

2ª Edição revisada e ampliada

EDITORES: ADÃO BENVINDO DA LUZ & FERNANDO A. FREITAS LINS

# ROCHAS & MINERAIS INDUSTRIAIS

## usos e especificações



## SUMÁRIO

### PARTE I: INTRODUÇÃO GERAL

01. PANORAMA DAS ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS NO BRASIL	3
<i>Fernando A. Freitas Lins</i>	

02. DESEMPENHO FUNCIONAL DOS MINERAIS INDUSTRIAIS: DESAFIOS TECNOLÓGICOS, FERRAMENTA DE MARKETING E ESTRATÉGIA DE VALORIZAÇÃO	25
<i>Renato R. Ciminelli</i>	

### PARTE II: ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS: USOS E ESPECIFICAÇÕES

03. AGALMATOLITO	69
<i>Adão Benvindo da Luz, Paulo Tomedi e Rodrigo Martins</i>	

04. AMIANTO	79
<i>Normando Claudino Moreira de Queiroga, William Bretas Linares, Joselito Dasio da Silva e Adão Benvindo da Luz</i>	

05. AREIA INDUSTRIAL	103
<i>Adão Benvindo da Luz e Fernando A. Freitas Lins</i>	

06. AGROMINERAIS - ENXOFRE	125
<i>Gildo de Araújo Sá C. de Albuquerque (in memoriam), Ronaldo Simões L. Azambuja (in memoriam) e Fernando A. Freitas Lins</i>	

07. AGROMINERAIS - FOSFATO	141
<i>Francisco E. Lápido Loureiro, Marisa Bezerra de Mello Monte e Marisa Nascimento</i>	

08. AGROMINERAIS - POTÁSSIO	175
<i>Marisa Nascimento, Marisa Bezerra de Mello Monte e Francisco E. Lápido Loureiro</i>	

09. AGROMINERAIS - ROCHAS SILICÁTICAS COMO FONTES MINERAIS ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A AGRICULTURA	205
<i>Éder de Souza Martins, Claudinei Gouveia de Oliveira, Álvaro Vilela de Resende e Marcello Silvino Ferreira de Matos</i>	

10. ARGILA - ATAPULGITA E SEPIOLITA	223
<i>Adão Benvindo da Luz e Salvador Luiz M. de Almeida</i>	

11. ARGILA - BENTONITA	239
<i>Adão Benvindo da Luz e Cristiano Honório de Oliveira</i>	

12. ARGILA - CAULIM	255
<i>Adão Benvindo da Luz, Antônio Rodrigues de Campos, Eduardo Augusto de Carvalho, Luis Carlos Bertolino e Rosa Bernstein Scorzelli</i>	
13. BARITA	295
<i>Adão Benvindo da Luz e Carlos Adolpho Magalhães Baltar</i>	
14. BAUXITA	311
<i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Achilles Junqueira Bourdot Dutra</i>	
15. BERILO	339
<i>Marcelo Soares Bezerra e Júlio de Rezende Nesi</i>	
16. CALCÁRIO E DOLOMITO	363
<i>João Alves Sampaio e Salvador Luiz Matos de Almeida</i>	
17. CIANITA REFRACTÁRIA	389
<i>Caroline Meira Lopes de Castro Joffily e Claudinei Gouveia de Oliveira</i>	
18. CROMITA	403
<i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Paulo Renato Perdigão Paiva</i>	
19. DIAMANTE	427
<i>Mario Jorge Costa e Adão Benvindo da Luz</i>	
20. DIATOMITA	451
<i>Silvia Cristina Alves França, Adão Benvindo da Luz e Paulo Francisco Inforçati</i>	
21. FELDSPATO	467
<i>Adão Benvindo da Luz, Fernando A. Freitas Lins e José Mario Coelho</i>	
22. FLUORITA	487
<i>João Alves Sampaio, Carlos Adolpho Magalhães Baltar e Mônica Calixto de Andrade</i>	
23. GIPSITA	505
<i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, Flavia de Freitas Bastos e Adão Benvindo da Luz</i>	
24. GRAFITA	527
<i>João Alves Sampaio, Paulo Fernando Almeida Braga e Achilles Junqueira Bourdot Dutra</i>	
25. HALITA	551
<i>Paulo Roberto Cabral de Melo, Renato Senna de Carvalho e Dorival de Carvalho Pinto</i>	

26. LÍTIU	585
<i>Paulo Fernando Almeida Braga e João Alves Sampaio</i>	
27. MAGNESITA	605
<i>Luís Rodrigues Armôa Garcia, Paulo Roberto Gomes Brandão e Rosa Malena Fernandes Lima</i>	
28. MANGANÊS	633
<i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade, Achilles Junqueira Bourdot Dutra e Márcio Torres Moreira Penna</i>	
29. MICA	649
<i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, João Alves Sampaio e Patrícia Maria Tenório Cavalcante</i>	
30. NEFELINA SIENITO	663
<i>João Alves Sampaio, Sílvia Cristina Alves França e Paulo Fernando Almeida Braga</i>	
31. QUARTZO	681
<i>Pedro Luiz Guzzo</i>	
32. RMIS: ROCHAS E MINERAIS PARA CERÂMICA DE REVESTIMENTO	723
<i>Mônica Calixto de Andrade, João Alves Sampaio, Adão Benvindo da Luz e Alberto Buoso</i>	
33. RMIS: ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA	747
<i>Marsis Cabral Junior, José Francisco Marciano Motta, Amilton dos Santos Almeida e Luiz Carlos Tanno</i>	
34. RMIS: ARGILA PLÁSTICA PARA CERÂMICA BRANCA	771
<i>José Francisco Mariano Motta, Adão Benvindo da Luz, Carlos Adolpho Magalhães Baltar, Marcelo Soares Bezerra, Marsis Cabral Júnior e José Mario Coelho</i>	
35. TALCO	793
<i>Ivan Falcão Pontes e Salvador Luiz Matos de Almeida</i>	
36. TERRAS-RARAS	817
<i>Simon Rosental</i>	
37. TITÂNIO: MINERAIS DE TITÂNIO	841
<i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Dorival de Carvalho Pinto</i>	
38. VERMICULITA	865
<i>José Fernandes de Oliveira Ugarte, João Alves Sampaio e Sílvia Cristina Alves França</i>	
39. ZEOLITAS NATURAIS	889
<i>Nélio das Graças de Andrade da Mata Resende, Marisa Bezerra de Mello Monte e Paulo Renato Perdigão Paiva</i>	
40. ZIRCONITA	917
<i>Luiz Carlos Bertolino, Nely Palermo, João Alves Sampaio e Sílvia Cristina Alves França</i>	

**PARTE III: OS MINERAIS E O MEIO AMBIENTE**

41. MINERAIS APLICADOS À TECNOLOGIA AMBIENTAL: MINERAIS VERDES 933  
*Silvia Cristina Alves França, José Fernandes de Oliveira Ugarte e Adriana de A. Soeiro da Silva*
42. EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL E AMBIENTAL A POEIRAS DE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS 961  
*Zuleica Carmen Castilhos, Reiner Neumann e Olívia Bezerra*

**GLOSSÁRIO**

# CAPÍTULO 23

## Gipsita

Carlos Adolpho Magalhães Baltar<sup>1</sup>

Flavia de Freitas Bastos<sup>2</sup>

Adão Benvindo da Luz<sup>3</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

O mineral gipsita é um sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), que ocorre em diversas regiões do mundo e que apresenta um amplo e diversificado campo de utilizações. O grande interesse pela gipsita é atribuído a uma característica peculiar que consiste na facilidade de desidratação e rehidratação. A gipsita perde 3/4 da água de cristalização durante o processo de calcinação, convertendo-se a um sulfato hemidratado de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) que, quando misturado com água, pode ser moldado e trabalhado antes de endurecer e adquirir a consistência mecânica da forma estável rehidratada.

A gipsita pode ser utilizada na forma natural ou calcinada. A forma natural é bastante usada na agricultura e na indústria de cimento. Enquanto a forma calcinada, conhecida como gesso, encontra várias utilizações na construção civil, como material ortopédico ou dental etc.

O gesso, inicialmente usado em obras de arte e decoração, é um dos mais antigos materiais utilizados pelo homem, conforme atestam algumas importantes descobertas arqueológicas (Peres *et al.*, 2001; Domínguez e Santos, 2001). O gesso foi encontrado em ruínas do IX milênio a.C. na Turquia; em ruínas do VI milênio a.C. em Jericó e na pirâmide de Keops (2.800 anos a.C.), entre outras descobertas. O alabastro (gipsita com hábito fibroso) foi utilizado pelas civilizações antigas para confecção de esculturas e outras obras de artes. A existência de jazimentos de gipsita no Chipre, Fenícia e Síria foi apontada pelo filósofo Teofratos, discípulo de Platão e Aristóteles, em seu “Tratado sobre a Pedra”, escrito entre os Séculos III e IV a.C. Na Europa, o uso do gesso na construção civil popularizou-se a partir do século XVIII, quando também passou a

---

<sup>1</sup>Engº de Minas/UFPE, D.Sc. em Engenharia Metalúrgica e de Materiais/COPPE-UFRJ, Professor do Departamento de Engenharia de Minas/UFPE.

<sup>2</sup>Engº de Minas/UFPE, Indústria do Gesso-PE.

<sup>3</sup>Engº de Minas/UFPE, D.Sc. em Engenharia Mineral/USP, Pesquisador Titular do CETEM/MCT.

ser utilizado como corretivo de solos. O primeiro estudo científico dos fenômenos relacionados à preparação do gesso foi publicado por Lavoisier em 1768. A partir de 1885, o emprego do gesso na construção civil foi estimulado pela descoberta de processo para retardar o tempo de pega.

Atualmente, os maiores produtores mundiais de gipsita são: Estados Unidos da América (15,9%), Irã (10,0%), Canadá (8,6%), Tailândia (7,3%), Espanha (6,8%) e China (6,8%). O Brasil possui a maior reserva mundial (1,2 bilhão de toneladas), mas só contribui com 1,4% da produção mundial (Lyra Sobrinho *et al*, 2006).

O Estado de Pernambuco, que possui reservas abundantes de gipsita na região do Sertão do Araripe, envolvendo os Municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade, é responsável por 89,4% da produção de gipsita e por 81% da produção brasileira de gesso (Lyra Sobrinho *et al*, 2006). As jazidas do Araripe são consideradas as de minério de melhor qualidade no mundo e apresentam excelentes condições de mineração (relação estéril/minério e geomorfologia da jazida).

De acordo com informações do Sindusgesso (Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco), o Pólo Gesseiro de Pernambuco é formado por 18 minas em atividade, 69 unidades industriais de calcinação e 250 indústrias de pré-moldado, proporcionando cerca de 12 mil empregos diretos e cerca de 60 mil indiretos (Luz *et al*, 2001).

Em 2005 a produção brasileira de gipsita bruta foi de 1,58 milhões de toneladas. Estima-se que 60% foi calcinada para a produção de gesso, 34% foi usada na forma natural para produção de cimento e 6% foi utilizada como corretivo de solos (Lyra Sobrinho *et al*, 2006).

Apesar de ter crescido nos últimos anos, o consumo *per capita* de gesso no Brasil é bastante baixo se comparado com o que ocorre em outros países da América do Sul (Tabela 1), sendo esse um indicador importante do potencial de crescimento de consumo no país, nos próximos anos.

Tabela 1 – Consumo per capita de gesso em alguns países da América do Sul.

País	Consumo anual (kg/hab)
Chile	41
Argentina	21
Brasil	9,3

Fonte: Sindusgesso (2001).

## 2. MINERALOGIA E GEOLOGIA

### Mineralogia

Os minerais de sulfato de cálcio podem ocorrer na natureza nas formas di-hidratada (gipsita:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ), desidratada (anidrita:  $\text{CaSO}_4$ ) e, raramente, semi-hidratada (bassanita:  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ ). Esta é de difícil identificação e representa apenas cerca de 1% dos depósitos minerais de sulfato de cálcio (Jorgensen, 1994). A gipsita cristaliza no sistema monoclinico e pode se apresentar sob formas variadas:

- (i) Espato Acetinado: variedade com aspecto fibroso e brilho sedoso;
- (ii) Alabastro: variedade maciça, microgranular e transparente, usada em esculturas;
- (iii) Selenita: cristais com clivagens largas, incolores e transparentes.

A composição química teórica da gipsita é apresentada na Tabela 2. A Tabela 3 mostra as principais características físicas do mineral.

Tabela 2 – Composição química teórica do mineral gipsita.

Composto	Composição (%)
CaO	32,5
SO <sub>3</sub>	46,6
H <sub>2</sub> O	20,9

Tabela 3 – Propriedades físicas do mineral gipsita (Dana, 1976).

Propriedade Física	Característica
Cor	Variável, podendo ser incolor, branca, cinza e outras (dependendo das impurezas)
Brilho	Vítreo, nacarado ou sedoso
Dureza (Escala de Mohs)	2
Densidade	2,3
Hábito	Prismático
Clivagem	Em quatro direções
Morfologia e tamanho dos cristais	Varia de acordo com as condições e ambientes de formação

Nas jazidas do Araripe, em Pernambuco, ocorrem cinco variedades mineralógicas de gipsita, conhecidas na região com os nomes de: cocadinha (Figura 1), rapadura, Johnson, estrelinha, alabastro e selenita, além da anidrita. A utilização de cada uma dessas variedades depende do produto que se deseja obter (Baltar *et al.*, 2004b).



Figura 1 – Variedade de gipsita, utilizada para a produção de gesso  $\beta$ , conhecida no Araripe como cocadinha.

## Geologia

Os minerais gipsita e anidrita ocorrem em várias regiões do mundo, sendo encontrados em depósitos de origem evaporítica, cuja formação resulta da precipitação de sulfato de cálcio a partir de soluções aquosas concentradas e condições físicas favoráveis. A evaporação e, conseqüente, concentração do sal é favorecida em ambiente quente e seco (Velho, *et al.* 1998). Os depósitos de gipsita costumam apresentar, além da anidrita, contaminantes como: argilas, quartzo, carbonatos de cálcio e magnésio, cloretos e outros sulfatos (Jorgensen, 1994). Em geral, a produção é obtida a partir de minério com 80 a 95% de pureza.

As jazidas costumam apresentar camadas intercaladas de argilas, carbonatos, sílex e minerais evaporíticos tais como, halita e anidrita (Calvo, 2002). Em Pernambuco, as jazidas estão inseridas em domínios da Formação Santana, do Cretáceo Inferior, formada por siltitos, margas, calcários, folhelhos e intercalações de gipsita (Luz *et al.*, 2001). Devido à instabilidade da gipsita e da anidrita, as espécies inicialmente formadas podem sofrer transformações em sua composição e textura quando submetidas a diferentes condições de pressão e temperatura. A gipsita acumulada na superfície terrestre pode desidratar a determinada profundidade e transformar-se em anidrita. Por sua vez, a ocorrência de fenômenos geológicos, como movimento tectônico ou erosão, pode levar o depósito de anidrita a situar-se mais próximo à superfície, onde pode experimentar uma re-hidratação em contato com águas meteóricas e voltar à forma de gipsita, denominada secundária, com formas cristalinas distintas da anidrita e da gipsita original (Calvo, 2002).

A gipsita também pode ser encontrada em regiões vulcânicas, especialmente, onde o calcário sofreu ação dos vapores de enxofre. Nesse tipo de ocorrência, a gipsita aparece como mineral de ganga, nos veios metálicos, podendo estar associado a diversos minerais, sendo os mais comuns a halita, anidrita, dolomita, calcita, enxofre, pirita e o quartzo.

## 3. LAVRA E PROCESSAMENTO

### Lavra

A gipsita é obtida a partir de lavra subterrânea ou a céu aberto, utilizando métodos e equipamentos convencionais. Um detalhe importante que deve ser considerado é que a gipsita absorve parte da força do explosivo dificultando o

desmante. Devido a isso, na perfuração, os furos costumam ser programados com diâmetros entre 50 -100 mm e com pequeno espaçamento a fim de possibilitar uma distribuição mais densa dos explosivos. É comum o uso de explosivos à base de nitrato de amônia e óleo combustível na proporção de 1 kg/t de material desmontado (Jorgensen, 1994).

No caso das empresas que utilizam a lavra subterrânea, o método empregado é o de câmaras e pilares. Este método é empregado em diversos países, sendo freqüente nos EUA, onde 20% das reservas de gipsita são lavradas por este método.

No Brasil, o método de lavra empregado é a céu aberto, através de bancadas simples (Figura 2). Esse tipo de extração é recomendado para minerar corpos com conformações horizontais que permitam altas taxas de produção e baixos custos unitários de produção. O acesso à cava geralmente é feito através de uma rampa única. Na lavra da gipsita são empregados equipamentos como: rompedores hidráulicos, marteletes hidráulicos, *vagon drill*, tratores de esteira e pás mecânicas (Peres *et al.*, 2001).



Figura 2 – Frente de lavra de gipsita da Mineradora São Jorge no Pólo Gesseiro de Pernambuco.

Na Mineradora São Jorge, em Ouricuri-PE, as bancadas são desenvolvidas com cerca de 20 m de altura e talude de inclinação de 15°. O trabalho é mecanizado e a recuperação na lavra é de 90%. A relação estéril/minério é de 1:2. A espessura média do capeamento é de 13 m (Luz *et al.*, 2001). O desmonte é feito por explosivo. O carregamento de explosivos segue um “plano de fogo” que determina um afastamento de 2,2 m e um espaçamento de 5 m. As cargas de coluna e de fundo, por furo, são de 78 kg e de 5 kg, respectivamente.

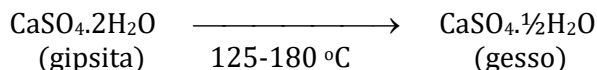
### Processamento

O beneficiamento da gipsita, em geral, resume-se a uma seleção manual, seguida de britagem, moagem e peneiramento. É comum o uso de britadores de mandíbula e moinhos de martelo. Em alguns casos, a britagem é realizada em dois estágios, em circuito fechado com peneiras vibratórias a seco. O produto resultante das operações de cominuição deve apresentar uma distribuição granulométrica uniforme, a fim de evitar uma desidratação desigual para as partículas de gipsita.

A gipsita moída pode passar por uma secagem em secadores rotatórios, a uma temperatura de, no máximo 49 °C, com o objetivo de remover o excesso de umidade e facilitar o manuseio da gipsita (Velho *et al.*, 1998).

Para produção de gesso, quando há necessidade de um produto final de melhor qualidade, é possível remover minerais de ganga, descartando-se a fração granulométrica com maior concentração de contaminantes, em geral, as argilas ou areia. Em alguns casos, usa-se uma operação de lavagem. A separação em meio denso é utilizada, para purificar a gipsita, em instalações de beneficiamento existentes no Canadá e Estados Unidos (Kebel, 1994). O emprego de processos com custos elevados como flotação, por exemplo, torna-se inviável devido à concorrência de jazidas com elevado grau de pureza.

A gipsita tem a propriedade de perder e recuperar a água de cristalização. No processo de calcinação, a uma temperatura entre 125 °C e 180 °C, a gipsita perde parte da água de cristalização e assume a forma de hemidrato (gesso).



A desidratação total da gipsita ocorre em temperaturas acima de 180 °C e resulta nas diferentes formas de anidrita (CaSO<sub>4</sub>) (Calvo, 2003):

- (i) Entre 180 e 250 °C forma-se a anidrita III, também conhecida como anidrita ativa, um produto solúvel, instável e ávido por água, que pode absorver umidade atmosférica e passar à forma de hemidrato. Essa propriedade torna a anidrita III um produto com características apropriadas para uso como acelerador de tempo de presa (tempo de pega);
- (ii) Na faixa de temperatura entre 300 e 700 °C obtém-se a anidrita II, um produto totalmente desidratado, insolúvel, com natureza mineralógica semelhante à anidrita natural;
- (iii) Entre as temperaturas de 700 e 900 °C forma-se um produto inerte, sem aplicação industrial;
- (iv) A partir dos 900 °C ocorre a dissociação do sulfato de cálcio com formação do CaO livre.

No pólo gesseiro de Pernambuco são encontrados cerca de 400 fornos em atividades, com predominância de fornos dos tipos panela, marmitta vertical, marmitta horizontal e o rotativo de queima indireta (Figura 3). Em geral, os fornos são fabricados na própria região (Bastos e Baltar, 2003).



Figura 3 – Forno do tipo rotativo horizontal de queima indireta utilizado no pólo gesseiro do Araripe.

O processo de calcinação pode ser realizado em diferentes tipos de fornos, os quais devem assegurar uma distribuição e desidratação regular do material. A calcinação pode ser obtida por via seca ou por via úmida. O processo pode ser direto (quando os gases de combustão entram em contato com a gipsita) ou indireto (em fornos tubulares dotados de cilindros concêntricos, onde os gases quentes circulam no cilindro interno e o minério no cilindro externo). O funcionamento pode ser intermitente (batelada) ou contínuo.

A calcinação da gipsita pode ocorrer em fornos sob pressão atmosférica ou em autoclaves, obtendo-se os tipos conhecidos como gesso  $\beta$  e gesso  $\alpha$ , respectivamente, ambos com uma ampla variedade de aplicações industriais. O preço de hemidrato  $\alpha$  é cerca de 6 vezes maior do que o do hemidrato beta (Regueiro e Lombardero, 1997).

A produção de gesso  $\beta$  é obtida a partir das espécies cocadinha, rapadura e estrelinha (Baltar *et al.* 2006). O processo consiste, essencialmente, nas etapas de catação manual, britagem, moagem e calcinação em fornos sob pressão atmosférica. Esses fornos operam a uma temperatura entre 125 e 160 °C. Nessas condições, a água de cristalização é liberada, rapidamente, formando cristais mal formados e porosos, resultando em um produto que se caracteriza pela forma irregular e natureza esponjosa dos seus cristais. Dentre os tipos de gesso  $\beta$ , destacam-se os de fundição (tipo A) e os de revestimento manual (tipo B), sendo ambos produzidos no Brasil sem a adição de aditivos químicos (Baltar *et al.* 2004a). Os produtos dos tipos A e B são diferenciados pelo tempo de pega, definido como o tempo necessário para que o gesso (ao ser misturado com a água) complete seu ciclo de endurecimento. O tempo de pega que se deseja para o produto é controlado através do processo de calcinação.

Na empresa INGESEL, o minério ainda na mina, passa por um processo de catação manual onde a espécie conhecida como “boro” (gipsita misturada com argila) é separada das espécies conhecidas como cocadinha, rapadura e estrelinha (denominadas em conjunto como minério A). O “boro” é britado, e rebritado, antes de ser utilizado como “gesso” agrícola. O minério tipo A passa por um britador de mandíbula, por um moinho de martelos e, em seguida, é calcinado em forno rotativo, de queima indireta, para produção de gesso  $\beta$ .

Por sua vez, utiliza-se a variedade mais pura de gipsita, a pedra Johnson, para a produção do gesso  $\alpha$  (Baltar *et al.* 2006). A calcinação é realizada em equipamentos fechados a uma pressão maior que a atmosférica (autoclave). Nessas condições, a modificação da estrutura cristalina do gesso resulta em um

produto mais homogêneo e menos poroso (Phillips, 1986). Como consequência, após a mistura com água, obtém-se um produto mais duro, com maior resistência mecânica e menor consistência. A menor consistência possibilita a trabalhabilidade da mistura com uma menor relação água/gesso. O gesso  $\alpha$  é caracterizado por apresentar cristais compactos, regulares e resistentes. O hemidrato  $\alpha$ , sendo um produto de melhor qualidade, tem maior valor comercial e é utilizado em aplicações mais nobres do que o hemidrato  $\beta$ . O processo de calcinação em autoclave pode ser a seco (Mineradora São Jorge) ou a úmido (Supergesso).

Na Mineradora São Jorge, o minério é colocado em um pátio (Figura 4) onde passa por um processo de catação manual, com base no número de faces contaminadas. O material com mais de uma face contaminada (cerca de 1/3 da massa do minério) é utilizado na fabricação de cimento. Enquanto o material selecionado, com maior grau de pureza, é reduzido manualmente com o auxílio de marreta, a uma granulometria entre 7,5 e 20 cm. Depois passa por uma lavagem e segue para a etapa de calcinação a seco, em autoclave com 11 m<sup>3</sup> e capacidade para 5 toneladas de minério (Luz *et al.*, 2001). Após a calcinação, o minério é moído e ativado pela adição de produtos químicos em misturador.



Figura 4 – Pátio de catação manual da gipsita da Mineradora São Jorge em Ouriciri-PE.

Por sua vez, na Supergesso adota-se o processo de calcinação a úmido. A gipsita é britada e moída antes da calcinação. Uma polpa com 45% de gipsita e 55% de água é formada e aquecida em tanque de preparação a 75 °C, por um sistema de serpentinas de óleo. Em seguida, a polpa aquecida alimenta a autoclave, com temperatura que varia de 108 a 120 °C, onde é feita a adição de produtos químicos.

Nos processos a seco, em ambos os casos (produção de gesso  $\alpha$  ou gesso  $\beta$ ), depois da calcinação, o gesso é transferido para um silo de repouso, onde ocorre o resfriamento. A seguir, se houver necessidade, o produto é moído e misturado a aditivos, antes do ensacamento.

Os aditivos utilizados são perlita, vermiculita, areia ou calcário e/ou produtos químicos, que são usados em pequenas proporções para modificar propriedades específicas do produto. Os aditivos podem ter diferentes funções (Domínguez e Santos, 2001; Peres *et al.*, 2001):

- (i) modificador de tempo de pega (acelerador ou retardador): usados para adequar o tempo de pega (também conhecido como tempo de presa). Esses aditivos também costumam ter influência sobre outras propriedades do gesso, como a expansão de presa, ou seja, a expansão da massa durante a hidratação do hemidrato (Phillips, 1986). Como exemplos de aditivos comumente usados com essa finalidade, podem ser citados o sulfato de potássio (acelerador) e o bórax (retardador);
- (ii) espessantes: usados para aumentar a consistência da pasta de gesso. O amido pode ser utilizado com essa finalidade;
- (iii) retentores de água: usados com o objetivo de garantir uma recristalização homogênea e eficiente da pasta de gesso. Reagentes derivados de ésteres de celulose costumam ser utilizados com essa finalidade;
- (iv) fluidificantes: usados para possibilitar a redução da quantidade de água durante o empastamento. A redução da relação água/gesso contribui para o aumento da resistência mecânica da peça obtida após o endurecimento da pasta. O carbonato de cálcio, adicionado em pequena quantidade, pode exercer essa função;
- (v) impermeabilizantes: são produtos que provocam a obstrução dos poros da massa de gesso proporcionando um certo grau de impermeabilidade à água;

- (vi) umectantes: usados para evitar o surgimento de grumos indesejáveis, durante a preparação da pasta de gesso;
- (vii) aerantes: usados em situações onde se deseja incorporar ar nas pastas de gesso;
- (viii) reforçadores de aderência: aditivos à base de polímeros sintéticos solúveis em água são usados quando há necessidade de aumentar a aderência das pastas de gesso.

#### 4. USOS E FUNÇÕES

Devido às suas características peculiares, a gipsita, nas formas natural e calcinada, encontra aplicação em uma série de atividades industriais.

A forma natural da gipsita é amplamente utilizada na fabricação de cimento *portland* e na agricultura. Na indústria cimenteira, a gipsita é adicionada ao *clínquer* durante a moagem, na proporção de 2 a 5%, para retardar o tempo de pega do cimento. Na agricultura, a gipsita pode atuar como: (i) agente corretivo de solos ácidos, como fonte de cálcio; (ii) como fertilizante em culturas específicas como amendoim, batatas, legumes e algodão e (iii) como condicionador de solos, aumentando a permeabilidade, a aeração, a drenagem, a penetração e retenção da água (Velho *et al.*, 1998).

O campo de utilização do hemidrato (gesso) pode ser dividido em dois grandes grupos: o gesso para construção civil e o gesso industrial.

O gesso empregado na construção civil é obtido a partir de um minério com grau de pureza superior a 75% (Dominguez e Santos, 2001). A calcinação produz um hemidrato  $\beta$  que, dependendo do processo, pode ser do tipo A (gesso de fundição) ou do tipo B (gesso de revestimento). A partir desses tipos de gesso são obtidos diferentes produtos:

- (i) gesso de fundição utilizado para a confecção de pré-moldados (fabricados simplesmente com gesso ou como placas de gesso acartonado);
- (ii) placas para rebaixamento de tetos, com produção artesanal (Figura 5) ou em plantas modernas com máquinas automáticas com sistemas de alimentação de pasta;

- (iii) blocos para paredes divisórias;
- (iv) gesso para isolamento térmico e acústico (produto misturado com vermiculita ou perlita);
- (v) gesso para portas corta fogo;
- (vi) gesso de revestimento de aplicação manual, utilizado para paredes e tetos, geralmente em substituição de rebocos e/ou massas para acabamento;
- (vii) gesso de projeção, para aplicação mecanizada de revestimento de parede;
- (viii) gesso com pega retardada, para aplicação de revestimento manual;
- (ix) gesso cola, para rejunte de pré-moldados em gesso;



Figura 5 – Fábrica de placas com produção artesanal no pólo gessoiro de Araripe.

O gesso industrial é um produto de maior pureza e valor agregado, podendo ser obtido a partir dos hemidratos  $\alpha$  ou  $\beta$ , dependendo da aplicação (Regueiro e Lombardero, 1997):

- (i) Cerâmica: A pasta obtida a partir da rehidratação do hemidrato  $\alpha$  (ou mistura de hemidratos  $\alpha$  e  $\beta$ ) tem importante uso na produção de moldes e matrizes para enchimento com barbotinas na produção de porcelana, cerâmica sanitária, grés etc. Na preparação dos moldes costuma-se formar uma mistura com 78 a 90 partes de água para 100 partes de gesso;
- (ii) Indústria do Vidro: O gesso é utilizado como fonte de cálcio e de enxofre em substituição ao sulfato de sódio;
- (iii) Carga Mineral: O gesso tem sido utilizado como carga de alta qualidade ou diluente na fabricação de papel, plásticos, adesivos, tintas, madeira, têxteis e alimentos entre outros materiais. Algumas das características do gesso são importantes para esse uso como: inércia química; pouca abrasividade; baixo preço; baixo peso específico; alto índice de refração; absorção de óleo adequada; elevado grau de brancura; poder opacificante; baixa demanda de ligantes e compatibilidade com pigmentos e outras cargas minerais (Rivero, 1997). Em geral, o gesso carga é produzido a partir do hemidrato do tipo  $\beta$ . No caso do uso na indústria do papel, o gesso confere ao papel uma estrutura aberta e porosa, o que resulta em elevada absorção de tinta e rápida secagem. O uso da gipsita como carga mineral, em outros países, representa um importante mercado consumidor para o produto beneficiado (Jorgensen, 1994; Kebel, 1994);
- (iv) Indústria Farmacêutica: O gesso possui características favoráveis ao uso farmacêutico, como facilidade de compressão e desagregação. Por isso, é utilizado como diluente em pastilhas prensadas e cápsulas ou na preparação de moldes (Velho *et al.*, 1998). O gesso para uso farmacêutico tem elevado valor comercial, devendo atender às normas e especificações exigidas para produtos de alimentação e remédios (Fernández, 1997);
- (v) Decoração: Utilizado para confecção de elementos decorativos como estatuetas e imagens, sendo obtido a partir do gesso beta de fundição;
- (vi) Escolar (giz): Utilizado em salas de aula e produzido a partir do gesso  $\beta$  de fundição, com o uso de aditivos;
- (vii) Ortopédico: Obtido a partir do gesso  $\alpha$ , após a adição de produtos químicos;

- (viii) Dental: Usados para confecção de moldes e modelos. Pode ser dos tipos III e IV. Ambos obtidos a partir do gesso  $\alpha$ , após a adição de produtos químicos. O gesso dental do tipo IV constitui-se no produto mais nobre do gesso, apresentando elevada resistência mecânica, excelente trabalhabilidade, baixa consistência e menor expansão;
- (ix) Bandagens de alta resistência: Produto obtido a partir do gesso alfa;
- (x) Outros Usos: Indústria automobilística, fabricação de fósforos, fabricação de cerveja, indústria eletrônica etc.

A obtenção de cada uma dessas variedades de produto requer condições específicas com relação ao tipo de gipsita, tipo de forno, condições de calcinação e tratamento posterior.

No pólo gesseiro da região do Araripe, o gesso de fundição (tipo A) e de revestimento (tipo B) são produzidos sem a adição de produtos químicos. A partir do gesso  $\beta$  dos tipos A e B, considerados gessos básicos, são produzidos outros tipos de gessos para aplicações específicas: gesso cola; gesso projetado; gesso com pega retardada; gesso cerâmico; argamassa auto nivelante; giz. Além dos gessos cerâmico, ortopédico e dental, obtidos a partir do gesso  $\alpha$  (Baltar *et al.*, 2004a). Em cada caso, o processo envolve o uso de aditivos (agregados, produtos químicos, corantes etc.).

No Brasil, cerca de 40% da gipsita produzida, em 2005 (Lyra Sobrinho *et al.*, 2006), foram consumidas *in natura* pela indústria cimenteira (34%) e uso agrícola (6%), enquanto 60% foram utilizadas nas calcinadoras para a produção de gesso. A Tabela 4 mostra as aplicações do total do gesso produzido em 2001 (Luz *et al.*, 2001).

Tabela 4 – Principais usos comerciais do gesso no Brasil.

Usos	Consumo (%)
Pré-moldado	61
Revestimento	35
Moldes cerâmicos	3
Outros usos	1

Fonte: Sindusgesso (2001).

## 5. ESPECIFICAÇÕES

### Gesso para construção civil

A utilização do gesso na construção civil é regulada pela norma NBR – 13207: Gesso para Construção Civil, de outubro de 2004. Para a aplicação dessa norma é necessário consultar:

- (i) NBR 12127 – Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas do pó – Método de ensaio.
- (ii) NBR 12128 – Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas da pasta – Método de Ensaio.
- (iii) NBR 12129 – Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas da pasta – Método de Ensaio.
- (iv) NBR 12130 – Gesso para construção – Determinação de água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico – Método de ensaio.

A norma define gesso para construção como: “Material moído em forma de pó, obtido da calcinação da gipsita, constituído predominantemente de sulfato de cálcio, podendo conter aditivos controladores de tempo de pega”. A Tabela 5 apresenta as exigências da NBR – 13207, com relação às propriedades químicas do gesso para uso em construção. As Tabelas 6 e 7 apresentam as especificações relacionadas às propriedades físicas e mecânicas.

Tabela 5 – Especificações químicas para uso de gesso na construção de acordo com a NBR-13207.

Determinações	Limites (%)
Água livre	1,3 (máx.)
Água de cristalização	4,2 – 6,2
Óxido de cálcio (CaO)	39,0 (mín)
Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	53,0 (mín)

Tabela 6 – Exigências com relação às propriedades físicas e mecânicas do gesso para uso em construção.

Determinações físicas e mecânicas	Norma	Llimite
Resistência à compressão (MPa)	NBR-12129	> 8,40
Dureza (MN/m <sup>2</sup> )	NBR-12129	> 30
Massa Unitária (kg/m <sup>2</sup> )	NBR-12127	> 700

Tabela 7 – Exigências com relação às propriedades granulométricas do gesso para uso em construção.

Classificação do gesso	Tempo de pega (min) (NBR - 12129)		Módulo de finura (NBR - 12127)
	início	fim	
Gesso fino para revestimento	> 10	> 45	< 1,10
Gesso grosso para revestimento	> 10	> 45	> 1,10
Gesso fino para fundição	4-10	20-45	< 1,10
Gesso grosso para fundição	4-10	20-45	> 1,10

O gesso cola utilizado na construção civil é definido pela ABNT como um gesso “destinado à colagem entre si de elementos pré-moldados de gesso na execução de fechamentos (paredes e tetos), construído essencialmente de gesso e pequenas quantidades de aditivos (retentores de água, reguladores de pega, agentes de consistência, entre outros), podendo conter também cargas inativas”. As Tabelas 8, 9 e 10, a seguir, apresentam as especificações para o gesso cola.

Tabela 8 – Especificações de granulometria para o gesso cola.

Peneira ABNT (nº)	Abertura (mm)	Material passante (%)
40	0,42	100
80	0,18	> 95

Tabela 9 – Especificações químicas para uso de gesso cola na construção civil.

Composto	Limites (%)
Anidrido Sulfúrico (em SO <sub>3</sub> )	> 50
Óxido de Cálcio (em CaO)	> 35

Tabela 10 – Especificações com relação às propriedades físicas e mecânicas da pasta do gesso cola para uso em construção civil de acordo com a NBR 12128.

Determinações	Limites	
Tempo de Pega (min)	início	> 60
	fim	> 80
Consistência (mm)	30 - 36	
Retenção de água (%)	> 90	
Resistência à tração no arrancamento (MPa)	> 0,3	

### Gipsita para agricultura

A Tabela 11 mostra as especificações pelo Ministério da Agricultura, para uso agrícola da gipsita.

Tabela 11 – Especificações para o uso agrícola da gipsita, de acordo com o Ministério da Agricultura.

Determinações	Limites
Passante em peneira de 10 malhas	95% (mín.)
Passante em peneira de 50 malhas	50% (mín.)
Teor de cálcio	16% (mín.)
Teor de enxofre	13% (mín.)

### Gessos especiais

Atualmente, no Brasil, ainda não há normas oficiais para os usos especiais do gesso. As Tabelas 12 a 14 apresentam exigências internacionais para o uso de gesso dental, farmacêutico e carga mineral na fabricação de papel, plásticos, adesivos e outros.

Tabela 12 – Especificações exigidas para o gesso dental (Rivero, 1997).

Propriedade	Limite
Pureza	100%
Expansão de presa	< 0,3%
Resistência à compressão	> 20,5 MN/m <sup>2</sup>
Tempo de pega	2 - 20 minutos (*)
Granulometria	> 600 µm, 0,25% (máx.)

(\*) depende da utilização.

O gesso dental deve ainda resistir ao teste da água fervente, por 1 hora, sem deixar gretas ou fissuras e não pode causar reações tóxicas sobre os usuários.

Tabela 13 – Especificações exigidas para o gesso utilizado para fins farmacêuticos (Rivero, 1997).

Propriedade	Exigência
Pureza	99% (mín.)
Cor (alvura ISO)	89% (mín.)
Granulometria (µm)	> 150: 2,5% (máx.) 150 a 75: 10-25% < 75: 72,5-90%
Composição química	As: < 3 ppm Se: < 30 ppm F: < 30 ppm Fe: < 100 ppm Pb: < 10 ppm metais pesados: < 10 ppm

Tabela 14 – Especificações exigidas para o gesso utilizado como carga mineral em diversas aplicações industriais (Rivero, 1997).

Propriedade	Exigência
Pureza	98,7% (mín.)
Alvura (ISO)	> 91%
Índice de refração	1,54
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	2,6
Abrasividade (mg)	10 a 14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,06 (máx.)
SiO <sub>2</sub> (%)	0,14 (máx.)
Granulometria (µm)	> 53 (1% max.)

## 6. MINERAIS E MATERIAIS ALTERNATIVOS

O consumo de gipsita para fabricação de cimento é restrito à região nordeste, exceto no caso da produção de cimentos especiais. Isso se deve ao elevado custo do frete motivado pela grande distância que separa o pólo gesseiro do Araripe das fábricas de cimento de outras regiões do país.

Nas fábricas de cimento das regiões sul e sudeste, a gipsita natural é substituída pelo fosfogesso, um subproduto obtido nos processos de produção de ácido fosfórico, nas indústrias de fertilizantes fosfatados. Algumas empresas da região sudeste utilizam o sulfato de sódio proveniente das salmouras obtidas em salinas (Lyra Sobrinho *et al.*, 2004).

No uso agrícola, a gipsita (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) complementa o uso do calcário, sendo importante nas camadas mais profundas (20 a 40 cm), devido à sua maior solubilidade se comparada ao calcário.

Por sua vez, o uso da gipsita/gesso como carga mineral em papel, plásticos, adesivos, tintas e outras aplicações industriais têm a concorrência do caulim e do carbonato de cálcio, entre outros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F. e LUZ, A. B. (2004). Diagnóstico do pólo gesseiro de Pernambuco (Brasil) com ênfase na produção de gipsita para fabricação de cimento. In: IV Jornadas Iberoamericanas de Materiales de Construcción, Anais. Tegucigalpa, Honduras.
- BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F. e LUZ, A. B. (2006). Minería y calcinación em el pólo yesero de Pernambuco (Brasil). Boletín Geológico y Minero, 117 (4): 695-702, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F. e BORGES, L. E. P. (2004). Variedades Mineralógicas e Processos Utilizados na Produção dos Diferentes Tipos de Gesso. In.: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Anais. Florianópolis.
- BASTOS, F. F. e BALTAR, C. A. M. (2003). Avaliação dos Processos de Calcinação para Produção de Gesso Beta. In: XLIII Congresso Brasileiro de Química. Anais. Ouro Preto-MG, p. 329.
- CALVO, J. P. (2003). Yeso. Curso Internacional de Técnico Especialista em Rocas y Minerales Industriales. Ilustre Colégio Oficial de Geólogos, Madrid, 16p.
- DANA – HURLBUT (1976). Manual de Mineralogia. Editora da Universidade de São Paulo.
- DOMÍNGUEZ, L. V. e SANTOS, A. G. (2001). Manual Del Yeso. Madrid: Asociación Técnica y Empresarial del Yeso (ATEDY), 267p.
- FERNÁNDEZ, L. R. (1997). Boletim de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. 36, 6, p. 591-598.
- JORGENSEN, D. B. (1994). Gypsum and Anhydrite. In: Industrial Minerals and Rocks, 6ª Edição. Carr, D. D. (Editor). Society for Mining, Metallurgy and Exploration, p. 571-581.
- KEBEL, H. L. (1994). Gypsum Plasters and Wallboards. In: Industrial Minerals and Rocks. 6ª Edição. Carr, D. D. (Editor). Society for Mining, Metallurgy and Exploration, p. 325-336.

- LYRA Sobrinho, A. C. P.; AMARAL, A.J.R. e DANTAS, J.O.C. (2004). Gipsita. Sumário Mineral DNPM, p. 80-81.
- LYRA Sobrinho, A. C. P.; AMARAL, A. J. R. e DANTAS, J. O. C. (2006). Gipsita. Sumário Mineral DNPM, p. 175-178.
- LUZ, A. B.; BALTAR, C. A. M.; FREITAS, E. J. G e SILVA, A. P. (2001). Mineração São Jorge. In: Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil. Sampaio, J. A.; Luz, A. B. e Lins, F. A. F. (Editores). p. 241-249.
- PERES, L.; BENACHOUR, M. e SANTOS, W. A. (2001). O Gesso: Produção e Utilização na Construção Civil. Edições Bagaço. Recife, 156p.
- PHILIPS, R. W. (1996). Materiais Dentários de Skinner. Editora Guanabara, 8ª Edição. Capítulo 4. p. 45-56.
- REGUEIRO, M. y G-B e LOMBARDE, M. B. (1997). Innovaciones y avances em el sector de las rocas y minerales industriales. Ilustre Colégio Oficial de Geólogos de Espanha, Madrid, p. 67-68.
- RIVERO, L. F. (1997). Fabricación de productos de base yeso y sus aplicaciones industriales. Boletim de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. 36 (6), p. 591-598.
- VELHO, J.; GOMES C. e ROMARIZ, C. (1998). Minerais Industriais. Universidade de Aveiro, 591p.