

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. LÍTIÓ | 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 5

Areia Industrial

Adão Benvindo da Luz¹
Fernando A. Freitas Lins²

1. INTRODUÇÃO

Areia é um material com granulometria típica entre 0,5 e 0,1 mm resultante de desagregação natural ou cominuição de rochas, mais ou menos cimentadas. Os termos areia industrial, areia de quartzo, areia quartzosa ou mesmo areia de sílica (*silica sand*) são atribuídos geralmente a areias que apresentam alto teor de sílica, SiO₂, na forma de quartzo, e são materiais extremamente importantes em vários segmentos industriais: na fabricação de vidros e na indústria de fundição (em moldes), seus principais usos; bem como na indústria cerâmica, na fabricação de refratários e de cimento; na indústria química, fabricação de ácidos e de fertilizantes; no fraturamento hidráulico para recuperação secundária de petróleo e gás; como carga e extensores em tintas e plásticos etc.; e também em aplicações não industriais como horticultura e locais de lazer (Davis e Tepordei, 1985; Ferreira, 1997; BGS, 2004).

Quartzo, na forma de areia e arenito, é um dos minerais industriais mais comuns. É encontrado em todos os tipos de rocha, de todas as idades geológicas. Em qualquer parte do mundo, o quartzo é usado nas diferentes áreas que de certa forma estão ligadas ao nosso dia a dia, tais como o computador que usa o *chip*, a fibra óptica usada nas comunicações (Zdunczyc e Linckous, 1994); sem falar no vidro, o primeiro uso industrial da sílica, há mais de 4.000 anos (Davis e Tepordei, 1985), atualmente a principal utilização da areia de quartzo.

A sílica ocorre, na natureza, em duas formas: amorfa e cristalina. A amorfa é representada pela diatomita que consiste de uma matéria prima mineral de origem sedimentar, constituída a partir do acúmulo de carapaças de algas diatomáceas que se fossilizaram ao longo de períodos geológicos, pela deposição da sílica sobre sua estrutura (França e Luz, 2002). A sílica cristalina pode ser

¹Engº de Minas/UFPE, D.Sc. em Engenharia Mineral/USP, Pesquisador Titular do CETEM/MCT.

²Engº Metalúrgico/PUC-Rio, D.Sc. em Engenharia Metalúrgica e de Materiais/COPPE-UFRJ, Pesquisador Titular do CETEM/MCT; atualmente Diretor de Transformação e Tecnologia Mineral da SGM/MME.

encontrada, relativamente pura, na forma de cristal de rocha, veio de quartzo, areia não consolidada e consolidada como arenito e quartzito. Encontra-se ainda em outras formas, tais como: ágata, calcedônia, perlita, *tripoli*, sílex etc. (Hanson, 1995).

Devido às especificações, usos e preços, os produtores e consumidores de areia destinada ao uso como agregado na construção civil diferem bastante daqueles de areia industrial. As areias para construção são usadas por suas propriedades físicas, enquanto as areias industriais são valorizadas por suas propriedades físicas e químicas (BGS, 2004). Apresentando melhores preços (três a cinco vezes o da areia de construção), a areia industrial pode ser transportada a distâncias bem maiores. Por essas razões, os dois tipos são, de modo geral, abordados separadamente. Possivelmente, nenhum outro mineral tenha um uso tão diversificado como a areia de quartzo, devido à sua ocorrência comum em qualquer lugar da terra e também às suas propriedades, tais como dureza e resistência a altas temperaturas e a ações químicas.

Segundo o Anuário Mineral Brasileiro (DNPM, 2006), a produção de areia industrial beneficiada no Brasil, em 2005, foi de 4,6 Mt, com um valor em torno US\$ 13/t. O comércio internacional não é significativo. O Estado de São Paulo é de longe o maior produtor (78%), seguido por Santa Catarina (16%); os demais estados produtores com menos de 2%. O valor da produção de areia industrial em 2005 foi cerca de US\$ 60 milhões.

A produção mundial situa-se ao redor de 120 Mt. A título de comparação com o Brasil, a produção dos EUA em 2006 alcançou 31,9 Mt correspondendo a um valor de US\$ 800 milhões (USGS, 2007), com consumo aparente de 29,7 Mt. Verifica-se que o Brasil apresenta um consumo *per capita* de 25 kg, enquanto os EUA consomem aproximadamente 100 kg/hab ao ano. Este nível de consumo, oscilando entre 90 e 120 kg, foi alcançado a partir da década de 1920. O consumo mundial situa-se em 18 kg/hab.

Segundo Ferreira e Daitx (1997), havia no Estado de São Paulo 41 empresas produtoras de areia industrial. A maioria destas operando na região da Depressão Periférica Paulista e parte na Baixada Santista e região Sul-litorânea. As empresas mineradoras atuam, principalmente, nos municípios de Descalvado, Analândia, São Simão, São Pedro e Rio Claro, sendo responsáveis por cerca de 90% da areia industrial produzida no Estado de São Paulo.

Há 10 empresas produtoras de areia industrial no país. As unidades da Mineração Jundu nos municípios de Descalvado e Analândia (SP) e Viamão (RS) produziram, em 2005, cerca de 54% da produção brasileira (2,5 Mt), sendo a empresa o maior produtor de areia industrial do país, com produtos destinados, principalmente, aos mercados de fabricação de vidro, fundição, cerâmico e químico.

Existem, nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, algumas empresas lavrando e beneficiando areia industrial, com destaque para Santa Catarina (municípios de Araquari, Jaguaruna e Imbituba) com cerca de 80% de toda areia industrial produzida na Região Sul do Brasil. A areia industrial produzida nesse Estado abastece, na sua maioria (75%), as indústrias de fundição, principalmente as localizadas em Joinville. As minerações de areia nos Estados do Paraná (municípios de Campo Largo e Lapa) e do Rio Grande do Sul (município de Viamão) fornecem a maioria dos seus produtos para as indústrias cerâmicas e de vidro (Ferreira e Daitx, 2003).

2. MINERALOGIA E GEOLOGIA

As areias industriais são constituídas essencialmente de quartzo, tendo como impurezas óxidos de ferro, minerais pesados e argilas. As areias industriais variam bastante, em termos de propriedades físicas e composição química. São matérias primas minerais de origem secundária e aquelas de melhor qualidade industrial foram produzidas a partir de sedimentos arenosos, arenitos e quartzitos que sofreram concentração através de vários ciclos de deposição e erosão.

As areias industriais encontram-se no domínio dos sedimentos e das rochas sedimentares. Este ambiente reúne as condições para formação de extensos depósitos de areia, tais como: grandes volumes de quartzo nos sedimentos e rochas, ampla rede de bacias e elevada competência das drenagens etc. Neste contexto, encontram-se as bacias sedimentares do interior do cristalino, as bacias costeiras e as bacias hidrográficas (Azevedo e Ruiz, 1990). Segundo esses autores, as areias industriais exploradas estão associadas a pacotes rochosos definidos como formação geológica, a coberturas sedimentares ou a depósitos litorâneos.

No Estado de São Paulo, as áreas produtoras de areia industrial estão distribuídas em três unidades geológicas: i) formações Pirambóia e Botucatu; ii) coberturas cenozóicas e iii) depósitos arenosos litorâneos. As formações

Pirambóia e Botucatu caracterizam-se como sedimentos flúvio-eólicos e eólicos e são responsáveis pela maior atividade de produção de areia nesse Estado (Ferreira e Daitx, 1997). O horizonte superior da formação Pirambóia e inferior da formação Botucatu são constituídos por areias com alto teor de sílica, pouca argila, baixo teor de ferro e minerais pesados, distribuição granulométrica entre fina e média, distribuição granulométrica homogênea e elevado grau de arredondamento e esfericidade. Essas características naturais favorecem o aproveitamento dessas areias, após o beneficiamento, permitindo a obtenção de uma variedade de produtos com módulos de finura de 40-50 e 80-100, com uso nos diversos segmentos industriais. Segundo ainda aqueles mesmos autores, os horizontes dessas formações, que se encontram lixiviados (esbranquiçados), apresentam uma areia com baixo teor de ferro e, por isso, permite o seu uso na indústria vidreira e química. Os arenitos da formação Botucatu, não lixiviados, apresentam teor de ferro mais elevado e, em face disto, são usados na indústria de fundição.

3. LAVRA E PROCESSAMENTO

Lavra

As areias de quartzo são lavradas por diferentes métodos, dependendo do tipo de depósito. No caso dos depósitos não consolidados e cobertos por uma pequena lâmina d'água, a lavra é conduzida com o auxílio de dragas flutuantes. A draga usa uma tubulação de sucção para escavar a areia que é bombeada através de uma tubulação para uma pilha, em terra, ou diretamente para uma unidade de processamento. Quando o depósito apresenta lentes duras de argila, a tubulação de sucção é equipada com uma cabeça cortadora, de forma a facilitar a escavação do material, nas frentes de lavra, abaixo da lâmina d'água. Neste caso, poderão também ser usadas retro-escavadeiras (*draglines*); no entanto, estas apresentam custos operacionais e de manutenção mais elevados, além de menos eficientes (Zdunczyk e Linkous, 1994). Em algumas minerações no Sul do Brasil, a lavra é feita a céu aberto, em bancadas, com a extração da areia por retro-escavadeiras, seguido do transporte, por caminhões basculante, para a usina de beneficiamento (Ferreira e Daitx, 2003).

No caso da areia ser resultante do processamento de um quartzito, a lavra é feita a céu aberto com o auxílio de trator de esteira ou explosivos para aquelas lentes mais compactas. Este é o caso do depósito de quartzito, atualmente em lavra, no município de Queluz-SP.

De acordo ainda com Ferreira e Daitx (2003), no caso de depósitos de areia não consolidados ou pouco consolidados, e que se encontram acima da lâmina d'água ou do lençol freático, a lavra é feita com o auxílio de escavadeira hidráulica e pá carregadeira. A areia lavrada é estocada em pilha e, a seguir, alimentada em unidade de processamento.

As areias industriais das regiões produtoras do Estado de São Paulo são lavradas de diferentes formas. Antes de iniciar a lavra, a vegetação é retirada com uma pequena camada de solo (0,2 – 1 m), usando pá carregadeira e a seguir esse material é disposto em local adequado, para futura utilização, quando da reabilitação da área minerada. Nos municípios de Descalvado e Analândia, as empresas fazem a lavra a céu aberto (Figura 1), em bancadas com altura de 10 m e taludes de 45°-80°, usando escavadeiras e escarificador para a extração da areia. Esta, quando proveniente das bancadas inferiores (Formação Botucatu e Pirambóia), onde está intensamente lixiviada, destina-se à produção de areias para as indústrias de vidro de boa qualidade, cerâmica e química. A areia explotada da bancada superior (Cobertura Cenozóica), onde não ocorreu lixiviação, é destinada à produção de areias industriais para fundição. Da frente de lavra, as areias explotadas são transportadas para as unidades específicas de beneficiamento, onde são processadas, separadamente (Ferreira, 1997; Nava, 1997a).



Figura 1 – Lavra de areia a céu aberto na Mineração Jundu em Descalvado-SP.

Processamento

O processamento é variável em complexidade, em dependência das especificações requeridas. O processamento típico consiste de: (i) lavagem e classificação; (ii) atrição e (iii) peneiramento (Ferreira e Daitx, 2003; BGS, 2004).

A lavagem e a classificação por hidrociclones, a deslamagem, visam a remoção da fração siltico-argilosa, prejudicial ao processo de produção de vidros especiais ou moldes de fundição por conter alumínio, ferro e álcalis. Essa fração argilosa representa 20% da areia processada e normalmente é descartada para as lagoas, gerando um impacto ambiental (Ferreira e Daitx, 2003).

Especificamente, na areia tal qual explotada da Mineração Jundu, o teor da fração argila é em média 6%. Esta argila, removida da areia durante o processo de produção de areia industrial, é disposta em lagoas de sedimentação que compõem o processo de tratamento e recirculação da água industrial. Estas lagoas, após assoreamento total e adensamento da argila decantada, podem ser recobertas com solo e revegetadas, ou, no futuro, possivelmente, lavradas para a recuperação da argila beneficiada, cujo potencial de uso já foi comprovado, mas ainda sem viabilidade econômica. A areia, tal qual extraída, também contém uma fração grossa, da ordem de 10%, que se constituirá em agregados para construção civil e areias para filtragens.

A atrição é feita para limpar a superfície das partículas. A separação por tamanho em peneiras remove as frações grosseiras e finas, para a obtenção de um material com a distribuição granulométrica desejada. É prática mundial a mistura de diferentes areias, de qualidade superior e inferior, para otimizar o aproveitamento das reservas (BGS, 2004).

Para a produção de areias especiais, um processamento mais elaborado pode ser necessário para remoção de impurezas (minerais pesados como zircão, ilmenita, magnetita, cromita, entre outros); ou da própria superfície dos grãos de quartzo. A purificação por flotação ou por métodos gravíticos pode então ser empregada. A flotação em meio ácido é usada em duas usinas na Inglaterra, para remover minerais pesados. A lixiviação a quente, com ácido sulfúrico, é também praticada em três instalações naquele país, para limpar a cobertura ferrosa das partículas individuais (BGS, 2004).

Na Mineração Jundu (Figura 2), resumidamente, o beneficiamento da areia consta de: formação da polpa, desagregação em tromel, atrição, deslamagem em hidrociclones; peneiramento, desaguamento do produto em hidrociclones e secagem do produto final em leito fluidizado.

A Mineração Jundu também utiliza, como métodos de purificação complementares, a flotação, em Analândia-SP, e a separação magnética, em Descalvado-SP. Estas operações visam reduzir o teor de ferro de parte da areia destinada à indústria de vidro. A utilização de um ou outro método é determinada na fase de projeto da usina de beneficiamento, em função das características físico-químicas do minério que será beneficiado.

Areias especiais podem ser também recobertas com resinas aglomerantes, obtendo-se produtos de alto valor agregado. Esta areia resinada, cerca de 12 mil toneladas ao ano, alcança no Brasil preços 10 a 15 vezes maiores que aqueles praticados com as areias comuns de fundição. Para uso em alguns produtos cerâmicos, a areia de sílica é calcinada para converter o quartzo em cristobalita. Tanto a cristobalita como a areia de quartzo são finamente moídas para a obtenção de sílica *flour* de várias especificações (BGS, 2004).



Figura 2 – Vista da bacia de rejeito e usina de beneficiamento de areia da Mineração Jundu, Descalvado-SP.

4. USOS E FUNÇÕES

As areias industriais recebem suas denominações em função de suas aplicações na indústria, determinadas pelas suas características e propriedades, tais como teor de sílica, pureza, composição química, teor de óxidos de ferro, álcalis, matéria orgânica, perda ao fogo, umidade, distribuição granulométrica, forma dos grãos e teor de argila (Azevedo e Ruiz, 1990). As principais especificações técnicas, químicas, para os diferentes usos industriais da areia referem-se aos teores de: SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO_2 , MgO , CaO , TiO_2 e ZrO_2 . Quando se trata de usos específicos, os teores de Cr_2O_3 , Na_2O e K_2O devem também ser considerados (Ferreira e Daitx, 2000).

Nos EUA, a indústria de vidro responde por 35% do consumo de areia industrial, seguindo-se a fundição com 18%, fraturamento hidráulico com 14%, produtos para construção, 8%, abrasivos com 3%, e 22% em outros usos (USGS, 2007). No Brasil, em 2005, 39% foram destinados à fundição e 34% à fabricação de vidro; outros usos sendo argamassas para construção civil (9%); abrasivos (2%) (Anuário Mineral Brasileiro, 2006). Algumas das aplicações de areia industrial são apresentadas a seguir.

Vidro

A função da areia é fornecer SiO_2 ao vidro. Os grãos angulares da areia favorecem o processo de produção do vidro, pois a fusão se inicia nas pontas e arestas dos grãos (Nava, 1997b). A areia para a indústria de vidro deve apresentar um teor elevado de quartzo, baixo teor de ferro e de material refratário. Como a areia é o principal insumo na manufatura do vidro, a localização da jazida de areia, na maioria dos casos, influencia na escolha do local da fábrica (Shreve e Brink Jr., 1977).

Há muitos tipos de vidros, com diferentes propriedades. A maioria dos vidros comerciais usados no nosso cotidiano é produzida com três ingredientes principais, areia, cal e barrilha, que respondem por 90% das matérias-primas que alimentam os fornos de fabricação de vidro. O vidro normalmente contém 70-74% SiO_2 , sendo esta sílica provida principalmente pela areia industrial e, de modo crescente, por vidro reciclado (*cullets*). Os outros componentes, como CaO , MgO (na forma de dolomita) e Al_2O_3 (como minerais feldspáticos), são adicionados para conferir estabilidade e durabilidade ao vidro (Shreve e Brink Jr., 1977; BGS, 2004).

Os mais importantes produtos de vidro, em volume de produção, são os vidros planos, os vidros brancos de embalagem e os vidros coloridos de embalagem. Outras aplicações são na fabricação de bulbos de lâmpadas e tubos de luz fluorescente; telas de televisão e de computadores; fibra de vidro, entre muitas outras (BGS, 2004). No Brasil, a produção em 2006 alcançou 2,57 milhões t, assim distribuídas: vidros planos com 46%; embalagem, 38%; vidros especiais, 9,5%; e domésticos, 6,7% (Lins *et al.*, 2007).

Fundição

Na indústria de fundição, o metal ou liga é fundido em moldes nos quais a areia é usada como o principal material para sua confecção. A areia tem a função de resistir às solicitações térmicas, mecânicas e químicas a que estão submetidos os moldes, desde o vazamento do metal fundido até a solidificação das peças produzidas (Nava, 1997b). As propriedades físicas e químicas da areia são importantes e dependem de vários fatores, tais como do tipo de metal e de produto a ser fundido e do tipo de aglomerante utilizado. No passado, eram utilizadas areias contendo argilas, estas em quantidade suficiente para conferir plasticidade e resistência ao molde, funcionando como ligante. Atualmente, a demanda é por areias sem argilas (lavadas), com alto teor de sílica. Devem também apresentar uma distribuição granulométrica estreita e grãos com alta esfericidade. O agente ligante, uma argila (geralmente bentonita) ou resina, é adicionado e misturado à areia para a fabricação do molde (BGS, 2004).

Cerâmica e refratário

Na indústria cerâmica, a areia de quartzo moída é um componente essencial na formulação da massa e do esmalte de vários tipos cerâmicos, tais como: louça de mesa, louça sanitária, cerâmica de piso e de revestimento, refratários, cerâmica elétrica, vidrados/fritas e cadinhos de porcelana. O elevado uso da sílica na indústria cerâmica é atribuído à sua alta dureza, alta temperatura de fusão, baixo custo e a capacidade de formar vidros. A areia de quartzo tem como função fornecer SiO_2 à massa cerâmica e, algumas vezes, é substituída pelo quartzito. Como carga, sua função é reduzir a plasticidade, a deformação e o tempo de secagem, e aumentar a porosidade e a resistência mecânica, durante a queima (Ferreira e Daitx, 2000).

Tinta

Os formuladores de tinta selecionam as areias industriais para melhorar a aparência e durabilidade das tintas e coberturas industriais e arquiteturas. A areia de quartzo de alta pureza contribui para influenciar as propriedades de desempenho crítico, tais como alvura (*brightness*), consistência de cor, adsorção de óleo etc. Nas tintas denominadas arquiteturas, a areia de quartzo melhora a retenção, a durabilidade e a resistência à sujeira, ao mofo, à fissuração e ao intemperismo. Em coberturas marinhas e de manutenção, a durabilidade do quartzo confere excelente resistência à abrasão e à corrosão.

Borracha e Plástico

A areia de quartzo é utilizada na fabricação de sílica amorfa usada na fabricação de borracha. A brancura (*whiteness*), o baixo índice de absorção de óleo e a moabilidade para granulometrias específicas permitem que areia de quartzo seja usada como carga na indústria de plástico e borracha (Harben, 1995).

Filtração

Para esta finalidade, as areias são usadas no preparo de leitos (filtros) destinados à filtragem e purificação de águas e efluentes industriais. A areia para filtração deve ser isenta de impurezas (argilas, pó, materiais micácios ou orgânicos). Não há restrições ao formato dos grãos, no entanto é desejável que não sejam alongados ou planos. Grãos angulares ou arredondados propiciam porosidade e permeabilidades adequadas aos leitos de filtração. A areia deve apresentar tamanho uniforme e estar distribuída em faixas granulométricas estreitas.

Faturamento hidráulico

A areia com alto teor de sílica é utilizada no fraturamento hidráulico de rochas reservatório de poços de petróleo e gás. Um fluido, com areia em suspensão, é bombeado sob alta pressão na formação produtora de petróleo, com a finalidade de aumentar e criar novos poros na rocha. A seguir, o fluido é extraído da formação; no entanto a areia permanece, atuando como mantenedor dos poros da rocha abertos – propante (Harben e Kuzvart; 1996). Esta operação de fraturamento hidráulico tem como função aumentar a recuperação secundária de exploração do petróleo.

5. ESPECIFICAÇÕES

Vidro e fibra de vidro

A sílica é o principal óxido usado na formulação do vidro. Os fabricantes estabelecem as especificações requeridas da areia de quartzo, para cada tipo de vidro. Algumas especificações são muito observadas e impõem limites de impurezas para a areia de quartzo. Por exemplo, o teor de óxido de ferro é bastante crítico na fabricação de um vidro branco ou cristal. O ferro está presente na maioria das matérias primas usadas na formulação do vidro e se requer um controle dessa impureza, de forma a obter uma cor consistente no produto final (Zdunczyk e Linkus, 1995). Segundo ainda esses autores, os minerais pesados, como ilmenita, cianita, leucoxênio e zirconita, são impurezas que trazem problemas na formulação do vidro, uma vez que, sendo minerais refratários, não fundem ou fundem parcialmente, resultando em partículas na massa vítrea.

Qualquer tipo de areia de quartzo para vidro deve conter, pelos menos, 98,5% SiO_2 (acima de 99% para vidro plano) com um máximo de Fe_2O_3 em torno de 0,08% para vidro plano, 0,1% para fibra de vidro e 0,3% para vasilhames de vidro colorido. Há outros constituintes, cujas proporções são também rigidamente controladas: Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , ZrO_2 e Cr_2O_3 . A presença de cobre, níquel e cobalto, mesmo em níveis de traços, pode produzir cores e defeitos no vidro, tornando-o inaceitável (Harben e Kuzvart, 1996).

Nas Tabelas 1, 2 e 3 estão apresentadas especificações típicas para diferentes tipos de vidro, onde as percentagens apresentadas representam valores médios de diferentes empresas. Na Tabela 4, encontram-se as especificações de areia para a manufatura de fibra de vidro.

Tabela 1 – Composição química de areias de quartzo para vasilhame de vidro (%).

| Compostos | EUA | | | França | R.Unido |
|--------------------------------|------------|----------|------------|---------------|------------|
| | New Jersey | Oklahoma | Califórnia | Fontainebleau | Loch Aline |
| SiO ₂ | 99,66 | 99,73 | 92,76 | 99,65 | 99,73 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,025 | 0,02 | 0,127 | 0,02 | 0,013 |
| Al ₂ O ₃ | 0,143 | 0,09 | 3,779 | 0,06 | 0,057 |
| TiO ₂ | 0,027 | 0,012 | 0,034 | Nd | Nd |
| Cão | 0,007 | <0,01 | 0,06 | Nd | Nd |
| MgO | 0,004 | <0,01 | 0,017 | Nd | Nd |
| K ₂ O | - | - | 2,734 | - | - |
| Na ₂ O | - | - | 0,114 | - | - |
| P.F. | 0,13 | 0,14 | 0,373 | 0,13 | 0,04 |

Fonte: literatura das empresas, Harben e Kuzvart (1996).

Nd: não disponível.

Tabela 2 – Especificações de areia de quartzo para vidro plano.

| Especificações Químicas | |
|--------------------------------|-------------------------|
| SiO ₂ | 99,5% min. |
| Fe ₂ O ₃ | 0,04% max. |
| Al ₂ O ₃ | 0,30% max. |
| TiO ₂ | 0,10% max. |
| Cr ₂ O ₃ | 2,0 ppm max. |
| Co ₃ O ₄ | 2,0 ppm max. |
| MnO ₂ | 0,002 ppm max. |
| H ₂ O | 0,05% max. |
| Especificações Físicas | |
| granulometria (mm/malhas) | acumulado retido (%) |
| 1,18 / 14 | 0,0 |
| 0,850 / 20 | 0,01 max. |
| 0,425 / 35 | 0,10 max. |
| 0,106 / 150 | 92,0 min. |
| 0,075 / 200 | 99,5 min. |

Fonte: Zdunczyk e Linkous (1994).

Tabela 3 – Especificações de areia de quartzo para vasos de cristal.

| Especificações Químicas | |
|--------------------------------|-------------------------|
| SiO ₂ | 98,5% min. |
| Fe ₂ O ₃ | 0,035% max. |
| Al ₂ O ₃ | 0,5% max. |
| CaO + MgO | 0,2% max. |
| TiO ₂ | 0,03% max. |
| ZrO ₂ | 0,01% max. |
| H ₂ O | 0,10% max. |
| Cr ₂ O ₃ | 0,001% max. |
| Especificações Físicas | |
| granulometria (mm/malhas) | acumulado retido (%) |
| 0,850 / 20 | 0,0 |
| 0,600 / 30 | 4,0 máx. |
| 0,425 / 35 | 25,0 máx. |
| 0,106 / 150 | 95,0 min. |

Fonte: Zdunczyk e Linkous (1994).

Tabela 4 – Especificações de areia de quartzo para fibra de vidro.

| Especificações Químicas | |
|--------------------------------|-------------------------|
| SiO ₂ | 99,0% min. |
| Al ₂ O ₃ | 0,30% max. |
| Fe ₂ O ₃ | 0,50% max. |
| Na ₂ O | 0,10% max. |
| K ₂ O | 0,10% max. |
| LOI + H ₂ O | 0,50% max. |
| Especificações Físicas | |
| granulometria (mm/malhas) | acumulado retido (%) |
| 0,250/60 | 0,01 max. |
| 0,075/200 | 0,6 max. |
| 0,045/325 | 3,0 min. |

Fonte: Zdunczyk e Linkous (1994).

Fundição

Em termos de tonelagem consumida, a areia de quartzo para a fundição, ou seja, para a confecção de moldes de fundição, significa um mercado expressivo. Essa deve conter acima de 98% de SiO_2 e restrição quanto aos teores de CaO e MgO . Quanto maior o teor de óxidos alcalinos terrosos, especialmente CaO , mais ligante sintético será necessário para a fabricação dos moldes de fundição. (Zdunczyk e Linkous, 1995).

Uma análise típica de uma areia produzida em Araquari-SC, destinada às fundições de Joinvile-SC, destacando-se a Fundição Tupy, apresentou as características seguintes (Ferreira e Daitx, 2003): teor de SiO_2 , 99,6%; de argila, 0,15%; módulo de finura, 55 AFS (American Foundry Society).

Uma areia de quartzo deve ser caracterizada para se avaliar se é adequada para confecção de molde de fundição. A caracterização envolve determinar a distribuição granulométrica, teor de partículas menores do que 0,020 mm, superfície específica real, permeabilidade base, demanda de ácido, análise química e expansão por choque térmico. A partir dessas medições, determinam-se os índices derivados: módulo de finura (AFS-American Foundry Society), superfície específica teórica, o coeficiente de angularidade e outros parâmetros também importantes para caracterização de uma areia, tais como aspectos de superfície dos grãos obtidos ao microscópio eletrônico de varredura (Mariotto, 1981).

As principais propriedades requeridas de uma areia de quartzo para a fundição são: forma do grão, distribuição granulométrica, permeabilidade, ponto de sinterização e composição mineralógica. Na Tabela 5 encontram-se as especificações de uma areia para fundição, de acordo com normas da ABNT.

Cerâmica e refratário

Segundo Ferreira e Daitx (2000), as características típicas de uma areia de quartzo para a indústria cerâmica são: granulometria entre 30 e 140 malhas (0,60 a 0,105 mm); 93,5 a 99,8% SiO_2 ; 0,035 a 0,70% Al_2O_3 e 0,02 a 0,08% Fe_2O_3 . As Tabelas 6 e 7 mostram as especificações de areia para formulação de massa e de esmalte, respectivamente.

Tabela 5 – Especificações de areia para fundição (ABNT – NBR 12672).

| Características | Valor |
|---|---------------|
| Teor de umidade (%) | 0,1 max. |
| Teor de SiO ₂ (%) | 99,0 max. |
| Teor de argila total (%) | 0,1 max. |
| Superfície específica teórica (cm ² /g) | 95 – 107 |
| Tamanho de grão médio (mm) | 0,230 – 0,260 |
| Coefficiente de angularidade | 1,20 – 1,40 |
| Módulo de finura | 55 – 61 |
| Valor da demanda de ácido (mL HCl 0,1 N/50g de areia a pH 2) | 3,0 máx. |
| Permeabilidade-base (AFS) | 110-140 |
| Número específico teórico de grãos (dez unidades/g) | 7,0 – 10,0 |
| Diâmetro representativo (mm) | 0,188 – 0,211 |
| Grau de afastamento (%) | 10,0 – 13,0 |

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{ peso retido}}{100}$$

Tabela 6 – Especificações típicas européias e americanas para corpos cerâmicos.

| | Grau Sibelco Millisil M82 | Sílica americana Grau 250 Ottawa, IL |
|---|------------------------------|---|
| SiO ₂ | 99,5% | 99,8% |
| Fe ₂ O ₃ | 0,03% | 0,017% |
| Al ₂ O ₃ | 0,2% | 0,055% |
| TiO ₂ | 0,025% | 0,015% |
| K ₂ O + Na ₂ O | 0,15% | - |
| Cão + MgO | 0,03% | <0,02% |
| Cr ₂ O ₃ | 3 ppm | - |
| P.F. | 0,1% | 0,1% |
| Densidade aparente (g/cm ³) | 0,95 | 1,009 |
| Densidade | 2,65 | -- |
| Absorção de óleo (g/100g) | 17 | 20 |
| Tamanho médio (µm) | 20 | 9,5 |

Fonte: SCR Sibelco AS, US Sílica Co., citado por Loughbrough (1993).

Tabela 7 – Especificações típicas de sílica *flour* para esmalte (*enamel*) e esmalte vitrificado (*glaze*).

| | Sibelco Millisil M300 (esmalte cerâmico- enamel) | Sílica americana Grau 75 Depósito de Mappleton (esmalte vitrificado) |
|---|--|--|
| SiO ₂ | 99,5% | 99,6% |
| Fe ₂ O ₃ | 0,03% | 0,035% |
| Al ₂ O ₃ | 0,2% | 0,11% |
| TiO ₂ | 0,025% | 0,023% |
| K ₂ O + Na ₂ O | 0,15% | - |
| Cão + MgO | 0,03% | 0,016% |
| Cr ₂ O ₃ | 3 ppm | - |
| P.F. | 0,1% | 0,2% |
| Densidade aparente (g/cm ³) | 0,85 | 0,897 |
| Densidade (g/cm ³) | 2,65 | -- |
| Absorção de óleo (g/100g) | 19,5 | 23 |
| Tamanho médio em (µm) | 10 | 6,7 |
| Peneira de controle (>40 µm) | 3% max. | |

Fonte: SCR Sibelco AS, US Sílica Co., citado por Loughbrough (1993).

Tinta, plástico e borracha

A sílica de quartzo finamente moída (1 – 10 µm) é usada na indústria de tinta, plástico e borracha. No estados de Illinois e Missouri, EUA, é explotada uma sílica denominada *tripoli* (Tabela 8), freqüentemente descrita como sílica amorfa, devido à sua semelhança com a diatomita. Na realidade, trata-se de uma sílica cristalina finamente moída (Hanson, 1995). Segundo esse autor, quando a sílica cristalina finamente moída (*tripoli*) é usada na indústria de plástico, além de lhe conferir propriedade dielétrica, tornando-o ideal para uso elétrico, ela confere ao plástico resistência à compressão e à flexão.

A sílica usada como carga ou extensor, na forma finamente moída (*flour*) ou *tripoli*, torna a tinta mais resistente a ataques químicos, devido à sua resistência. Por outro lado, a adição da sílica à formulação da tinta contribui para melhorar a retenção da tinta, durabilidade e fluidez (Kendal, 1991).

Tabela 8 – Especificações químicas e físicas da *tripoli* usada nas indústrias de tinta, plástico e borracha.

| Composto | % | Propriedade | Valor |
|--------------------------------|------------|--------------------------------------|-------------|
| SiO ₂ | 99,5 ± 0,5 | Peso específico (g/cm ³) | 2,65 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,025 | Índice de refração | 1,54 - 1,66 |
| Al ₂ O ₃ | 0,009 | Resistência específica (ohms) | 25.700 |
| TiO ₂ | 0,005 | Alvura GE (%) | 84 - 91 |
| CaO | 0,15 | pH | 7 |
| | | Ponto de fusão (°C) | 1 722 |

Fonte: Hanson (1995).

Filtração

Diferentemente de outros usos, a granulometria de areia para filtração é mais grosseira, tipicamente entre 1,0 e 0,5 mm (BGS; 2004). São duas as especificações que uma areia para filtração deve atender: tamanho médio dos grãos e uniformidade (Zidunczyk e Linkous, 1984). O tamanho efetivo da areia é definido como a abertura na qual passa apenas 10%, em peso, de amostra representativa de uma areia. Define-se o coeficiente de uniformidade de uma areia destinada à filtração como a relação entre o tamanho da abertura de peneira na qual passam 60% em peso de uma amostra representativa e o tamanho da abertura na qual passam 10% em peso dessa mesma amostra (tamanho efetivo). Na Tabela 9 encontram-se as especificações de uma areia para filtração.

Abrasivos e Jateamento

Os abrasivos, compostos de carbeto de silício (SiC) e óxidos de alumínio, são usados na produção de ferramentas abrasivas e de materiais refratários e isolantes. Na fabricação de SiC, a areia industrial entra como fonte de Si e suas principais características são: SiO₂ ≥ 99,5%; Al₂O₃ ≤ 0,10%; Fe₂O₃ ≤ 0,025% e distribuição granulométrica entre 0,053 mm e 0,42 mm.

A areia industrial, quando empregada como abrasivo, é usada na fabricação de saponáceas, no jateamento para limpeza de peças e equipamentos diversos e no polimento de vidros e rochas (Ferreira e Daitx, 2000).

Tabela 9 – Granulometria típica e composição química de uma areia para filtração.

| Tamanho (mm) | Coef. de uniformidade |
|--------------------------------|-----------------------|
| 0,4 a 0,5 | 1,60 max. |
| 0,5 a 0,6 | 1,60 max. |
| 0,6 a 0,7 | 1,60 max. |
| 0,7 a 0,8 | 1,60 max. |
| 0,8 a 1,0 | 1,65 max. |
| 1,0 a 1,5 | 1,70 |
| Composição Química (%) | |
| SiO ₂ | 99,39 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,24 |
| Al ₂ O ₃ | 0,19 |
| TiO ₂ | 0,12 |
| CaO | 0,01 |
| MgO | 0,004 |
| P.F. | 0,046 |

Solubilidade ácida (1:1 HCl: 0,08 a 0,11%; densidade 2,64 a 2,66).

Fonte: Zidunczyk e Linkous (1984).

Fraturamento Hidráulico

Algumas especificações para a areia de quartzo ser usada no fraturamento hidráulico de formações contendo óleo ou gás são esfericidade, granulometria entre 20 e 40 malhas, livre de alguns materiais tais como feldspato, calcita, argilas etc. (Davis e Tepordei, 1985). Na Tabela 10 encontram-se as especificações de areia de quartzo usada no fraturamento de formações contendo petróleo, nos campos de Taquipe, município de São Sebastião do Passé-BA.

Tabela 10 – Distribuição granulométrica de uma areia usada para fraturamento hidráulico nos campos de petróleo de Taquipe (BA).

| Malha | % peso | % peso acumulado |
|-------|--------|------------------|
| 14 | 11,99 | 11,99 |
| 20 | 82,91 | 94,90 |
| 28 | 4,75 | 99,65 |
| -28 | 0,35 | 100,00 |

6. MINERAIS E MATERIAIS ALTERNATIVOS

Devido a problemas de silicose, resultantes do manuseio de material silicatado, o uso de sílica moída, para diferentes aplicações, vem sofrendo ameaças de substituição por outros materiais do tipo calcita moída, apesar da sílica apresentar algumas vantagens técnicas, quando comparadas com a calcita (Hanson, 1991).

No Brasil, começa a haver restrições legais ao uso de areia no jateamento para a limpeza. Um método alternativo foi proposto, qual seja, a utilização de dióxido de carbono (já empregado em extintores de incêndio), que não seria causador de poluição nem danoso à saúde do trabalhador. Em síntese, o gás líquido transformado em minúsculos cristais é direcionado em alta velocidade para a superfície a ser limpa.

O vidro colorido reciclado está sendo cogitado para, após adequação granulométrica, substituir a areia empregada em filtração.

AGRADECIMENTOS

À Mineração Jundu, pela permissão da visita técnica dos autores deste capítulo às suas instalações de beneficiamento de areia, em Descalvado-SP, quando da 1ª edição deste livro em 2005.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, P. B. M.e RUIZ, M. S. (1990). Perfil 3 – Areia, Quartzo e Quartzito Industrial. In: Mercado Produtor Mineral do Estado de São Paulo, Pró-Minério, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, p. 49-59.
- BGS (2004). British Geological Survey. Mineral Planning Factsheet. Silica Sand, 9 p. (www.mineralsUK.com).
- DAVIS, L. L. e TEPORDEI, V. V. (1985). Sand and gravel. In: Mineral Facts and Problems, 1995 Edition, Bureau of Mines, Preprint from Bulletin 675, 15p.
- DNPM (2006). Anuário Mineral Brasileiro.
- FERREIRA, G. C. (1997). Avaliação da evolução dos mercados produtores e consumidor de areia industrial no Estado de São Paulo, Geociências, UNESP, São. Paulo, vol.16, nº. 2, p. 433-466.
- FERREIRA, G. C. e DAITX, E. C. (1997). Áreas produtoras de areia industrial no Estado de S. Paulo, Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 50 (4), out./dez. p. 54-60.
- FERREIRA, G. C. e DAITX, E. C. (2000). Características e especificações da areia industrial. Geociências, UNESP, São Paulo, vol.19, nº 2, p. 235-242.
- FERREIRA, G. C. e DAITX, E. C. (2003) A Mineração produtora de areia industrial na Região Sul do Brasil, Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 56(1): jan./mar. p. 59-65.
- FRANÇA, S. C. A. e LUZ, A. B. (2002). Beneficiamento de Diatomita da Bahia, Série Rochas e Minerais Industriais, nº 7, 52p. CETEM/MCT.
- HANSON, A. (1995). Silica and Microspheres. In: Raw Materials for Pigments, Fillers and Extenders. Consumers Survey, Industrial Minerals, p. 87-91.
- HARBEN, P. W. e KUZVART, M. (1996). Silica. In: Industrial Minerals – A global Geology. Industrial Minerals Information Ltd, Metal Bulletin, PLC, London, p. 352-364.
- HARBEN, P. W. (1995). Silica and Quartz. In: The Industrial Mineral Handbook, 2nd Edition, p.156-161.

- KENDAL, T. (1995). European coatings – Any color as long as it's green. In: Raw Materials for Pigments, Fillers and Extenders. Consumers Survey, Industrial Minerals, p. 35-38.
- LINS, F. F., ANGELO, S.M.M.A. e OLIVEIRA, J.M.F. (2007). Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não-Metálicos, MME (www.mme.gov.br, em publicações/anuários), Cap.4, p. 55-62.
- LOUGHBROUGH, R. (1993). Silica sand – The essential ingredient. IM Glass Ceramics Survey, p. 29-35.
- MARIOTTO, C. L. (1981). Caracterização de algumas areias silicosas para emprego em moldagem. In: XXXVI Congresso Anual da ABM - Associação Brasileira de Metais, 5-10 de julho de 1981, Recife-PE, vol.4, p. 321-337.
- NAVA, N. (1997a). Depósitos de Areias Quartzozas de Descalvado, São Paulo. In: Principais Depósitos Minerais do Brasil, vol. IV, Rochas e Minerais Industriais, parte C, Cap. 26, p. 333-343.
- NAVA, N. (1997b). Geologia das Areias Industriais. In: Principais Depósitos Minerais do Brasil, vol. IV, Rochas e Minerais Industriais, parte C, Cap.25, p. 325-331.
- SHREVE, R. N. e BRINK Jr., J. A. (1977). Indústrias de Vidro. In: Indústria de Processos Químicos. Tradução de Horácio Macedo, Instituto de Química da UFRJ, Quarta Edição, Editora Guanabara, p. 160-175.
- ZDUNCZYK, M. J. e LINKOUS, M. A. (1994). Industrial Sand and Sandstone. In: Industrial Minerals and Rocks, 6th Edition, Society for Mining, Metallurgical and Exploration Inc, Donald D. Car Editor, p. 897-891.
- USGS (2007), Mineral Commodity Summaries. Industrial Sand.