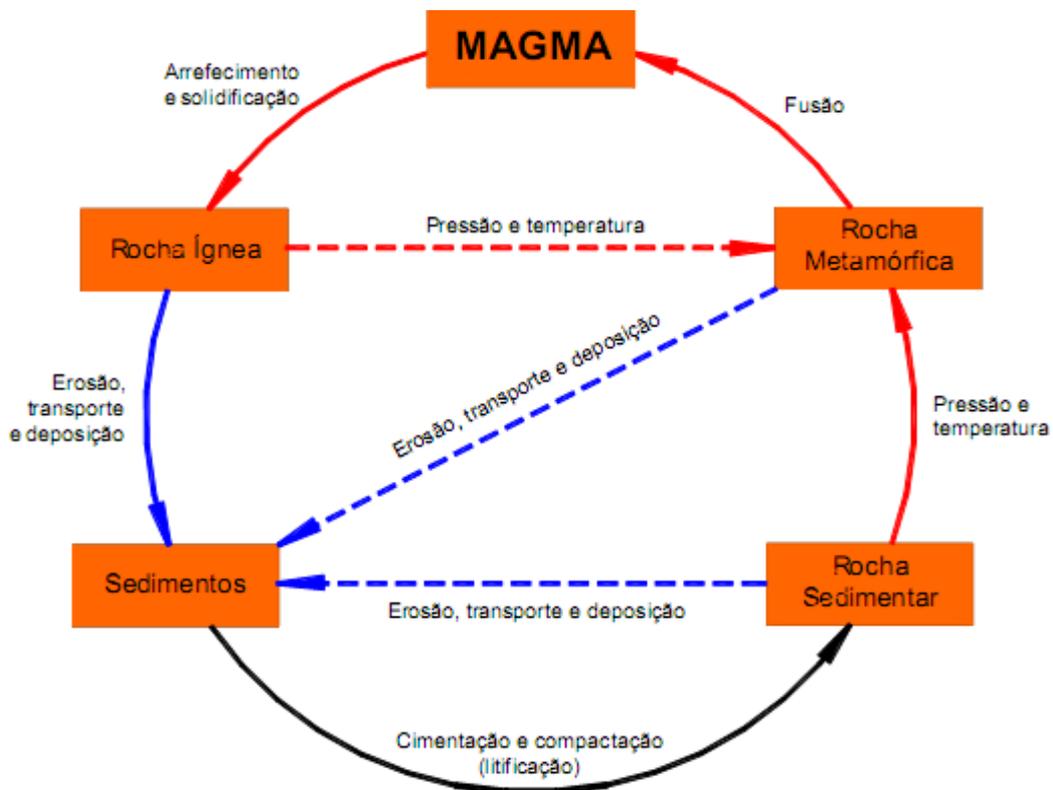
Gesso 22,8

Halite 21,2

Hematite 51,6

Moscovite 27,1-28,2

Pirite 49,2



ciclo das rochas.

O primeiro tipo de rochas, designadas como ígneas (formadas pelo fogo), origina-se quando um material no estado líquido chamado magma arrefece e solidifica. Este processo chamado cristalização pode ocorrer muito abaixo da

superfície da terra ou, no seguimento de uma erupção vulcânica, à superfície desta. Em profundidade o arrefecimento é normalmente lento enquanto que à superfície é rápido. As rochas ígneas resultantes têm assim características diferentes.

Quando as rochas ígneas ficam expostas à superfície da terra podem sofrer processos de alteração e erosão que vão lentamente desagregando e decompondo as rochas. Os materiais resultantes podem ser transportados por vários meios (gravidade, água, glaciares, vento e ondas) constituindo os sedimentos. A partir do momento em que são depositados, normalmente em camadas horizontais (no oceano, por exemplo), irão sofrer um processo de litificação (conversão para rocha). Os sedimentos são litificados pela compactação resultante do peso das camadas superiores e pela cimentação resultante da precipitação de matéria mineral transportada pela água de percolação que preenche os poros. As rochas sedimentares resultantes encontram-se assim profundamente enterradas podendo ser envolvidas em processos tectónicos de formação de montanhas ou ser submetidas a grandes pressões e temperaturas. As rochas sedimentares irão sofrer as conseqüências da sua alteração de ambiente e transformar-se em outros tipos de rochas (rochas metamórficas). Eventualmente as rochas metamórficas poderão ser submetidas a pressões e temperaturas ainda maiores, fundindo e constituindo outra vez magma fechando, assim, o ciclo das rochas.

O percurso indicado pelo círculo não é necessariamente o percurso seguido na transformação das rochas em tipos diferentes. As rochas ígneas, antes de serem expostas a processos de erosão e alteração à superfície, podem ser submetidas a pressões e temperaturas em profundidades maiores e transformar-se em rochas metamórficas. Por outro lado, rochas metamórficas e sedimentares podem ser expostas à superfície a processos de erosão e transformar-se em sedimentos de onde podem resultar novas rochas sedimentares.

Ao estudar as características dos três tipos de rochas é importante ter sempre em consideração o ciclo das rochas. Estas podem parecer que são grandes massas imutáveis quando na realidade não o são. As modificações demoram geralmente períodos de tempo que ultrapassam na maior parte dos casos a escala humana de tempo.

6.1. Rochas ígneas

As rochas ígneas formam-se quando o magma arrefece e cristaliza. Esta rocha fundida, com origem a profundidades até 200 km no interior da Terra, compõe-se de elementos encontrados nos minerais do tipo silicatos e de alguns gases, sobretudo vapor de água, todos confinados no magma pela pressão das rochas confinantes. Como a massa magmática é menos densa que os maciços de rochas circundantes forçam o seu movimento em direção à superfície podendo escapar-se de modo violento produzindo uma erupção vulcânica (Figura. 2). O material expelido durante uma erupção vulcânica pode ser acompanhado pela libertação de gases devido à diminuição de pressão à superfície originando explosões por vezes muito violentas. Acompanhando a projecção de blocos rochosos a erupção pode gerar o derrame de grandes quantidades de lava, cuja composição é semelhante à do magma, mas sem a maior parte dos componentes gasosos.



Figura 2. – Erupção vulcânica

A rocha resultante da solidificação da lava é classificada como extrusiva ou vulcânica, sendo o basalto o exemplo mais conhecido. Quando o magma não alcança a superfície pode eventualmente solidificar e cristalizar em profundidade, num processo bastante mais lento formando uma massa sólida de cristais imbricados entre si. As rochas ígneas produzidas deste modo são chamadas intrusivas ou plutônicas, das quais o granito é o exemplo mais abundante (Figura 2), e só aparecem à superfície após a atuação de movimentos tectônicos e a ação de processos de erosão das camadas de rochas superiores. Quando a solidificação do magma se verifica em

profundidades intermédias, formando filões, as rochas resultantes designam-se por hipoabissais (exemplo do dolerito).

A velocidade do arrefecimento do magma vai originar cristais de diferentes tamanhos. Um arrefecimento lento produz cristais de grandes dimensões enquanto que um arrefecimento rápido irá originar uma massa rochosa formada por cristais de pequenas dimensões, por vezes impossíveis de observar sem meios de ampliação. Quando o arrefecimento é extremamente rápido não há formação de cristais formando-se uma matéria sólida sem estrutura cristalina (matéria amorfa).



Figura 3 – Formação característica dos maciços graníticos (Serra da Estrela).

Textura e composição mineral

Existe uma grande variedade de rochas ígneas que se diferenciam com base na sua textura e composição mineral. O termo textura, quando aplicado a rocha ígneas, é usado para descrever a aparência geral da rocha com base no tamanho e disposição dos seus cristais interligados. A textura é uma característica muito importante da rocha porque pode revelar informação qualitativa importante sobre o ambiente em que a rocha foi formada e sobre as suas propriedades, como por exemplo, a resistência e deformabilidade.

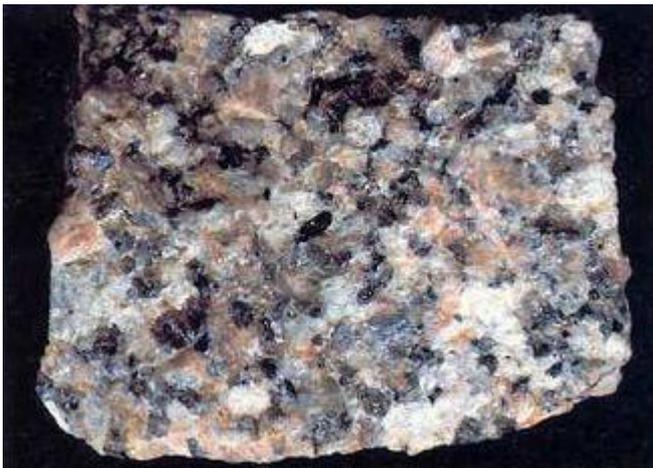
Quando grandes massas de magma solidificam a grande profundidade formam-se rochas ígneas com uma textura de grãos grossos (Figura 3. a). A sua aparência é de um agregado de cristais interligados com tamanho suficiente para serem identificados individualmente por simples observação

(textura fanerítica). As rochas ígneas formadas à superfície ou em pequenas bolsas magmáticas a pouca profundidade têm um arrefecimento rápido

originando uma textura de grãos finos por vezes impossíveis de diferenciar sem recorrer à observação microscópica (textura afanítica e Figura 3.).

Para ter uma idéia das diferentes velocidades de arrefecimento do magma, uma rocha vulcânica pode formar-se em alguns minutos enquanto que uma rocha plutônica pode resultar do arrefecimento de uma grande massa de magma durante milhares de anos.

Nem todos os minerais componentes do magma cristalizam à mesma velocidade. Alguns podem já ter um certo tamanho quando outros iniciam a sua cristalização. Por exemplo, quando o magma aflora à superfície pode já conter alguns cristais levando assim a massa ainda líquida a arrefecer mais rapidamente originando uma rocha com uma textura particular de cristais grandes envolvidos por uma matriz de cristais mais pequenos (textura porfirítica).



(a)



(b)

Figura 4 – (a) Granito – Textura de grãos grossos (fanerítica); (b) Riolito – Textura de grão muito fino (afanítica).

Classificação das rochas ígneas

As rochas ígneas são classificadas, ou agrupadas, com base na sua textura e composição mineral. As várias texturas ígneas resultam dos diferentes padrões de arrefecimento enquanto que a composição mineral de uma rocha ígnea depende dos componentes do magma inicial e do ambiente de cristalização.

As rochas do lado direito da Tabela 2 são compostas por determinados minerais cuja cristalização se dá em primeiro lugar. O seu alto conteúdo em ferro e magnésio faz com que tenham uma cor escura e uma maior densidade que outras rochas. O basalto é a rocha ígnea extrusiva mais comum. As ilhas dos Açores, com excepção de Santa Maria, são todas constituídas principalmente por basaltos. No lado esquerdo da Tabela 2. Estão às rochas ígneas com minerais que são os últimos a cristalizar. O granito é a rocha ígnea intrusiva mais comum, em parte pela sua abundância e pelo seu uso generalizado na construção e decoração. O granito está geralmente associado aos processos tectónicos ligados à formação de montanhas. Por ser mais resistente à erosão e alteração que as outras rochas forma frequentemente o núcleo principal das cadeias montanhosas.

É importante notar que duas rochas podem ter a mesma composição mineral, mas texturas diferentes. O granito, rocha intrusiva de grão grosso, tem o seu equivalente vulcânico no riolito, rocha de grão muito fino. Existe uma grande variedade de rochas entre as de composição granítica e basáltica, das quais se referem alguns exemplos na Tabela 2.

Tabela 2: Rochas ígneas mais comuns.

| | Félsico (granítico) | Intermédio (andesítico) | Máfico (basáltico) | Ultramáfico |
|----------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------|
| Intrusivo (grão grosso) | Granito | Diorito | Gabro | Peridotito |
| Extrusivo (grão fino) | Riolito | Andesito | Basalto | — |
| | Quartzo | Hornblenda | | |
| | | | Feldspato cálcico | Olivina |
| Composição Mineral | Feldspato potássico | Feldspato sódico | | |
| | | | Piroxena | Piroxena |
| | Feldspato sódico | | Feldspato cálcico | |
| | Moscovite | | | |

| | | | | |
|-------------------------|------------|----------|------------|-----------|
| Componentes Minerais | | Biotite | Olivina | Feldspato |
| | Biotite | | | |
| Secundários | | Piroxena | Hornblenda | Cálcico |
| | Hornblenda | | | |

Notas: Félsico – grupo de minerais de cor clara; o nome vem de feldspato, feldspatóide e sílica;
Máfico – com minerais ferromagnesianos de cor escura; biotite, piroxena, hornblenda.

6.2. Rochas sedimentares

Os materiais resultantes dos processos erosivos constituem a base para a formação das rochas sedimentares. A palavra sedimentar ilustra a natureza destas rochas uma vez que significa o resultado do processo de deposição dos sedimentos em suspensão ou transportados por um fluido, normalmente a água. Os geólogos estimam que as rochas sedimentares constituem apenas 5% da camada exterior de 16 km de espessura da Terra. No entanto a importância deste grupo de rochas é muito maior do que aquela que esta percentagem poderia indicar. A maioria de formações rochosas à superfície são de natureza sedimentar (cerca de 75%) o que está relacionado com o fato de os sedimentos se acumularem à superfície da terra (Figura 2.6).

Como as rochas sedimentares têm a sua origem na deposição sucessiva de camadas horizontais de sedimentos apresentam-se normalmente em estratos cuja inclinação varia consoante a ação de movimentos tectônicos ao longo da vida geológica das formações.

É de referir que muitas rochas sedimentares têm uma grande importância económica. O carvão, por exemplo, é classificado como uma rocha sedimentar. O petróleo e o gás natural são também encontrados em associação com outras rochas sedimentares tais como, por exemplo, o sal-gema.

Litificação

A litificação inclui os processos que transformam sedimentos não consolidados em rochas sedimentares sólidas. Um dos processos mais comuns é a compactação, ou seja, a ação do peso das camadas de sedimentos suprajacentes. À medida que os sedimentos são comprimidos pelo peso das camadas superiores há uma redução considerável do volume dos poros. Com o peso de milhares de metros de outras camadas a atuar durante milhares de anos originam-se as rochas sedimentares dispostas em estratos

originariamente horizontais. A compactação tem um efeito maior sobre sedimentos de partículas finas como as argilas originando, por exemplo, os xistos argilosos.

Alguns maciços de rochas sedimentares podem apresentar estratificação entrecruzada resultante de períodos de sedimentação espaçados no tempo e de acidentes tectônicos (ex. falhas) (Figura.4).

A cimentação constitui outro processo importante através do qual os sedimentos se transformam em rochas sedimentares. O material de cimentação pode ser transportado pela percolação de água através dos poros existentes entre as partículas dos sedimentos. Com o tempo, o cimento vai precipitando sobre os grãos preenchendo os vazios e criando ligações físicas entre as partículas. Calcite, sílica e óxido de ferro são alguns dos cimentos mais comuns. A identificação do tipo de cimento é relativamente fácil de fazer: a calcite reage com o ácido clorídrico, a sílica é o cimento mais duro e o óxido de ferro confere uma cor alaranjada ou vermelha à rocha.



Figura. 4 – Maciça de rochas sedimentares (Baleal, Peniche).



Figura 5– Maciço sedimentar com estratificação entrecruzada (La Corniche, Beirute).

6.3. Classificação das rochas sedimentares

Os materiais que se acumulam como sedimentos têm duas origens principais. Os sedimentos podem ser acumulações de materiais resultantes dos processos erosivos e transportados na forma de partículas. As rochas sedimentares são neste caso chamadas de detríticas. O segundo grande grupo de origem dos sedimentos corresponde aos materiais produzidos por precipitação química, de origem inorgânica ou orgânica. São as chamadas rochas sedimentares químicas.

Rochas sedimentares detríticas

Embora exista uma grande variedade de minerais e fragmentos de rochas na composição das rochas detríticas os principais componentes são minerais de argila e quartzo. Os minerais de argila são o produto mais abundante resultante da alteração dos minerais do grupo dos silicatos, especialmente os feldspatos. Por outro lado o quartzo deve a sua grande abundância ao fato de ser muito resistente, tanto do ponto de vista mecânico como químico.

O tamanho das partículas é a característica principal que permite distinguir os vários tipos de rochas sedimentares detríticas (Figura 4 e Tabela .2).

O tamanho das partículas de uma rocha detrítica pode ser usualmente correlacionado com a energia do meio de transporte dos sedimentos. As correntes de água e vento distribuem as partículas por tamanhos: quanto maior for a força da corrente maior será o tamanho das partículas. Os cascalhos são transportados por correntes de rios, ondas, deslizamentos de terrenos e glaciares. Uma menor energia é necessária para transportar as areias,

nomeadamente correntes de água com menor velocidade e ventos (formação de dunas). Os siltes e areias depositam-se de modo lento e as acumulações destes materiais estão normalmente associadas com águas paradas de lagos, lagoas, pântanos e ambientes marinhos profundos.

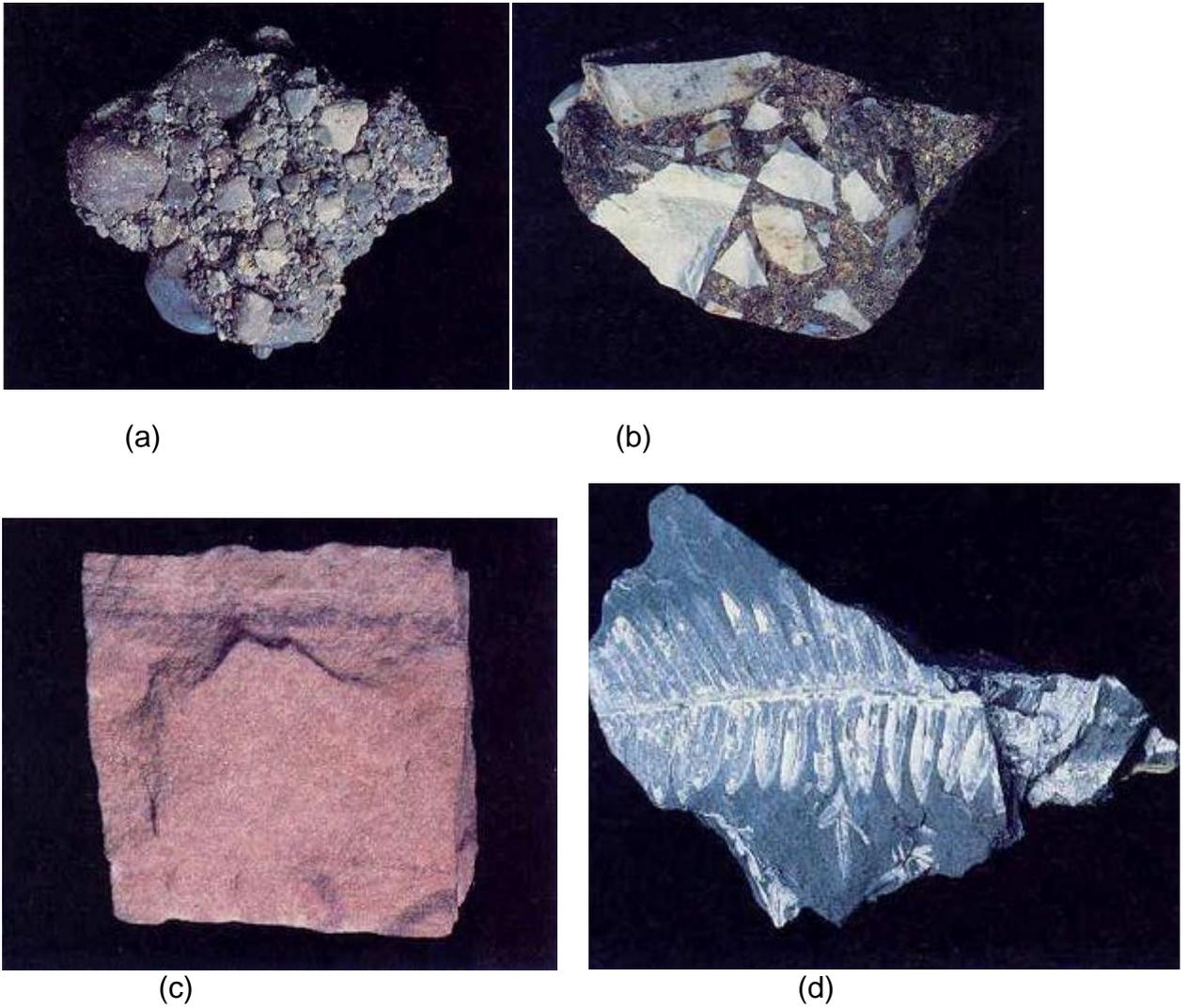


Figura 6 - Rochas sedimentares detríticas comuns: (a) Conglomerado - Pudim; (b) Conglomerado - Brecha; (c). Arenito; (d). Xisto argiloso.

Tabela 2.1 Classificação do tamanho das partículas das rochas detríticas.

| Nome do Sedimento | Diâmetro (mm) | Rocha Detrítica |
|-------------------|------------------|------------------------------|
| Cascalho | > 2 mm | Conglomerado: Pudim e Brecha |
| Areia | 2 – 0,06 mm | Arenito |
| Silte | 0,06 – 0, 002 mm | Siltito |
| Argila | < 0, 002 mm | Argilito |

Rochas sedimentares químicas

Em contraste com as rochas detríticas, formadas a partir de grãos sólidos resultantes da erosão e alteração de rochas, os sedimentos de origem química resultam de materiais que são transportados em solução até lagos e mares. Estes materiais não permanecem em solução na água indefinidamente e acabam por sofrer uma precipitação depositando-se em sedimentos. Esta precipitação pode ter uma origem inorgânica, mas também pode ser o resultado de processos orgânicos. Um exemplo de um depósito resultante de uma ação inorgânica é o sal após a evaporação da água marinha originando posteriormente o sal-gema (por exemplo). A acumulação de conchas, por vezes microscópicas, de animais é um exemplo de origem orgânica de sedimentos.

O calcário é a rocha sedimentar química mais comum. É composta essencialmente pelo mineral calcite e pode ser formada por processos tanto inorgânicos como orgânicos, sendo estes últimos os mais comuns. A origem orgânica da maior parte dos calcários pode não ser tão evidente porque a maior parte das conchas sofre processos consideráveis de transformação antes de se constituírem em rochas.

2.6 Rochas metamórficas

Grandes áreas de rochas metamórficas estão expostas em todos os continentes em regiões relativamente planas conhecidas por escudos. Outras formações de rochas metamórficas constituem uma parte importante de muitas cadeias de montanhas. Mesmo o interior estável continental, geralmente coberto por rochas sedimentares, tem como base rochas metamórficas. Em todas estas formações as rochas metamórficas apresentam-se geralmente muito deformadas e com penetração de grandes massas ígneas (exemplo dos batólitos, principal formação dos granitos). De facto, partes significativas da crosta terrestre são compostas por rochas metamórficas associadas com rochas ígneas.

O metamorfismo (mudança de forma) constitui a transformação de uma rocha preexistente, que pode ser ígnea, sedimentar ou mesmo metamórfica (Figura 2.2). Os agentes de transformação ou de metamorfismo incluem o calor, pressão e fluidos quimicamente ativo, que produzem modificações de textura e composição mineral. O metamorfismo pode ocorrer com um grau de baixa intensidade fazendo com que por vezes seja difícil distinguir a rocha original da final. Noutros casos a transformação é tão intensa que não é possível identificar a rocha de origem. No metamorfismo de grau elevado, características estruturais tais como planos de estratificação, fósseis e espaços vazios vesiculares, que poderiam existir na rocha original são completamente destruídas.

Quando as rochas são submetidas a ações intensas de calor e pressão direcional comportam-se de modo plástico donde resultam dobras por vezes

de aspecto intrincado (Figura 7). É importante referir que durante os processos de metamorfismo de grau elevado a rocha mantém-se sempre no estado sólido porque uma vez atingida a fusão desta entra-se num processo de natureza ígnea.

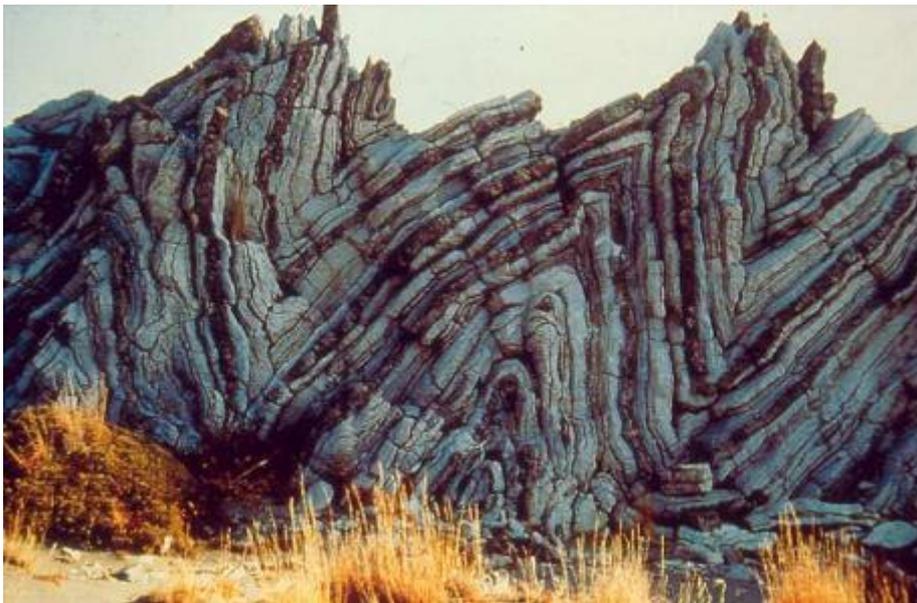


Figura 7 – Maciça de rochas metamórficas deformadas (ISRM).

O processo de metamorfismo inicia-se quando uma rocha é submetida a condições diferentes daquelas em que se formou originalmente. A rocha começa então a sofrer transformações até atingir um estado de equilíbrio com o novo ambiente. Estas modificações ocorrem a profundidades a partir de alguns quilómetros até próximo da fronteira entre a crosta e o manto. A formação de rochas metamórficas ocorre em zonas completamente inacessíveis ao contrário de muitas rochas sedimentares e algumas ígneas, donde resulta o seu estudo ser mais difícil.

O metamorfismo pode ser de três tipos: o metamorfismo regional ocorre na formação de cadeias de montanhas quando grandes quantidades de rochas são submetidas a tensões de elevada intensidade e altas temperaturas associadas com os grandes níveis de deformação; o metamorfismo de contacto sucede quando a rocha fica perto ou em contacto com uma massa de magma, onde as altas temperaturas são a causa primária das transformações das rochas encaixantes; finalmente o metamorfismo dinâmico ou cataclástico ocorre quando a rocha é submetida a pressões muito elevadas e bruscas como por exemplo em zonas de falhas.

Agentes de Metamorfismo

O agente de metamorfismo mais importante é, talvez, o calor. As rochas que se formam perto da superfície são submetidas a calor intenso quando uma massa de rocha derretida as atravessa num movimento ascendente. Também pode ocorrer a situação de determinadas rochas formadas num ambiente superficial sejam obrigadas a localizar-se posteriormente a profundidades muito maiores onde as temperaturas são substancialmente superiores. Alguns minerais, tais como os argilosos, tornam-se instáveis quando estão enterrados a temperaturas de alguns quilômetros começando a recristalizar-se dando origem a novos minerais. Os minerais componentes das rochas ígneas são estáveis a temperaturas e pressões relativamente altas sendo, por isso, necessárias profundidades superiores a 20 km ou mais para que o metamorfismo possa ocorrer.

A pressão, tal como a temperatura, também aumenta com a profundidade. Todas as rochas enterradas são submetidas à ação do peso das camadas superiores. As formações rochosas também são submetidas a pressões resultantes dos processos de formação das cadeias montanhosas. Neste caso a pressão é direcionar fazendo com que a estrutura da rocha adquira formas características visíveis, como por exemplo, nos planos de xistosidade dos gnaisses e das ardósias.

A água contendo iões em solução é o fluido quimicamente ativo mais comum que tem influência no metamorfismo. As rochas contêm geralmente água nos espaços porosos e esta funciona como catalisador na migração dos iões. Em certas circunstâncias os minerais podem recristalizar em configurações mais estáveis e, noutros casos, a troca de iões entre minerais através da água pode resultar na formação de minerais completamente novos.

Modificação de textura e composição mineralógica

O grau de metamorfismo é refletido na composição mineralógica da rocha e na sua textura (Tabela 2.5). Quando as rochas são submetidas a metamorfismo de baixo grau tornam-se mais compactas, logo mais densas.

| | | |
|-----------------|---------|--|
| | Ardósia | Rocha de grão muito fino composta por grãos microscópicos de micas; resultante do metamorfismo de grau baixo do argilito e xisto argiloso. |
| Textura Foliada | Xisto | Rocha metamórfica mais comum composta em grande parte por partículas visíveis; pode resultar também do metamorfismo do argilito e xisto argiloso, mas com grau mais intenso. |

| | | |
|-------------|-----------|--|
| | Gneisse | Na maior parte dos casos com a composição do granito; a característica principal é o aspecto de bandas muito dobradas de cores alternadas escuras e claras. |
| Textura | Mármore | Resultado do metamorfismo do calcário; apresenta grandes cristais de calcite imbricados entre si; as colorações que apresenta para além do branco resultam da presença de impurezas. |
| Não foliada | Quartzito | Rocha metamórfica comum formada a partir do arenito quartzoso; o aspecto pode ser semelhante ao mármore, mas apresenta uma dureza muito maior. |

Debaixo das pressões de metamorfismo, alguns grãos de minerais são reorientados e realinhados perpendicularmente à direção das tensões atuante (Figura 3). No entanto, nem todas as rochas metamórficas que sofreram a ação de pressões orientadas têm uma estrutura foliada. Nestas rochas a pressão tem uma ação muito limitada como agente de metamorfismo. Por exemplo, quando um calcário de grão fino sofre um metamorfismo, os pequenos cristais de calcite combinam-se para formar cristais imbricados relativamente grandes. A rocha resultante tem uma aparência similar a uma rocha ígnea de grão grosso. Este equivalente metamórfico do calcário é chamado mármore.

Em resumo, os processos metamórficos provocam muitas modificações nas rochas, incluindo aumento da densidade, crescimento de cristais grandes, reorientação dos grãos minerais podendo resultar numa aparência de bandas conhecida como foliação ou xistosidade.

A foliação é uma propriedade que as rochas apresentam que se manifesta pela facilidade de se fracturarem segundo planos mais ou menos paralelos. Esta propriedade resulta, em muitos casos, de um alinhamento de minerais que possuem uma clivagem predominante segundo uma dada direção.

Xistosidade é um tipo de foliação. Neste caso esta é originada pela presença de grande quantidade de micas que estão orientadas na rocha.

Lineação é uma propriedade das rochas apresentarem linhas ou traços que resultam do alinhamento de minerais prismáticos (em muitos casos).

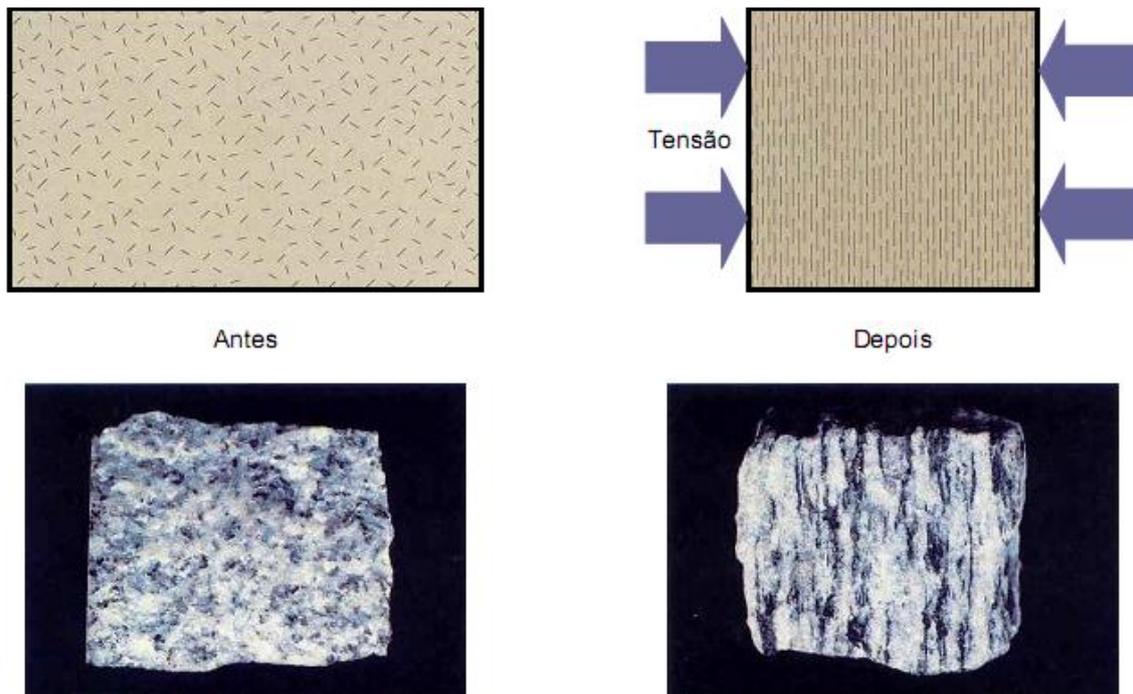


Figura -3. Origem da estrutura foliada do gneisse.

7. Mineralogia: Minerais

Cristal

Sólido homogêneo, ordenado à escala atômica, ou seja, com estrutura interna ordenada (arranjo regular e periódico dos átomos) e definida por uma composição química.

Mineral

Chama-se mineral a um cristal natural e inorgânico com uma estrutura interna cristalina, com composição química bem definida (fixa ou variável entre certos limites também bem definidos) e podendo assumir a forma de um poliedro.

A esta definição de mineral, bastante restritiva, excluem-se alguns exemplos abaixo citados:

- mercúrio nativo - uma vez que não é sólido, mas sim líquido;
- opala e calcedônia - uma vez que não tem estrutura interna cristalina, mas sim amorfa, sendo classificada como um mineralóide;
- pérola - uma vez que não é inorgânica, mas sim produzida por um animal;
- limonite - óxido de ferro hidratado sem estrutura interna cristalina;

- âmbar - uma vez que não é inorgânico, mas sim uma resina fóssil produzida por gimnospérmicas.

Mineralogia

Ramo das Ciências da Terra que estuda os minerais e que está intimamente ligada à física e à química. Sendo a definição de mineral, a de uma substância natural, de composição química estabelecida entre determinados limites e estrutura atômica bem definida, são especialmente as propriedades físicas e químicas que permitem a sua identificação e estudo.

O estudo dos minerais é particularmente importante, quer porque a sua utilização econômica como matéria-prima é indispensável na nossa sociedade, quer para a compreensão da origem e evolução das rochas.

Formação dos Cristais

A matéria cristalina pode-se formar, fundamentalmente, por 3 processos de cristalização:

1. A partir de uma solução
2. A partir de uma substância fundida
3. A partir de um gás

1. A cristalização a partir de uma solução pode efectuar-se por evaporação lenta e gradual do dissolvente tornando-se as soluções sobressaturadas e conduzindo à cristalização das substâncias aí dissolvidas. Pode também ocorrer precipitação de soluções saturadas, devido à diminuição da temperatura e/ou à diminuição da pressão. Exemplos mais comuns são os de cristalização dos minerais Calcite (CaCO_3 - carbonato de cálcio) e Halite (NaCl - Cloreto de sódio). Minerais constituintes de rochas como o Calcário e Salgema, respectivamente.

2. A partir de uma substância fundida também se pode dar Cristalização.

Quando um magma arrefece os diferentes iões são atraídos uns pelos outros formando "núcleos cristalinos" dos diferentes minerais. A cristalização efectua-se pelo acarreio de iões, nas mesmas proporções em que formam as partículas constituintes da rocha sólida resultante. Exemplos mais comuns são os minerais silicatados como a Olivina, Quartzo, Moscovite, Biotite, Feldspatos, que são minerais constituintes de rochas como o Granito e Gabro.

3. A terceira forma de cristalização, a partir de um gás ou vapor, é menos freqüente que as anteriores, embora os princípios fundamentais sejam idênticos. Os átomos dos elementos dissociados agrupam-se lentamente quando se dá o arrefecimento de um gás, até formar um sólido com uma estrutura cristalina bem definida. Como exemplo deste modo de cristalização temos os cristais de Enxofre que se formam por arrefecimento das fumarolas vulcânicas e vapores carregados de enxofre, nas regiões vulcânicas.

Propriedades dos Minerais

Os minerais apresentam propriedades físicas, químicas e ópticas que permitem a sua caracterização e identificação.

As propriedades físicas dos minerais por serem de uso fácil e imediatos e observáveis em amostra de mão, são as mais utilizadas para uma primeira identificação. O conhecimento destas propriedades e a maneira prática de investigá-las são fundamentais na identificação de minerais, conjuntamente com a utilização de tabelas ou chaves dicotômicas.

Propriedades Físicas

Clivagem

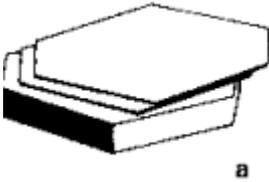
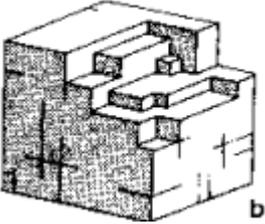
Propriedade que alguns minerais têm de se fragmentarem determinadas superfícies planas e paralelas.

A estas superfícies planas chama-se plano de clivagem.

| | | |
|----------------------------|--|--|
| | Geralmente brilhantes | |
| Planos de Clivagem: | Direcção cristalográfica definida | Correspondem às direcções onde as ligações iónicas ou atómicas são mais fracas. |
| | Podem repetir-se Paralelamente a si próprios. | |

Como bons exemplos de minerais com boa clivagem temos:

- A moscovite apresentando uma única direcção de clivagem – clivagem basal.
- A calcite apresentando três direcções de clivagem - clivagem romboédrica.
- A galena apresentando uma clivagem cúbica. Segue-se uma figura ilustrando estes três exemplos apresentados.

| MOSCOVITE | GALENA | CALCITE |
|---|---|---|
|  a |  b |  c |
| Basal | Cúbica | Romboédrica |

Fractura:

Designa-se por fractura a maneira como certos minerais partem esta rotura não tem direções ou planos definidos e distinguem-se facilmente dos planos de clivagem por serem:

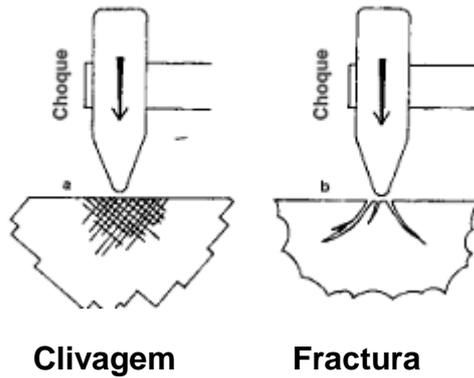
| | |
|---------------------------------|--|
| Superfícies de fractura: | Geralmente baças |
| | Irregulares e não planas |
| | Não se repetem paralelamente a si próprias. |

Os principais tipos de fractura são:

| | |
|------------------------------|---|
| Conchoidal, concoidal | Fractura com superfícies côncavas e convexas, lisas ou estriadas, semelhantes a conchas. Ex: quartzo |
| Esquirolosa | Fractura com esquirolas pontiagudas (aguçadas), à |

| | |
|------------------|--|
| | Semelhança da madeira quando parte. Ex: anfíbolas |
| Irregular | Fractura onde o mineral parte segundo uma superfície irregular. Ex: turmalina |

Ilustração da clivagem e fractura dos Minerais:



Dureza

A dureza é a resistência que o mineral oferece a ser riscado por outro mineral ou objeto alternativo.

A dureza depende do tipo de ligações químicas presentes no mineral, ou seja, quanto mais fortes forem estas ligações maior dureza terá o mineral.

Poderá ser avaliada comparando-a com a de certos minerais-padrão. A escala de dureza mais vulgar constituída por minerais-padrão, é a escala de Mohs, constituída por 10 graus correspondentes às durezas relativas de 10 minerais, ordenados por ordem crescente de dureza. Cada um dos minerais desta escala risca o anterior, de dureza inferior, e é riscado pelo seguinte na escala, portanto de dureza superior.

Quando se vai riscar um mineral mais duro com outro menos duro, este vai desgastar-se sobre o mais duro, à semelhança de quando se escreve com giz no quadro preto ou quando se escreve com o lápis no papel.

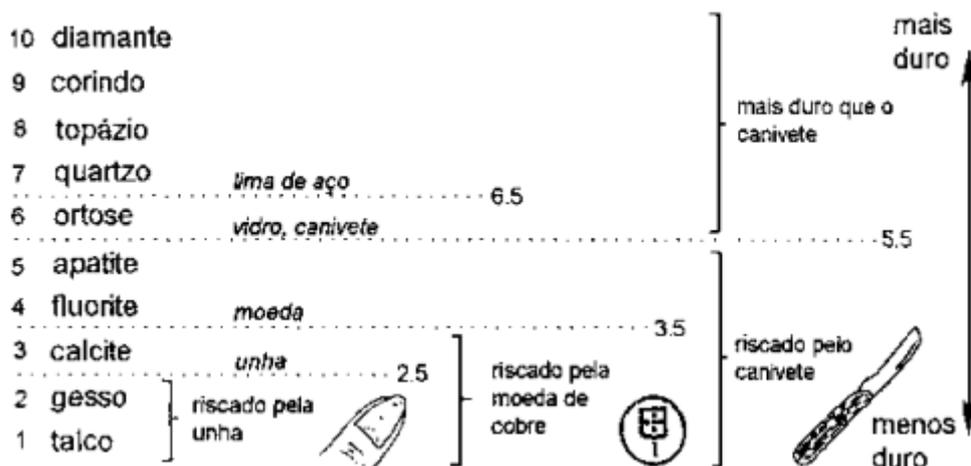
Poderão também utilizarem-se objetos de dureza conhecida, para evitar o desgaste constante dos minerais, sendo os mais comuns:

- Canivete (aço)
- Unha
- Pregos (cobre)
- Vidro

Escala de Mohs

| | Grau | Mineral |
|---|------|----------|
| Aumento da Dureza  | 1 | Talco |
| | 2 | Gesso |
| | 3 | Calcite |
| | 4 | Fluorite |
| | 5 | Apatite |
| | 6 | Ortose |
| | 7 | Quartzo |
| | 8 | Topázio |
| | 9 | Corindo |

Avaliação Expedita da Dureza dos Minerais



Brilho

O brilho dos minerais é o modo como estes reflectem a luz incidente nas suas superfícies, de preferência as não alteradas. Quanto ao brilho dividem-se os minerais em:

| | |
|----------------------------|---|
| Brilho Metálico | Característico de determinados minerais que apresentam elevado índice de reflexão, como por exemplo, metais nativos (ouro, prata). Têm aparência brilhante dos metais. |
| Brilho Sub-metálico | Brilho um pouco menos intenso que o metálico, exemplo volframite. |
| Brilho Não Metálico | Característico dos minerais de cor clara, em geral transparentes ou translúcidos. Individualizam-se variedades dentro deste brilho: <ul style="list-style-type: none"> • Vítreo - semelhante, no aspecto ao vidro. • Nacarado - aspecto do das pérolas; • Gorduroso - aspecto oleoso; • Sedoso - semelhante ao da seda; • Adamantino - aspecto semelhante ao do diamante, brilho intenso; • Resinoso - aspecto da resina. |

Cor

A cor dos minerais é a característica mais fácil de observar, e pode ser muito importante, quando é típica de um mineral, mas há o caso de minerais que podem apresentar várias cores. Resulta da absorção de algumas radiações da luz branca que incide sobre o mineral.

Assim quanto à cor, os minerais podem ser:

| | |
|-----------------------|--|
| Idiocromáticos | Minerais cuja cor é característica e invariável de amostra para amostra. |
| Alocromáticos | Minerais que apresentam cores variáveis. Exemplo do quartzo que vai desde o incolor, rosa, lilás, amarelo, fumado, etc. |

Chama-se risca ou traço à cor do pó fino que se

forma quando se risca o mineral numa porcelana não vidrada. Quando o mineral é mais duro que a porcelana (dureza 7), não se pode observar a risca, ou seja o mineral não se reduz a pó visto ter dureza superior.

A cor da risca é importante na distinção de minerais que apresentam a mesma cor, é, por exemplo, o caso da magnetite, da goetite, hematite ambos de cor

negra, mas com risca distinta, respectivamente, preta, amarelada e avermelhada.



Quanto à risca os minerais podem-se subdividir:

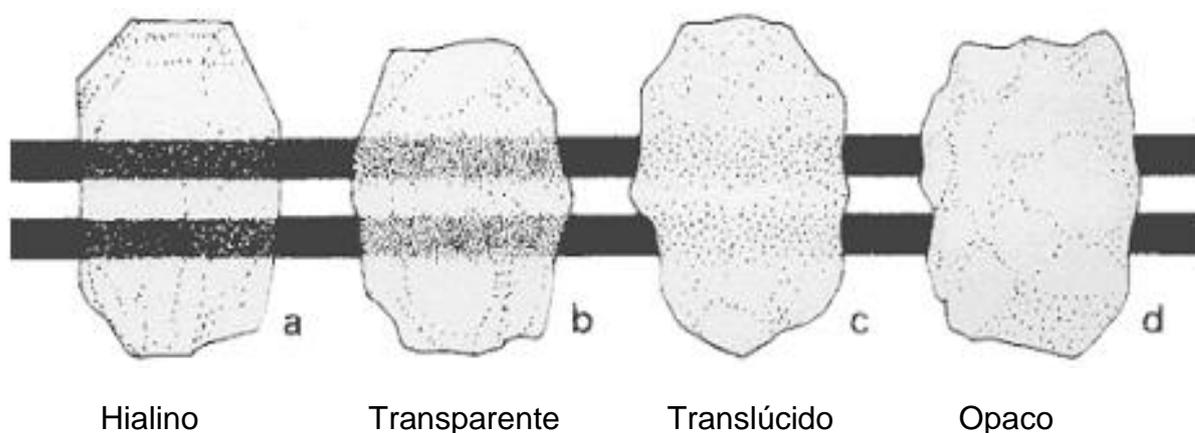
| | |
|---|---|
| Minerais brilho metálico e sub-metálico | Regra geral produzem risca de cor escura. Por vezes de cor bastante diferente da do mineral. Ex. pirite amarelo-latão e risca quase preta. |
| Minerais de brilho não metálico e alocromáticos | Geralmente tem traço branco ou acinzentado. |
| Minerais de brilho não metálico e idiocromáticos | Traço da cor do mineral, em geral mais esbatida. |

Diafaneidade

Diafaneidade ou transparência é a maior ou menor permeabilidade à luz dos minerais, ou seja, a quantidade de luz que deixam atravessar.

Os minerais podem ser:

| | |
|----------------------|---|
| Hialinos | Através dos quais os objetos são visíveis sem modificação da cor. |
| Transparentes | Através dos quais os objetos são visíveis com possíveis modificações da cor, mantendo-se os contornos nítidos. |
| Translúcidos | Deixam-se atravessar parcialmente pela luz, mas os objetos não são claramente visíveis. |
| Opacos | Não se deixam atravessar pela luz. |



Sabor e Cheiro

Para certos minerais estas propriedades são bons elementos de diagnóstico. São por exemplo os casos de:

Halite - Sabor salgado

Silvite - Sabor amargo

Arsenopirite - Cheiro a alho

Enxofre - Cheiro a ovos podres

Magnetismo

Certos minerais são fortemente atraídos pelo ímã como a magnetite e a pirrotite, outros não são atraídos ou são muito pouco atraídos.

Para diagnosticar esta propriedade utiliza-se um ímã ou uma bússola.

Radioatividade

Alguns minerais possuem propriedades radioativas. São exemplo os minerais de urânio. Esta propriedade pode evidenciar-se utilizando contadores de partículas - contador Geiger.

Fluorescência

A luz ultravioleta é invisível para os seres humanos, porque as suas ondas são muito curtas e não detectadas pelos nossos olhos.

Mas alguns minerais emitem luz quando expostos a luz ultravioleta, dizem-se que são minerais fluorescentes. Estes minerais absorvem a luz ultravioleta e reflectem-na em ondas mais longas estes detectados pelos nossos olhos.

Exemplo mais comum é da fluorite, mineral que dá o nome a propriedade.

Propriedades Químicas dos Minerais

Estas propriedades são estudadas em laboratórios mineralógicos utilizando variadas técnicas desde as clássicas até as técnicas mais sofisticadas, como difração de raios X ou microsonda eletrônica.

Principais classes em que, estão agrupados os minerais

| | |
|---------------------------------------|--|
| Elementos nativos | São os minerais que ocorrem na natureza em estado puro, não combinado - como o ouro, prata, cobre enxofre, diamante, grafite. |
| Sulfuretos | Minerais metálicos de que são exemplo a pirite, calcopirite, galena, blenda. |
| Óxidos e hidróxidos | Minerais comuns, sobretudo nos ambientes mais superficiais da Terra, de que fazem parte entre muitos outros a hematite, goethite, pirolusite e Magnetite. |
| Halóides | Classe restrita que reúne os halogenetos naturais como a halite, silvite, fluorite. |
| Carbonatos, nitratos e boratos | Calcite, dolomite, malaquite, rodocrosite. |

Silicatos

São os minerais mais abundantes da crosta terrestre e são próprios das rochas endógenas (magmáticas e metamórficas) embora apareçam em rochas sedimentares. Como exemplos, olivina, turmalina, piroxenas, anfíbolas, biotite, moscovite, quartzo e feldspatos.

Propriedades Ópticas dos Minerais

O estudo e observação das propriedades ópticas dos minerais são muito importantes, mas também muito complexo, pois só assim, podemos estudar minerais que formam as rochas mesmo quando são tão pequenos que não se vêem a olho nu.

Para se poderem observar as rochas e os minerais ao microscópio petrográfico é necessário cortá-los em lâminas delgadas muito finas com 0,03 mm de espessura para a luz transmitida do microscópio os poder atravessar.



Microscópio petrográfico

Observação de Minerais ao Microscópio Petrográfico

Os minerais podem ser observados ao microscópio de duas formas que diferem pelas modificações que a luz sofre na travessia:

A) Luz Paralela ou nicóis paralelos - Os minerais são iluminados por feixe paralelo de luz

B) Luz polarizada ou nicóis cruzados - A iluminação dos minerais é igual à da observação em luz paralela, só que se sujeita a luz emergente da lâmina a uma nova polarização - Analisador.

A observação em luz paralela é indicada para na observação de propriedades ópticas vulgares, tais como:

- **Diafaneidade** - Os minerais negros são opacos (não deixam atravessara luz), os restantes são transparentes ou translúcidos.
- **Hábito** - dá-se o nome de hábito de um cristal ao seu aspecto geral.

Exemplos de hábitos:

- Hábito romboédrico - quando os cristais têm a forma de losangos.
- Hábito prismático - quando os cristais têm a forma de prismas
- Hábito acicular - quando os cristais têm a forma de agulhas

Forma dos minerais

Cristais euédricos

Limitados por linhas poligonais correspondentes às faces dos cristais.

Cristais anédricos

Possuem limites irregulares.

Clivagem

Presença de uma ou mais séries de linhas paralelas que cortam o mineral

Cor

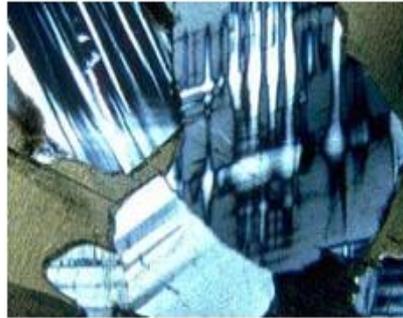
Cor que o mineral apresenta em luz transmitida.

Pleocroísmo

Variação de cor do mineral com a orientação da iluminação em luz polarizada, ou seja, rodando a platina.



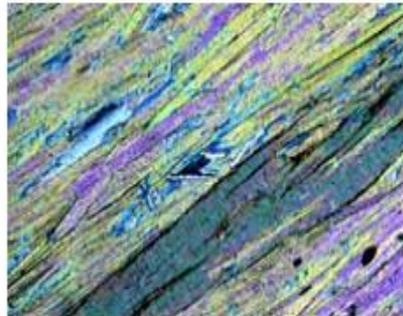
Feldspato - Microclina



Observação microscópica em luz polarizada



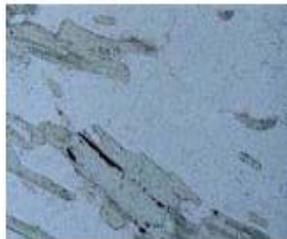
Moscovite



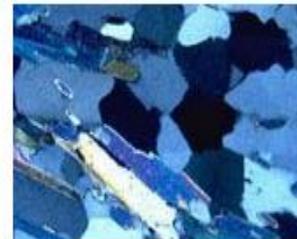
Observação microscópica em luz polarizada



Quartzo



Luz natural



Luz polarizada

Algumas imagens microscópicas de minerais em luz paralela e luz cruzada.

8. Argila



A argila origina-se da desagregação de rochas que comumente contém feldspato, por ataque químico (por exemplo, pelo ácido carbônico) ou físico (erosão, vulcanismo), que produz a fragmentação em partículas muito pequenas.

Normalmente as jazidas são formadas pelo processo de depósito aluvial, ou seja: As partículas menores (e, portanto mais leves) são levadas por corrente de água e depositadas no lugar onde a força hidrodinâmica já não é suficiente para mantê-las em suspensão.

As argilas assim geradas são chamadas de secundárias, já que a argila primária permanece no local onde se originou, sendo este o caso da formação das jazidas de caulino.

Num processo inverso, de litificação, a argila pode se transformar em rocha sedimentar se um depósito de argila for desidratado e submetido a compactação (normalmente pela pressão de camadas superiores), dá origem a rochas clásticas mais finas (lutitos ou pelitos) cujos exemplos podemos citar: os folhelhos, que se apresentam bem estratificados, e os argilitos, que possuem pouca ou nenhuma estratificação.

Segmentos de Uso:

As argilas possuem inúmeros usos inclusive medicinais. Por sua plasticidade enquanto úmida e extrema dureza depois de cozida a mais de 800 o C, a argila é largamente empregada na cerâmica para produzir vários artefatos que vão desde os tijolos até semicondutores utilizados em computadores.

9. Definição de argilominerais

São minerais secundários (produtos da intemperização de outros minerais) que ocorrem na fração argila. Devido ao pequeno tamanho de suas partículas, i.e., do seu alto grau de subdivisão, os minerais de argila são bastante ativos quimicamente, pois possuem propriedades coloidais: a grande afinidade por água e por elementos químicos nela dissolvidos, devido à vasta superfície específica e à existência de muitas cargas elétricas nessa superfície.

Algumas definições: argilas e argilominerais

É conveniente apresentar preliminarmente algumas definições fundamentais para que se torne mais precisa a descrição das características estruturais em que se baseou o desenvolvimento das Argilas Especiais atualmente existentes.

Mineral é um elemento ou composto químico inorgânico que é normalmente cristalino e que se formou como resultado de um processo geológico; portanto, um mineral tem composição química e propriedades cristalográficas bem definidas². Rocha é um agregado de cristais de um ou mais minerais. O nome de um mineral deve terminar em "ita" e o de uma rocha em "ito", segundo a IMA – "International Mineralogical Association". Nomes tradicionais de minerais e de rochas anteriores à nomenclatura da IMA foram mantidos, como por ex.: quartzo (mineral); caulim e bentônica (são nomes de rochas e também de argilas). Por outro lado, é usual, especialmente por leigos e profissionais da indústria, chamar a rocha pelo nome do mineral. Um exemplo é o nome talco (mineral), que também é usado para designar a rocha rica no mineral talco; nesse caso, infelizmente, o nome talcito (que seria o correto) nunca foi usado. Ainda para esse caso, a melhor solução seria usar a expressão "rocha talcítica", que também não é utilizada. Obviamente, é errado trocar os nomes quando o nome da rocha deveria ser usado e é empregado o nome do mineral. Infelizmente, isso também ocorre com as argilas: o termo caulinita é usado em lugar de caulim; esmectita e montmorilonita em lugar de bentônita. Esses erros serão evitados no presente nesta apostila.

Argila é uma rocha constituída essencialmente por um grupo de minerais que recebem o nome de argilominerais; tanto as diferentes argilas como também cada um das quatro dezenas de argilominerais têm nomes específicos.

Argilominerais são silicatos de Al, Fe e Mg hidratados, com estruturas cristalinas em camadas (são filossilicatos), constituídos por folhas contínuas de tetraedros SiO_4 , ordenados de forma hexagonal, condensados com folhas octaédricas de hidróxidos de metais tri e divalentes; a maioria dos argilominerais, naturalmente, é constituída essencialmente por partículas (cristais) com algumas dimensões geralmente abaixo de $2\mu\text{m}$. Os argilominerais são muitas vezes chamados "silicatos em camadas" ("layer silicates") e "filossilicatos". Alguns argilominerais podem conter uma fração com dimensões na faixa de 1 a 100 nm; essa faixa recebe o nome de nanométrica. Portanto, os termos argila e argilomineral referem-se a materiais encontrados

na natureza. Existem cerca de 40 argilominerais; somente poucos são constituintes das Argilas Industriais e das Argilas Especiais, devido a possuírem algumas propriedades muito peculiares e/ou específicas que levam ao seu maior valor tecnológico. Devido às dimensões micro ou nanométricas, os microcristais da maioria dos argilominerais só podem ser visualizados por microscopia eletrônica de transmissão (MET); alguns podem também ser observados por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Supondo os microcristais de uma argila com a forma de cubos, todos iguais com 2,0 µm de lado (é uma hipótese simplificadora) e a densidade de 2,60 g/cm³, a área específica AE (m²/g), calculada pela Equação

$$AE = \frac{6}{l \times \rho},$$

(onde *l* é o lado do cubo, e *r* sua densidade), é de 1,15 m²/g. Assim, segundo Gregg³, as argilas são sólidos naturalmente ativos porque têm áreas específicas superiores a 1,0 m²/g.

Argilas Industriais são um grupo de argilas, assim designadas pelo "U.S. Bureau of Mines", que são utilizadas em grande escala pelas indústrias de processamento químico; são elas: caulim; "ball clay" (argila plástica para Cerâmica Branca); argila refratária; bentônica; terra fuller; argila para fins de construção civil (Cerâmica Vermelha; Cimento); vermiculita; talco; pirofilita; amianto ou asbesto⁴.

Argilominerais: classificação

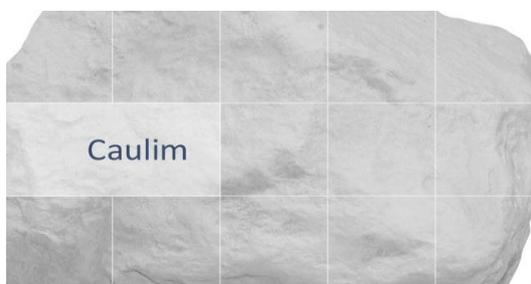
Os diferentes argilominerais são classificados em grupos com base nas semelhanças em composição química e na estrutura cristalina. As estruturas cristalinas são classificadas em 2 tipos: estruturas 1:1 e estruturas 2:1. Nas estruturas 1:1, estão os grupos: da caulinita; das serpentinas; dos argilominerais ferríferos. Nas estruturas 2:1 estão os grupos: do talco-pirofilita; das micas; das esmectitas; das vermiculitas; das cloritas; da paligorsquita (atapulgita) – sepiolita. As quatro dezenas de argilominerais distribuem-se nesses grupos; apenas um pequeno número de argilominerais são componentes das Argilas Industriais: caulinita (caulim, "ball clay"; argila refratária; argila para construção civil); montmorilonita (bentonita, terra fuller); talco (talco); vermiculita (vermiculita) e amianto crisotila (amianto).

Segundo a conceituação da revista "Industrial Minerals" são os seguintes argilominerais que possuem os requisitos para serem constituintes das Argilas Especiais: raros comercialmente – hectorita (grupo das esmectitas) e sepiolita (grupo paligorsquita-sepiolita); de ocorrência restrita – bentonita branca (montmorilonita e hectorita); haloisita (grupo da caulinita) e paligorsquita

(atapulgita) (grupo paligorsquita-sepiolita); montmorilonitas ativada por ácidos e as "organoclays" ou "organoclad clays" ou "organophilic clays"; as argilas organofílicas, em especial as montmorilonitas organofílicas, estas últimas são também atualmente chamadas "nanoargilas" (nanoclays). É importante assinalar que a maioria dos casos de aplicação no item montmorilonitas está baseada no argilomineral "montmorilonita propriamente dita" do grupo das esmectitas. Como esse número é apreciável, esse fato justifica um artigo especial sobre "argilas modificadas por tratamento químico".

Nesta revisão sobre argilas especiais procurar-se-á ampliar o conceito original, de forma a incluir outros exemplos de produtos comerciais especiais derivados do processamento de maior número de tipos de argilas que aqueles citados acima, buscando apresentar também exemplos brasileiros.

10. Caulim



Caulim ou caulino é um minério composto de silicatos hidratados de alumínio, como a caulinita e a haloisita, e apresenta características especiais que permitem sua utilização na fabricação de papel, cerâmica, tintas, etc. Pode ser utilizado para adição ou substituição das argilas plásticas. Apresentam plasticidade e resistência mecânica, a seco. De coloração branca e funde a 1800°C. É formado essencialmente pela caulinita e apresenta, em geral, cor branca ou quase branca, devido ao baixo teor de ferro. É um dos seis minerais mais abundantes do topo da crosta terrestre (profundidade até 10 metros).

Segmentos de Uso:

Indústria Cerâmica

É utilizado como matéria prima na fabricação de cerâmicas e porcelanas brancas.

Indústria de Papel

Utilizado no processo de reciclagem.

Indústria da Borracha

Utilizado na fabricação de borrachas nobres e de alta qualidade, como na confecção de luvas para fins médicos.

Medicina

Usado como absorvente de toxinas do aparelho digestivo.

Indústria Química

Na fabricação de cosméticos sabões, pós dentifrícios e certos plásticos; como veículo inerte para inseticidas, abrasivos suaves e como base para muitos desinfetantes.

Indústria Têxtil

Endurecedor de tecidos.

Engenharia Civil

Para a indústria de cimento as especificações são menos rígidas, sendo a composição química importante. O Caulim faz parte também da constituição do cimento Portland branco. Como carga de gesso para parede, revestimento de linóleos e oleados; • na preparação de tintas e pigmentos à base de anilina.

11. Bentonita



Bentonita é a designação dada uma mistura de argilas geralmente impura, de grãos muito finos. O tamanho das partículas é seguramente inferior a 0,03% do grão médio da caolinita.

Consiste principalmente de montmorillonite (60 a 80%) podendo conter outras argilas em maior ou menor proporção (nomeadamente illita e caulinita) além de

quartzo, feldspatos, pirita ou calcita. Forma-se geralmente por alteração de cinzas vulcânicas. Contém muitas bases e ferro.

Existem alguns tipos de bentonitas e seus nomes dependem dos elementos predominantes, tais como K, Na, Ca, e Al.

O tipo mais normal é a cálcica. A sódica incha quando recebe água. O ferro que contém sempre lhe dá cor, porém existe bentonita branca.

Existem diversos tipos de bentonita que variam tanto na plasticidade como na dureza. Existem umas poucas, como a terra de batan, que carecem totalmente de plasticidade.

É uma argila muito pegajosa com um alto grau de encolhimento (as ligações entre as camadas unitárias permitem a entrada de uma quantidade superior de água que na caolinita) e tem tendência a fraturar-se durante o cozimento e o esfriamento. Por este motivo não convém trabalhá-la sozinha como matéria predominante de uma massa.

Segmentos de Uso:

Cerâmicas

Bentonita Branca: Este tipo dá uma melhor cor em redução que na oxidação quando se emprega na fabricação de objetos de porcelana.

Indústria de Combustíveis

Lodo Bentonítico: Lubrificante de escavações para perfurações de óleo e gás e para investigações geotécnicas e ambientais.

Engenharia Civil

Bentonita Cálcica: Trabalhos com fundações para sustentação de terra, na forma de lodo bentonítico. Também é utilizada como material de selamento.

Pecuária

Bentonita Cálcica: Alimentação animal para eliminação de toxinas de alimentos (este uso encontra fenomenologia entre animais selvagens similar, como entre os macacos e os elefantes).

Vinicultura

Bentonita Cálcica: Como clarificante protéico.

Indústria do Papel

Bentonita Cálcica: Purificante para atuação no processo de reciclagem do papel. A Bentonita absorve os resíduos impuros tais como cola, tintas e outros materiais.

Bentonita Branca

Os depósitos são raros, devido às condições peculiares de formação geológica (ausência de matéria orgânica e de rochas contendo ferro e outros metais com cátions coloridos durante a decomposição de cinzas vulcânicas ricas em sílica). São constituídas essencialmente por montmorilonita-Na sem ferro estrutural e sílica coloidal; hectorita-Na e saponita-Na podem ser também os constituintes de bentonitas brancas comerciais.

Existem depósitos explorados comercialmente apenas na Califórnia e em Nevada (Death Valley e Amargosa Valley) e Texas (Gonzáles), USA; na Turquia (Balikesia) e Grécia (ilha de Kimilos). Os Estados Unidos são os maiores produtores: 225.000 t/ano. As bentonitas brancas lavadas são vendidas por US\$4.000,00/t. Das 200.000 t produzidas na Califórnia e Nevada, cerca de 55% são usadas para gelificação em cosméticos, produtos de toalete e produtos para limpeza doméstica; cerca de 35% são usados como agentes estabilizantes de suspensões desses mesmos produtos e 8% são usados como agente plastificante em Cerâmica Elétrica. A bentonita branca produzida no Texas é utilizada industrialmente: esmaltes e vidrados cerâmicos; agente plastificante para Cerâmica Branca, Cerâmica Elétrica, Cerâmica Técnica e Refratários Plásticos. Na Província de San Juan, região andina da Argentina, existem vários depósitos de bentonita branca, com teores de ferro excepcionalmente baixos⁸. O depósito da área denominada Hipo passou a ser industrializado a partir de 2001, sendo iniciada a exportação em fins desse mesmo ano.

Um detalhe interessante: se a bentonita branca tiver de satisfazer as especificações para uso farmacêutico e cosmético, a suspensão aquosa é seca por nebulização para ficar adequada para o controle microbiológico e produzir um pó de fácil escoamento ("free flowing").

No Brasil, na década de 80, houve extração de bentonita branca dos pegmatitos do Rio Grande do Norte e Paraíba. Atualmente há ocorrência pequena de bentonita branca nos depósitos de bentonita de Boa Vista, Campina Grande, PB; é constituída por mistura de montmorilonita e paligorsquita. Está sendo extraída e utilizada em Cerâmica Branca, como agente suspensor de esmaltes cerâmicos

12. Técnica de Mineração

Operações de mineração

Modernamente, a mineração é uma atividade cara e complexa. Tem início com a localização de jazidas minerais cuja produção provável venha a compensar os custos de extração. Para calcular as reservas de uma jazida, ou seja, a quantidade de um minério disponível fazem-se mapas geológicos de superfície e subsolo, por meio de sondagens, galerias, poços, trincheiras etc., que mostrarão as condições geofísicas de uma dada região. A coleta das amostras (amostragem) permitirá a dosagem dos teores do elemento (ou elementos) e sua distribuição na superfície e em profundidade.

A finalidade industrial do mineral a ser explorado pode ser determinante da escolha do processo de mineração. Assim, as amostras do mineral colhidas na fase de prospecção devem ser representativas, para que se determine o processo de tratamento mais adequado. As minas modernas empregam computadores e outros equipamentos sofisticados para esses cálculos.

Uma vez determinado o local e o tamanho aproximado da jazida, os engenheiros estudam a melhor maneira de realizar a mineração. A exploração de minas subterrâneas, por exemplo, envolve operações de sondagem, perfuração, extração, carregamento e transporte. Além disso, as minas precisam ser ventiladas e iluminadas. Nesses processos, usam-se sondas, perfuratrizes, brocas, guindastes, vagonetes e muitos outros equipamentos.

Prospecção. A operação de sondagem visa a pesquisar o local, a fim de determinar o ponto exato de abertura dos poços, em função do posicionamento das jazidas. Em geral utilizam-se sondas de percussão, que impactam a rocha com uma broca em forma de talhadeira, feita de carbonato de tungstênio extremamente duro; ou sondas rotativas, dotadas de cabeças rotativas com dentes de metal duro, que entalham, raspam, quebram e trituram a rocha. Há ainda o modelo misto, que são as sondas de percussão rotativa. Em solos pouco consistentes, às vezes é necessário instalar tubos para orientação das sondas. Há outros métodos de prospecção, como o eletrolítico, o sismográfico e o gravítico.

Perfuração e extração. A perfuração para exploração das minas é feita mediante poços e galerias escavados e em seguida revestidos, sobretudo nos terrenos menos consistentes, com madeira, cimento armado ou ferro. Em muitos casos há necessidade de empregar explosivos, dos quais os mais comuns utilizam compostos de carbono, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio, alguns com a finalidade de servir como combustível e outros como agentes que provocam a combinação química com o oxigênio. Esses compostos têm a propriedade de reagir rapidamente e liberam grande quantidade de energia química.

Num sopro de explosão, a energia da reação química serve para inflamar os explosivos e manter o processo termodinâmico da propagação da onda de choque a temperaturas elevadas (até 5.200o C) e pressões de até 200.000

vezes a pressão atmosférica. Os explosivos são, portanto, substâncias capazes de produzir, em milésimos de segundo, muito calor e grande volume de gases que, por se encontrarem em recipientes fechados, provocam pressões elevadíssimas.

Carregamento e transporte. O carregamento do material extraído dos filões ou camadas da mina se faz através de poços e galerias, em vagonetes que são depois içados até a superfície. A ventilação é imprescindível para proporcionar uma atmosfera respirável, fazer a exaustão de gases venenosos ou explosivos e proporcionar ar fresco nas minas de temperatura elevada. Os gases nocivos se geram, em algumas minas de metal, tanto pela ação da água acidulada sobre a rocha quanto pelos explosivos utilizados no desmonte. Da mesma forma, é preciso remover, nas minas de urânio, a radioemissão, devido a sua radioatividade.

Mineração a céu aberto. As mesmas operações descritas para a mineração subterrânea se aplicam à mineração a céu aberto: sondagem, perfuração, extração, carregamento e transporte. A diferença reside no tipo de mineral, que pode ocorrer em camadas superiores e, assim, permitir a exploração de superfície. Os produtos mais comuns explorados a céu aberto são a hulha, o cobre, minérios de ferro e produtos minerais não-metálicos, como a argila, o gesso, a rocha fosfatada e vários tipos de pedra, areia e cascalho.

13. Geologia da região

A região em apreço é constituída por rochas do embasamento cristalino de idade páleoproterozóica formado por rochas do Complexo Jaguaretama (orto e paragneisses, em parte migmatizados, e metacarbonatos), mais antigo, e Grupo Orós (xistos, quartzitos, filitos, metacarbonatos e metavulcânicas).

Sobrejacentes, ocorre as rochas cretáceas da Bacia do Apodi representadas por rochas das Formações Jandaíra (calcários com intercalações de folhelhos, siltitos, calcarenitos e calcilutitos com níveis evaporíticos na base) e Açu (capeamento superior) onde predominam arenitos, localmente conglomeráticos, com interestratificação de siltitos, folhelhos, argilitos e calcários.

Bordejando a margem ocidental do rio Jaguaribe está presente os sedimentos paleoceno-neocênicos da Formação Faceira, representada por conglomerados basais e arenitos pouco litificados e siltitos com níveis de argila e cascalho. Ainda, já no domínio da faixa litorânea, encontram-se os sedimentos paleoceno-neocênicos do Grupo Barreiras constituído de arenitos argilosos com leitos conglomeráticos e nódulos lateríticos.

Finalmente, na calha do rio principal ocorrem os sedimentos aluviais quaternários representados por argilas, areias argilosas, eventualmente conglomeráticas, cascalhos e argilas orgânicas.

Todas essas litologias contribuem de forma direta ou indireta para formação das imensas reservas de argilas localizadas nas várzeas dos rios que compõem a bacia do Baixo/Médio Jaguaribe.

13.1 Matérias-primas da região do baixo Jaguaribe e Ceará

A natureza da mineralização está ligada ao caráter básico-ultrabásico das seqüências litológicas (anfíbolitos, gabros, piroxenitos, anortositos e basaltos). Nestas seqüências foram identificadas: área altamente potencial para cro-mita-platina-paládio-ouro; mineralização de esmeralda; área de grafita (sudoeste de Boqueirão do Cesário, estendendo-se por Boa Água - Tapuiará - leste de Quixeramobim - Carnaubinha - Milhã - Piquet Carneiro - Assunção - Dep. Irapuan Pinheiro - Acopiara - Quincol - Suçuarana).

Notifica-se na área em estudo uma pequena parte dos jazimentos diatomitíferos que ocorrem no litoral cearense. Ocorre à margem esquerda do rio Jaguaribe, município de Aracati, nos domínios dos sedimentos do Grupo Barreiras e balizados nas proximidades do contato com o embasamento cristalino. Esses jazimentos são restritos a ambientes lagunares, de formas circulares ou amebóides, condicionados por fatores físico-químicos e climatológicos. O minério apresenta-se associado a camadas delgadas ou espessas de argila caulínica, areia, matéria orgânica e outras impurezas.

A borda ocidental da Chapada do Apodi exhibe rochas carbonáticas oriundas de ambiente deposicional típico de uma bacia marinha de águas rasas e quentes, tranquilas, e com restritas comunicações com o mar aberto. Neste setor também se registra a presença de rocha fosfática com 14% de P₂O₅, na escarpa da chapada, a leste de Limoeiro do Norte, assim como calcários de alto grau de pureza (CaO > 50%; MgO < 2%).

Das inúmeras ocorrências de caulim verificadas no Estado do Ceará citam-se aquelas conhecidas nos municípios de Russas, Parambu, Quixeramobim, Crato e Campos Sales, este último contendo concessão de lavra (mina). A produção de caulim se destina às cerâmicas e às indústrias de borracha, plástico e tintas, que consomem este bem mineral já beneficiado.

São numerosas as ocorrências de minérios de ferro, verificadas de maneira disseminada ou isoladas por todo o Estado, com depósitos de pequenas magnitudes. Na área do projeto são registradas ocorrências nos municípios de Russas, Morada Nova, Tauá, Parambu, Cococi, Assaré, Lavras da Mangabeira e Barro. As fundições e indústrias metalúrgicas do Estado consomem todo o minério de ferro, cujo destino é a produção de peças e artefatos de ferro fundido. O ferro é utilizado na forma de gusa e sucata.

As principais ocorrências minerais da área em estudo estão plotadas nos quadros a seguir.

Reservas de Substâncias Mineraiis-Metálicas do Ceará - 1990

| Substâncias Mineraiis | Quantidade (t) | | | Total Médio Ponderado da Reserva Medida | |
|-----------------------|----------------|-----------|-----------|---|-------------------------|
| | Medida | | Indicada | | Inferida |
| | Minério | Contido | | | |
| Berílio (Berilo) | 199 | 20 | 117 | 20 | 10,05% BeO |
| Cobre | 7.417.155 | 79.744 | 8.325.000 | | 1,07% Cu |
| Ferro | 2.819.520 | 1.649.419 | | | 58,49% Fe |
| Lítio (Ambligonita) | 57 | 5 | 14 | 49 | 8,77% Li ₂ O |
| Lítio (Lepdolitita) | 1.676 | 25 | 2.716 | 110 | 1,49% Li ₂ O |
| Nióbio (Col.-Tant.) | 4 | | | 1 | |

Reservas de Substâncias Mineraiis Não Metálicas do Ceará - 1990

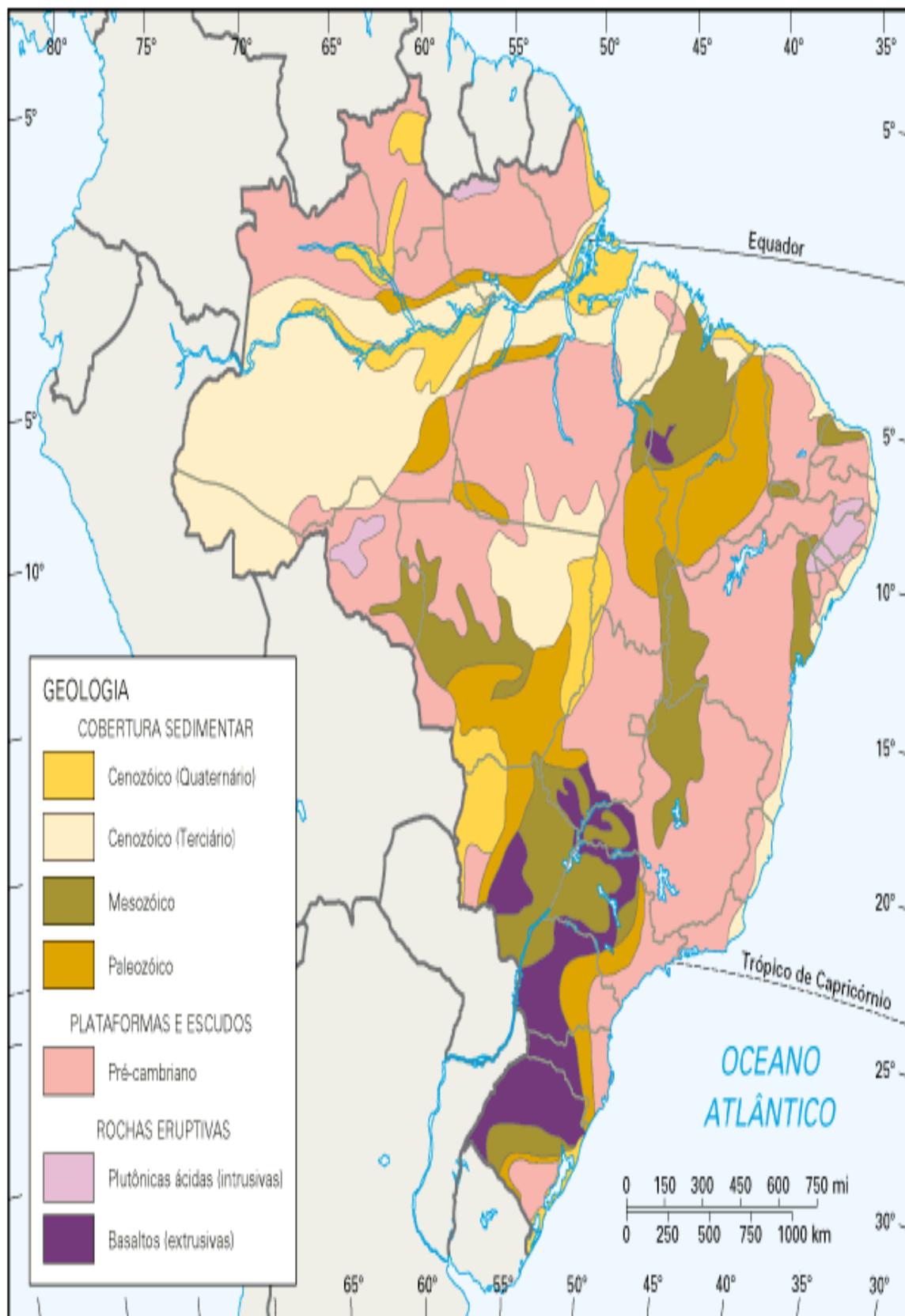
| Substâncias Mineraiis | Quantidade (t) | | | | Total Médio Ponderado da Reserva Medida |
|-----------------------|----------------|---------|---------------|---------------|---|
| | Medida | | Indicada | Inferida | |
| | Minério | Contido | | | |
| Areia | 5.449.804 | | 462.983 | | |
| Argila | 144.130.196 | | 124.010.382 | 76.624.512 | |
| Barita | 25.062 | 15.541 | 25.800 | 58.329 | 62,01% BaSO ₄ |
| Calcário | 1.422.073.154 | | 1.257.309.634 | 1.495.635.972 | |
| Caulim | 157.281 | | 27.609 | | |
| Diatomita | 725.233 | | 133.296 | 32.565 | |
| Dolomita | 67.204.496 | | 55.137.400 | 109.576.000 | |
| Feldspato | 38.906 | | 30.191 | 6.938 | |
| Gipsita | 11.634.870 | | 1.157.000 | | |
| Magnésio (Magnesita) | 64.779.805 | | 55.501.590 | 1.556.051 | |
| Mica | 15.324 | | 18.359 | 710 | |
| P. Br. Orn. (Granito) | 6.611.100 | | 20.090.492 | 117.000 | |
| P. Br. Orn. (Mármore) | 210.265 | | 96.360 | | |
| Quartzo | 494.824 | | 32.639 | 637.971 | |
| Talco | | | 4.415 | 8.192 | |

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro – 199

15. ANEXOS

15.1. Mapa Geológico do Brasil





16. Referencia Bibliográfica

GEOGRAFIA – LONDRINA – VOLUME 13 – NÚMERO 1 – JAN./JUN. 2004.
Disponível em <http://www.geo.uel.br/revista>

DANA H. Manual de mineralogia. São Paulo: Livro Técnico e Científico, 1983.
LEINZ, V. Guia para determinação de minerais. São Paulo: Nacional, 1978.

MILOVSKI, A. V.; KONONOV, O. V. Mineralogy. Moscow, URSS: MIR, 1988.
YAKUSHOVA, A. F. Geology with the elements of geomorphology. Moscow, URSS: MIR, 1986.

BATES, R. L. (1969) Industrial Minerals and Rocks. Dover Publications Inc., Toronto, Canadá, p242-243.

BRANCO, P. M. (1984) Glossário Gemológico, Ed. da UFRS, Porto Alegre-RS, pp. 77; 147.

DANA, J. D. (1978). Manual de Mineralogia, 1ª edição. 5ª revisão. Rio de Janeiro, RJ, 540-550.

DIANA, F. R. (2004). Pedras Brasileiras. Ed. Reler, Rio de Janeiro-RJ, p. 56.

SCHUMANN, W. (2002). Gemas do Mundo, Ed. Ao Livro Técnico Indústria e Comércio Ltda., traduzido por Mário Del Rio, 9ª

Edição, p. 164-166.

Cristalografia. In Infopédia [Em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2012. [Consult. 2012-02-08].

Disponível na WWW: <URL: [http://www.infopedia.pt/\\$cristalografia](http://www.infopedia.pt/$cristalografia)>.

ALBUQUERQUE, J. DO P.T. Inventário hidrogeológico do Nordeste, Folha nº 15 - Jaguaribe - SE. Recife: SUDENE, 1970. 187p. (Sér. Hidrogeologia, (SUDENE, 32).

ENCICLOPÉDIA DOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS; municípios do Estado do Ceará. Rio de Janeiro: IBGE 1959. V.16.

IBGE. Censo agropecuário Ceará; 9º recenseamento geral, 1980. Rio de Janeiro, 1983. V.2, t3, n.9, 2ª parte.

Geológico e Mineiro

Versão Online no site do INETI: <http://e->

[Geo.ineti. pt/geociencias/edicoes_online/diversos/guiao_litoteca/indice.htm](http://Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/guiao_litoteca/indice.htm)

Ingeniería geológica / Luis I. González de Vallejo... [et al.]. - Madrid [etc.] : Prentice Hall, 2002.

Practical Rock Engineering / Evert Hoek, 2000 Edition, <http://www.rocscience.com>

Mecânica das Rochas / por Manuel Rocha. - Lisboa: LNEC, 1981.

[emdiv.org/.../3081-petrologia-o-estudo-das-rochas. ht...](http://emdiv.org/.../3081-petrologia-o-estudo-das-rochas.html) - Estados Unidos
Petrologia - O Estudo das Rochas Na interpretação da gênese das rochas, é de grande valia o conhecimento e os métodos experimentais da petrolo<http://emdiv.org/pt/mundo/tecnologia/3081-petrologia-o-estudo-das-rochas.html>

SUGESTÕES BIBLIOGRÁFICAS

CANTO, E. L. Minerais, minérios, metais: de onde vêm? para onde vão? São Paulo: Moderna, 1996.

ERNEST, W. G. Minerais e rochas. São Paulo: Edgard Blucher, 1988.

FERREIRA, G. M. L. Moderno Atlas geográfico. 2. ed. São Paulo: Moderna, 1993.

KRAUSKOPF, K. B.; BEISER, A. The physical universe. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 1993.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. Geologia geral. 9. ed. São Paulo: Nacional, 1985.

SCHUMANN, W. Rochas e minerais. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1985.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R. (Org.) Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

SUGESTÕES DE LINKS

<http://mineral.galleries.com/>

<http://webmineral.com/>

<http://www.igme.es/internet/museo/ejemplares/ejemplaresc.htm>

<http://www.mindat.org/>

<http://www.minweb.co.uk/>

http://www.nrcan.gc.ca/mms/scho-ecol/toc_e.htm

<http://www.theimage.com/mineral/>

<http://www.unb.br/ig/cursos/index.htm>

<http://www.ubmmpl.com.br/index.html>

Hino Nacional

Ouviram do Ipiranga as margens plácidas
De um povo heróico o brado retumbante,
E o sol da liberdade, em raios fúlgidos,
Brilhou no céu da pátria nesse instante.

Se o penhor dessa igualdade
Conseguimos conquistar com braço forte,
Em teu seio, ó liberdade,
Desafia o nosso peito a própria morte!

Ó Pátria amada,
Idolatrada,
Salve! Salve!

Brasil, um sonho intenso, um raio vívido
De amor e de esperança à terra desce,
Se em teu formoso céu, risonho e límpido,
A imagem do Cruzeiro resplandece.

Gigante pela própria natureza,
És belo, és forte, impávido colosso,
E o teu futuro espelha essa grandeza.

Terra adorada,
Entre outras mil,
És tu, Brasil,
Ó Pátria amada!
Dos filhos deste solo és mãe gentil,
Pátria amada, Brasil!

Deitado eternamente em berço esplêndido,
Ao som do mar e à luz do céu profundo,
Fulguras, ó Brasil, florão da América,
Iluminado ao sol do Novo Mundo!

Do que a terra, mais garrida,
Teus risonhos, lindos campos têm mais flores;
"Nossos bosques têm mais vida",
"Nossa vida" no teu seio "mais amores."

Ó Pátria amada,
Idolatrada,
Salve! Salve!

Brasil, de amor eterno seja símbolo
O lábaro que ostentas estrelado,
E diga o verde-louro dessa flâmula
- "Paz no futuro e glória no passado."

Mas, se ergues da justiça a clava forte,
Verás que um filho teu não foge à luta,
Nem teme, quem te adora, a própria morte.

Terra adorada,
Entre outras mil,
És tu, Brasil,
Ó Pátria amada!
Dos filhos deste solo és mãe gentil,
Pátria amada, Brasil!

Hino do Estado do Ceará

Poesia de Thomaz Lopes
Música de Alberto Nepomuceno
Terra do sol, do amor, terra da luz!
Soa o clarim que tua glória conta!
Terra, o teu nome a fama aos céus remonta
Em clarão que seduz!
Nome que brilha esplêndido luzeiro
Nos fulvos braços de ouro do cruzeiro!

Mudem-se em flor as pedras dos caminhos!
Chuvas de prata rolem das estrelas...
E despertando, deslumbrada, ao vê-las
Ressoa a voz dos ninhos...
Há de florar nas rosas e nos cravos
Rubros o sangue ardente dos escravos.
Seja teu verbo a voz do coração,
Verbo de paz e amor do Sul ao Norte!
Ruja teu peito em luta contra a morte,
Acordando a amplidão.
Peito que deu alívio a quem sofria
E foi o sol iluminando o dia!

Tua jangada afoita enfune o pano!
Vento feliz conduza a vela ousada!
Que importa que no seu barco seja um nada
Na vastidão do oceano,
Se à proa vão heróis e marinheiros
E vão no peito corações guerreiros?

Se, nós te amamos, em aventuras e mágoas!
Porque esse chão que embebe a água dos rios
Há de florar em meses, nos estios
E bosques, pelas águas!
Selvas e rios, serras e florestas
Brotem no solo em rumorosas festas!
Abra-se ao vento o teu pendão natal
Sobre as revoltas águas dos teus mares!
E desfraldado diga aos céus e aos mares
A vitória imortal!
Que foi de sangue, em guerras leais e francas,
E foi na paz da cor das hóstias brancas!



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria da Educação