RECURSOS MINERAIS PARA A INDÚSTRIA CERÂMICA E VIDREIRA

Fotos: acervo do autor.

Anderson Magalhães Victoria
andersongeo@yahoo.com.br

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1
2. CERÂMICAS TRADICIONAIS 3
2.1. Cerâmicas vermelhas 4
2.1.1. Recursos minerais utilizados nas cerâmicas vermelhas 4
2.1.2. Indústrias de cerâmicas vermelhas em Minas Gerais 5
2.2. Cerâmicas brancas 5
2.2.1. Recursos minerais utilizados nas cerâmicas brancas 7
2.2.2. Indústrias de cerâmicas brancas em Minas Gerais 7
2.3. Cerâmicas de revestimento 9
2.2.1. Recursos minerais utilizados nas cerâmicas de revestimento 9
2.2.2. Indústrias de cerâmicas de revestimento em Minas Gerais 10
3. VIDROS 12
3.1. Tipos de vidros conforme a classificação de mercado 13
3.2. Tipos de vidros conforme a classificação química 14
3.3. Matérias primas utilizadas na indústria vidreira 14
3.4. Indústrias vidreiras em minas gerais 16
4. RECURSOS MINERAIS DAS CERÂMICAS E DOS VIDROS EM MINAS GERAIS 18
5. ARGILAS 22
5.1. Os argilominerais 22
5.1.1. Origem dos argilominerais 24
5.2. Tipos de depósitos de argila 26
5.3. Classificação das argilas 27
5.4. Argilas comuns 28
5.4.1. Propriedades industriais 29
5.4.2. Ocorrência geológica 30
5.4.3. Direito minerário 30
5.4.4. Depósitos importantes em Minas Gerais 31
5.4.5. Aspectos econômicos em Minas Gerais 36
5.5. Argilas plásticas 37
5.5.1. Propriedades industriais 39
5.5.2. Ocorrência geológica 39
5.5.3. Direito minerário 40
5.5.4. Depósitos importantes em Minas Gerais 40
5.5.5. Aspectos Econômicos em Minas Gerais 41
5.6. Caulim 42
5.6.1. Propriedades industriais 44
5.6.2. Ocorrência geológica 44
5.6.3. Direito minerário 45
5.6.4. Depósitos importantes em Minas Gerais 46
5.6.5. Aspectos Econômicos em Minas Gerais 54
6. AREIA INDUSTRIAL (QUARTZO) 56
6.1. Propriedades industriais 57
6.1.1. Areias industriais versus areias para construção civil 59
6.2. Tipos de depósitos 59
6.3. Direito minerário 60
6.4. Ocorrência e depósitos importantes em Minas Gerais 62
6.5. Aspectos Econômicos em Minas Gerais 64
Dados de reservas 64
Dados de produção 65
7. FELDSPATO 67
7.1. Propriedades industriais 68
7.2. Tipos de depósitos 69
7.3. Direito minerário 70
7.4. Ocorrência e depósitos importantes em Minas Gerais 72
7.5. Aspectos Econômicos em Minas Gerais 72
Dados de reservas 72
Dados de produção 72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 74

1. INTRODUÇÃO

As cerâmicas e os vidros são materiais industriais produzidos a partir da transformação de massas cruas submetidas a tratamento térmico (queima) em altas temperaturas. Ambos são materiais extremamente versáteis quanto à composição e resultam de massas que podem ser formuladas com o uso de vários recursos minerais diferentes, cada um exercendo um papel específico no processo industrial e nas características do produto.

A palavra *cerâmica* deriva do Grego *keramos* (terra queimada) e, por muito tempo, referiu-se aos materiais duros e quebradiços, feitos com argilas aquecidas em altas temperaturas. De acordo com uma definição mais moderna, a cerâmica corresponde a qualquer material formado a partir de massas compostas por substâncias naturais ou sintéticas, inorgânicas e não metálicas, quando submetidas a aquecimento acima de 540°. Quanto à composição, as cerâmicas podem ser compostas por diferentes tipos de óxidos de elementos metálicos (SiO_2, Al_2O_3, K_2O, Na_2O, Fe_2O_3, TiO_2, LiO_2 etc.), bem como boretos, carbetos e nitretos (Phelps & Wachtman Jr. 2000, McColm 2013).

O vidro, por sua vez, pode ser definido como qualquer material amorfo, rígido, inorgânico e não metálico, resultante do resfriamento brusco de uma massa silicosa fundida, que se solidificou sem sofrer cristalização de fases minerais. Quanto à composição, a imensa maioria dos vidros são à base de sílica (SiO_2), podendo também incluir menores concentrações de diversos outros tipos de óxidos (Al_2O_3, K_2O, Na_2O, Fe_2O_3, TiO_2, LiO_2, PbO etc.) a depender dos componentes usados nas massas (Jong *et al.* 2011, McColm 2013).

Dessa forma, o termo *cerâmica* é genérico e contempla vários tipos de produtos industriais, dentre os quais estão incluídos os vidros. Além desses e das cerâmicas tradicionais (materiais diversos produzidos à base de argila – eg. tijolos, telhas, louças, pisos de revestimento, azulejos etc.), também fazem parte do segmento cerâmico os cimentos, o gesso, os materiais refratários e isolantes térmicos, os materiais abrasivos e as fritas e esmaltes (Tabela 1; Associação Brasileira de Cerâmicas - ABCERAM 2018).

Apesar dos produtos da Tabela 1 atenderem à definição do termo *cerâmica*, no esquema oficial de estruturação das atividades econômicas no Brasil (Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE 2.0, IBGE 2015), os produtos da indústria cerâmica compreendem apenas as cerâmicas tradicionais, que são aquelas à base de argila (vermelhas, brancas e de revestimento), bem como as cerâmicas refratárias e avançadas. Tendo em vista as diferenças quanto aos tipos de matérias primas utilizadas, o modo de confecção, os tipos de mão de obra, bem como as propriedades, aplicações e áreas de utilização, os esmaltes cerâmicos estão incluídos como subprodutos das indústrias de tintas, vernizes, esmaltes e lacas.Os vidros, o cimento, a cal, o gesso e os materiais abrasivos derivam de indústrias próprias, todas incluídas no setor referente à transformação de recursos minerais não metálicos.

As cerâmicas avançadas não serão focadas, pois são materiais sofisticados, de alta pureza, e derivados de matérias primas sintéticas produzidas por meio de reações químicas rigorosamente controladas em laboratório. Maiores detalhes sobre esses produtos podem ser encontrados em Cannon *et al.* (2011) e Phelps & Wachtman Jr. (2000).

Tabela 1. Principais segmentos da indústria cerâmica, suas características e tipos de produtos.

SEGMENTO	CARACTERÍSTICAS	TIPOS DE PRODUTOS
Cerâmicas Vermelhas (Estruturais)*	Materiais simples, de cor avermelhada, produzidos artesanalmente em olarias. Correspondem aos primeiros tipos de cerâmicas produzidos pelo homem pré-histórico e até hoje são largamente utilizadas na construção civil ou como utensílios de uso doméstico e de adorno.	Tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos, argilas expandidas, potes, vasos, panelas, filtros de barro etc.
Cerâmicas de Revestimento*	Materiais comercializados na forma de placas e usados na construção civil para revestimento de pisos e paredes.	Azulejos, pastilhas de banheiro, porcelanato, pisos gresificados (grés), lajotas etc.
Cerâmicas Brancas*	Materiais constituídos por um corpo de cor branca, ou próximo do branco, comumente recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor.	Louças sanitárias e de mesa, porcelanas, cerâmicas artísticas (decorativas e utilitárias), isoladores elétricos e cerâmicas técnicas.
Materiais Refratários	Cerâmicas com elevada resistência térmica, mecânica e química. São capazes de suportar altas temperaturas (normalmente acima de 1200 °C) sem sofrer qualquer tipo de deformação.	Tijolos refratários, fornos e panelas industriais, cadinhos, calhas de transferência de material fundido, cimento e fibras refratárias etc.
Cerâmicas Avançadas	Materiais especiais, de alta pureza e qualidade, usados para fins específicos em diversos setores industriais (eletroeletrônico, aeroespacial, biotecnologia, comunicação ótica, materiais de corte etc.). As matérias primas são sintéticas e produzidas por meio de processos físico-químicos rigorosamente controlados.	Semicondutores, capacitores, eletrodos, suporte de catalisadores para automóveis, sensores, ferramentas de corte, implantes biológicos, fibras ópticas etc.
Fritas e Esmaltes	Fina camada de material vítreo moído, incolor e transparente (frita) aplicado na superfície de metais ou cerâmicas para fins estéticos e conferir impermeabilidade e resistência à abrasão. Os esmaltes são coloridos e translúcidos, ou opacos, e resultam da adição de aditivos corantes nas fritas.	Diversos tipos de vidrados (fritas ou esmaltes) usados como material de recobrimento em cerâmicas brancas e de revestimento. As diferentes cores dos esmaltes resultam da adição de diferentes pigmentos metálicos nas fritas. Exemplo: Cobre (Cu) - azul claro; Cromo (Cr) - verde, amarelo ou azul; Manganês (Mn) – violeta; Ferro (Fe) - verde ou azul; Cobalto (Co) - azul intenso; etc.
Vidros	Materiais transparentes, de dureza alta e excelentes propriedades quanto ao isolamento elétrico e ao caráter inerte.	Vidros planos usados em janelas, automóveis, box de banheiros, decoração, móveis etc.; vidros usados em embalagens de alimentos e bebidas; bulbo para lâmpadas, óculos, relógios, espelhos etc.; fibras de vidro e outros tipos especiais.
Materiais Abrasivos	Materiais de dureza e durabilidade alta, usados para moer, cortar ou dar polimento. Normalmente são produzidos com matérias-primas sintéticas e possuem diferentes formas.	Lixas, discos, esferas abrasivas e outros materiais de dureza alta.
Cimento, Cal e Gesso	Materiais pulverulentos (comercializados na forma de um pó fino), produzidos a partir da transformação de recursos minerais diversos (argilas, calcário, gipsita etc.) e com larga utilização no mercado de construção civil.	Cimento Portland e outros tipos de argamassas à base de argilas, cal ou gesso.

Fonte: Associação Brasileira de Cerâmicas (ABCERAM 2018). * Cerâmicas Tradicionais (à base de argila).

Os materiais refratários, por sua vez, compreendem uma ampla gama de produtos específicos que podem ser produzidos a partir de diversos recursos minerais, sejam eles argilosos ou não. Tendo em vista a importância desses produtos e a diversidade de insumos usados, esse segmento cerâmico é abordado em um capítulo à parte deste livro (“Argilas e minerais refratários”).

2. CERÂMICAS TRADICIONAIS

A produção de cerâmicas é uma atividade milenar. O conhecimento a respeito da qualidade das argilas em produzir massas plásticas, e os materiais resistentes e duráveis que delas derivam, data de sociedades muito antigas, possivelmente desde dez mil anos antes de Cristo. Nas antigas civilizações do Oriente Médio, a tradição de produção da cerâmica remonta a cerca de 7.000 a 8.000 anos (Phelps & Wachtman Jr. 2000).

À medida que as civilizações se desenvolveram, as técnicas cerâmicas foram aprimoradas e, além de argilas, vários outros recursos minerais foram incluídos nas massas para a produção de materiais com diferentes características e funções. Atualmente, devido à sofisticação e alta tecnologia envolvida nos processos de produção, bem como ao uso cada vez mais recorrente de matérias primas sintéticas, o conceito de cerâmica evoluiu e o termo *cerâmica tradicional* começou a ser utilizado para fazer referência aos tipos produzidos à base de argila.

O mercado brasileiro divide as cerâmicas tradicionais em três grandes grupos (cerâmicas vermelhas, brancas e de revestimento), cada um com características e tipos de produtos específicos (Tabela 1).

Apesar dessas diferenças, as cerâmicas tradicionais são produzidas a partir de um processo semelhante que, em linhas gerais, envolve cinco etapas fundamentais: i) preparação das matérias primas; ii) preparação das massas cruas; iii) preparação das peças (molde cerâmico); iv) tratamento térmico e v) acabamento e decoração (Tabela 2).

Vale ressaltar que, para as cerâmicas brancas e de revestimento, anteriormente à fase de queima, as massas recebem uma camada fina e contínua de esmalte cerâmico (vidrado) que, após a queima, adquire o aspecto vítreo. Além de contribuir para os aspectos estéticos, essa camada é impermeabilizante e confere maior resistência mecânica, térmica, elétrica e química ao material (ABCERAM 2018).

Tabela 2. Síntese dos principais processos industriais envolvidos na fabricação das cerâmicas tradicionais.

ETAPA	PROCESSO
Preparação das matérias primas	Após a extração nas jazidas, os materiais são desagregados em trituradores, ou moinhos, e peneirados de acordo com a granulometria. Muitas vezes, também são submetidos a outros processos mecânicos, ou químicos, que visam a remoção de impurezas.
Preparação das massas	Mistura das matérias primas com água e outros aditivos conforme a dosagem estabelecida.
Preparação das peças	Deformação das massas conforme o molde cerâmico desejado. Existem diversos processos utilizados para dar forma às peças e os mais comuns são: colagem, prensagem, extrusão e torneamento.
Tratamento térmico (queima)	O molde cerâmico é submetido à secagem para remoção da água usada durante a preparação das massas e posteriormente é aquecido em forno em temperaturas que variam a depender do produto (em geral, 800 a 900 °C cerâmicas vermelhas e 1100 a 1300 °C para as brancas e de revestimento). Durante a queima, as massas são desidratadas e endurecidas, ocorre eliminação de algumas impurezas e alguns minerais sofrem fusão. No resfriamento posterior, os componentes fundidos transformam-se em sílica amorfa (vidro).
Acabamento	Decoração da cerâmica conforme o design desejado.

Fonte: Associação Brasileira de Cerâmicas (ABCERAM 2018).

2.1. Cerâmicas vermelhas

As cerâmicas vermelhas compreendem um amplo e diversificado grupo de materiais de alvenaria utilizados na construção civil (tijolos, telhas, blocos, elementos vazados, lajes, tubos, conexões e argilas expandidas), bem como utensílios de uso doméstico ou de adorno (panelas, vasos, filtros e jarras de barro etc.; Figura 1).

Figura 1. As cerâmicas vermelhas são materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas), ou como utensílios de uso doméstico e de adorno. Fotos: acervo do autor.

A cor avermelhada resulta da concentração elevada de minerais ferruginosos (hematita, magnetita, goethita, limonita etc.) nas massas e que, durante o processo de queima, liberam óxidos de ferro (Fe_2O_3) responsáveis pela pigmentação. Por serem majoritariamente utilizadas em obras de construção civil, as cerâmicas vermelhas também são conhecidas como estruturais (Tanno & Mota 2000, Motta *et al.* 2001, Cabral Jr. *et al.* 2012, ABCERAM 2018).

2.1.1. Recursos minerais utilizados nas cerâmicas vermelhas

No que se refere aos recursos minerais, essas cerâmicas são produzidas a partir de uma massa basicamente formada com argilas comuns (ou argilas vermelhas) misturadas em água e alguns aditivos que aprimorem a plasticidade ou a resistência dos produtos (eg. argilas plásticas, ABCERAM 2018). Essas argilas são substâncias que, quando submetidas à queima, por si só já reúnem as características necessárias para a produção das cerâmicas com a qualidade exigida. Por vezes, a depender da necessidade, podem ser adicionadas nas massas argilosas alguma quantidade de quartzo (areia industrial), que atua como fonte de sílica para conferir maior trabalhabilidade nas massas, bem como promover resistência mecânica e térmica nas cerâmicas produzidas.

Como recurso mineral substitutivo, ou para correção de alguns componentes faltantes nas argilas comuns, algumas indústrias de cerâmicas vermelhas também utilizam o pó resultante do filito, um tipo de rocha industrial, para compor as massas (Motta *et al.* 2001).

2.1.2. Indústrias de cerâmicas vermelhas em Minas Gerais

O segmento de cerâmicas vermelhas apresenta uma estrutura empresarial diversificada, prevalecendo pequenos empreendimentos familiares (olarias) e fábricas de pequeno a médio porte, com deficiências de mecanização e gestão. É característica dessas indústrias o fornecimento de seus próprios recursos minerais (argilas comuns), sendo também empresas mineradoras com jazidas próprias. Apesar de demandar profissionais qualificados para atuar em áreas específicas (eg. composição e modelamento das massas, gestão dos empreendimentos etc.), o setor de cerâmicas vermelhas é caracterizado pela desqualificação e o baixo nível de instrução formal da mão de obra (MME 2018).

Minas Gerais é um importante produtor de cerâmica vermelha. De acordo com os registros atuais verificados no Cadastro Industrial de Minas Gerais (CIEMG 2018), o estado contempla 339 unidades produtoras de artefatos de cerâmica e barro cozido para uso na construção civil. Dessas, 44 são consideradas de micro porte (até 19 empregados), 230 são de pequeno porte (de 20 a 99 empregados), 64 são de médio porte (de 100 a 499 empregados) e 1 é de grande porte (acima de 500 funcionários).

Devido à abundância de jazidas de argilas comuns e a importância dessas cerâmicas no mercado, as olarias e fábricas oficiais estão distribuídas por todo o estado. Entretanto, há uma tendência de maior concentração dessas unidades em algumas regiões específicas (eg. Região Metropolitana de Belo Horizonte - 61 fábricas; Oeste de Minas – 59; Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba – 51; Vale do Rio Doce – 38; Norte de Minas – 37; Sul/Sudeste de Minas – 32 e Zona da Mata - 17; CIEMG 2018).

Segundo essa fonte, as unidades produtoras de cerâmicas vermelhas estão presentes em 139 municípios do estado. Dentre esses, 17 são caracterizados pela alta produção, com presença de 5 ou mais indústrias em seus domínios (Figura 2): Abadia dos Dourados (5), Araguari (6), Cabo Verde (5), Cássia (7), Engenheiro Caldas (13), Governador Valadares (6), Igaratinga (41), Itaúna (5), Ituiutaba (8), João Pinheiro (5), Maravilhas (6), Monte Carmelo (19), Papagaios (6), Pará de Minas (7), Ribeirão das Neves (6), São Geraldo (6) e Sete Lagoas (7).

2.2. Cerâmicas brancas

As cerâmicas brancas compreendem as peças recobertas por uma camada vítrea e pouco espessa, conhecida como vidrado (fritas ou esmaltes cerâmicos; Tabela 1). A expressão *cerâmica branca* deriva do fato de que, no passado, os vidrados eram incolores e realçavam a cor esbranquiçada, ou próxima do branco, que os produtos apresentavam após a queima. Posteriormente, com o advento dos vidrados opacos (esmaltes cerâmicos), passou-se a confeccionar cerâmicas com as mesmas propriedades, porém de outras cores (ABCERAM 2018).

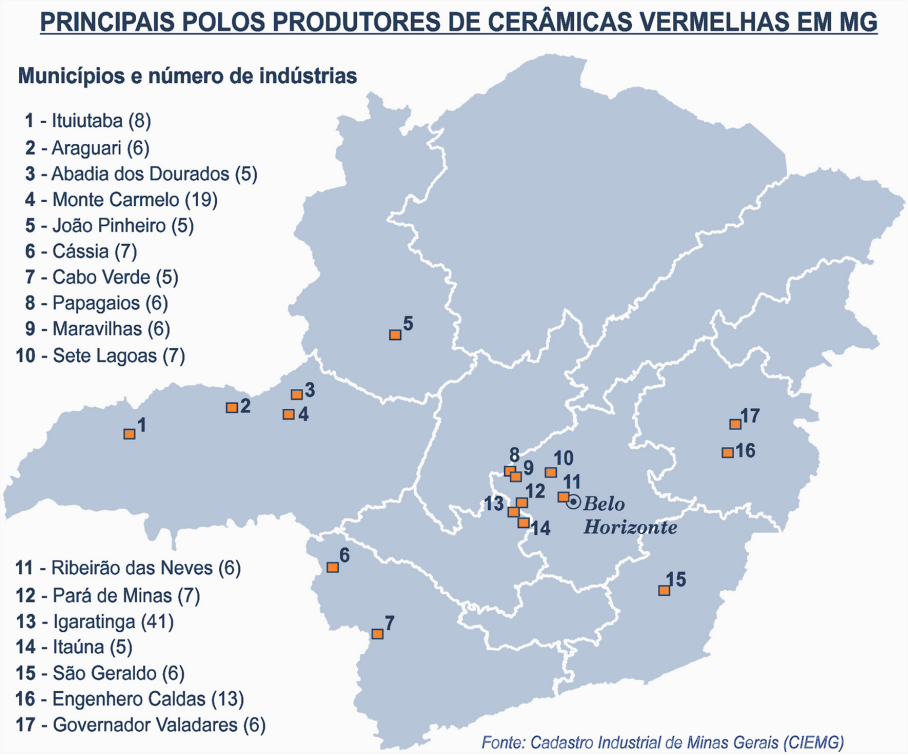

Figura 2. Distribuição dos principais municípios produtoras de cerâmicas vermelhas em Minas Gerais. Conforme dados do Cadastro Industrial de Minas gerais (CIEMG 2018), o estado contabiliza atualmente 339 unidades industriais, sendo a maioria delas concentradas na Região Metropolitana de Belo Horizonte e no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba.

Dentre os diversos tipos de produtos de cerâmicas brancas existentes, destacam-se as louças de mesa (jogos de chá e café, canecas, pratos, vasilhas, travessas, assadeiras etc.; Figura 3A) e as louças sanitárias (vasos, mictórios, cubas, banheiras etc.; Figura 3B). Também estão incluídos nesse grupo os isoladores, receptáculos e interruptores elétricos, bem como as cerâmicas artísticas (vasos, jarras, esculturas de decoração ou utilitários) e as cerâmicas técnicas (materiais fabricados sob medida para atender demandas específicas das indústrias química, mecânica, têxtil, térmica etc.; ABCERAM 2018).

Figura 3. As cerâmicas brancas compreendem um amplo e diversificado grupo de materiais com diferentes propriedades, usos e aplicações. São exemplos clássicos as porcelanas e demais louças de mesa (**A**) e as louças sanitárias (**B**). Fotos: acervo do autor.

2.2.1. Recursos minerais utilizados nas cerâmicas brancas

Diferentemente das cerâmicas vermelhas, que derivam de massas monocomponentes feitas com argilas comuns, as cerâmicas brancas são produzidas por massas policomponentes, formadas pela mistura entre diferentes tipos de recursos minerais, cada um exercendo uma função específica no processo industrial ou nas características do produto. Normalmente, essas massas são conhecidas como triaxiais, devido ao fato de serem formadas por três componentes principais (plásticos, inertes e fundentes), cada um resultante de um recurso mineral diferente (Tabela 3; Motta *et al*. 2002, ABCERAM 2018).

Os insumos mais tradicionais utilizados nessas massas são as argilas plásticas, o caulim, o quartzo (areia industrial) e o feldspato. Entretanto, a depender da ausência de um desses, ou da necessidade de se produzir cerâmicas com propriedades mais específicas, outros insumos podem ser utilizados, tais como: a alumina (Al_2O_3) obtida a partir da bauxita ou da cianita e minerais correlatos, os minerais carbonáticos resultantes do calcário e dolomito, os minerais de lítio (espodumênio, petalita e lepidolita), o filito, a pirofilita, o talco e a wollastonita. O pó resultante da moagem de algumas rochas ricas em feldspato (granitos, pegmatitos e gnaisses) também pode ser utilizado em algumas massas para suprir uma possível ausência do feldspato (Motta *et al*. 2001).

Vale ressaltar que diversos outros recursos minerais são utilizados para a confecção dos esmaltes usados como revestimento das louças de mesa e sanitárias. Como exemplo, podem ser citados os minerais de lítio, a fluorita, a barita e o zircão.

Tabela 3. Principais constituintes das massas de cerâmicas brancas, suas funções no processo produtivo e os recursos minerais mais tradicionais utilizados pelas indústrias.

COMPONENTES	FUNÇÃO	MATÉRIA PRIMA
Plásticos	Promovem a plasticidade e coesão das massas, permitindo seu modelamento em formas diferentes.	Argilas plásticas; Caulim
Inertes	Promovem a diminuição da plasticidade da massa, impedindo que ela se deforme durante a queima. Eventualmente podem sofrer fusão. Nesse caso, atuam promovendo uma mudança na viscosidade da fase vítrea e contribuem para o aumento da resistência térmica do material.	Quartzo (areia industrial)
Fundentes	Reduzem a temperatura de fusão dos componentes vitrificantes das massas (eg. argilas), estimulando a formação da fase líquida em uma temperatura menor, economizando energia e aumentando a velocidade do processo industrial.	Feldspato

Fonte: Adaptado de Motta *et al.* (2002) e ABCERAM (2018).

2.2.2. Indústrias de cerâmicas brancas em Minas Gerais

O setor industrial de cerâmicas brancas é bastante diversificado e, no Brasil, há uma deficiência quanto à obtenção de informações e dados estatísticos oficiais que indiquem o panorama desse segmento industrial, em âmbito nacional ou estadual. Em geral, as informações disponíveis dizem respeito ao comportamento das indústrias de louças sanitárias e de mesa (ABCERAM 2018, MME 2018).

Louças de mesa

O segmento de louças de mesa (Figura 3A) caracteriza-se pela enorme variedade de peças destinadas a uso residencial, hoteleiro ou em restaurantes. No uso residencial,

destacam-se os aparelhos de jantar e outros utensílios de mesa, tais como jogos de café e chá, canecas, xícaras, tigelas e assadeiras.

No Brasil, há mais de 500 unidades produtoras desses materiais. Essas empresas são responsáveis pela geração de cerca de 30.000 empregos e concentram-se, predominantemente, nas regiões Sul e Sudeste. Grande parte das unidades brasileiras estão instaladas no estado de São Paulo, que abriga o maior polo produtor de louças de mesa da América Latina no município de Pedreira, conhecido como a *Capital das Porcelanas* (MME 2018).

Os dados referentes às indústrias de louças de mesa em Minas Gerais não indicam com exatidão o número e a distribuição das unidades no estado e referem-se apenas à existência de um grande polo cerâmico na região sudoeste, mais especificamente no município de Monte Sião (Figura 4). A empresa produtora nessa região é a *Porcelana Monte Sião Ltda* que, além de louças de mesa, também se destaca no fabrico de artefatos de cerâmicas artísticas utilitárias ou decorativas (*eg.* jarras, vasos, enfeites, fruteiras etc.; ABCERAM 2018, CIEMG 2018).

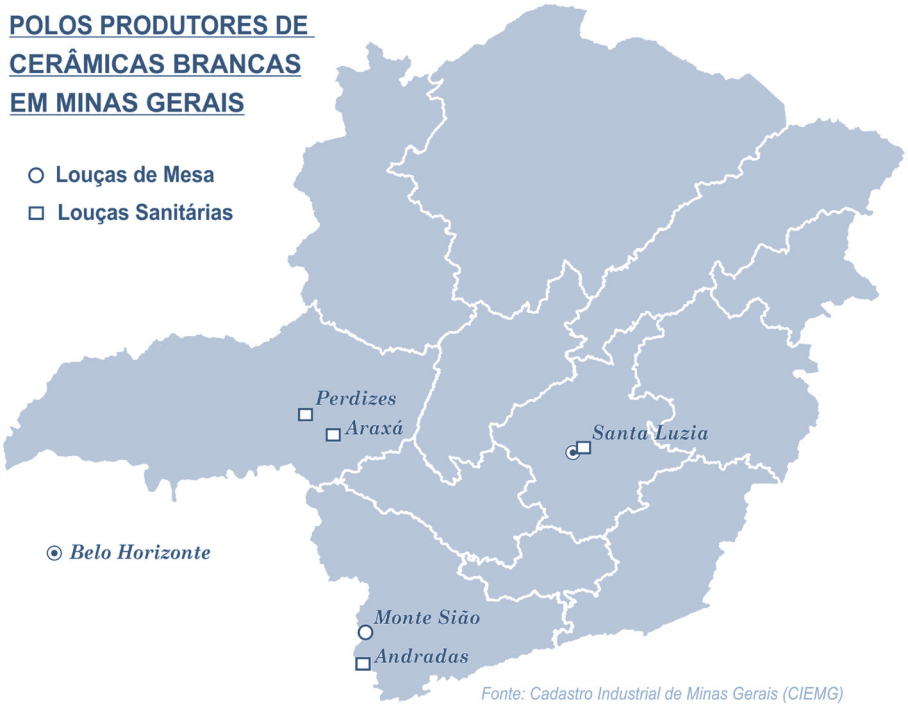

Figura 4. Distribuição dos principais municípios produtores de cerâmicas brancas (louças de mesa e sanitárias) em Minas Gerais.

Louças Sanitárias

As indústrias de louças sanitárias (Figura 3B) se caracterizam pela grande escala de produção e, normalmente, não atuam como mineradoras, contando com o fornecimento de insumos minerais extraídos por outras empresas. Nesse caso, diferentemente das cerâmicas vermelhas, as fábricas não necessariamente estão instaladas próximo às jazidas, sendo mais interessante a localização próxima aos grandes centros consumidores e das vias de distribuição dos produtos. As indústrias brasileiras de louças sanitárias apresentam um bom nível tecnológico e são grandes produtoras nacionais, por vezes, com destaque a nível

mundial. De acordo MME (2018), existem 20 indústrias de louças sanitárias no Brasil, as quais se encontram distribuídas em 8 estados. O maior polo produtor está localizado na cidade de Jundiaí (SP).

Minas Gerais possui 5 unidades industriais, dentre as quais 1 ocorre na Região Metropolitana de Belo Horizonte, 2 no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e 2 na Região Sul/Sudoeste. Os municípios onde essas unidades estão instaladas (Andradas, Araxá, Perdizes e Santa Luzia; Figura 4) representam os principais polos produtores de louças sanitárias no estado e contêm as seguintes empresas (CIEMG 2018):

i. *Fiori Cerâmica Ltda* (Andradas);
ii. *ICASA – Indústria Cerâmica Andradense S/A* (Andradas);
iii. *Indústria e Comércio de Louças Sanitárias Santa Clara* (Araxá);
iv. *Indústria e Comércio de Cerâmica Casa Santamarina Ltda-Me* (Perdizes);
v. *Roca Sanitários do Brasil Ltda* (Grupo empresarial da marca Celite; Santa Luzia).

2.3. Cerâmicas de revestimento

As cerâmicas de revestimento (Figura 5), ou placas cerâmicas, são materiais utilizados na construção civil para recobrir superfícies lisas em paredes, pisos, bancadas, piscinas etc. Nessa categoria se enquadram azulejos, pastilhas, porcelanatos, pisos rústicos, pisos gresificados (grês), lajotas etc.

O mercado de cerâmicas de revestimento é abastecido por uma ampla variedade de tipos diferentes de produtos, os quais resultam de distintas combinações de matérias utilizadas, bem como variações no processo produtivo. Um exemplo dessa grande diversidade resulta na aplicação de diferentes tipos de esmaltes cerâmicos que conferem diferentes cores, texturas e *design* na superfície das placas (Figura 5; ABCERAM 2018).

2.2.1. Recursos minerais utilizados nas cerâmicas de revestimento

Os revestimentos cerâmicos podem ser produzidos a partir de massas simples ou compostas, constituídas por diferentes tipos de recursos minerais naturais, por vezes, admitindo também a presença de insumos sintéticos.

No caso dos pisos cerâmicos rústicos, as massas são simples, semelhantes às das cerâmicas vermelhas, sendo basicamente formadas por argilas comuns. Em algumas situações, para facilitar a trabalhabilidade no processo industrial, podem admitir também quantidades adicionais de argilas plásticas.

À exceção desses tipos, de uma forma geral, as placas de revestimento são formadas por massas triaxiais semelhantes às massas das cerâmicas brancas, podendo ser formadas por diferentes combinações dos mesmos recursos usados no fabrico desses materiais.

Figura 5. As cerâmicas de revestimento compreendem um amplo e diversificado grupo de peças usadas como recobrimento de superfícies lisas na construção civil. São exemplos: **A)** Placas de porcelanato usados para revestimento de pisos e acabamento (rodapés). **B)** Azulejos decorados usados como material de decoração e impermeabilizante em parede de ambientes domésticos. **C)** Detalhe de ladrilhos coloridos e com diferentes tipos de *design* usados em revestimento de parece. Fotos: acervo do autor.

A título de exemplo, a Tabela 4 mostra as diferentes combinações e proporção entre as matérias primas responsáveis pela confecção de algumas cerâmicas de revestimento (Ciullo 1996, Freas & Lombardo 2006).

Tabela 4. Proporção de alguns recursos minerais usados para o fabrico de diferentes tipos de cerâmicas de revestimento.

CERÂMICA DE REVESTIMENTO	COMPOSIÇÃO*
Piso cerâmico (rústico)	Argilas comuns (55%); Argilas plásticas (45%)
Piso cerâmico (comum)	Argilas comuns (45%); Argilas plásticas (20%); Feldspato (25%); Calcita (10%)
Porcelanato	Argilas plásticas (23%); Caulim (19%); Feldspato (52%); Quartzo (5%); Talco (1%)
Ladrilho	Caulim (35%); Feldspato ou Nefelina-Sienito (35%); Quartzo (30%)
Azulejo	Argila plástica (47 a 50%); Quartzo (23 a 30%); Feldspato (14 a 17%); Calcita (9 a 10%)
Azulejo com minerais adicionais	Argila plástica (28 a 43%); Quartzo (0 a 18%); Calcita (5 a 6%); Pirofilita (0 a 35%); Talco (0 a 66%); Wollastonita (0 a 10%)

*Fonte: Ciullo 1996, Freas & Lombardo 2006.

2.2.2. Indústrias de cerâmicas de revestimento em Minas Gerais

O Brasil ocupa a 2ª posição mundial em produção e consumo de cerâmicas de revestimento. A indústria nacional é integrada por 93 empresas, localizadas de forma mais concentrada nas regiões Sudeste e Sul, porém com franca expansão nos estados do Nordeste. Esse segmento industrial é responsável pela geração de aproximadamente 25 mil

empregos diretos e cerca de 150 mil indiretos. Os maiores polos produtores desses materiais concentram-se nos municípios de Criciúma (SC) e Santa Gertrudes (SP; MME 2018).

De acordo com o Cadastro Industrial de Minas Gerais (CIEMG 2018), o estado contém 5 unidades produtoras de placas de revestimento (azulejos e pisos cerâmicos), todas instaladas na Região Metropolitana de Belo Horizonte, mais especificamente nos municípios de Pará de Minas, Santa Luzia e Santa Maria de Itabira (Figura 6). As empresas responsáveis pela produção estadual são:

i. *CECRISA Revestimentos Cerâmicos S/A* (Santa Luzia);
ii. *Marmorite Regional* (Santa Maria de Itabira)
iii. *Transpisos São José Eireli – EPP* (Pará de Minas);
iv. *Segato do Brasil Pisos Ltda* (Pará de Minas);
v. *Naturale Produtos Marmorizados Ltda* (Pará de Minas).

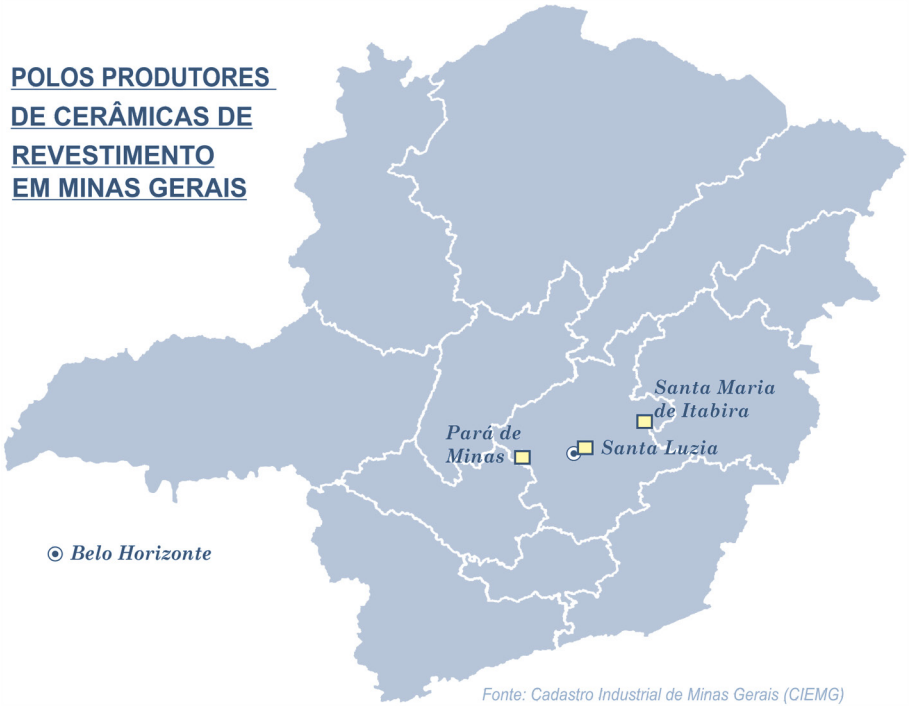

Figura 6. Distribuição dos principais municípios produtores de cerâmicas de revestimento (azulejos e pisos) em Minas Gerais.

3. VIDROS

Sendo um sólido amorfo (não cristalino) resultante do resfriamento de massas silicosas fundidas, o vidro pode ser formado naturalmente a partir do resfriamento brusco de material magmático que extravasa para a superfície terrestre (lava). O sólido resultante desse processo é conhecido como obsidiana e normalmente possui coloração escura e inclusões, devido à presença de impurezas existentes em meio à fina matriz vítrea (Figura 7). Devido ao seu caráter cortante e resistente, a obsidiana era usada pelo homem pré-histórico para a confecção de armas de caça ou defesa e corresponde aos primeiros vidros utilizados pelo homem. Com o surgimento das civilizações mais organizadas (eg. egípcios, por volta de 1.500 anos antes da era comum), o homem dominou a técnica de produção de vidro artificial a partir queima de uma massa formada por uma mistura de recursos naturais (eg. areia de praia e o pó resultante da trituração de plantas e conchas marinhas; Carter & Norton 2013).

Figura 7. Detalhe de vidro natural, formado a partir do resfriamento de magmas derramados sob a superfície terrestre (lavas). Trata-se de um sólido silicoso amorfo denominado obsidiana que, normalmente, apresenta cores escuras e inclusões devido à presença de impurezas em meio à fina matriz vítrea. Foto: acervo do autor.

Por ser um sólido resistente, transparente, inerte, durável e detentor de várias propriedades térmicas, mecânicas e acústicas, os vidros possuem inúmeras aplicações em setores industriais ou domésticos das sociedades modernas. Por causa de sua importância, facilidade de produção e abundância das matérias primas usadas para a fabricação, os vidros são considerados materiais insubstituíveis e essenciais para o homem, sendo cada vez mais alvo de estudos que visam melhorias nos produtos e aplicações em setores que envolvem tecnologia de ponta (eg. indústria nuclear, bélica, óptica e aeroespacial; Carter & Norton 2013).

Vale ressaltar que o vidro não é criado apenas pela mistura e processamento de recursos minerais. Isso ocorre porque ele é o único material 100% reciclável, ou seja, com 1 kg de cacos de vidros comuns (embalagens usadas no dia a dia) é possível produzir a mesma

quantidade de vidro novo, o que confere um ciclo infinito de renovação na cadeia produtiva. Nesse caso, trata-se de uma característica notável quanto ao desenvolvimento sustentável e redução dos impactos ambientais.

3.1. Tipos de vidros conforme a classificação de mercado

Assim como para as cerâmicas tradicionais, as indústrias vidreiras também são caracterizadas por conter uma ampla e heterogênea variedade de produtos, com composição, forma e aplicações diferentes. Com base em características semelhantes, os vidros são classificados em três grandes classes (vidros planos, embalagens de vidro e artigos de vidros; Tabela 5; Figura 8), sendo cada uma delas um ramo especializado que subdivide o segmento das indústrias vidreiras no Brasil (Classificação Nacional das Atividades Econômicas - IBGE 2015).

Tabela 5. Classificação dos vidros conforme a composição química e principais aplicações no mercado.

DENOMINAÇÃO	PRODUTOS
Vidros planos	Vidros planos comuns usados em móveis, decoração, indústria da construção civil etc.
	Vidros planos de segurança usados em portas, janelas, box de banheiros, vidraças de lojas, automóveis etc.
Embalagens de vidro	Garrafas e garrafões utilizados para armazenar bebidas; Embalagens e recipientes utilizados para armazenar alimentos; Ampolas e frascos utilizados pela indústria farmacêutica etc.
Artigos de vidro	Peças avulsas de vidro para uso doméstico ou especial. Exemplo: copos, pratos, xícaras e demais produtos usados em serviços de mesa e cozinha; artefatos de vidro para decoração; espelhos; bulbos para lâmpadas; vidros para relógios e óculos; lã de vidros; fibras de vidro etc.

Fonte: IBGE (2015).

Figura 8. Exemplos de aplicações do vidro conforme as classes que subdividem a indústria vidreira no Brasil **A)** Vidros planos usados em portas e janelas. **B)** Confecção de garrafas usadas para armazenar bebidas. **C)** Artigos de vidro usados para serviço doméstico (taças e copos de vidro). Foto: acervo do autor.

3.2. Tipos de vidros conforme a classificação química

A imensa maioria dos vidros conhecidos são produzidos à base de sílica (SiO_2), que é o componente estrutural do sólido amorfo e responsável por conferir algumas das propriedades mais características desses materiais (eg. transparência, resistência térmica e à abrasão, caráter inerte etc.). A depender dos tipos de matérias primas utilizadas, além desse constituinte majoritário, diversos outros óxidos podem fazer parte da composição desses materiais (eg. Na_2O, CaO, Al_2O_3, K_2O, MgO, TiO_2, PbO, Li_2O, B_2O_3 etc.).

Com base na composição química, os vidros podem ser classificados em diferentes grupos que reúnem as espécies com propriedades em comum. Dentre esses, destacam-se os vidros de soda e cal (SiO_2 - Na_2O - CaO), os vidros borossilicatos (SiO_2 - B_2O_3); os vidros aluminossilicatos (SiO_2 - Al_2O_3); os vidros com chumbo (SiO_2 – PbO); os vidros com lítio (SiO_2 – Li_2O) e os vidros fosfatos (P_2O_5; Ciullo 1996, Jong *et al.* 2011). A Tabela 6 apresenta as principais características e aplicações dos vidros que compõe esses grupos.

Tabela 6. Classificação dos vidros conforme a composição química e principais aplicações no mercado.

TIPO	ÓXIDOS PRINCIPAIS	APLICAÇÕES*
Vidros de Soda e Cal	SiO_2, Na_2O, CaO	São os tipos mais comuns de vidro. Correspondem a cerca de 90% da produção mundial, com amplo domínio no mercado de vidros planos, embalagens, vidros de serviço à mesa (pratos, copos, xícaras etc.) e bulbos para alguns tipos de lâmpadas. Também são usados como vidros artísticos (decoração).
Vidros Borossilicatos	SiO_2, B_2O_3	Tipos com alta durabilidade, com elevada resistência química e térmica. São usados na fabricação de produtos de cozinha submetidos a altas temperaturas (eg. assadeiras e cafeteiras). Também são comumente usados para o fabrico de equipamentos de laboratório, produtos farmacêuticos, isoladores elétricos e fibras de vidro.
Vidros Aluminossilicatos	SiO_2, Al_2O_3 (>4%)	Tipos com elevada resistência química, térmica e ao choque térmico. São usados na fabricação de janelas especiais (aviões e aeronaves espaciais) e alguns tipos de embalagens, bulbos para lâmpadas, utensílios domésticos e fibras ópticas.
Vidros com Chumbo	SiO_2; PbO	Tipos com elevada refratariedade, baixa resistência mecânica e de brilho intenso. São usados na fabricação de taças de "cristal", bulbos para lâmpadas fluorescentes, tubos de televisão e alguns tipos de vidros ópticos. Também são usados como vidros artísticos (decoração).
Vidros com Lítio	SiO_2; Li_2O	Tipos caracterizados pela baixa dilatação térmica e elevada resistência mecânica. São usados na fabricação de vários utensílios domésticos (cozinha) e alguns tipos de revestimentos cerâmicos (esmaltes).
Vidros Fosfatos	P_2O_5	Tipos não silicosos. O fosfato é o principal constituinte e, apesar de produzir tipos menos resistentes (dureza da apatita < dureza do quartzo na escala de *Mohs*), os vidros fosfatos são mais resistente ao ataque de ácido fluorídrico (único ácido que corrói a sílica). Portanto, são usados em situações específicas, quando os vidros silicosos não podem ser aplicados (eg. vidros biológicos usados em cirurgias e recipientes da indústria química).

* Fonte: Ciullo (1996), Jong *et al.* (2011).

3.3. Matérias primas utilizadas na indústria vidreira

A grande diversidade composicional dos vidros resulta da versatilidade que apresentam com relação aos insumos usados, sejam eles de origem natural ou sintética. Em linhas gerais, os ingredientes usados na indústria vidreira são classificados em três tipos, conforme a atuação no processo produtivo (Potter 2006):

i. *Componentes estruturais* - constituintes básicos, ou seja, aqueles que sofrem fusão durante a queima e formam a massa vítrea durante o resfriamento;

ii. *Componentes fundentes* - insumos que fornecem os elementos necessários para a redução do ponto de fusão dos componentes estruturais. Eles facilitam a formação da fase vítrea em menor tempo e reduzem a energia utilizada para aquecer os fornos industriais;

iii. *Componentes estabilizantes* - insumos que impedem a formação de defeitos internos durante o resfriamento da massa vítrea (eg. cristalização de algumas espécies minerais em meio ao sólido amorfo).

Com relação às matérias primas sintéticas utilizadas na indústria vidreira, a mais importante é a soda, um pó esbranquiçado também conhecido como *barrilha* ou *cinza sódica*. Trata-se de um carbonato de sódio (Na_2CO_3) usado como componente fundente nas massas de vidros de soda e cal, atuando com o fornecimento de Na_2O, óxido que reduz a temperatura de fusão da sílica em 200 °C. Esse recurso é fornecido pelas indústrias químicas e resulta de um conjunto de reações que envolvem a utilização de sal de cozinha (NaCl), cal (CaO) e amônia (NH_3; *Processo Solvay* - Santini *et al*. 2006).

Vale ressaltar que a soda também pode ser obtida a partir de um mineral conhecido como Trona [$Na_3(HCO_3).2H_2O$]. Porém esse é um mineral incomum, que ocorre em ambientes evaporíticos específicos e raramente forma depósitos importantes para exploração. Os principais depósitos mundiais localizam-se nos Estados Unidos (Califórnia e Wyoming); Botswana e Turquia (USGS 2018) e não há registros de extração desse mineral no Brasil (DNPM 2011, Lima & Neves 2016).

Em relação às matérias primas naturais, vários recursos minerais industriais podem ser utilizados pela indústria vidreira conforme a necessidade e as especificações dos produtos. Esses recursos e as funções que exercem nos vidros podem ser verificados na Tabela 7.

Além dos diversos tipos de insumos apresentados na Tabela 7, os vidros podem ainda conter uma pequena quantidade de aditivos corantes e de pigmentação (eg. minerais sulfatos, cromo, cobre, cobalto, ferro, vanádio, selênio, cádmio etc.) o que contribui ainda mais na grande variedade de produtos existentes no mercado.

Ainda com relação aos recursos minerais usados na indústria vidreira (Tabela 7), vale ressaltar que a maioria deles é usada em situações específicas, normalmente sendo aplicados em pequenas quantidades nas massas que produzem os vidros especiais. A imensa maioria da produção mundial (ca. 90%; Edwards & Aume 2006) concentra-se no fabrico de vidros do tipo soda-cal (Tabela 6) que, basicamente, são compostos por SiO_2 (± 70%); Na_2O (± 15%); CaO (± 10%); MgO (± 2%); Al_2O_3 (± 2%); e 1% de aditivos. Tal composição advém da combinação de cinco matérias primas principais: areia industrial (quartzo), soda (barrilha), calcário (calcita), dolomito (dolomita) e feldspato (Freas 2006, McCullah 2006, MME 2018).

Tabela 7. Principais recursos minerais utilizados pelas indústrias vidreiras e suas funções no processo produtivo.

RECURSO	FÓRMULA	FUNÇÕES*
Areia industrial (Quartzo)	SiO_2	É o componente estrutural da imensa maioria dos vidros existentes (silicosos). Além disso, confere transparência, brilho e resistência mecânica, térmica e química (à exceção de ataque com ácido fluorídrico).
Minerais Fosfatos (Apatita)	$Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$	Fonte de P_2O_5, um componente estrutural usado na produção de vidros fosfatos.
Barita	$BaSiO_4$	Fonte de BaO, um componente fundente usado em vidros especiais. Além disso, ajuda a aprimorar a resistência, o brilho e a transparência dos vidros.
Bauxita; Cianita e sillimanita; Caulim	Aluminossilicatos	Fonte de alumina (Al_2O_3) para vidros aluminossilicatos que devem ser livres de álcalis (Na_2O e K_2O) e, portanto, não admitem o feldspato como matéria prima. Trata-se de um componente estabilizante que confere maior resistência térmica, elétrica e mecânica nos produtos.
Bórax	$Na_2B_4O_5(OH)_4.8H_2O$	Fonte de BO_3 em vidros borossilicatos. Atua como componente fundente e aumenta a resistência mecânica, o brilho e reduz o coeficiente de dilatação térmica das peças.
Calcário (Calcita)	$CaCO_3$	Fonte de cal (CaO) para vidros diversos, em especial os de soda e cal. É um componente estabilizante e promove aumento da resistência mecânica das peças.
Dolomito (Dolomita)	$Ca,Mg(CO_3)_2$	Fonte de magnésia (MgO) para vidros diversos, em especial os de soda e cal. É um componente estabilizante e aumenta a resistência mecânica e química das peças. Além disso, esse recurso também fornece uma quantidade subordinada de cal (CaO).
Fluorita	CaF_2	Componente fundente usado em alguns tipos de vidros especiais (eg. fibras e vidros ópticos) e esmaltes cerâmicos para louças. Confere resistência e produz um brilho esbranquiçado característico (opalescente/leitoso).
Feldspato (Plagioclásio - Ortoclásio)	- $(Na,Ca)(Si,Al)_4O_8$; - $KAlSi_3O_8$	Recurso mais utilizado como fonte de alumina (Al_2O_3) para vidros de soda e cal. Também fornece cal (CaO) no sistema. Nesse caso, atua como componente estabilizante, mas também fornece certas quantidades de álcalis (K_2O e Na_2O), que agem como fundentes.
Galena	PbS	Fonte para a produção de PbO, um aditivo usado para o fabrico de peças artísticas de vidro (decoração), taças de "cristal" e vidros ópticos. Promove aumento na capacidade de refração dos vidros e confere brilho intenso.
Minerais de lítio (Espodumênio, Petalita e Lepidolita)	- $LiAlSi_2O_6$; - $LiAlSi_4O_{10}$; - $K(Li,Al)_3(Si,Al)_4O_{10}(F,OH)_2$	Fonte de Li_2O, um poderoso componente fundente que reduz a viscosidade do vidro e confere resistência. É usado em no fabrico de vidros especiais de cozinha, fibras de vidros e esmaltes cerâmicos.
Minerais Terras Raras (Monazita)	$(Ce,La,Nd,Th)PO_4$	Fonte de óxido de cério (CeO), um aditivo utilizado para controlar o índice de refração em vidros ópticos, bem como descolorir vidros. Esse óxido também é comumente utilizado para a produção de materiais de polimento, que corrigem defeitos superficiais nos vidros.
Nefelina-Sienito	$(Na,K)AlSiO_4$ (Nefelina)	Recurso substitutivo, que pode ser utilizado em lugar do feldspato. Por fornecer alumina (Al_2O3) e álcalis (Na_2O+K_2O), atua como componente estabilizante e fundente.
Zircão	$ZrSiO_4$	Fonte de zircônia (ZrO_2), um aditivo usado como absorvente da radiação (raios-X) em vidros especiais, tais como telas de computadores e televisores.

* Fonte: Edwards & Aume (2006), Freas (2006) e McCullah (2006).

3.4. Indústrias vidreiras em minas gerais

A produção e comercialização de vidro é uma atividade extremamente importante, que gera lucros bilionários e produz milhares de empregos. No Brasil, os dados estatísticos do setor são deficientes, havendo uma grande defasagem na disponibilidade de indicadores de desempenho confiáveis (MME 2018). Até 2010, a Associação Brasileira de Vidros (ABRAVIDROS) divulgava o comportamento da produção referente às três classes da indústria vidreira (vidros planos, embalagens de vidro e artigos de vidros especiais; Tabela 5).

Atualmente, os dados fornecidos referem-se apenas à produção dos diferentes tipos de vidros planos, sendo a produção nacional dominada por cinco grandes empresas: *Cebrace* (unidades instaladas em São Paulo), *Guardian* (RJ e SP), *Vivix* (PE), *AGC* (SP), *Saint-Gobain glass* (SP) e *UBV* (SP).

De acordo com o Cadastro Industrial de Minas Gerais (CIEMG 2018), o estado possui 43 indústrias vidreiras, dentre as quais 23 produzem vidros planos e 20 referem-se à classe de artigos de vidro. A maioria dessas unidades estão instaladas na Região Metropolitana de Belo Horizonte (21), com presença também na Zona da Mata (6), Sul/Sudoeste de Minas (5), Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (3), Norte de Minas (1), Oeste de Minas (4) e Vale do Rio Doce (3). Nessas regiões, os polos produtores ocorrem nos seguintes municípios: *Alfenas, Belo Horizonte, Betim, Brumadinho, Carmo da Cachoeira, Contagem, Divinópolis, Governador Valadares, Ipatinga, Janaúba, Juiz de Fora, Muriaé, Poços de Caldas, Pouso Alegre, Ribeirão das Neves, Ubá, Uberlândia, Vespasiano, e Visconde do Rio Branco* (Figura 9).

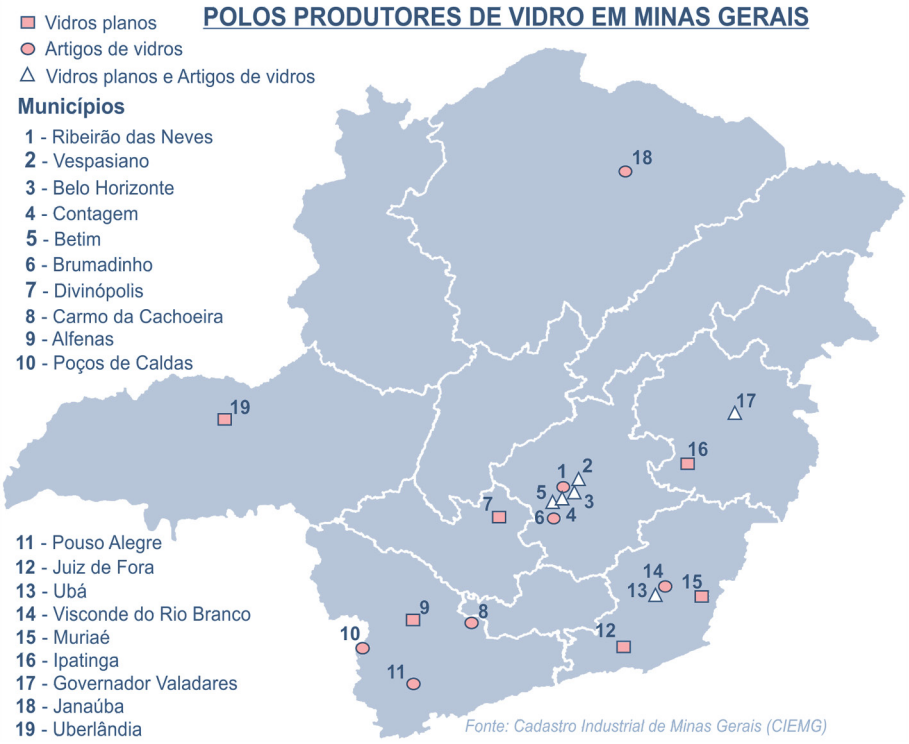

Figura 9. Distribuição dos principais municípios produtores de vidro (planos ou artigos de vidro) em Minas Gerais.

4. RECURSOS MINERAIS DAS CERÂMICAS E DOS VIDROS EM MINAS GERAIS

Com base em informações divulgadas pelos anuários estatísticos mais recentes para o setor industrial (Anuário Mineral Brasileiro – Ano 2010, DNPM 2011; e Anuário Mineral Estadual – Anos 2010 a 2014, Dalla Costa *et al*. 2017), o estado de Minas Gerais detém importantes reservas de recursos minerais que possuem aplicações no segmento cerâmico e vidreiro.

Como a grande variedade de produtos e matérias primas é característica desses dois tipos de indústrias, alguns minerais de ocorrência mais incomum, cuja gênese está relacionada a processos geológicos específicos, não são observados como reservas expressivas no estado (eg. bórax, fluorita e wollastonita; DNPM 2011). Sendo assim, tais recursos não serão enfatizados neste capítulo.

Em contrapartida, o estado detém vários outros insumos que podem ser usados no processo de fabricação de cerâmicas tradicionais ou dos vidros. Na Tabela 8, é possível observar uma síntese desses recursos com os respectivos campos de atuação (fabrico de cerâmicas vermelhas, brancas, de revestimento ou vidros), bem como os municípios de Minas Gerais onde são registradas a ocorrência de reservas medidas (DNPM 2011).

Os recursos minerais apresentados na Tabela 8 também estão classificados de acordo com o uso em cada segmento específico (Motta *et al*. 2001, Ciminelli 2003):

i. *Uso importante* - se o recurso mineral possui uma participação superior a 20% na composição ou nas etapas do processo produtivo;
ii. *Uso adicional* - se o recurso mineral possui uma participação inferior a 10% na composição ou nas etapas do processo produtivo;
iii. *Uso ocasional* - se o recurso mineral participa ocasionalmente na composição ou nas etapas do processo produtivo.

Tendo em vista a grande quantidade de recursos, nos tópicos subsequentes serão tratados aqueles que possuem uso importante (essencial) nas indústrias de cerâmicas tradicionais e vidreiras, mais especificamente as argilas (comuns, plásticas e caulim), as areias industriais (coberturas de areias quartzosas naturais e quartzitos puros) e o feldspato.

Apesar do calcário (calcita), ser muito importante em alguns tipos de cerâmicas brancas e vidros, esse recurso está detalhado em um capítulo à parte neste livro ("Rochas carbonáticas") e, portanto, não será enfatizado. Outros minerais da Tabela 8 também podem ser verificados em capítulos à parte deste livro, a saber:

i. "Agalmatolito" e "Argilas e recursos minerais refratários": agalmatolito/pirofilita, argilas refratárias (caulim e argilas bauxíticas), bauxita, cianita, dolomito e zircão;
ii. "Alumínio": bauxita;
iii. "Chumbo e Zinco": galena;
iv. "Fertilizantes provenientes de depósitos sedimentares de fosfato e de potássio pré-cambrianos": minerais fosfatos (apatita);
v. "Lítio": espodumênio, petalita e lepidolita;
vi. "Terras Raras": monazita;

vii. "Rochas industriais": filito;
viii. "Rochas carbonáticas": calcário e dolomito;
ix. "Recursos minerais para a construção civil": argilas comuns e areia quartzosa.

Tabela 8. Tipos de recursos minerais utilizados nas indústrias de cerâmicas tradicionais e/ou vidreiras e que possuem registros de depósitos no estado de Minas Gerais. Os municípios onde os respectivos depósitos ocorrem também estão assinalados (conforme DNPM 2011). *Segmento industrial de atuação*: **C.V** - *cerâmicas vermelhas;* **C.B** - *cerâmicas brancas/louças;* **C.R** - *cerâmicas de revestimento;* **V** – *vidros;* *Nível de importância quanto ao uso*: **i** - *uso importante;* **a** -*uso adicional;* **o** - *uso ocasional.*

RECURSO MINERAL		C.V	C.B	C.R	V	MUNICÍPIOS*
AREIA INDUSTRIAL (QUARTZO)	Areia natural	a	i	a	i	*Betim, Bom Jesus do Amparo, Cascalho Rico, Juiz de Fora, Lavras, Marmelópolis, Olhos-d'água, Poços de Caldas, Santa Rita do Sapucaí e São Gonçalo do Rio Abaixo*
	Quartzito					*Barão de Cocais, Belo Horizonte, Caeté, Corinto, Delfim Moreira, Guapé, Igarapé, Itabirito, Itutinga, Lavras, Luislândia, Marmelópolis, Mateus Leme, Mato Verde, Ouro Preto, Pará de Minas, Pitangui, Santa Cruz de Minas, São João del Rei, São Thomé das Letras, Taquaraçu de Minas*
	Quartzo (veio)					*Andradas, Araçuaí, Bandeira do Sul, Barbacena, Belmiro Braga, Bicas, Bocaiúva, Bom Repouso, Bueno Brandão, Buenópolis, Cachoeira de Pajeú, Caeté, Carmo do Cajuru, Conceição do Pará, Conselheiro Pena, Diamantina, Divino das Laranjeiras, Dom Joaquim, Ferros, Francisco Dumont, Francisco Sá, Fruta de Leite, Funilândia, Galiléia, Governador Valadares, Inconfidentes, Inhaúma, Itabira, Itacambira, Itambacuri, Itinga, Jequitaí, Jequitibá, Juiz de Fora, Monte Sião, Ninheira, Nova Era, Olhos-d'água, Ouro Fino, Ouro Preto, Presidente Juscelino, Rubelita, Salinas, Santa Bárbara do Leste, Santa Maria de Itabira, Santos Dumont, São Sebastião do Oeste, São Thomé das Letras, Taquaraçu de Minas, Uberlândia, Virgem da Lapa e Visconde do Rio Branco*
ARGILAS	Argilas comuns	i		i		*Aimorés, Andradas, Araguari, Arcos, Bambuí, Barroso, Cachoeira da Prata, Caldas, Cambuí, Cana Verde, Coração de Jesus, Coromandel, Engenheiro Caldas, Esmeraldas, Guarda-Mor, Ijaci, Itaú de Minas, Itaúna, Japaraíba, João Pinheiro, Lagoa Grande, Lagoa Santa, Leandro Ferreira, Matozinhos, Montes Claros, Ouro Fino, Pains, Papagaios, Patos de Minas, Pedro Leopoldo, Perdões, Poços de Caldas, Pouso Alegre, Prados, Presidente Olegário, Sacramento, Santa Rita do Sapucaí, Serrania, Sete Lagoas, Uberaba, Várzea da Palma e Visconde do Rio Branco*
	Argilas plásticas	a	i	i	o	*Alpercata, Araxá, Bom Despacho, Esmeraldas, Inhaúma, João Pinheiro e Lassance*
	Caulim		i	i	o	*Bambuí, Bela Vista de Minas, Belmiro Braga, Bicas, Brás Pires, Campestre, Capitólio, Caraí, Caratinga, Cataguases, Coronel Murta, Diamantina, Dona Euzébia, Espera Feliz, Governador Valadares, Inhaúma, Itabira, Itabirito, Juiz de Fora, Lassance, Mar de Espanha, Monte Sião, Ouro Fino, Patrocínio, Pequeri, Raul Soares, Santa Maria de Itabira, São Miguel do Anta, São Roque de Minas, Tocantins, Ubá e Vermelho Novo*
BARITA			o	o	o	*Araxá e Montalvânia*
BAUXITA			o	o	o	*Alvinópolis, Andradas, Antônio Carlos, Caeté, Caldas, Caldas Brandão, Carangola, Caratinga, Chácara, Descoberto, Divino, Espera Feliz, Guimarânia, Itabirito, Itamarati de Minas, Itamonte, Mariana, Mercês, Miradouro, Miraí, Muriaé, Passa Quatro, Poços de Caldas, São Francisco do Glória, São João Nepomuceno, São José da Safira, Senador Amaral, Silveirânia e Simonésia*
CALCÁRIO (Calcita)			a	i	i	*Alpinópolis, Araguari, Arcos, Baldim, Bambuí, Barroso, Campo Belo, Candeias, Caranaíba, Carmo do Rio Claro, Corinto, Córrego Fundo, Curvelo, Doresópolis, Formiga, Fortaleza de Minas, Iguatama, Ijaci, Itabirito, Itacarambi, Itaú de Minas, Januária, Lagoa da Prata, Lagoa Santa, Mar de Espanha, Matozinhos, Montes Claros, Ouro Preto, Pains, Papagaios, Paracatu, Paraopeba, Pedra do Indaiá, Pedro Leopoldo, Pitangui, Poté, Prados, Presidente Juscelino, Presidente Olegário, Prudente de Morais, Santa Luzia, Santana do Riacho, São João del Rei, São José da Lapa, Sete Lagoas, Uberaba, Unaí, Varjão de Minas, Vazante e Vespasiano.*
CIANITA			o	o	o	*Andrelândia, Arantina e Itamarandiba*
DOLOMITO (Dolomita)					a	*Arcos, Barão de Cocais, Belo Horizonte, Itabirito, Moema, Monjolos, Ouro Branco, Ouro Preto, Pains, Paracatu, Santa Bárbara, Santana de Pirapama e Unaí*
FELDSPATO			i	i	i	*Abre Campo, Andradas, Araçuaí, Barão de Cocais, Bela Vista de Minas, Bom Repouso, Bueno Brandão, Caiana, Conselheiro Pena, Coronel Murta, Divino das Laranjeiras, Dom Joaquim, Galiléia, Governador Valadares, Inconfidentes, Itambacuri, Itinga, Jequitinhonha, Joaíma, Malacacheta, Medina, Minas Novas, Monte Sião, Nova Era, Ouro Fino, Poços de Caldas, Rubelita, Sabinópolis, Salinas, Santa Bárbara do Leste e Virgem da Lapa*
FILITO**		o	o	o		*Arcos, Bambuí, Carandaí, Igarapé, Itabirito, Itinga, Nova União, Onça de Pitangui e Ouro Preto*
GALENA					o	*Paracatu*
MINERAIS DE LÍTIO (Espodumênio, Petalita e Lepidolita)			o	o	a	*Araçuaí e Itinga*
MINERAIS FOSFATOS (Apatita)					o	*Araxá, Cedro do Abaeté, Coromandel, Lagamar, Patos de Minas, Patrocínio, Serra do Salitre e Tapira*
MINERAIS TERRAS-RARAS (Monazita)					o	*Careaçu, Cordislândia, Pouso Alegre, São Gonçalo do Sapucaí e São Sebastião da Bela Vista*
NEFELINA-SIENITO **			o	o	o	*Andradas, Caldas, Campestre e Poços de Caldas*
PIROFILITA (Agalmatolito)			a	a		*Betim, Gouveia, Mariana, Mateus Leme, Onça de Pitangui, Pará de Minas e Pitangui*
TALCO			a	a		*Caranaíba, Carandaí, Congonhas, Mariana, Nova Lima, Ouro Branco, Ouro Preto e Piranga.*
ZIRCÃO			o	o	o	*Caldas, Poços de Caldas, Pouso Alegre, São Gonçalo do Sapucaí e Silvanópolis*

* Fonte: Anuário Mineral Brasileiro - Ano 2010 (DNPM 2011). ** Recurso que pode ser usado em substituição de outro recurso semelhante, em caso de necessidade.

A Figura 10 mostra a localização das principais ocorrências de recursos minerais para a indústria cerâmica e vidreira. Suas principais características estão listadas na Tabela 9.

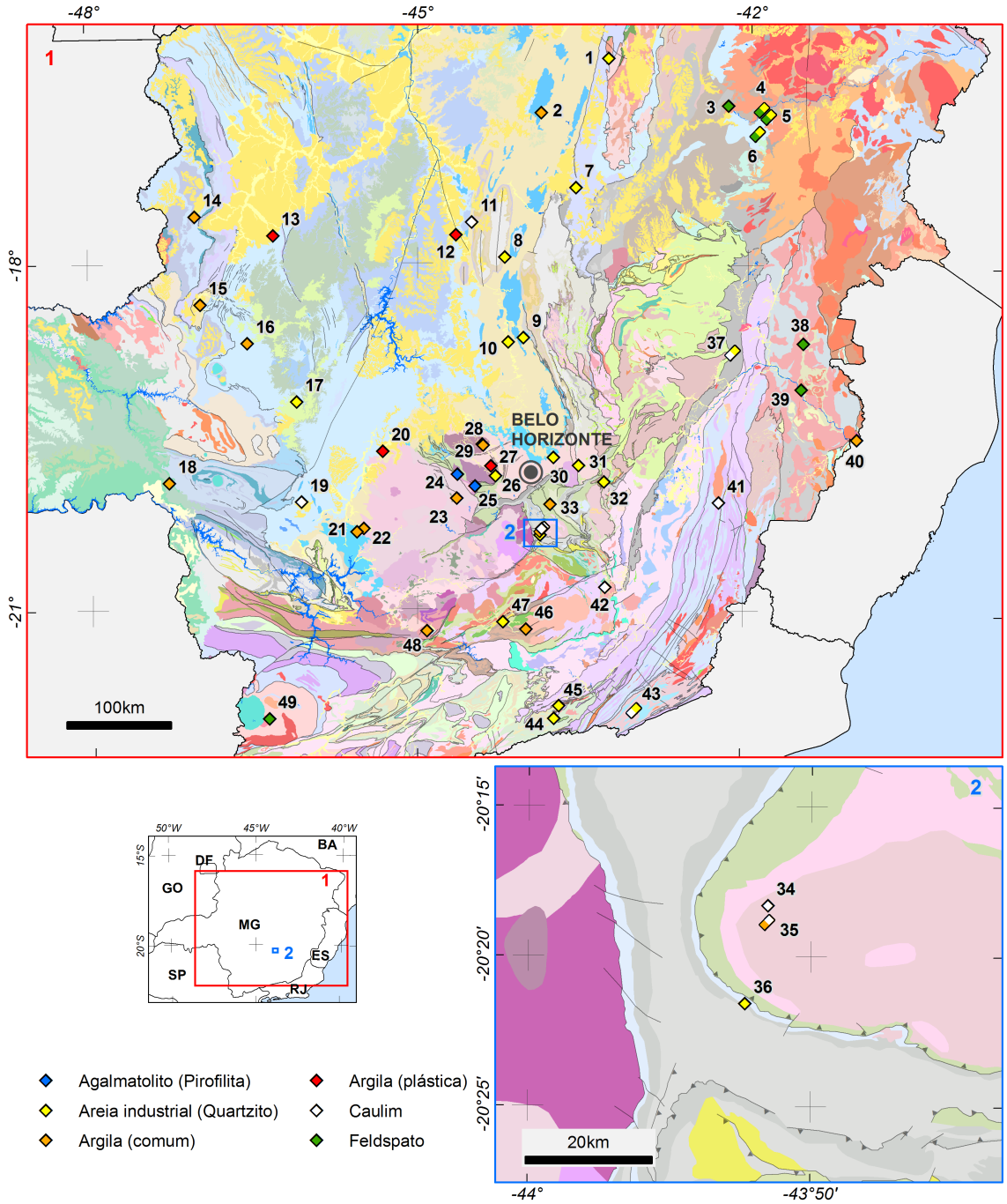

Figura 10. Principais ocorrências de recursos minerais para a indústria cerâmica e vidreira no estado de Minas Gerais. A numeração se refere aos itens da Tabela 9. Mapa geológico modificado de Pinto & Silva 2014.

Tabela 9. Principais ocorrências de recursos minerais para a indústria cerâmica e vidreira no estado de Minas Gerais

	SUBSTÂNCIA	TOPONÍMIA	MUNICÍPIO	Latitude	Longitude
1	Areia industrial (Quartzo)	Fazenda Varginha	Francisco Sá	-16,220938	-43,28067
2	Argila (comum)	Distrito Industrial / Fazenda Bois	Montes Claros	-16,694078	-43,885191
3	Feldspato	Bento	Coronel Murta	-16,624074	-42,197574
4	Feldspato, Areia industrial (Quartzo)	Lavra do Jorge II (Jenipapo)	Itinga	-16,655159	-41,900384
5	Feldspato, Areia industrial (Quartzo)	Taquaral	Itinga	-16,717882	-41,837337
6	Feldspato, Areia industrial (Quartzo)	Olhos d'Água I	Araçuaí	-16,867235	-41,93679

	SUBSTÂNCIA	TOPONÍMIA	MUNICÍPIO	Latitude	Longitude
7	Areia industrial (Quartzo)	Mina do Moinho-RIMA	Olhos-d'Água	-17,344901	-43,566661
8	Areia industrial (Quartzo)	Fazenda Cercanova	Buenópolis	-17,950743	-44,207035
9	Areia industrial (Quartzo)	Água Branca - Fazenda Reserva	Gouveia	-18,648076	-44,03474
10	Areia industrial (Quartzo)	Fazenda City Car	Presidente Juscelino	-18,687135	-44,173148
11	Caulim	Fazenda da Piedade	Lassance	-17,646055	-44,509945
12	Argila (plástica)	Fazenda Porto Faria	Lassance	-17,7583	-44,6519
13	Argila (plástica)	Parque das Andorinhas	João Pinheiro	-17,765182	-46,312327
14	Argila (comum)	Córrego Pedro Pereira	Guarda-Mor	-17,597403	-47,022609
15	Argila (comum)	Coromandel	Coromandel	-18,35998	-46,978454
16	Argila (comum)	Lenhosas	Patos de Minas	-18,698415	-46,551552
17	Areia industrial (Quartzito)	Mineração Dornas	São Gotardo	-19,207591	-46,105306
18	Argila (comum)	Lagoa dos Esteios I	Sacramento	-19,906119	-47,276413
19	Caulim	Chapadão	Bambuí	-20,076282	-46,064561
20	Argila (plástica)	Córrego de Água Quente	Bom Despacho	-19,637691	-45,31788
21	Argila (comum)	Fazenda Boqueirão	Arcos	-20,336582	-45,555105
22	Argila (comum)	Distrito sede de Arcos	Arcos	-20,306866	-45,49441
23	Argila (comum)	Fazenda Bagaginha	Itaúna	-20,043168	-44,639592
24	Agalmatolito (Pirofilita)	Laginha	Pará de Minas	-19,836305	-44,635376
25	Agalmatolito (Pirofilita)	Mineração Mateus Leme	Mateus Leme	-19,937251	-44,471556
26	Areia industrial (Quartzo)	Ribeirão Serra Negra, na Serra Negra de Baixo	Esmeraldas	-19,8473	-44,2841
27	Argila (plástica)	Fazenda Santa Cruz	Esmeraldas	-19,761583	-44,327873
28	Argila (comum)	Fazenda da Tumba	Inhaúma	-19,583804	-44,39954
29	Areia industrial (Quartzo)	Fazenda Bom Sucesso	Inhaúma	-19,574638	-44,40704
30	Areia industrial (Quartzo)	Córrego do Engenho	Taquaraçu de Minas	-19,686306	-43,755091
31	Areia industrial (Quartzo)	Fazenda Quinta do Lago	Bom Jesus do Amparo	-19,754362	-43,523979
32	Areia industrial (Quartzo)	Fazenda da Mata Escura Ou Borges	São Gonçalo do Rio Abaixo	-19,894641	-43,289533
33	Argila (comum)	Fazenda do Viana - Rio Acima	Rio Acima	-20,093808	-43,783981
34	Caulim	Olaria	Itabirito	-20,305197	-43,858982
35	Argila (comum), Caulim	Fazendas do Campo e Saboeiro	Itabirito	-20,314642	-43,859816
36	Areia industrial (Quartzo)	Serra das Serrinhas	Itabirito	-20,359716	-43,872207
37	Caulim, Areia industrial (Quartzo)	Arízio	Governador Valadares	-18,766028	-42,133967
38	Feldspato	Córrego Vazante da Cachoeira, Pomarolli / Oscar	Divino das Laranjeiras	-18,675473	-41,484795
39	Feldspato	Boa Vista / Rogerio Zucoloto	Conselheiro Pena	-19,075475	-41,495352
40	Argila (comum)	Divisa com Espírito Santo	Aimorés	-19,501423	-40,97928
41	Caulim	Cerca de 5 km a sudeste de Vermelho Novo	Vermelho Novo	-20,065923	-42,23377
42	Caulim	Fazenda do Mota	Brás Pires	-20,809055	-43,272021
43	Caulim, Areia industrial (Quartzo)	Fazenda Santa Maria	Mar de Espanha	-21,876641	-42,992256
44	Areia industrial (Quartzito)	Rio Monte Verde	Santa Bárbara do Monte Verde	-21,950276	-43,731716
45	Areia industrial (Quartzito)	Sudeste de Lima Duarte	Santa Bárbara do Monte Verde	-21,838495	-43,68833
46	Argila (comum)	Monjolo	Barroso	-21,176551	-43,996452
47	Areia industrial (Quartzo, Quartzito)	Distrito sede de São João del Rei	São João del Rei	-21,115088	-44,208645
48	Argila (comum)	Sede de Ijaci	Ijaci	-21,19492	-44,911214
49	Feldspato	Pocinhos do Rio Verde	Caldas	-21,954963	-46,376458

5. ARGILAS

As argilas são conhecidas e utilizadas pelo homem desde a antiguidade e ainda hoje são indispensáveis para a confecção de vários produtos industriais, a exemplo das cerâmicas vermelhas e do cimento. Elas estão amplamente distribuídas na superfície terrestre e são objeto de estudo em diversas áreas do conhecimento (mineralogia, sedimentologia, pedologia, engenharias, agronomia etc.) o que, por vezes, implica em divergências quanto a algumas definições de termos específicos e formas de classificação (Bergaya & Lagaly 2013).

Em linhas gerais, *argila* é um termo genérico que faz referência aos materiais naturais compostos por minerais de tamanho muito reduzido e que se comportam de maneira rígida, quando secos, ou de maneira plástica, quando suficientemente misturados em água. Elas são constituídas essencialmente por argilominerais, podendo também conter diversos tipos de impurezas responsáveis por alterar suas propriedades (eg. outras espécies de minerais, matéria orgânica ou até mesmo diminutos fragmentos de rocha). A depender do grau de coesão entre as partículas, as argilas podem ocorrer como agregados granulares inconsolidados, ou como principal componente consolidado em rochas argilosas (eg. argilitos, siltitos, folhelhos, ritmitos etc.).

Apesar do tamanho das partículas ser uma característica fundamental, não há consenso na literatura com relação aos valores: em Geologia (Sedimentologia) e Engenharias, normalmente adota-se que as partículas argilosas são aquelas com diâmetro menor do que 0,004 mm (classificação de Wentworth 1922), ao passo que em Pedologia são aquelas com diâmetro menor do que 0,002 mm.

Quanto à extração, as lavras de argilas ocorrem em cavas a céu aberto e podem ser manuais, por meio do uso de ferramentas rudimentares, ou mecânicas, por meio de tratores e escavadeiras. No primeiro caso, a produção é destinada para o abastecimento de pequenas olarias locais, ao passo que o volume da produção nas lavras mecanizadas é destinado às fábricas de pequeno, médio ou grande porte, que tendem a se instalar próximo das jazidas para evitar os altos custos envolvidos com o transporte.

5.1. Os argilominerais

Com relação à natureza composicional, as argilas puras (monominerálicas) são materiais raros, de modo que a grande maioria é formada por um agrupamento de minerais fundamentais (os argilominerais) que predominam em relação às impurezas. Os tipos de minerais presentes, bem como a abundância de cada um, variam conforme a natureza do depósito e os processos geológicos envolvidos na sua formação (Bergaya & Lagaly 2013, Harvey & Lagaly 2013).

Os argilominerais correspondem a um grupo complexo de silicatos hidratados (de alumínio ou de magnésio) que, a depender do grau de substituição por outros elementos na estrutura cristalina, assumem composições químicas mais complexas.

Apesar de haver algumas poucas exceções, a estrutura cristalina típica dos argilominerais é a dos filossilicatos, ou seja, são minerais formados pelo empilhamento regular de camadas, ou folhas, de tetraedros de sílica (SiO_2 - camada "T") sobre camadas octaédricas de alumínio ($Al_2(OH)_6$ - camada "O"). Nos argilominerais, essas camadas podem ocorrer em arranjo bilamelar (1:1 ou sequências do tipo "T-O") ou trilamelar (2:1 ou sequências "T-O-T"). Neste último caso, a estrutura contempla um espaço para a instalação de sucessivas camadas iônicas, onde podem se alojar diversos tipos de elementos (Na, K, Ca, Li etc.) ou moléculas de água (Figura 11A).

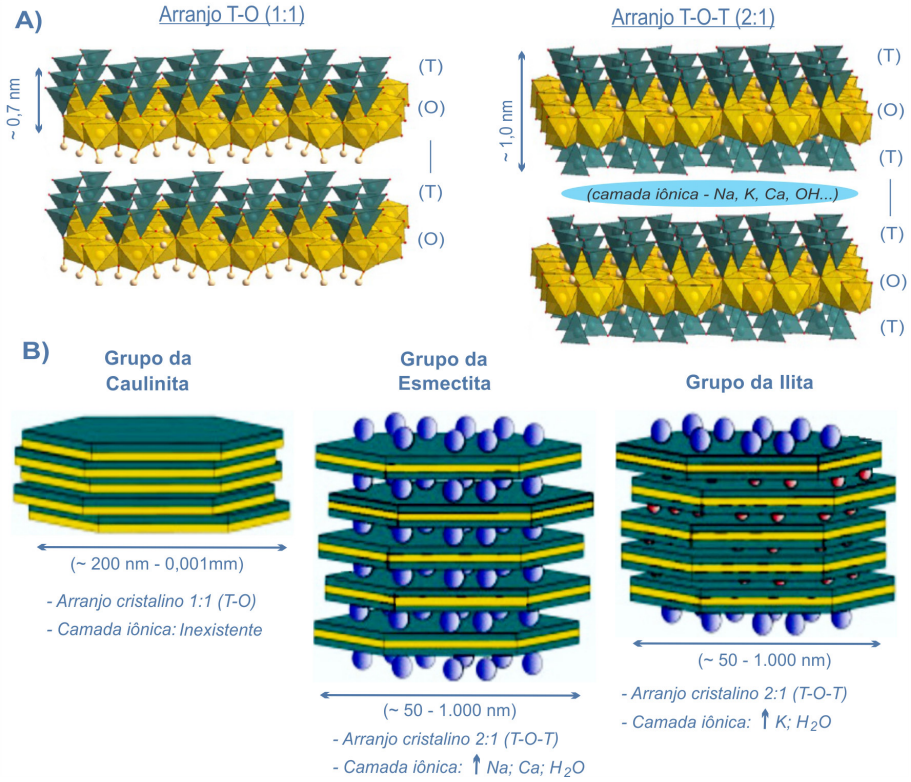

Figura 11. Esquema simplificado que mostra o arranjo cristalino típico dos argilominerais mais comuns. **A)** Os argilominerais de arranjo 1:1 (ou "T-O") são formados pelo empilhamento regular de sucessivas camadas, formadas por tetraedros sílica (T) e octaedros de alumínio (O), sem a presença de íons interlamelares. Nos argilominerais do tipo 2:1 (ou "T-O-T), por sua vez, as camadas estão conectadas em arranjo tríplice, sendo cada um deles conectados entre si por uma camada que pode ser formada por diversos íons (Na, K, Ca, Li, Água etc.). **B)** Detalhe do arranjo cristalino dos minerais que compõe os três grupos mais comuns (caulinita, esmectita e ilita), cada um com diferenças não só no tamanho dos cristais, mas também com relação aos tipos de elementos que preenchem as camadas interlamelares. Fonte: modificado de Tournassat *et al.* (2015).

Com base em diferenças no arranjo cristalino (espaçamento entre as camadas tetraédricas e octaédricas) e na composição (tipos de íons que preenchem os espaços interlamelares), várias espécies de argilominerais podem ser encontradas nas argilas, o que influencia significativamente suas propriedades físico-químicas e aplicações industriais (Harvey & Lagaly 2013, Tournassat *et al.* 2015).

Nesse caso, conforme suas características principais, os argilominerais são divididos em grupos em comum, dentre os quais se destacam os membros dos grupos da caulinita,

as esmectitas e as ilitas (Figura 11B), cujas características principais estão sumarizadas na Tabela 10 (Deer *et al.* 2013).

Tabela 10. Síntese dos principais grupos de argilominerais e suas características diagnósticas principais.

GRUPO	CARACTERÍSTICAS*
Caulinita	**Fórmula Geral:** $Al_2Si_2O_5(OH)_4$
	Espécies minerais: *Caulinita**; Haloisita; Dickita; Nacrita*
	Íon principal na camada interlamelar: *Inexistente*
	Água na camada interlamelar: *somente na espécie haloisita*
	Origem (principal): *decomposição de rochas ricas em feldspato; alteração hidrotermal*
Esmectita	**Fórmula Geral:** $(Na,Ca)_{0.3}(Al,Mg)_2(Si_4O_{10}).nH_2O$
	Espécies: *Montmorilonita**; Nontronita; Beidelita; Saponita*
	Íon principal na camada interlamelar: *Ca e Na*
	Água na camada interlamelar: *alta*
	Origem (principal): *decomposição de cinzas vulcânicas; decomposição de rochas básicas;*
Ilita	**Fórmula Geral:** $(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}).nH_2O$
	Espécies: Ilita**; Fengita; Brammalita; Glauconita; Celadonita
	Íon principal na camada interlamelar: *K*
	Água na camada interlamelar: *baixa*
	Origem: *reações diagenéticas ou de baixo grau metamórfico.*

* Fonte: Deer *et al.* (2013).** principal espécie do grupo (mais recorrente em depósitos argilosos).

5.1.1. Origem dos argilominerais

Os argilominerais podem ser formados em vários ambientes, a partir de diferentes processos geológicos. Apesar da existência de espécies autigênicas/neoformadas (aquelas se originam a partir da precipitação direta de fluidos aquosos enriquecidos em sílica e outros componentes dissolvidos), a grande maioria dos argilominerais resulta da alteração de minerais pré-existentes. Essa alteração pode ocorrer em diversos tipos de minerais diferentes (inclusive a partir de outros argilominerais), e pode ser resultante de três processos geológicos (Galán & Ferrel 2013):

i. *Alteração intempérica* - envolve a desagregação física e decomposição química de minerais componentes de rochas expostas em superfície. Esse processo ocorre mediante interação de água da chuva que penetra os poros ou fraturas das rochas e estimula a retirada de elementos dos minerais por reações de troca iônica. Assim, em decorrência do grande volume pluviométrico, esse processo é bastante atuante em regiões tropicais, como o Brasil. A alteração intempérica em si é um processo complexo e a formação dos tipos de argilominerais depende de vários fatores, tais como tipo de rocha fonte, tipo de clima (volume de chuvas e variações de temperatura), tempo, topografia, presença de organismos vivos, entre outros;

Alteração hidrotermal - desagregação de minerais pré-existentes por ação de fluidos em altas temperaturas (maior do que 50 °C), normalmente originados em decorrência de algum tipo de manifestação magmática. Os fluidos interagem com as rochas em subsuperfície e, dependendo da sua composição química (além de temperatura, acidez, elementos dissolvidos, tipos de rochas que interagem etc.), diferentes tipos de argilominerais podem ser formados. É característico desse processo a formação de depósitos zonados, com presença dos níveis argilosos nas imediações da porção basal e de topo dos veios. Nesse caso, a

espessura e a extensão dos depósitos depende da intensidade da interação entre os veios hidrotermais e a rocha encaixante;

Diagênese e metamorfismo - consiste na formação de argilominerais novos a partir de reações diagenéticas ou metamórficas que ocorrem em argilominerais neoformados ou herdados em bacias sedimentares. Quanto ao metamorfismo, vale ressaltar que o grau deve ser baixo, uma vez que os argilominerais tendem a ser transformados em micas (muscovita), quando as temperaturas e pressões atingem valores mais elevados. O melhor exemplo de argilominerais formados nesse contexto são as ilitas, produzidas pela transformação de esmectitas detríticas (ilitização). Trata-se de uma reação muito comum, quando os sedimentos argilosos são compactados e atingem temperaturas da ordem de 120 °C durante a diagênese.

Em relação a esses processos, os argilominerais mais comumente encontrados em depósitos de interesse econômico para as indústrias de cerâmicas tradicionais (caulinita, ilitas esmectitas; Tabela 10), possuem a seguinte origem (Deer *et al.* 2013, Galán & Ferrel 2013):

i. *Caulinita* - é o argilomineral mais frequente em depósitos argilosos e sua gênese é atribuída, principalmente, à decomposição de feldspatos, seja por alteração intempérica ou hidrotermal. Como o feldspato é mais abundante em rochas intrusivas ácidas (eg. granitos, gnaisses, pegmatitos, granodioritos etc.), os depósitos de argilas cauliníticas tendem a ocorrer nas regiões dominadas por essas rochas. Em superfície, esse mineral é considerado resistente aos processos de erosão e transporte e, comumente, é encontrado como partícula detrítica em bacias sedimentares;

Esmectitas - a montmorilonita é o principal mineral do grupo e sua gênese está relacionada com a alteração de cinzas e tufos vulcânicos. Além disso, esses argilominerais também podem resultar de atividade hidrotermal associada com depósitos de minerais metálicos, assim como são abundantes em solos que resultam da alteração de rochas básicas. São menos resistentes aos processos de intemperismo e transporte em superfície e normalmente não são encontrados em bacias sedimentares afastadas da área fonte;

Ilitas - são os argilominerais que ocorrem como o principal componente em rochas sedimentares (argilitos, siltitos, folhelhos e ritmitos), podendo também estar presentes em calcários impuros. Nesse caso, boa parte das ilitas resultam de reações diagenéticas que provocam a alteração de outros argilominerais (eg. ilitização das esmectitas). Subordinadamente, as ilitas também podem se formar a partir da decomposição de muscovita detrítica e, em processos de alteração hidrotermal, normalmente encontrando-se nas imediações de veios associados com depósitos de minerais metálicos.

5.2. Tipos de depósitos de argila

Com base na natureza dos argilominerais que compõem as argilas, os depósitos podem ser genericamente classificados em dois tipos (Abreu 1960, Motta *et al*. 2004, Cabral Jr. *et al*. 2012):

i. *Argilas residuais* (primárias ou de alteração) - ocorrem quando os argilominerais permanecem no local onde foram formados (*in situ*), seja pelo processo de alteração intempérica, seja por alteração hidrotermal. Quanto às argilas que ocorrem em superfície, os depósitos tendem a se formar em altos topográficos (morros e serras) e podem ser originados a partir da decomposição de diversos tipos de rochas, tais como granitos, gnaisses, filitos e xistos. Esses depósitos normalmente são irregulares e formam mantos de alteração sem forma definida que recobrem a rocha fonte (Figura 12);

ii. *Argilas sedimentares* (secundárias ou transportadas) - ocorrem quando os argilominerais são retrabalhados em superfície, ou seja, sofrem transporte (pela ação do vento ou da água) e acumulam-se em regiões de baixo topográficos, tais como fundo de vales, leito de rios e lagos, planícies de inundações de rios, planícies costeiras etc. A depender da idade, essas argilas são divididas em dois tipos (Figura 12):

   a. *Argilas Quaternárias* - são os depósitos formados recentemente no tempo geológico, apresentando-se como sedimentos inconsolidados em planícies de inundações de rios (zonas de várzea), fundos de lagos e planícies costeiras (zonas de mangues) atuais. Os depósitos comumente ocorrem na forma de lentes intercalados com material arenoso e normalmente apresentam elevada umidade, alta plasticidade e presença de matéria orgânica. A caulinita é o argilomineral mais frequente, podendo haver locais onde há também ilitas associadas. Vale ressaltar que as atividades de lavra nesses depósitos são intermitentes, via de regra, sendo paralisadas em épocas de cheia, quando as águas ou inundam a cava, ou inviabilizam a logística da extração;

   b. *Rochas argilosas (Taguás/pelitos)* - são depósitos de bacias sedimentares antigas (pré-Quaternário) que, ao longo do tempo geológico, foram soterrados, compactados e consolidados em rochas sedimentares (argilitos, siltitos, folhelhos, ritmitos etc.). Nesse caso, após formadas em profundidade, essas rochas afloram em superfície após a deformação causada por eventos tectônicos. A ilita é o argilomineral predominante, uma vez que é o mais estável nas condições de temperatura que a diagênese atinge (até ca. 200 °C; Galán & Ferrel 2013). Além disso, as argilas derivadas dessas rochas também são diagnosticadas pela presença de quantidades apreciáveis de óxidos de ferro. No mercado industrial, elas são caracterizadas pelo baixo ponto de fusão e, no jargão cerâmico, são conhecidas em alguns locais como *taguás* (nome em referência ao Tupi, que se refere às argilas usadas para comer; Abreu 1960). No jargão geológico, essas rochas são genericamente classificadas como *pelitos*.

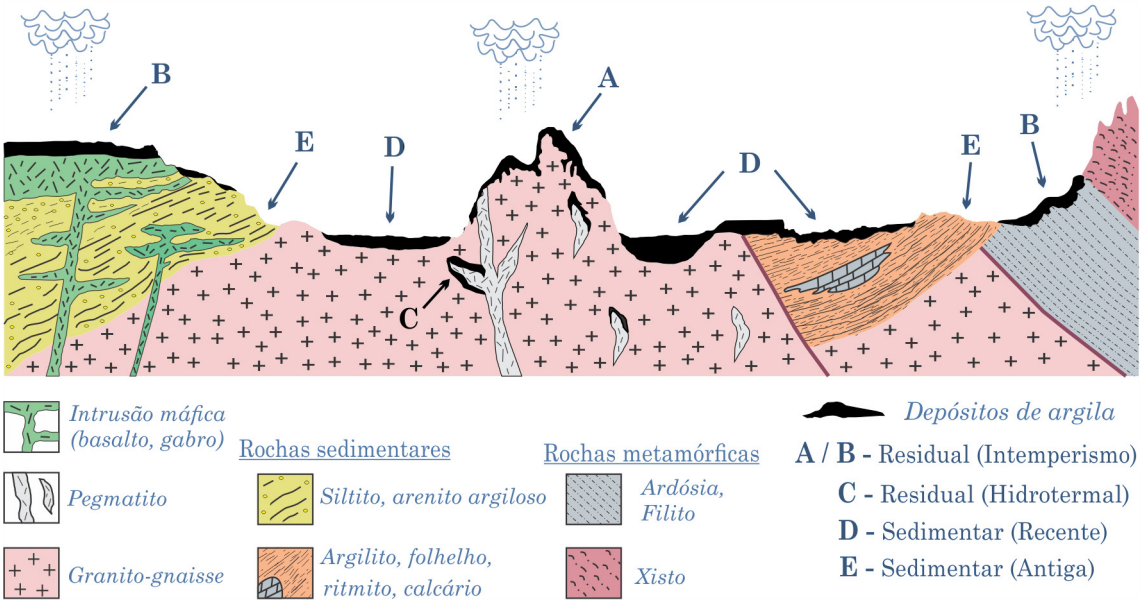

Figura 12. Ilustração esquemática que mostra as diferentes formas de ocorrências dos depósitos argilosos. As argilas residuais formam-se a partir da decomposição de vários tipos de rochas em superfície (A e B), ou então pela alteração hidrotermal das rochas em profundidade (C). Por outro lado, as argilas sedimentares resultam do acúmulo de argilominerais retrabalhados em superfície, quando os mesmos se depositam em regiões de baixos topográficos (bacias). A depender da idade, essas argilas ocorrem como sedimentos inconsolidados recentes (período Quaternário; D), ou então consolidadas em rochas argilosas que representam bacias sedimentares antigas (E). Fonte: esquema modificado de Abreu (1960).

5.3. Classificação das argilas

Tendo em vista a diversidade textural e composicional, bem como as diferentes formas de ocorrência e aplicações, vários critérios podem ser adotados para diferenciar os inúmeros tipos de argilas existentes. Alguns desses critérios e a nomenclatura correspondente estão resumidos na Tabela 11 (Motta *et al.* 2004).

Tabela 11. Formas de classificação das argilas com base na adoção de vários critérios diferentes.

CRITÉRIO	CLASSIFICAÇÃO
Conteúdo mineral	Argilas cauliníticas (caulim), argilas esmectíticas; argilas ilíticas, argilas gibbsíticas, argilas calcíticas, argilas mistas etc.
Conteúdo composicional	Argilas alcalinas, argilas ferruginosas (ocres), argilas aluminosas, argilas carbonáticas etc.
Tipo de rocha	Argilitos, siltitos, folhelhos, ritmitos, margas, varvitos, turfa etc.
Idade	Argilas quaternárias, argilas terciárias, argilas fanerozoicas, argilas mesozoicas etc.
Ambiente de formação	Argilas marinhas, argilas deltaicas, argilas de planícies de inundação (várzea), argilas lacustres, argilas de estuário etc.
Local de deposição	Argilas residuais (alteração/primárias) e argilas sedimentares (transportadas/ secundárias).
Granulometria	Argila, argila siltosa ou argila arenosa
Plasticidade	Argilas plásticas ou argilas duras (argiloides)
Denominação local	Taguás, Tabatingas ou Torbas
Temperatura de queima	Argilas fundentes ou argilas refratárias
Cor que adquirem após a queima	Argilas brancas, argilas vermelhas ou argilas de queima clara
Mercado nacional (Brasil)	Argilas comuns (ou estruturais), argilas plásticas, argilas refratárias, bentonita, caulim, terras *Fuller* (argilas fibrosas) etc.
Mercado internacional	*Common clays* (*structural clays* ou *brick clays*), *ball clays*, *fire clays*, *bentonite*, *China clays*, *Fuller's Earth* etc.

Fonte: Motta *et al.* (2004).

Dentre essas formas de classificação, a mais usual é a adotada pelo mercado industrial nacional e internacional (termos em inglês; Tabela 11) que, baseado nas propriedades e aplicações, define a existência de seis grandes tipos de argilas (Lima & Neves 2016, USGS

2018): comuns (*common clays*, *structural clays*, *brick clays*), plásticas (*ball clays*), refratárias (*fire clays*), bentonita (*bentonite*), caulim (*China clays*) e terras *fuller* (*Fuller's Earth*).

Nas indústrias de cerâmicas tradicionais, as argilas comuns, plásticas e o caulim são os tipos mais visados, atuando como componentes essenciais que estruturam as massas de cerâmicas vermelhas, brancas ou de revestimento.

Na indústria vidreira, por sua vez, as argilas não são componentes essenciais. Em algumas situações específicas, o caulim é utilizado apenas como componente adicional nas massas que produzem vidros especiais, com o objetivo de reduzir a concentração de álcalis (Na_2O e K_2O), elevar os teores de alumina (Al_2O_3) e produzir vidros com maior resistência mecânica, térmica ou elétrica (eg. fibras de vidro).

5.4. Argilas comuns

As argilas comuns compreendem os tipos mais recorrentes e abundantes encontrados na superfície terrestre. São argilas de conteúdo mineralógico variável, compostas por diferentes quantidades de ilitas (predominante), caulinita e esmectitas. Normalmente, elas também contêm várias impurezas como quartzo, feldspato, micas detríticas (principalmente muscovita), matéria orgânica e óxidos e hidróxidos de ferro.

Os depósitos de argilas comuns podem ocorrer na forma de sedimentos inconsolidados, facilmente desagregados, ou como principal componente em rochas argilosas, a exemplo do metassiltito laminado da Figura 13.

Figura 13. Detalhes de argilas comuns, os tipos mais recorrentes encontrados na superfície terrestre e essenciais para o fabrico de cerâmicas vermelhas. Esses recursos podem ser obtidos a partir de sedimentos não coesos ou consolidados em rochas argilosas. Fotos: acervo do autor.

Nesse caso, a obtenção das argilas é mais trabalhosa, envolvendo uma etapa de trituração mais rigorosa. Os depósitos comumente apresentam-se com coloração amarronzada-avermelhada (Figura 13), mas essa não é a cor exclusiva. Como esses recursos admitem uma composição muito variada, diversas outras tonalidades podem ocorrer (eg. roxo, amarelo, verde, cinza, marrom, preto etc.). Entretanto, independente do aspecto como se apresentam em depósitos naturais, as argilas comuns são diagnosticadas pela cor avermelhada que adquirem após a queima (Motta *et al.* 2004, Keith & Murray 2006).

Além de serem tradicionalmente utilizadas para o fabrico de cerâmicas vermelhas (eg. blocos, tijolos maciços, telhas, lajotas, pisos cerâmicos rústicos e outros tipos de artigos cerâmicos para uso doméstico ou adorno), as argilas comuns também são muito visadas para obras em construção civil (para aterros, construção e manutenção de estradas). Também são usadas para o fabrico de cimento e argilas expandidas (agregados granulares porosos, leves, resistentes e quimicamente inertes, com função de promover o isolamento térmico e acústico, ou como objeto de decoração utilizado em jardinagem e paisagismo).

5.4.1. Propriedades industriais

Além da cor avermelhada que adquirem após a queima, as argilas comuns são caracterizadas por possuir várias propriedades físico-químicas, dentre as quais se destacam a plasticidade, a força coesiva e dilatação e a vitrificação (Keith & Murray 2006):

i. *Plasticidade* - capacidade das argilas de serem modeladas em diferentes formas quando suficientemente misturadas em água (trabalhabilidade). É definida por fatores como tipos e quantidade dos minerais presentes, tamanho e forma das partículas e presença de matérias orgânicas e sais minerais solúveis em água. Quanto à plasticidade, as argilas comuns absorvem bem a água e produzem massas facilmente moldáveis;

ii. *Força coesiva e dilatação* - propriedade das argilas de manter a forma e o volume após modelagem, impedindo que as massas voltem ao estágio original após a deformação e desidratação. Em linhas gerais, as argilas comuns são consideradas materiais bastante coesivos;

iii. *Vitrificação* - capacidade das argilas em produzir fases vítreas (sílica fundida) durante a queima. Essa propriedade varia conforme a quantidade de impurezas de caráter fundente (eg. feldspato, minerais carbonáticos e matéria orgânica), que estão presentes nas massas. Por serem consideradas impuras, as argilas comuns são caracterizadas por produzirem fases fundidas nas temperaturas mais baixas, normalmente entre 800 e 900 °C. As argilas expandidas são exceções e, via de regra, são produzidas em fornos que atingem temperaturas da ordem de 1.000 a 1.100 °C (Motta *et al.* 2001).

Quanto à composição química, as argilas comuns variam bastante, admitindo diferentes valores para os óxidos principais. Entretanto, destacam-se os altos valores de ferro (Fe_2O_3) e álcalis (K_2O e Na_2O), que são os responsáveis pela cor avermelhada das massas e pelo baixo valor de queima industrial, respectivamente. A título de exemplo, a Tabela 12 mostra a composição de algumas argilas comuns extraídas no Brasil (Motta *et al.* 2004).

Tabela 12. Composição química (% em peso) de alguns tipos de argilas comuns brasileiras. Abreviações: K – Caulinita; E – Esmectitas; I – Ilitas; P.F. – Perda ao fogo.

Tipo	LOCALIZAÇÃO	ASSOCIAÇÃO MINERAL	SiO_2	AL_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P.F.
Argila recente	Campos (RJ)	K, E	51,7	25,8	7,8	1,37	0,13	0,59	1,33	0,39	10
Argila recente	Recôncavo (BA)	K, I	60,5	21,2	6,1	1,05	0,61	1,65	1,65	0,28	9,2
Rocha argilosa	São Paulo (Fm. Corumbataí)	I, K, E	66,6	15,4	4,5	0,58	0,25	2,73	4,01	0,18	5,68
Rocha Argilosa	Santa Catarina (Fm. Rio do Rastro)	nd	69,2	15,2	3,76	0,57	0,19	1,53	4,51	0,59	4,37

Fonte: Motta *et al.* (2004).

5.4.2. Ocorrência geológica

As argilas comuns são de natureza secundária, ou seja, formam-se em depósitos sedimentares, podendo ser encontradas como sedimentos inconsolidados em bacias recentes (Quaternário), ou em rochas argilosas que representam bacias sedimentares antigas (Figura 13).

Os depósitos são abundantes, recorrentes e podem variar suas características mineralógicas ou texturais conforme o tipo de rocha da área fonte e a natureza do transporte dos argilominerais até a deposição em regiões de depressões topográficas (Abreu 1960, Motta *et al.* 2004, Cabral Jr. *et al.* 2012).

5.4.3. Direito minerário

No banco de dados da Agência Nacional de Mineração (SIGMINE 2018), os títulos minerários referentes ao aproveitamento de recursos minerais argilosos estão registrados de várias maneiras. Dentre as substâncias que podem ser indicativas de argilas comuns, destacam-se os títulos cadastrados como "argilas", "argila para cerâmica vermelha", "argilito", "ocre" e "siltito". Ao todo, são 2.028 títulos e se encontram em diversas fases do regime de aproveitamento mineral (Tabela 13).

Tabela 13. Títulos minerários que fazem referência ao aproveitamento de argilas comuns no estado de Minas Gerais.

SUBSTÂNCIA	QUANTIDADE	FASE DO PROCESSO
Argila	1995	Autorização de Pesquisa: 753 títulos; Concessão de lavra: 122 títulos; Disponibilidade: 48 títulos; Licenciamento: 538 títulos; Requerimento de lavra: 124 títulos; Requerimento de licenciamento: 265 títulos; Requerimento de pesquisa: 155 títulos
Argila para cerâmica vermelha	1	Licenciamento
Argila vermelha	6	Licenciamento: 3 títulos; Requerimento de lavra: 3 títulos
Argilito	12	Autorização de Pesquisa: 4 títulos; Concessão de lavra: 3 títulos; Licenciamento: 1 título; Requerimento de lavra: 4 títulos
Ocre	3	Concessão de lavra: 3 títulos
Siltito	1	Requerimento de lavra

Fonte: Banco de dados da Agência Nacional da Mineração (SIGMINE 2018).

A distribuição desses títulos no estado de Minas Gerais pode ser verificada na Figura 14 e mostra o caráter difuso desse recurso mineral. A distribuição desses títulos por todo o estado também confirma o caráter abundante e recorrente desse recurso mineral.

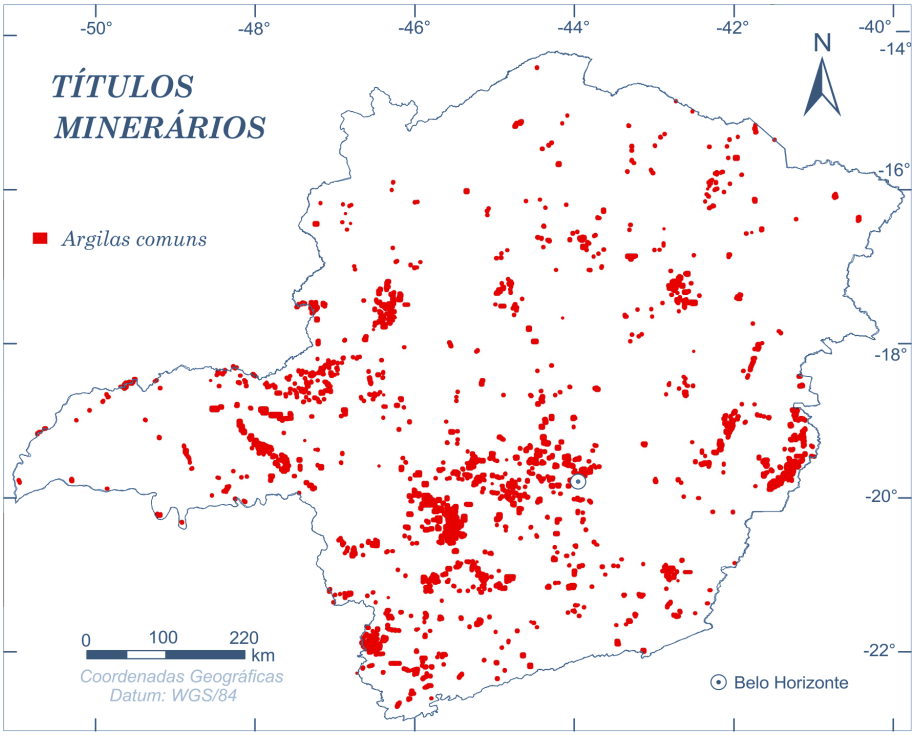

Figura 14. Distribuição dos títulos minerários referentes às argilas comuns em Minas Gerais. Ao todo, estão registrados 2.028 títulos, que se encontram em diversas fases do regime de aproveitamento mineral. Fonte: Banco de dados da Agência Nacional da Mineração (SIGMINE 2018).

5.4.4. Depósitos importantes em Minas Gerais

Pelo fato de Minas Gerais ser um estado afastado das planícies litorâneas costeiras, os depósitos de argilas recentes (Quaternárias) predominam nas planícies de inundações (zonas de várzea) dos rios, riachos, ribeirões e córregos que compõe o sistema hídrico do estado (Figura 15).

Os sedimentos inconsolidados no estado também estão representados por um conjunto de coberturas cenozoicas, formadas desde 65 milhões de anos atrás até o presente. Além de aluviões antigos, essas coberturas também contêm a sedimentação arenosa e conglomerática, bem como as lateritas e solos residuais formados em zonas de colúvio ou elúvio. Por vezes, em meio a esses sedimentos, também ocorrem níveis ou bolsões de argilas comuns. A distribuição dessas unidades cenozoicas pode ser verificada no mapa da Figura 15.

Com relação à presença de rochas argilosas que representam as bacias sedimentares antigas (taguás ou pelitos), o estado de Minas Gerais também apresenta um grande potencial para a ocorrência de argilas comuns (Figura 16). Tendo em vista a complexidade do substrato geológico do estado, essas rochas representam bacias sedimentares que variam em uma ampla faixa de idade, desde o Arqueano até o Cretáceo (Pinto & Silva 2014).

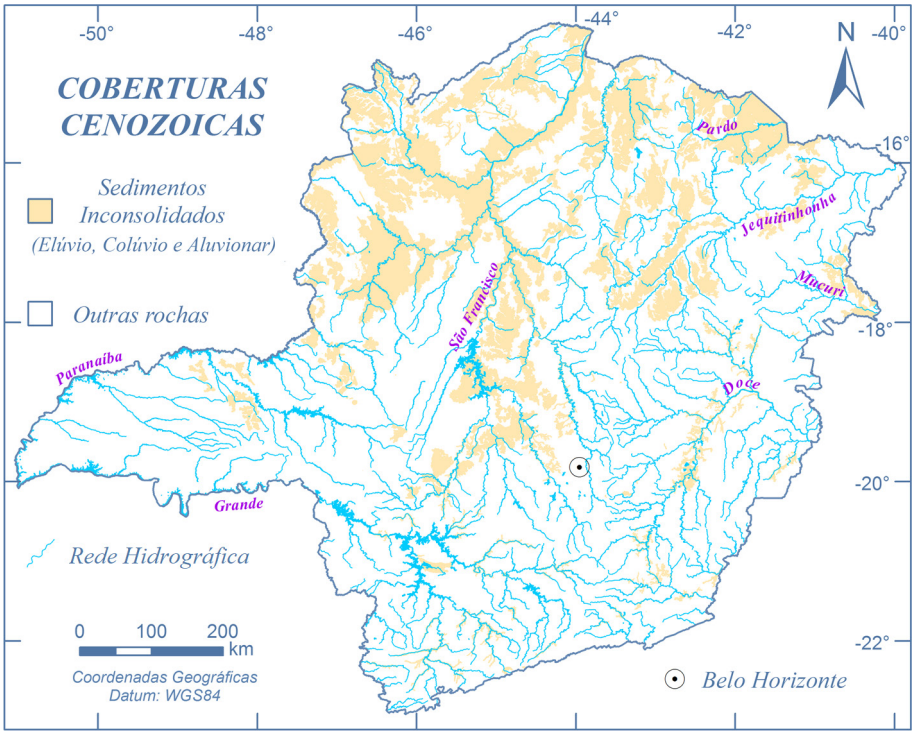

Figura 15. Distribuição da rede hidrográfica e das coberturas cenozoicas no estado de Minas Gerais. Em ambos, podem ocorrer depósitos de argilas comuns em forma de sedimentos inconsolidados. Fonte: Adaptado do Mapa Geológico de Minas Gerais, escala 1:1.000.000 (Pinto & Silva 2014).

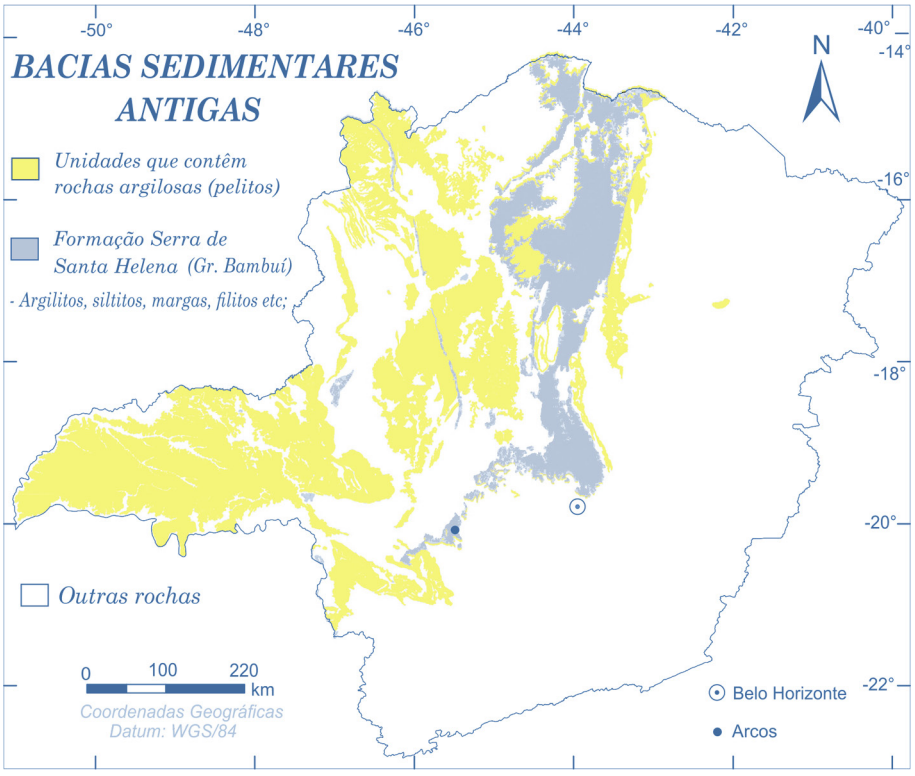

Figura 16. Distribuição das unidades geológicas que contêm uma quantidade significativa de rochas argilosas (pelíticas) em Minas Gerais. Essas rochas representam as sequências deposicionais formadas em antigas bacias sedimentares e que, ao longo do tempo geológico, consolidaram-se em rocha. Esses recursos também são muito utilizados para a produção de argilas comuns, que abastecem o segmento das cerâmicas vermelhas. Fonte: Adaptado do Mapa Geológico de Minas Gerais, escala 1:1.000.000 (Pinto & Silva 2014).

Dentre esses registros, a bacia relacionada ao Grupo Bambuí se destaca pela sua ampla distribuição em área, com representantes em toda a região centro-norte do estado. Trata-se de uma bacia de antepaís, que data do período Ediacarano e que se desenvolveu em resposta às colisões continentais que soergueram antigas cadeias de montanhas na porção leste (orógeno Araçuaí) e oeste do estado (orógeno Brasília). Ao longo do tempo, essa bacia abrigou um vasto aporte de sedimentos de origem continental e marinha, que resultaram na formação de espessos e extensos pacotes de rochas carbonáticas intercaladas com rochas argilosas (Reis *et al.* 2017).

Na bacia Bambuí, a unidade argilosa que mais se destaca é a Formação Serra de Santa Helena, cuja sedimentação está relacionada a um evento de transgressão marinha que inundou o continente. Atualmente, os registros desse evento ocorrem na forma de argilitos, siltitos e margas, por vezes metamorfizados em filitos, que recobrem boa parte da porção centro-norte do estado (Figura 16). Em algumas regiões, essas rochas são alvos de exploração para a produção de cerâmicas vermelhas ou de cimento.

Algumas lavras tradicionais nas rochas pelíticas da Formação Serra de Santa Helena ocorrem a leste da cidade de Arcos, no limite da borda leste da bacia Bambuí (Figura 16). Nessa região, as camadas argilosas estão depositadas diretamente sobre o embasamento cristalino e representam os sedimentos argilosos acumulados nos vales do paleo-relevo da bacia. Os pacotes pelíticos possuem de 10 a 20 metros de espessura e ampla distribuição em área (Campello *et al.* 2015). A mina da empresa *Mineração Morro Alto Ltda* (Figuras 17A e B), localizada a leste da cidade de Arcos, é um dos exemplos mais tradicionais, com registro de extração de argilas comuns, desde o ano de 1989 (SIGMINE 2018).

Figura 17. Exemplo de lavra de argila comum em rochas pelíticas da Formação Serra de Santa Helena (Grupo Bambuí), a leste da cidade de Arcos. **A)** Detalhe da mina (Mineração Morro Alto) em imagem aérea. **B)** Detalhe da cava e do pacote argiloso alvo da exploração (448.396E, 7.754.477N; UTM23S WGS84). Fonte: A) Google Earth. B) Foto retirada de Campello *et al.* (2015).

Conforme o Cadastro Industrial de Minas Gerais (CIEMG 2018), a Região Metropolitana de Belo Horizonte, Oeste de Minas e Triângulo Mineiro são os principais polos produtores de cerâmicas vermelhas do estado. Como é característico desses tipos de indústrias, para que a atividade seja economicamente viável, é fundamental que as matérias primas essenciais (argilas) estejam próximas às instalações. Assim, essas regiões também são os locais onde ocorrem os depósitos de argilas comuns mais importantes do estado. O contexto geológico e a localização de alguns desses depósitos são enfatizados abaixo:

Argilas do polo cerâmico da Região Metropolitana de Belo Horizonte e Oeste de Minas

Na porção central do estado, ocorrem diversos registros de depósitos de argilas comuns, alguns comumente explorados para a produção de cerâmicas vermelhas em fábricas de pequeno, médio ou grande porte, ou em olarias familiares que abastecem os mercados locais. Essas argilas ocorrem, majoritariamente, como sedimentos inconsolidados em depósitos lenticulares de idade quaternária, nas várzeas dos grandes rios e seus afluentes da região (Figura 18).

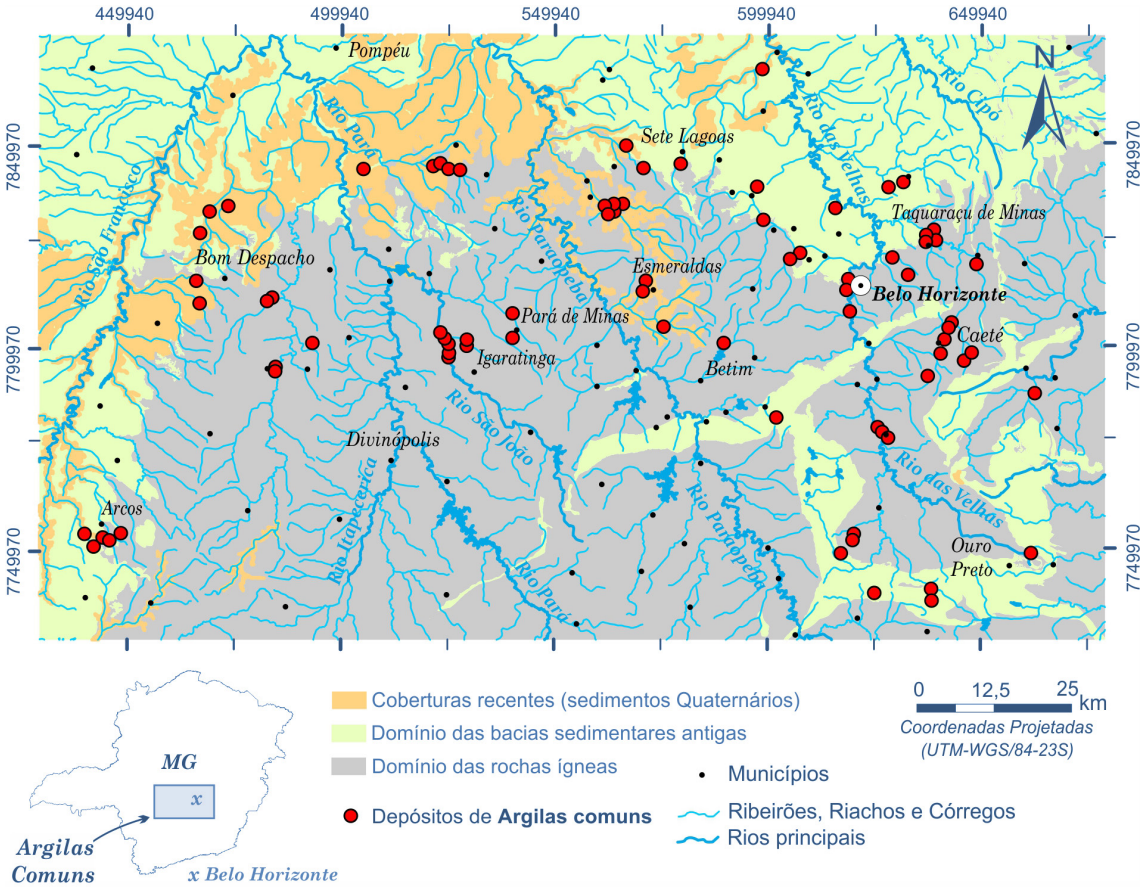

Figura 18. Mapa geológico simplificado da região central de Minas, onde ocorrem depósitos de argilas comuns, usualmente explorados para a confecção de cerâmicas vermelhas. Mapa geológico adaptado de Pinto & Silva (2014).

Além das argilas aluvionares, existem também alguns registros de depósitos em rochas pelíticas da Formação Serra de Santa Helena, nos domínios da Bacia Bambuí, em Arcos e em Bom Despacho (Pinto & Silva 2014).

Conforme o Cadastro Industrial de Minas Gerais (CIEMG 2018), só o município de Igaratinga possui 41 fábricas de cerâmicas vermelhas, sendo a maioria de micro a pequeno porte (38) e destinadas à produção de tijolos e outros artefatos de cerâmica (Figura 18). Segundo essa fonte, as demais unidades são de médio porte e possuem às seguintes empresas: *Cerâmica Simião Ltda*, *Cerâmica Minas Brasil Ltda* e *Cerâmica Cedro Minas Ltda*, todas voltadas para a produção de tijolos para a construção civil. Segundo Romano (2007), os depósitos de argilas nessa região ocorrem nas planícies aluvionares do Rio São João, um dos afluentes do Rio Pará (Figura 18).

Nas imediações de Belo Horizonte, por sua vez, ocorrem diversos registros de depósitos de argilas comuns em aluviões dos rios das Velhas e Paraopeba, nas proximidades de Belo Horizonte, Betim, Esmeraldas e Taquaraçu de Minas. Na região de Sete Lagoas, também ocorrem vários depósitos, mas, pelo fato dessa cidade já se encontrar nos domínios da bacia sedimentar do Grupo Bambuí, presume-se que as lavras ocorram em rochas argilosas da Formação Serra de Santa Helena. Esse município, inclusive, registra a única empresa de grande porte que produz cerâmicas vermelhas no estado de Minas Gerais: a *Cerâmica Setelagoana S.A.* (CIEMG 2018).

Argilas do polo cerâmico do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba

Nas proximidades dos municípios de Monte Carmelo, Abadia dos Dourados e Coromandel (Figura 19), ocorrem registros de importantes depósitos de argilas comuns para a confecção de cerâmicas vermelhas.

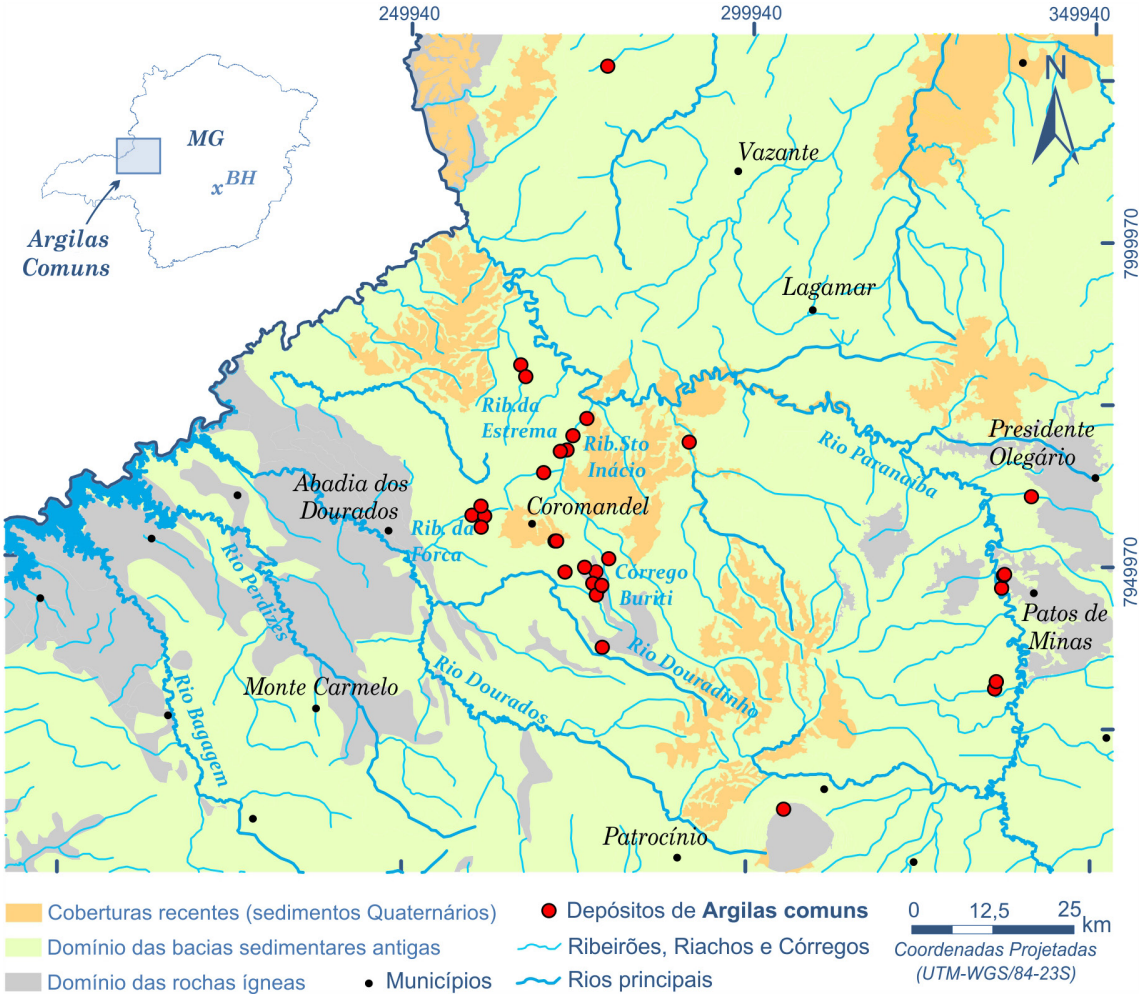

Figura 19. Mapa simplificado da região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, onde ocorrem depósitos de argilas comuns tradicionalmente explorados para a confecção de cerâmicas vermelhas. Mapa Geológico adaptado de Pinto & Silva (2014).

As atividades de lavra nessa região se iniciaram na década de 1920 e remontam à exploração das barras (lugar de extração de argila em várzeas) do Córrego das Araras, para o abastecimento das primeiras olarias da cidade de Monte Carmelo (Pinho *et al.* 2017). Com o passar do tempo, as atividades minerárias foram intensificadas, esse município ganhou destaque no cenário nacional e, até pouco tempo, era conhecido como o maior polo de

cerâmicas vermelhas do estado (Motta *et al.* 2001). Entretanto, ao longo dos últimos anos, as jazidas de Monte Carmelo foram se esgotando, chegando ao ponto de quase não existirem mais depósitos interessantes para a exploração (Pinho *et al.* 2017).

Apesar da redução das lavras em Monte Carmelo, existem diversos outros depósitos de argilas comuns em outras cidades da região, a exemplo dos que ocorrem nas proximidades dos municípios de Abadia dos Dourados, Guarda-Mor e Coromandel. Tais depósitos também são argilas de várzea e ocorrem nos domínios do Rio Douradinho, do Ribeirão da Forca, do Ribeirão da Estrema, do Ribeirão Santo Inácio e do Córrego Buriti (Figura 19). Vale ressaltar que, mais a leste, nas proximidades dos municípios de Presidente Olegário e Patos de Minas, também ocorrem registros de depósitos nas planícies de inundações do Rio Paranaíba, e seus afluentes (Figura 19; Pinto & Silva 2014, Pinho *et al.* 2017).

O polo cerâmico referente aos municípios das cidades de Abadia dos Dourados, Monte Carmelo, Coromandel e Patos de Minas conta com 30 unidades industriais, com ampla predominância das empresas de médio porte (19), em relação às de porte pequeno (9) ou micro (2; CIEMG 2018).

5.4.5. Aspectos econômicos em Minas Gerais

O comportamento dos dados de reservas e produção de argilas comuns em Minas Gerais pode ser verificado no mais recente Anuário Mineral Estadual – 2010 a 2014 (Dalla Costa *et al.* 2017).

Dados de reservas

Entre 2010 e 2014, o estado de Minas Gerais registrou um considerável aumento no volume de reservas medidas de argilas comuns, passando de aproximadamente 580 milhões de toneladas em 2010, para 930 milhões em 2014. Esse aumento ocorreu de forma gradual ao longo dos anos, com um grande salto de 2012 para 2013 (Figura 20).

Quanto ao volume de reservas lavráveis, também se observou um aumento ao longo dos anos, porém esse foi menos brusco, passando de cerca de 400 milhões de toneladas em 2010, para aproximadamente 550 milhões em 2014 (Figura 20).

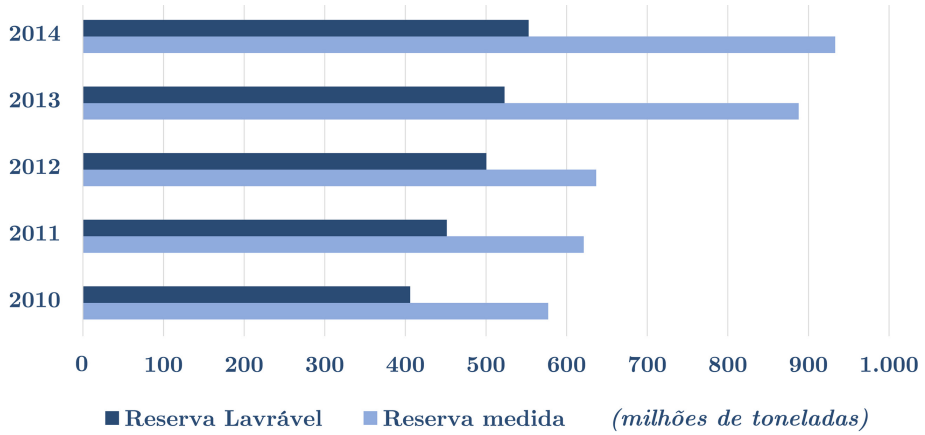

Figura 20. Evolução do volume das reservas medidas e lavráveis de argilas comuns em Minas Gerais ao longo dos anos de 2010 e 2014. Fonte: Anuário Mineral Estadual de Minas Gerais (Dalla Costa *et al.* 2017).

Dados de produção

No ano de 2014, Minas Gerais registrou 235 minas de argilas comuns, todas com lavra a céu aberto. Dentre essas minas, 162 foram consideradas de micro porte (produção bruta anual inferior a 10 mil toneladas), 69 de pequeno porte (produção entre 10 mil e 100 mil toneladas) e 3 de médio porte (produção anual entre 100 mil e 1 milhão de toneladas).

Nesse ano, tais minas atingiram uma produção bruta anual de aproximadamente 3,2 milhões de toneladas, valor próximo, porém abaixo do observado no ano anterior. Nos anos anteriores, os totais produzidos foram menores e também oscilaram (Figura 21). A produção beneficiada foi aproximadamente a metade da produção bruta em 2014 e, proporcionalmente, o comportamento desses valores no anterior foi o mesmo para a produção brutas (Figura 21).

Em 2014, as empresas que mais se destacaram na produção de argilas comuns no estado foram: *Votorantim Cimentos S.A.; Intercement Brasil S.A.; Magnesita Refratários S.A.; Agroindustrial Delta de Minas S.A.; Holcim (Brasil); Mineração Lapa Vermelha Ltda; Empresas de Cimentos Liz S.A.; Mineração Caldense Ltda; e Lafarge Brasil S.A.*, todas elas voltadas para o fabrico de cimento ou para a indústria de refratários.

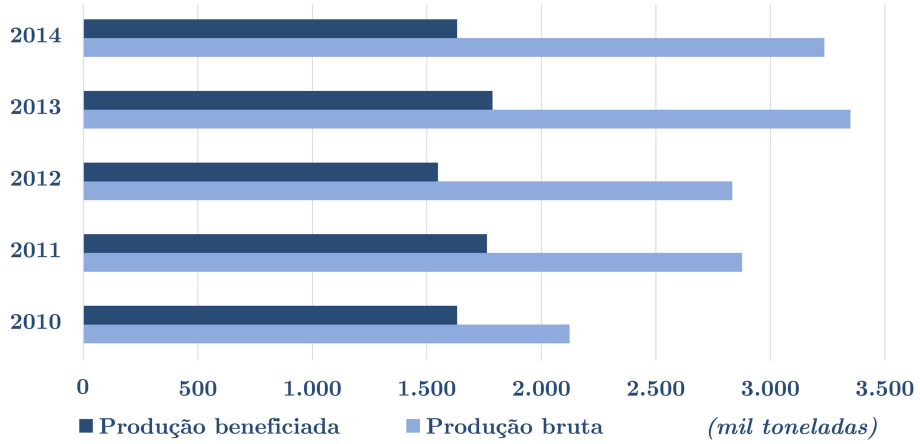

Figura 21. Evolução da produção bruta e beneficiada de argilas comuns em Minas Gerais ao longo dos anos de 2010 e 2014. Fonte: Anuário Mineral Estadual: Minas Gerais, Dalla Costa *et al.* 2017.

5.5. Argilas plásticas

As argilas plásticas (Figura 22), conhecidas internacionalmente como *ball clays*, são tipos especiais de argilas sedimentares (secundárias), majoritariamente constituídas por caulinita e proporções variadas de ilitas, quartzo, matéria orgânica e esmectitas. Minerais carbonáticos (calcita, gipsita), óxidos de ferro (pirita) e óxidos de titânio (rutilo), quando ocorrem, são impurezas. Em linhas gerais, as argilas plásticas são caracterizadas pela elevada concentração de matéria orgânica e pelas cores claras, quando submetidas à queima industrial.

Figura 22. Detalhe de depósito de argila plástica (*ball clay*) existente na região de Westerwald, Alemanha. Foto: Mina de Purbeck. Créditos: Eigenes Werk, acesso em 1/8/2018.

Esses recursos são bastante visados na confecção de vários tipos de cerâmicas tradicionais (vermelhas, brancas ou de revestimento) por proporcionarem maior resistência e plasticidade nas massas. Em vasos sanitários e azulejos típicos, a proporção de argilas plásticas é variável e os demais ingredientes utilizados nas massas são (McCuiston & Wilson 2006):

i. *Azulejo* - argilas plásticas (20%-60%); restante: pirofilita, feldspato, areia quartzosa e/ou talco;

ii. *Vasos sanitários* - argilas plásticas (35%); caulim (15%); feldspato, areia quartzosa ou outros componentes não plásticos (50%).

Nas indústrias de cerâmicas vermelhas, por sua vez, esses recursos são usados com menor frequência, sendo empregados quando há a necessidade de corrigir alguma especificação física ou química que porventura estejam ausentes nas argilas comuns.

Como mercados consumidores secundários, as argilas plásticas também encontram algumas aplicações nas indústrias de tintas, vernizes e corantes, borracha, materiais adesivos e selantes e na indústria vidreira (McCuiston & Wilson 2006). Nesse último caso, pela elevada concentração em caulinita, um aluminossilicato hidratado que detém cerca de 40% de alumina (Al_2O_3), essas argilas podem ser usadas como aditivo em massas usadas para o fabrico de vidros aluminosos, como as fibras de vidro (Edwards & Aume 2006).

Com relação à etimologia, acredita-se que o termo *ball clay* (bola de argila, em tradução livre) deriva do modo como essas argilas eram exploradas antigamente em minas da Inglaterra: eram retiradas em grandes blocos quadrados dos depósitos, mas, devido à elevada plasticidade, durante o transporte esses blocos eram rapidamente modelados e adquiriam o formato arredondado (McCuiston & Wilson 2006).

O depósito nacional mais importante ocorre no município da cidade paulista de São Simão, em terraços aluvionares do Rio Tamanduá, na região nordeste do estado. Maiores

informações a respeito das características das argilas nesse local podem ser verificadas em Motta *et al.* (2004) e referências internas.

5.5.1. Propriedades industriais

A cor não é um critério confiável para diagnosticar as argilas plásticas, uma vez que é característica desses materiais a grande variação composicional, a depender do contexto geológico onde foram formados. Tais argilas podem ser brancas, acinzentadas, amarronzadas, pretas, castanhas, rosadas (Figura 22), entre outras.

De acordo com McCuiston & Wilson (2006), apesar da composição dessas argilas variarem, elas são caracterizadas pelos seguintes intervalos de sílica, alumina e óxidos de ferro: (i) SiO_2: 50% a 70%; (ii) Al_2O_3: 18% a 35%; (iii) Fe_2O_3: 1%. Como exemplo, a Tabela 14 mostra a composição química de algumas argilas plásticas exploradas em depósitos tradicionais, no mundo e no Brasil.

Tabela 14. Composição química (% em peso) de alguns tipos de argilas plásticas exploradas em depósitos importantes, no Brasil e no mundo. Abreviações: K – Caulinita; Mi – Micas; nd – Não identificado; Q – Quartzo, Tr – Minerais traços (< 1%); P.F. – Perda ao fogo.

PAÍS	LOCALIZAÇÃO	ASSOCIAÇÃO MINERAL	SiO_2	AL_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P.F.
Inglaterra	Devon	K, Mi, Q, Tr	48,0	34,0	1,0	0,9	0,2	0,3	1,6	0,2	13,8
Alemanha	Westerwald	nd	62,7	25,0	1,0	1,4	0,2	0,1	2,2	0,2	7,3
Argentina	San Julian	K, Q, Tr	67	22	0,9	0,4	0,3	0,3	0,6	0,1	8,4
Brasil	São Simão (SP)	nd	48,6	33,9	1,7	1,0	0,1	0,2	0,4	0,1	14,1

Fonte: Motta *et al.* (2004).

Assim como as argilas plásticas, outros tipos enriquecidos em caulinita também são amplamente usados no mercado de cerâmicas tradicionais. Tratam-se das *China clays* que, no Brasil e no mundo, são frequentemente conhecidas como *caulim*.

Apesar da composição semelhante, argilas plásticas diferem dos caulins tradicionais basicamente pelo tamanho das partículas, sendo constituídas por argilominerais menores do que 2 µm, ao passo que os caulins são formados por partículas maiores (Motta *et al.* 2004). O tamanho reduzido desses minerais implica em maiores superfícies de interação com o meio hidratado e, consequentemente, maior plasticidade. Além dessa característica textural, a cor da queima de ambas as argilas também pode ser usada como parâmetro para diferenciá-las, uma vez que as argilas plásticas tendem a reproduzir cores de queima claras, normalmente de cor creme. Por outro lado, os caulins tendem a adquirir cores mais próximas ao branco.

5.5.2. Ocorrência geológica

Em linhas gerais, as argilas plásticas são secundárias e ocorrem na forma de sedimentos inconsolidados recentes (Quaternário) associados a rios que carrearam e depositaram quantidades suficientes de caulinita, quartzo, matéria orgânica e outras substâncias em suas margens.

O termo *ball clay* se refere a um tipo raro desses tipos de argilas, ricas em caulinita e matéria orgânica, usadas para a confecção de cerâmicas brancas de qualidade (eg.

porcelanas finas). Tais argilas são incomuns, devido ao fato de sua gênese estar associada com a convergência de alguns fatores geológicos-climáticos específicos, a saber: (i) área-fonte caulinítica; (ii) clima quente e úmido; e (iii) meio deposicional de água doce ou muito pouco salina. Após a deposição, esses sedimentos ainda devem ficar preservados de fatores adversos, tais como erosão, contaminação por óxidos e outras intempéries (Motta *et al.* 2004).

As argilas *ball clay* são escassas no Brasil e não há registros desse tipo em Minas Gerais. De acordo com McCuiston & Wilson (2006), a despeito da existência do depósito paulista de São Simão e outras poucas exceções, as argilas plásticas do Brasil são todas variedades de caulins, ao invés de *ball clays* verdadeiras.

Dessa forma, além da gênese sedimentar em aluviões, argilas plásticas de qualidade inferior para cerâmicas brancas e de revestimento também podem ocorrer em mantos de alteração residuais, desde que sejam enriquecidas em caulinita e possuam as propriedades de rigidez e plasticidade que as aproximem das argilas *ball clays*.

5.5.3. Direito minerário

No banco de dados da Agência Nacional de Mineração (SIGMINE 2018), os títulos minerários referentes aos recursos minerais argilosos estão registrados de várias maneiras, porém nenhuma delas refere-se especificamente às argilas plásticas.

Como as argilas são materiais muito finos, complexos e com várias aplicações, muitas vezes o requerente ao aproveitamento mineral prefere registrar o título de uma maneira mais genérica, usando somente o termo "argila", eximindo-se de realizar estudos que especifique exatamente o tipo de argila existente naquela região. Assim, a utilização dos registros minerários não é suficiente para verificar as regiões com potencial para argilas plásticas no estado.

5.5.4. Depósitos importantes em Minas Gerais

O Anuário Mineral Brasileiro – Ano 2010 (DNPM 2011) aponta a existência de reservas de argilas plásticas nas proximidades dos municípios de *Alpercata, Araxá, Bom Despacho, Esmeraldas, Inhaúma, João Pinheiro* e *Lassance*. Entretanto, a ausência de estudos e maiores informações a respeito dessas argilas é um impeditivo para afirmar as características dos depósitos e se, de fato, eles são usados para fornecer matérias-primas para abastecer o mercado de cerâmicas brancas e de revestimento, ainda que para a fabricação de peças com qualidade inferior.

Motta *et al.* (2004) apontam a existência de um depósito de argila plástica em Guarda-Mor, na região noroeste do estado. Por serem consideradas de boa qualidade, elas são misturadas em massas contendo *ball clays*, objetivando a produção de louças sanitárias. Nesse caso, as argilas plásticas de Guarda-Mor atuam como diluentes que reduzem significativamente o consumo das *ball clays* que, por serem importadas de outros locais, têm custo elevado.

5.5.5. Aspectos Econômicos em Minas Gerais

O comportamento dos dados de reservas e produção de argilas plásticas em Minas Gerais revela a deficiência dessas matérias primas no estado. Adicionalmente, o relativo baixo número de indústrias de louças sanitárias (6 ao todo) ou de mesa (registro apenas de unidades no município de Monte Sião, sul do estado; CIEMG 2018), também pode ser interpretado como um indicativo para a ausência desses recursos.

Dados de reservas

Entre 2010 e 2014, o estado de Minas Gerais registrou aumento no volume de reservas medidas de argilas plásticas, passando de aproximadamente 40 mil toneladas, em 2010, para 60 milhões, em 2014. Esse aumento não foi observado entre 2010 e 2011, foi gradual entre 2011 e 2012 e se intensificou entre 2012 e 2013, quando atingiu um valor próximo ao registrado no último ano da contagem (Figura 23).

Quanto ao volume de reservas lavráveis, o estado praticamente não registrou depósitos favoráveis nos dois primeiros anos da contagem (ca. 500 mil toneladas), aumentando para cerca de 7 milhões em 2012 e 20 milhões de toneladas nos dois últimos anos (Figura 23).

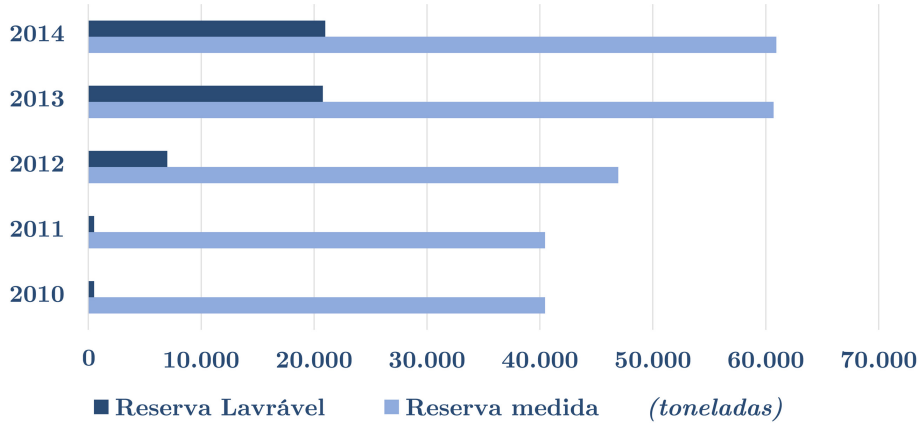

Figura 23. Evolução do volume das reservas medidas e lavráveis de argilas plásticas em Minas Gerais, ao longo dos anos de 2010 e 2014. Fonte: Anuário Mineral Estadual de Minas Gerais (Dalla Costa *et al.* 2017).

Dados de produção

No ano de 2014, Minas Gerais não registrou minas produtoras de argilas plásticas. Na realidade, entre 2010 e 2014, o Anuário Mineral Estadual (Dalla Costa *et al.* 2017) mostra a existência de apenas duas minas em depósitos desses tipos de argilas, ambas em atividade durante o ano de 2012.

Apesar da ausência de lavras em depósitos específicos de argilas plásticas em 2014, o estado produziu aproximadamente 2 mil toneladas de argilas plásticas beneficiadas, um valor consideravelmente maior do que apresentado para a produção bruta desse recurso (ca. 460 toneladas; Figura 24). Uma justificativa para a existência de argilas plásticas, produzidas sem a presença de minas em atividade no mesmo ano, é a de que, possivelmente, tais argilas sejam produtos secundários explorados em minas registradas para outros recursos minerais.

Com relação aos anos anteriores, só ocorreu produção de argilas plásticas em 2012, quando o estado encerrou o ano em torno de 12 mil toneladas de argilas beneficiadas, que também representa um valor maior do que a produção anual bruta (ca. 7 mil toneladas; Figura 24).

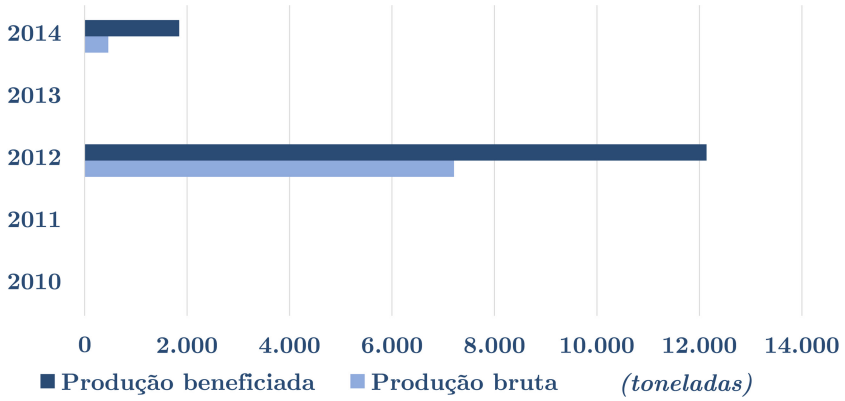

Figura 24. Evolução da produção bruta e beneficiada de argilas plásticas em Minas Gerais ao longo dos anos de 2010 e 2014. Fonte: Anuário Mineral Estadual: Minas Gerais, Dalla Costa *et al.* 2017.

5.6. Caulim

Caulim é um termo genérico, que se refere a tipos específicos de argilas majoritariamente compostas por argilominerais do grupo da caulinita, com baixos teores de ferro e usualmente de cor branca, ou próxima do branco (Figura 25).

Figura 25. Detalhe de amostras de caulim, com destaque para sua cor branca, aspecto terroso e caráter pulverulento. Escala em centímetros. Foto: acervo do autor.

A depender do contexto de formação, o caulim pode conter diversos outros componentes (outros argilominerais, minerais não plásticos e matéria orgânica), o que acarreta diferenças texturais como cor, tamanho e forma dos grãos. Quando puras, essas

argilas são esbranquiçadas, possuem aspecto sedoso ao tato e normalmente são pulverulentas, facilmente desagregadas em mão (Figura 25).

O caulim é abundante e recorrente no mundo, especialmente em regiões de clima tropical, onde a atividade intempérica sobre rochas aflorantes em superfície é mais intensa. Os depósitos podem ser residuais (primários) ou sedimentares (secundários) e ambos são comumente explorados para aplicação em diversos setores industriais.

O termo *caulim* deriva de palavra *Kauling* (ou *Gaoling*), que corresponde a uma região chinesa onde ocorrem argilas cauliníticas residuais associadas com a decomposição de granitos e tradicionalmente usadas para a produção de porcelanas. No mercado comercial internacional, tais argilas são genericamente conhecidas como *China clays*, um nome que faz referência aos tipos de argilas cauliníticas residuais que são tradicionalmente exploradas nesse país. Além desse, vários outros termos podem ser encontrados para fazer referência a alguns tipos específicos de caulim (Tabela 15; Pruett & Pickering 2006).

Tabela 15. Tipos específicos de argilas cauliníticas (caulins) e suas características principais.

NOME	CARACTERÍSTICAS
Argilas plásticas (*Ball clays*)	Argilas sedimentares plásticas, ricas em caulinita e matéria orgânica, largamente utilizadas em cerâmicas.
Argilas refratárias (*Fire clays*)	Argilas tipicamente sedimentares, ricas em alumina (Al_2O_3) e sílica (SiO_2), largamente usadas para a confecção de tijolos refratários (resistem a temperaturas elevadas, sem sofrer deformações).
Argilas duras (*Flint clays*)	Tipo de argila caulinítica refratária (*fire clay*), caracterizada por ser maciça, macia, não plástica e que gera fratura conchoidal quando fragmentada. Tecnicamente, por não ser plástica, não entra na definição de argila, sendo, por vezes, classificada como um *argiloide* (argilas falsas).
Underclays	Argilas cauliníticas que se localizam imediatamente abaixo de camadas de carvão em bacias sedimentares. Quando usadas nas indústrias, são voltadas para a produção de materiais refratários, sendo consideradas uma variedade das *fire clays*.
Tonstein	Argilas cauliníticas derivadas da decomposição, parcial ou total, de cinzas vulcânicas. Comumente ocorrem associadas com camadas de carvão.
China clays, ou China stone	Argilas cauliníticas residuais, derivadas da decomposição de granitos. No mercado industrial, esse nome é comumente utilizado como sinônimo do termo *caulim.* São argilas pouco plásticas, de elevada força coesiva e adquirem cores brancas após a queima.

Fonte: Pruett & Pickering (2006).

No Brasil, a maior parte da produção bruta de caulim é destinada ao fabrico de cerâmicas brancas, cimento e cerâmicas de revestimento. O caulim beneficiado em usinas de tratamento, por sua vez, é quase todo usado para o fabrico de papel (DNPM 2011). Outros setores que demandam uma quantidade menor de caulim são: indústrias de tintas, borrachas, plásticos, materiais refratários, defensivos agrícolas, medicamentos e cosméticos, produtos alimentícios e rações animais, fertilizantes, materiais abrasivos, inseticidas, materiais absorventes, catalizadores, gesso, detergentes etc.

O caulim também pode ser usado para a obtenção de alumina (Al_2O_3), que é matéria prima usada como aditivo em massas que produzem vidros aluminosos (eg. fibras de vidro).

O Brasil se destaca no cenário mundial como detentor de uma das maiores reservas de caulim do mundo. Tais depósitos estão localizados na Região Norte do país, nos municípios de Vitória do Jari (AP), Ipixuna do Pará (PA) e Manaus/Rio Preto da Eva (AM), e se referem à espessos pacotes de argilas cauliníticas sedimentares depositadas no Cretáceo Superior. Além da abundância (reservas medidas avaliadas em 3.054.433.642 toneladas; Lima & Neves 2016), essas argilas são caracterizadas pela elevada pureza e pela qualidade no fabrico de papel (Pruett & Pickering 2006).

Em Minas Gerais, bem como em toda a região Sul-Sudeste do Brasil, predominam os depósitos de caulim residuais, cuja gênese está relacionada, principalmente, da alteração de granitos e pegmatitos (DNPM 2011).

5.6.1. Propriedades industriais

As diversas aplicações do caulim resultam das várias propriedades físico-químicas que esses recursos apresentam. Dentre elas, as mais interessantes para o mercado industrial são (Queiroz 1997, Pruett & Pickering 2006):

i. Cor branca, ou próxima do branco, após a queima;
ii. Quimicamente inerte em um amplo intervalo de pH;
iii. Ótimo poder de cobertura, quando usado como pigmento ou como material de preenchimento (carga);
iv. Maciez elevada e abrasividade baixa (a caulinita é um mineral de baixa dureza na Escala de *Mohs* – D = 1,5);
v. Isolante térmico e elétrico;
vi. Abundante naturalmente e baixo custo por valor unitário.

Quanto à composição, os caulins são marcados por valores elevados de alumina (Al_2O_3) e baixos de teores de ferro (Fe_2O_3). Alguns exemplos da composição de alguns caulins brasileiros podem ser verificados na Tabela 16 (Abreu 1960, Motta *et al.* 2004).

Tabela 16. Composição química (% em peso) de alguns caulins do Brasil. Abreviações: Fds – Feldspato; K – Caulinita; Mi – Micas; Q – Quartzo; Tr – Minerais traços (< 1%); P.F. – Perda ao fogo.

ROCHA FONTE	LOCALIZAÇÃO	ASSOCIAÇÃO MINERAL	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P.F.
Argilito/Siltito	Jari (AP)	K, Tr	45,0	37,0	2,2	1,3	0,03	0,03	0,01	0,08	14,4
Argilito/Siltito	Recôncavo (BA)	K, Mi, Q, Tr	51,0	34,0	1,35	1,55	<0,01	0,34	1,9	0,11	11,0
Pegmatito	Conceição (MG)	K, Mi, Tr	46,0	39,0	0,05	0,01	0,03	0,05	0,21	0,12	14,0
Pegmatito	Junco (PB)	K, Mi, Q, Tr	46,0	39,0	0,26	0,02	0,05	0,11	0,5	0,08	13,7
Pegmatito	Mar de Espanha (MG)	-	45,0	39,4	0,05	-	-	-	-	-	14,0
Pegmatito	Muriaé (MG)	-	43,3	38,0	0,1	-	0,2	0,5	-	-	14,4
Pegmatito	Governador Valadares (MG)	-	43,3	38,0	0,6	-	0,2	0,9	-	-	15,8
Granitoide	Piracaia (SP)	K, Mi, Q, Fds, Tr	49,0	35,0	1,4	0,14	0,05	0,16	2,4	0,08	12,1
Granitoide	M. Pascoal (BA)	K, Mi, Q, Tr	45,0	36,0	1,25	0,45	0,03	0,02	0,2	0,05	14,5
Vulcânica	São Bento	K, Q, Tr	52,0	34,0	0,53	0,74	0,05	0,21	0,3	0,07	12,1

Fonte: Motta *et al.* (2004) e Abreu (1960).

Nas cerâmicas brancas e de revestimento, os caulins são comumente usados para conferir resistência térmica e a cor branca das massas. Entretanto, em virtude do tamanho relativamente alto das suas partículas (> 2 µm), eles tendem a possuir plasticidade média a baixa. Nesse caso, esses recursos devem ser acompanhados de argilas plásticas, que têm como finalidade a confecção de massas de boa qualidade (Motta *et al.* 2004).

Especificamente para a aplicação na indústria cerâmica, Neves *et al.* (1997) apontam que o caulim deve apresentar baixos teores de ferro (Fe_2O_3) e titânio (TiO_2), o que implica

na formação de massas de cores claras durante a queima industrial, em temperaturas da ordem de 1.250 °C. Na indústria vidreira, por sua vez, as especificações são mais rigorosas e, para a fabricação de fibras de vidro, o caulim deve atender os seguintes requisitos: (i) acima de 38% de Al_2O_3; (ii) até 46,3% de SiO_2; (iii) Fe_2O_3 da ordem de 0,8%; (iv) H_2O da ordem de 0,5%; (v) Perda ao fogo (P.F.) da ordem de 14,5% e (vi) granulometria menor do que 0,25 mm (100% passante na peneira de 65 *mesh*).

5.6.2. Ocorrência geológica

Em relação aos processos genéticos, os depósitos de caulim podem ser primários ou secundários. Abaixo, os detalhes para cada tipo (Abreu 1960, Pruett & Pickering 2006):

i. *Caulim residual (primário)* - resulta da alteração *in situ* de rochas enriquecidas em feldspato potássico, como os granitos, gnaisses e pegmatitos. Os depósitos podem conter impurezas como quartzo, micas e fragmentos de feldspatos. Devido ao processo intempérico mais intenso, são mais frequentes em regiões tropicais. O processo de alteração do feldspato potássico ($KAlSi_3O_8$) é conhecido como *caulinização* e também pode ocorrer em subsuperfície, por ação de fluidos hidrotermais. Quimicamente, a caulinização pode ser resumida na hidratação do feldspato e remoção dos álcalis, conforme reação abaixo:

Feldspato Potássico + Água = Caulinita + Sílica + Hidróxido de Potássio

$$2KAlSi_3O_8 + 3H_2O = Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 4SiO_2 + 2KOH$$

ii. *Caulim sedimentar (secundário)* - tipo formado por caulinita originada nos mantos de alteração e posteriormente retrabalhadas e depositadas em superfície. Os depósitos ocorrem na forma de lentes, geralmente de pequeno porte, ricos em matéria orgânica e intercalados em pacotes sedimentares mais arenosos. Por serem partículas mais bem selecionadas durante o transporte, o caulim sedimentar tende a ser mais puro do que o tipo primário, embora algumas vezes contenha elevada proporção de areia fina depositada conjuntamente.

5.6.3. Direito minerário

De acordo com o banco de dados da Agência Nacional de Mineração (SIGMINE 2018), Minas Gerais possui atualmente 594 títulos minerários cadastrados como caulim. Desses, 361 estão em fase de autorização de pesquisa, 43 em concessão de lavra, 50 em disponibilidade, 70 em requerimento de lavra e 70 em requerimento de pesquisa.

A distribuição desses títulos no estado de Minas Gerais pode ser verificada na Figura 26, e mostra uma maior concentração o longo de toda a porção oriental do estado. Isso ocorre porque essa região está inserida nos domínios da Província Pegmatítica Oriental (PPO; Paiva 1946, Correia Neves 1997, Pedrosa Soares *et al.* 2011), um distrito mineiro com relevância a nível mundial que abriga uma grande concentração de granitoides ornamentais e pegmatitos mineralizados em gemas e recursos minerais industriais, a exemplo do caulim. A PPO possui cerca de 800 km de extensão e aproximadamente 150 km de largura, distribuindo-se desde a região norte do Rio de Janeiro, até o sul da Bahia, ocupando toda a região leste de Minas Gerais e a porção oeste do Espírito Santo (Netto *et al.* 1998).

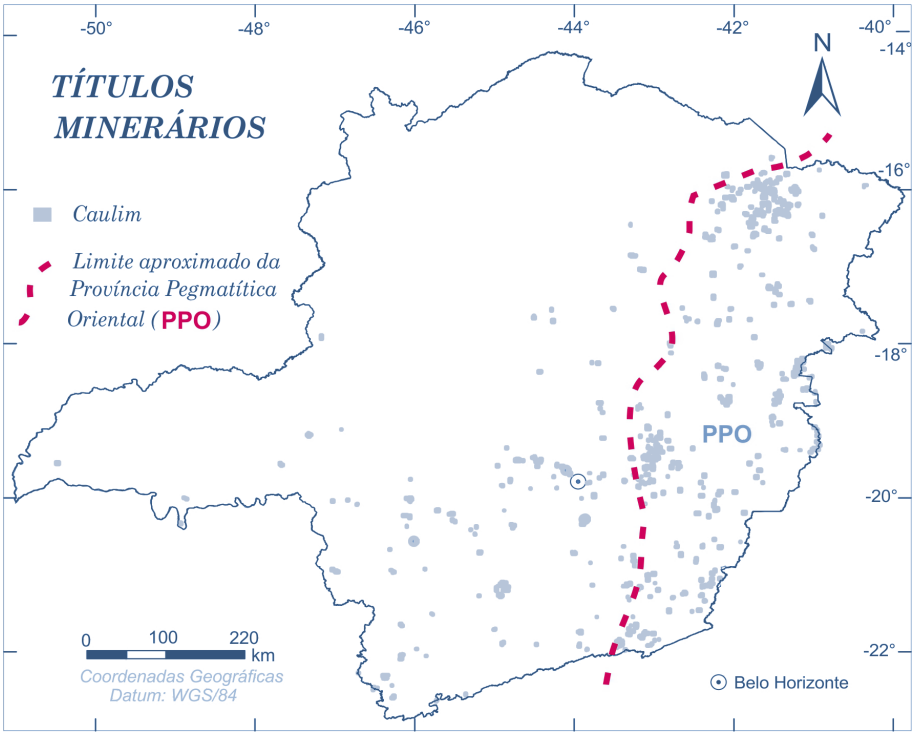

Figura 26. Distribuição dos títulos minerários de caulim em Minas Gerais. Ao todo estão registrados 594 títulos, que se encontram em diversas fases do regime de aproveitamento mineral. Esses registros estão concentrados na porção oriental do estado, onde predominam granitoides e pegmatitos associados ao distrito mineiro conhecido como Província Pegmatítica Oriental. Fonte: Banco de dados da Agência Nacional da Mineração (SIGMINE 2018).

5.6.4. Depósitos importantes em Minas Gerais

Em Minas Gerais, predominam enormemente os depósitos de caulim em mantos de alteração associados à decomposição de granitos e pegmatitos da PPO. Subordinadamente, há também alguns registros de depósitos nos domínios das bacias sedimentares antigas, associados à decomposição de argilitos, siltitos ou filitos, bem como caulins residuais provenientes de gnaisses do embasamento cristalino.

De acordo com o Anuário Mineral Brasileiro – Ano 2010 (DNPM 2011), ocorrem importantes reservas de caulim nas proximidades dos seguintes municípios: *Bambuí, Bela Vista de Minas, Belmiro Braga, Bicas, Brás Pires, Campestre, Capitólio, Caraí, Caratinga, Cataguases, Coronel Murta, Diamantina, Dona Euzébia, Espera Feliz, Governador Valadares, Inhaúma, Itabira, Itabirito, Juiz de Fora, Lassance, Mar de Espanha, Monte Sião, Ouro Fino, Patrocínio, Pequeri, Raul Soares, Santa Maria de Itabira, São Miguel do Anta, São Roque de Minas, Tocantins, Ubá* e *Vermelho Novo*.

As características de alguns desses depósitos são apresentadas a seguir:

Caulim em Patrocínio (Triângulo Mineiro) e São Roque de Minas (Oeste de Minas Gerais)

No Triângulo Mineiro há registro de duas fábricas produtoras de louças sanitárias no Cadastro Industrial de Minas Gerais (CIEMG 2018): (i) Casa Santamarina Louças Sanitárias

(*Indústria e Comércio de Cerâmica Casa Santamarina Ltda-ME*), localizada em Perdizes e (ii) Santa Clara Louças Sanitárias (*Cerâmica Industrial Irmãos Lusvarghi Ltda*).

No Anuário Mineral Brasileiro – Ano 2010 (DNPM 2011), próximo a essas duas cidades, há registros de reservas de caulim na região de *Patrocínio* e em *São Roque de Minas*. Com base nessa fonte, em 2009, as reservas medidas e lavráveis de caulim em Patrocínio foram avaliadas em 105.750 toneladas. Em São Roque de Minas, por sua vez, foram contabilizadas 250.000 toneladas de reservas medidas e 200.000 toneladas de reservas lavráveis desse recurso.

Em Patrocínio, porém, não há registro atual de lavra de caulim. Essa região conta com apenas dois títulos minerários, ambos ainda em fase de pesquisa (SIGMINE 2018). Um deles (processo número 830139) localiza-se a sudeste do município, nos domínios dos filitos sericíticos e quartzitos finos da Formação Paracatu (Grupo Canastra), ao passo que o outro (processo número 833909) localiza-se a sudoeste de Paracatu, às margens do rio Araguari, onde predominam os mica xistos do Grupo Araxá (Pinto & Silva 2014).

A noroeste do município de São Roque de Minas, também nos domínios dos filitos sericíticos da Formação Paracatu (Grupo Canastra), há uma lavra atual de caulim sob concessão da mineradora *Bonargila Ltda* (processo 831596; SIGMINE 2018).

Os depósitos de caulim atribuídos a essa região do Triângulo Mineiro possivelmente estão relacionados com a decomposição intempérica que os filitos e xistos sofreram ao longo do tempo geológico. Vale ressaltar que, estando próximo à planície de inundação do Rio Araguari, a ocorrência de caulim nesse local, pode estar relacionada a um depósito sedimentar recente, formado durante o Quaternário.

Caulim em Bambuí (Oeste de Minas Gerais)

Em 2009, as reservas medidas de caulim nessa região foram avaliadas em 1.620.174 toneladas e as reservas lavráveis em 250.000 toneladas (DNPM 2011).

O principal depósito ocorre a sudoeste da cidade de Bambuí e corresponde a um corpo estratiforme de caulim residual, formado a partir da decomposição de siltitos e folhelhos (metamorfizados em metapelitos, ardósias ou filitos) da bacia Bambuí (Formação Serra da Saudade, Pinto & Silva 2014).

Atualmente, esse depósito se encontra em fase de lavra pela mineradora *Miner Bras Minerações Brasileiras Ltda* (processo 830508; SIGMINE 2018) e, pela relativa proximidade geográfica, parte dessa produção provavelmente se destina à confecção de louças sanitárias nas fábricas de Perdizes e Araxá (CIEMG 2018).

Caulim em Capitólio (Sul de Minas Gerais)

Em 2009, as reservas medidas de caulim nessa região foram avaliadas em 259.094 toneladas e as reservas lavráveis em 119.870 toneladas (DNPM 2011).

O principal depósito está na localidade de Socorro e possui aspecto genético interessante. Trata-se de um corpo estratiforme, com cerca de 6 metros de espessura, interpretado como um caulim residual formado a partir da desagregação de uma rocha xistosa esbranquiçada, cuja gênese é atribuída a um pacote de tufo vulcânico metamorfizado

(Valeriano *et al.* 2007). Essas rochas são agrupadas no Supergrupo Piumhi e é atribuída a elas idade arqueana (Pinto & Silva 2014). Esse depósito está em fase de concessão de lavra (processo 805621; SIGMINE 2018).

Caulim em Ouro Fino e Monte Sião (Sul de Minas Gerais)

Em 2009, a soma das reservas medidas de caulim dessas regiões foi avaliada em 103.000 toneladas e as reservas lavráveis em 89.000 toneladas (DNPM 2011).

Nas proximidades de Ouro Fino, as ocorrências de caulim estão associadas a raros corpos pegmatíticos (Figura 27), de espessuras variadas, que cortam os ortognaisses do Complexo São João da Mata e os sieno-monzogranitos da Serra da Água Limpa, ambos de idade neoproterozoica (Peixoto *et al.* 2015).

Figura 27. Detalhe de veio pegmatítico caulinizado (nível esbranquiçado) a sudoeste de Ouro Fino (347.996E, 7.534.376N; UTM23S WGS84). Foto: Retirada de Peixoto *et al.* (2015).

Atualmente, na região de Ouro Fino não existem minas ativas de caulim, limitando-se a alguns títulos minerários em fase de autorização de pesquisa, requerimento de lavra ou em disponibilidade.

Na região de Monte Sião, porém, há registro de lavra ativa realizada pela *Mineração Sebevi Ltda,* a leste da cidade (SIGMINE 2018). Trata-se de depósito na forma veios pegmatíticos caulinizados intrusivos em ortognaisses do Complexo São João da Mata e que, por vezes, também contém potencial para a extração de feldspato e quartzo, dois recursos que também possuem várias ocorrências nessa região (Pinto & Silva 2014).

De acordo com o Cadastro Industrial de Minas Gerais (CIEMG 2018), Monte Sião é o único polo produtor de louças de mesa e porcelanas artísticas do estado. Esse município abriga a fábrica da Porcelana Monte Sião (*Porcelana Monte Sião Ltda*) que, para a formação

das peças, utiliza caulim e demais recursos minerais cerâmicos extraídos na região (eg. feldspato, nefelina-sienito, quartzo).

Caulim em Inhaúma – Fortuna de Minas (Centro de Minas Gerais)

Em 2009, as reservas medidas e lavráveis de caulim nessa região foram avaliadas em 380.109 toneladas (DNPM 2011).

A sudeste de Inhaúma, nas proximidades do município de Fortuna de Minas, dois depósitos tradicionais vêm sendo lavrados há tempos e, além do caulim, também são caracterizados pela extração de quartzo industrial (Figura 27). Esses recursos estão hospedados em um leucogranito à biotita de idade arqueana (Granitoides Maravilhas – Cachoeira da Prata) e estão associados à intrusão de veios pegmatíticos posteriores. Na zona de influência desses fluidos, a rocha granítica foi alterada e formou-se o caulim residual a partir da decomposição do feldspato (Romano *et al.* 2014). Internamente, os fluidos foram selados pelo preenchimento de quartzo e feldspato, sendo comum a presença de níveis quartzosos mais puros e com boa qualidade para fins industriais (eg. produção de vidro, materiais refratários silicosos, cerâmicas brancas e de revestimento etc.).

De acordo com o banco de dados da Agência Nacional de Mineração (SIGMINE 2018), o depósito a leste de Fortuna de Minas está sob exploração da mineradora *Petramar Comércio e Transporte Ltda*, ao passo que a jazida mais afastada, a sudeste, é lavrada pela *Minerações Gerais Ltda* (Figura 28).

Figura 28. Vista aérea de minas de caulim da região de Fortuna de Minas (mancha urbana à esquerda). O caulim está associado a veios hidrotermais e, em ambas as minas, também ocorre extração de quartzo industrial. Localização: Mina 1: 560.203E, 7.837.075N; Mina 2: 562.007E, 7.834.551N; UTM23S WGS84. Fonte: Google Earth.

Em decorrência da proximidade geológica, provavelmente essas mineradoras são fornecedoras de caulim para a produção de louças sanitárias na fábrica da empresa *Roca*

Sanitários Brasil Ltda, instalada em Santa Luzia, que representa a maior indústria de cerâmicas brancas do estado, com mais de 1.000 funcionários (CIEMG 2018).

Caulim em Diamantina (Serra do Espinhaço)

Em 2009, as reservas medidas de caulim nessa região foram avaliadas em 59.090 toneladas e as reservas lavráveis em 1.000 toneladas (DNPM 2011).

Apesar da quantidade mensurada ser modesta, o caulim existente nessa região vem sendo lavrado há tempos, com registros de lavras intermitentes desde a década de 70. Os depósitos também são importantes pelo fato de indicarem o potencial para ocorrência de caulim em toda a Serra do Espinhaço. Isso ocorre porque a gênese do caulim na região de Diamantina está associada com a decomposição de dois tipos rochas muito comuns em toda a serra (Fogaça 1997): (i) os filitos e rochas pelíticas que ocorrem intercalados com as sequências arenosas do Supergrupo Espinhaço (especialmente os níveis da Formação Sopa Brumadinho) e (ii) as rochas metabásicas intrusivas nessa sequência (Suíte Pedro Lessa).

Um exemplo de depósito de caulim residual, associado com a decomposição de filitos da sequência sedimentar do Supergrupo Espinhaço (Formação Santa Rita), pode ser verificado na Figura 29. Nesse caso, trata-se de uma ocorrência na porção sul da serra, no contexto da Serra do Cipó.

Figura 29. Ocorrência de caulim residual associado com a decomposição de filitos do Supergrupo Espinhaço. Notar a foliação pouco espaçada e penetrativa reliquiar. Localização: Serra do Cipó/Região sul da Serra do Espinhaço (644.153E, 7.889.072N; UTM23S WGS84). Foto: acervo do autor.

Na região de Diamantina, por sua vez, o depósito mais importante ocorre a norte do município de Gouveia e está associado com a decomposição de rochas básicas. Trata-se de um corpo na forma de dique, com cerca de 500 metros de extensão e 5 a 20 metros de

largura, que corta verticalmente as unidades do Supergrupo Espinhaço. O depósito apresenta-se zonado, com presença de caulim mais puro na região interna e argilas mais impuras, enriquecidas em óxidos de ferro, nas margens. Análises mineralógicas nos níveis mais puros revelaram um caulim de excelente qualidade cerâmica, com 8% de quartzo e 92% de caulinita (Fogaça 1997 e referências internas).

De acordo com o banco de dados da Agência Nacional de Mineração (SIGMINE 2018), a região de Diamantina contém um registro de título minerário em fase de concessão de lavra para caulim e refere-se ao depósito a norte de Gouveia. Nesse caso, a mineradora que detém o direito da exploração é a *Céramus Bahia S.A. Produtos Cerâmicos*.

Caulins da Província Pegmatítica Oriental (Leste de Minas Gerais)

Dos municípios apontados como detentores de reservas de caulim em Minas Gerais (DNPM 2011), a maioria está nos domínios da Província Pegmatítica Oriental (Figura 30; *Bela Vista de Minas, Belmiro Braga, Bicas, Brás Pires, Caraí, Caratinga, Cataguases, Coronel Murta, Dona Euzébia, Espera Feliz, Governador Valadares, Juiz de Fora, Mar de Espanha, Pequeri, Raul Soares, Santa Maria de Itabira, São Miguel do Anta, Tocantins, Ubá* e *Vermelho Novo*).

Essa província está inserida nos domínios do Orógeno Araçuaí, entidade geotectônica que representa uma cadeia de montanhas que se desenvolveu durante o Neoproterozoico-Cambriano, entre cerca de 630 a 490 milhões de anos atrás. Os pegmatitos estão associados a esse contexto e, em linhas gerais, sua gênese pode ser atribuída à cristalização de magmas tardios provenientes de vários plútons graníticos que se instalaram na crosta continental, durante os estágios de formação e evolução do orógeno (suítes ígneas G1 a G5; Pedrosa Soares *et al.* 2011 e referências internas).

Nessa região, as grandes ocorrências de caulim estão relacionadas com a desagregação de pegmatitos ricos em feldspato, que estão contidos nas granitoides orogênicos neoproterozoicos ou, então, hospedados em xistos e gnaisses encaixantes (Figura 30). Além disso, algumas ocorrências de caulim também estão associadas com a decomposição dos feldspatos dos granitos e gnaisses.

Em linhas gerais, os depósitos caracterizam-se por uma morfologia irregular, podendo ocorrer como mantos de alteração de espessura variada, ou como material de preenchimento em bolsões, lentes, veios e diques tabulares de pegmatitos. Nesses depósitos, o caulim é predominante constituído pelos minerais caulinita e haloisita e pode ocorrer associado com quantidades variáveis de quartzo, micas e feldspato parcialmente alterados. Por vezes, os depósitos também apresentam quantidades significativas de óxidos de ferro (impurezas), o que compromete o uso industrial e, consequentemente, a exploração (Netto *et al.* 1998).

Vale ressaltar que a PPO é também conhecida por abrigar pegmatitos complexos, que contém vários outros recursos minerais explorados como gemas (turmalina, cassiterita, crisoberilo, água marinha, esmeraldas, berilo, minerais de lítio etc.). Quando ocorrem, esses minerais tendem a ser os principais alvos da exploração e o caulim não é um recurso explotado, ou é um produto secundário. Adicionalmente, o feldspato também é um produto muito comum em pegmatitos caulitíticos e também é um recurso mineral que pode ser explorado para uso cerâmico ou na indústria vidreira.

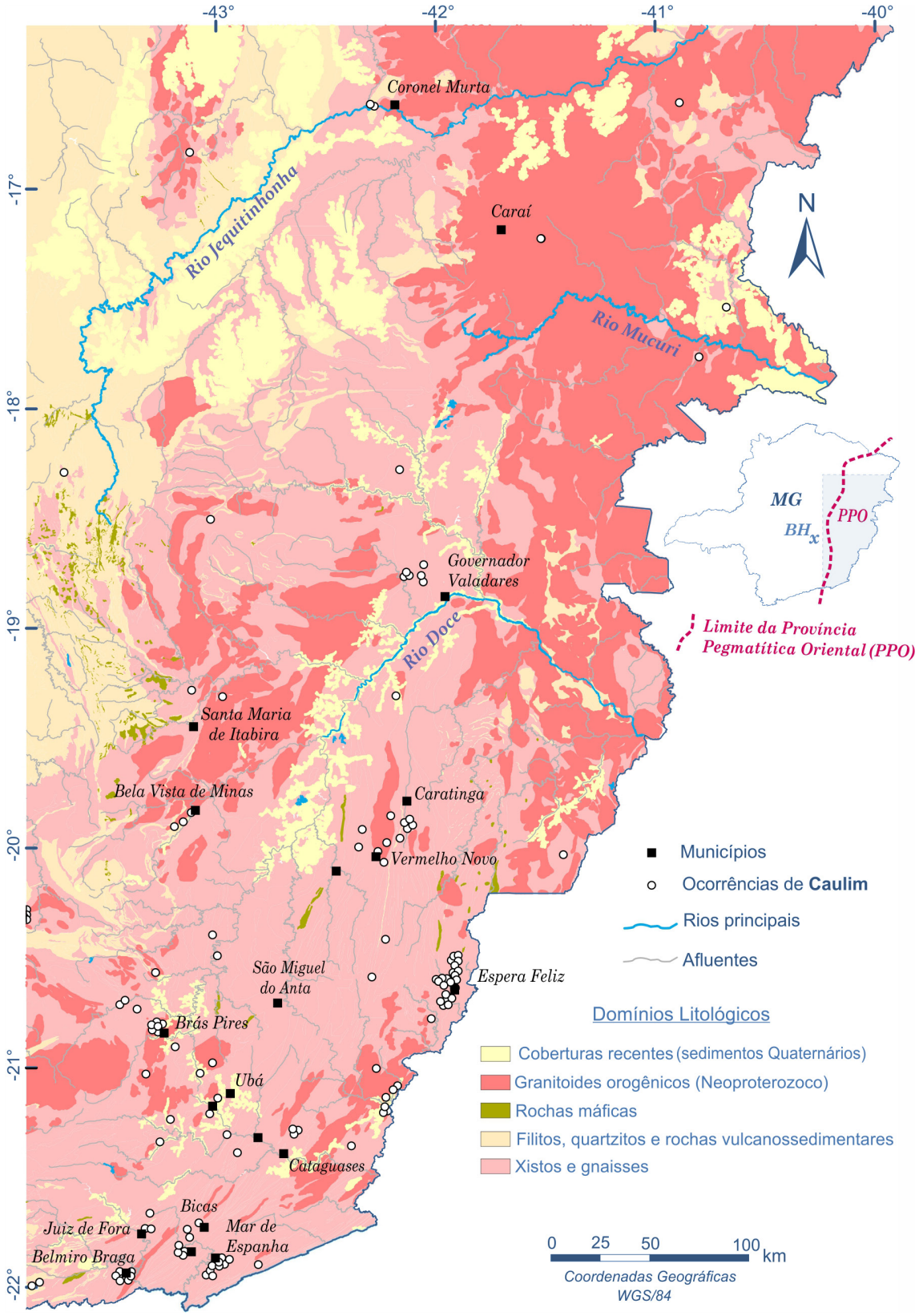

Figura 30. Municípios inseridos no contexto da Província Pegmatítica Oriental que detêm importantes reservas de caulim residual, associado com a decomposição de pegmatitos, granitos e gnaisses. O mapa litológico e as ocorrências de caulim assinaladas adaptados de (Pinto & Silva 2014).

Com base nos dados do Anuário Mineral Brasileiro mais recente para os recursos minerais industriais (DNPM 2011), a Tabela 17 apresenta o volume de reservas medidas e

lavráveis de caulim, contabilizadas nos principais municípios da Província Pegmatítica Oriental.

Tabela 17. Volume de reservas medidas e lavráveis de caulim residual, registrados nos municípios da Província Pegmatítica Oriental, em Minas Gerais.

MUNICÍPIO	RESERVAS MEDIDAS (t)	RESERVAS LAVRÁVEIS (t)
Bela Vista de Minas	115.838	115.838
Belmiro Braga	118.329	97.141
Bicas	81.767	-
Brás Pires	1.817.088	-
Caraí	157.701	126.161
Caratinga	317.825	-
Cataguases	70.716	-
Coronel Murta	12.289	-
Dona Euzébia	76.500	-
Espera Feliz	276.930	-
Governador Valadares	395.964	-
Juiz de Fora	24.000	-
Mar de Espanha	115.099	18.500
Pequeri	99.348	-
Raul Soares	63.020	-
Santa Maria de Itabira	16.100	2.800
São Miguel do Anta	150.000	-
Ubá/Tocantins	2.358.233	-
Vermelho Novo	5.000.000	5.000.000

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro – Ano 2010 (DNPM 2011).

A Tabela 18, por sua vez, mostra quais desses municípios possuem atualmente títulos minerários em fase de concessão de lavra, ou seja, os mais propensos a produzirem caulim (SIGMINE 2018). Nessa tabela, também é apresentado o nome da empresa mineradora que detém a concessão para a exploração. Entretanto, vale ressaltar que nem todas essas empresas estão operando atualmente, com a existência de lavras inativas ou paralisadas.

Tabela 18. Municípios da Província Pegmatítica Oriental que possuem registros de títulos minerários em fase de concessão de lavra. Nem todos, porém, se referem a depósitos em fase de operação atual.

MUNICÍPIO	NÚMERO DO PROCESSO	ANO	EMPRESA REGISTRADA
Belmiro Braga	4937	1943	Empresa de Caolim Ltda
	818146	1968	Empresa de Caolim Ltda
	831329	1985	Ms Mineração Ltda
	382	1948	Jp Mineração Ltda
	2592	1935	Empresa de Caolim Ltda
Pequeri	2610	1936	Empresa de Mineração Beneficiamento Ltda
	8647	1956	Mineração Vale da Mata Ltda
	830483	1982	Mineração Industrial Rio Preto Ltda
	831894	1996	Caolim Azzi Ltda
Mar de Espanha	770	1937	Caolim Azzi Ltda
	44	1949	Empresa de Caolim Ltda
	4184	1955	Roca Sanitários Brasil Ltda
	9625	1961	Mineração Anasteve Ltda
	1444	1966	Roca Sanitários Brasil Ltda
	830532	1981	Caolim Azzi Ltda
Cataguases/Dona Euzébia	805458	1973	Mineração Anasteve Ltda
	809299	1974	Mineração Anasteve Ltda
Ubá/Tocantins	7952	1961	Massa Falida de Mineração Caolinita Ltda
	815382	1970	Massa Falida de Mineração Caolinita Ltda
Brás Pires	807773	1968	Irmãos Guilhermino Ltda
São Miguel do Anta	832916	1996	Caolim Azzi Ltda
Vermelho Novo	810455	1974	Empresa de Caolim Ltda

Fonte: Agência Nacional da Mineração (SIGMINE 2018).

5.6.5. Aspectos Econômicos em Minas Gerais

Dados de reservas

Entre 2010 e 2014, o estado de Minas Gerais registrou um aumento no volume de reservas medidas de caulim, passando de aproximadamente 17 milhões de toneladas, em 2010, para cerca de 23 milhões, em 2014. Ao longo dos anos, esse aumento não foi gradual, ocorrendo anos de relativa constância nos valores: de 2010 para 2011, houve um aumento relativo e, em 2012, o valor observado foi praticamente constante. Em 2013, houve novo aumento e, de modo semelhante ao observado anteriormente, os valores do ano seguinte foram semelhantes (Figura 31).

Quanto ao volume de reservas lavráveis, o estado também registrou aumento entre esses anos, porém em uma intensidade maior: em 2010 foram avaliadas em aproximadamente 9 milhões de toneladas, ao passo que, em 2014, o estado contabilizou cerca de 21 milhões. Diferentemente do comportamento para as reservas medidas, o aumento das reservas lavráveis foi relativamente gradual ao longo dos anos, com o maior registro na passagem de 2012 para 2013 (Figura 31). Vale ressaltar que, em 2014, o volume de reservas medidas e lavráveis foram próximos, o que indica a qualidade dos depósitos estaduais e a facilidade de extração do caulim.

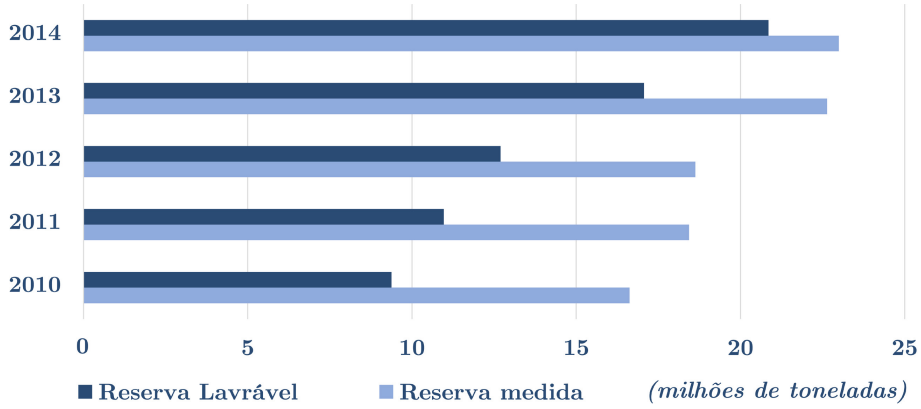

Figura 31. Evolução do volume das reservas medidas e lavráveis de caulim em Minas Gerais ao longo dos anos de 2010 e 2014. Fonte: Anuário Mineral Estadual de Minas Gerais (Dalla Costa *et al.* 2017).

Dados de produção

Diferentemente das argilas comuns e plásticas, os dados referentes à produção de caulim podem ser verificados no Sumário Mineral Brasileiro – Ano 2015 (Lima & Neves 2016), que mostra o comportamento dessa substância em âmbito nacional. Com base nessa fonte, a produção mundial em 2014 somou cerca de 40 milhões de toneladas, com o Uzbequistão aparecendo em primeiro lugar, com 7 milhões de toneladas, seguido pelos Estados Unidos, com 5,4 milhões de toneladas. O Brasil ocupou a sexta colocação dos maiores produtores, com cerca de 1,8 milhão de toneladas. Isso significa que o Brasil, nesse ano, gerou 4,5% do total da produção mundial de caulim. Contudo, apesar de possuir reservas interessantes, Minas Gerais não participa significativamente desse montante, sendo que cerca de 94% da produção nacional é referente às reservas de caulim sedimentar do Norte do país (estados do Amazonas e Pará).

No ano de 2014, o estado de Minas Gerais registrou 6 minas produtoras de caulim, todas com lavra a céu aberto. Dessas, 5 minas foram consideradas de micro porte (produção anual bruta inferior a 10 mil toneladas) e 1 de pequeno porte (produção anual entre 10 e 100 mil toneladas (Dalla Costa *et al.* 2017).

Em 2014, essas minas produziram aproximadamente 37 mil toneladas de caulim, um valor que representou 2% da produção nacional. Em relação aos anos anteriores, os valores oscilaram bastante, com pico na produção em 2012, quando o estado registrou cerca de 54 mil toneladas (Figura 32).

Em relação ao caulim beneficiado em indústrias, a produção é historicamente baixa, ou inexistente, com registro de cerca de 3 mil toneladas em 2014 (Figura 32). Possivelmente, esses baixos valores são reflexo do mercado consumidor, uma vez que o caulim beneficiado é mais usado nas indústrias de papel, ao passo que o caulim bruto é destinado para abastecer as indústrias cerâmicas e cimenteiras (DNPM 2011).

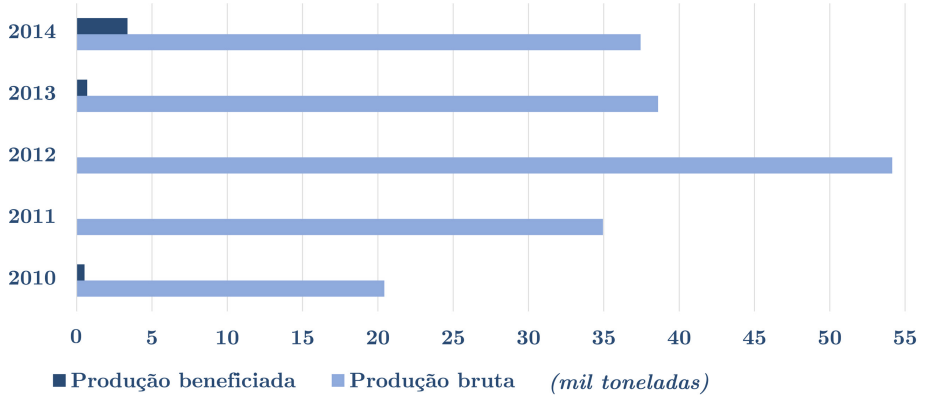

Figura 32. Evolução da produção bruta e beneficiada de caulim em Minas Gerais ao longo dos anos de 2010 e 2014. Fonte: Anuário Mineral Estadual de Minas Gerais, Dalla Costa *et al.* 2017.

6. AREIA INDUSTRIAL (QUARTZO)

No sentido técnico em que é aplicado, o termo *areia* é utilizado como medida granulométrica e se refere a um agrupamento de sólidos granulares inconsolidados, não coesos e de tamanho limitado a um intervalo específico (entre 0,062 mm e 2,0 mm, conforme classificação de Wenthworth 1922). Esse autor subdivide ainda as areias em cinco tipos: (i) areia muito grossa: 1,0 a 2,0 mm; (ii) areia grossa: 0,5 a 1,0 mm; (iii) areia média: 0,25 a 0,5 mm; (iv) areia fina: 0,125 a 0,25 mm; e (v) areia muito fina: 0,062 a 0,125 mm.

O termo independe da composição e da origem das partículas e pode ser usado para classificar um agregado formado por minerais naturais ou materiais sintéticos. Nesse sentido, as *areias industriais* podem ser definidas como todos os materiais granulares, não coesos, formados por um conjunto de partículas sólidas situadas em uma faixa de tamanho específico (entre 0,062 e 2,0 mm) e que são utilizadas como matéria prima para diversos fins industriais (eg. produção de vidros, preparo de moldes de fundição, fabricação de cerâmicas tradicionais, refratárias e cimento, uso como reagentes na indústria química, uso no processo de fraturamento hidráulico na indústria do petróleo etc.).

Apesar de existirem algumas aplicações específicas para areias industriais constituídas por diferentes tipos de minerais (*eg*. zircão, cromita, olivina etc.), as areias industriais são essencialmente constituídas por quartzo (Figura 33), um mineral de sílica pura (100% SiO_2), muito comum, que, por si só, compõe aproximadamente 12% de toda a sílica da crosta continental (Flörke *et al*. 2008).

Figura 33. Detalhe de areia quartzosa pura, usada como fonte de sílica para a fabricação de cerâmicas e vidros. Foto: Acervo do autor.

Nas areias industriais, tudo aquilo que não é quartzo é considerado impureza. Assim, não é qualquer areia quartzosa que pode ser utilizada nas indústrias. Para a obtenção de resultados de qualidade, é exigido que esses materiais atendam a especificações quanto às suas propriedades físicas (forma e tamanho dos grãos) e, principalmente, com relação ao conteúdo de SiO_2 e impurezas. Essas exigências variam conforme as aplicações, mas, em linhas gerais, as areias devem ser bem selecionadas (homogêneas quanto ao tamanho dos grãos) e compostas por mais de 95% de sílica. Em algumas aplicações mais específicas (eg. produção de vidros especiais), é exigido um grau de pureza bastante elevado, da ordem de 99% em SiO_2.

Com base nessas restrições, as areias industriais não são recursos encontrados em depósitos naturais. Tratam-se de materiais sintéticos produzidos a partir do beneficiamento de matérias primas encontradas em depósitos ricos em quartzo, porém com algum grau de impureza (areias naturais, quartzitos, veios de quartzo etc.). Nesse caso, após a extração, esses recursos são submetidos a vários processos que visam a seleção dos grãos e remoção de impurezas (*eg.* trituração, moagem, peneiramento, lavagem, separação de fases minerais por diferentes tipos de técnicas, ataques químicos etc.; Flörke *et al.* 2008).

No Brasil, a atividade minerária em jazidas voltadas para a produção de areias industriais concentra-se nas regiões sul e sudeste. São Paulo é o maior parque produtivo, detém as maiores reservas e é o maior consumidor do país. O maior depósito do Brasil também está nesse estado e compreende as coberturas sedimentares cenozoicas localizadas no município de Descalvado. Subordinadamente, importantes reservas também são verificadas nos estados de Minas Gerais, Santa Catarina, Bahia e Paraná (DNPM 2011).

6.1. Propriedades industriais

Como as areias industriais são majoritariamente compostas por quartzo, as propriedades desse recurso estão intimamente relacionadas com as características desse mineral.

O quartzo é um tipo de tectossilicato do grupo da sílica, caracterizado por ter um retículo cristalino formado exclusivamente por tetraedros de sílica (SiO^{4-}) que se ligam de uma maneira em que todos os vértices estão conectados com outros tetraedros, em um arranjo tridimensional (Figura 34). Essa estruturação é responsável pelas principais propriedades físicas diagnósticas do quartzo, dentre as quais se destacam (Klein & Dutrow 2012): (i) Dureza elevada (7,0 na escala de *Mohs*); (ii) Fratura conchoidal; (iii) Brilho vítreo; (iv) Ausência de clivagem; (v) Forma prismática (bipiramidal), quando ocorre como cristais bem formados (quartzo hialino; Figura 34); (vi) Caráter inerte, e resistência química (à exceção quando em contato com ácido fluorídrico – HF) e (vi) Elevada refratariedade (quando aquecido, o quartzo fica instável acima de 573 °C, muda o arranjo cristalino e se transforma em outras variedades da sílica resistentes ao calor. A Cristobalita é a variedade mais refratária e sofre fusão em temperaturas da ordem de 1.720 °C; Flörke *et al.* 2008).

Figura 34. Síntese das principais características do quartzo, o mineral componente das areias industriais usadas em cerâmicas e vidros. Fotos: Acervo do autor.

Nas indústrias de cerâmicas tradicionais, a sílica proveniente do quartzo é um componente essencial em louças e em algumas cerâmicas de revestimento. Pode também ser usada como componente adicional que incrementam as massas de cerâmicas vermelhas. Em ambos os casos, ela é um componente inerte, que aumenta a resistência das massas, impedindo que ela se deforme durante a queima. Além disso, a depender das condições (temperatura do forno e presença de fundentes), o quartzo sofre fusão e forma a fase vítrea, que reduz a porosidade e confere resistência térmica, mecânica e química ao produto cerâmico.

Na indústria vidreira, a areia quartzosa é a matéria principal, que estrutura a massa e forma os inúmeros tipos de vidros à base de sílica. Além disso, a sílica atua conferindo transparência, brilho e resistência mecânica, térmica e química (à exceção de ataque com ácido fluorídrico).

6.1.1. Areias industriais versus areias para construção civil

É importante ressaltar que, devido ao processo de beneficiamento mais rigoroso e pureza mais elevada, as areias industriais são diferentes dos tipos utilizados no mercado de construção civil (as areias quartzosas mais impuras ou as areias artificiais produto da britagem de rochas em pedreiras).

Em linhas gerais, as areias de construção atuam como material ligante em argamassas, concretos e asfaltos, bem como material de preenchimento em obras (fundações, pavimentação, enrocamentos etc.). Nesses casos, admite-se uma composição mais variável e também há uma preocupação quanto ao tamanho e a forma dos grãos, uma vez que essas propriedades influenciam a obtenção de boas respostas quanto ao grau de compactação, porosidade, permeabilidade e resistência ao fraturamento. Contudo, apesar de admitir areias mais impuras, o mercado de construção civil também consume areias industriais para a produção de argamassas de maior qualidade, bem como componente adicional usado para suprir a deficiência de sílica em cimentos (Flörke *et al*. 2008).

6.2. Tipos de depósitos

Como o quartzo é um recurso abundante, que pode ocorrer de várias maneiras na natureza (Figura 34), as areias industriais são obtidas a partir de várias fontes, desde que enriquecidas em sílica e devidamente processadas posteriormente. De acordo com o Anuário Mineral Brasileiro – Ano 2010 (DNPM 2011), as principais fontes usadas para a produção de areias industriais no Brasil são:

i. *Areias quartzosas naturais* - agregados de grãos de quartzo detríticos que se encontram livremente em superfície, na forma de sedimentos inconsolidados depositados recentemente no tempo geológico (período Quaternário). Essas areias são comumente encontradas em vários tipos de ambientes, tais como em leitos e margens de rios (aluviões; Figuras 35A e B), em regiões de praia e planícies costeiras, em zonas desérticas, em colúvios e elúvios etc.

ii. *Quartzito* - tipo de rocha metamórfica, formada a partir de transformações mineralógicas e texturais que ocorrem quando seus correspondentes sedimentares (arenitos) são submetidos a altos valores de temperatura e pressão (Figura 35C). Vale ressaltar que o uso dessas rochas é diversificado e não se limita à produção de areias industriais. Na realidade, somente os tipos mais puros em sílica é que são adequadas a esse uso. A grande maioria dos depósitos de quartzitos é lavrada para uso como material ornamental (revestimento de pisos) ou para a produção de brita (construção civil; DNPM 2011);

iii. *Veios de quartzo* - quartzo encontrado como material de preenchimento em veios hidrotermais (Figura 35D) ou pegmatíticos. No mercado comercial, os fragmentos desses veios são conhecidos como lascas e suas aplicações variam conforme a transparência visual. Essa, por sua vez, está relacionada com a presença de inclusões e impurezas no retículo cristalino do quartzo. Assim, as lascas de pureza elevada em sílica são transparentes e seu uso é restrito a produtos específicos que exigem um

rígido controle de qualidade (vidros especiais, fibras ópticas, painéis solares, semicondutores etc.). As lascas de qualidade inferior (eg. quartzo leitoso da Figura 35D) são majoritariamente usadas para a produção de cristais euédricos sintéticos (quartzo cultivado). As aplicações desses materiais correspondem a um mundo industrial à parte, sendo alvo de consumo em segmentos específicos: indústrias de relógios e jogos eletrônicos, automóveis, equipamentos de telecomunicações, computadores, equipamentos médicos etc. Nesse caso, a utilização do quartzo sintético nessas indústrias é baseada em uma propriedade peculiar do quartzo hialino, quando em cristais puros e bem formados (Figura 34): o caráter piezoeletrônico (capacidade de transmitir energia elétrica mediante aplicação de pressão na superfície do cristal; Guzzo 2008).

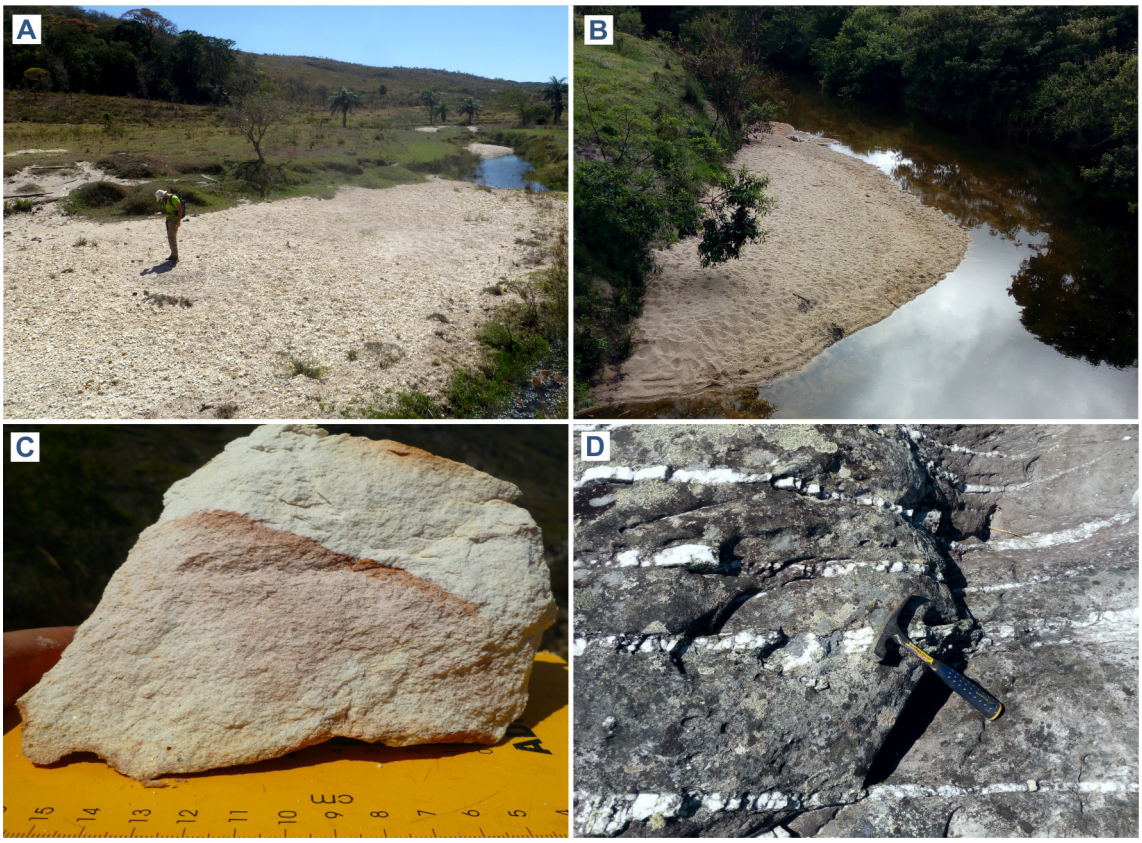

Figura 35. Principais fontes naturais usadas para a produção das areias industriais: **A** e **B)** Areias quartzosas naturais (coberturas aluvionares recentes). **C)** Quartzitos puros (também conhecidos como quartzitos industriais). **D)** Veios de quartzo. Fotos: Acervo do autor. Localização (UTM23S WGS84): A) 636.792E, 7.890.103N; B) 648.174E, 7.869.143N; C e D) 649.860E, 7.967.868N.

6.3. Direito minerário

Tendo em vista a disponibilidade dos recursos, a relativa facilidade de extração e distribuição e o baixo valor agregado, a grande maioria das areias industriais usadas em cerâmicas e vidros provém de depósitos de areias naturais ou de quartzitos puros. Todavia, a exploração desses depósitos não é exclusiva para esses setores e pode ser voltada para outros fins, em especial para atender às demandas do mercado de construção civil (areias para cimento e obras e placas de quartzitos para revestimento). Apesar de serem usados para a produção de alguns tipos de vidros especiais, a grande maioria da produção dos

cristais de quartzo em veios é voltada para atender setores industriais específicos (Guzzo 2008, Luz & Lins 2008). Assim, esses recursos foram desconsiderados neste capítulo.

No banco de dados da Agência Nacional da Mineração (SIGMINE 2018), existem mais de 8.000 títulos referentes às areias naturais e quartzitos. Entretanto, a maioria deles não está registrada para usos não industriais, limitando-se a uso em construção civil. Outros não possuem informações quanto ao uso. Na tentativa de precisar as áreas com potencial para areias industrias passíveis de serem usadas em cerâmicas tradicionais ou nos vidros, foram considerados somente os títulos em que o uso industrial está especificado.

Dessa forma, quanto às areias naturais, a Agência Nacional de Mineração registra atualmente 352 títulos (Figura 36), os quais se encontram em diversas fases do regimento de aproveitamento mineral: (i) 186 estão em autorização de pesquisa; (ii) 11 em concessão de lavra; (iii) 20 em disponibilidade; (iv) 11 em licenciamento; (v) 59 em requerimento de lavra; (vi) 3 em requerimento de licenciamento e (vii) 62 em requerimento de pesquisa.

Os títulos referentes ao quartzito industrial somam 139 (Figura 36) e estão na seguinte fase: (i) 82 em autorização de pesquisa; (ii) 1 em concessão de lavra; (iii) 4 em disponibilidade; (iv) 16 em requerimento de lavra e (v) 31 em requerimento de pesquisa.

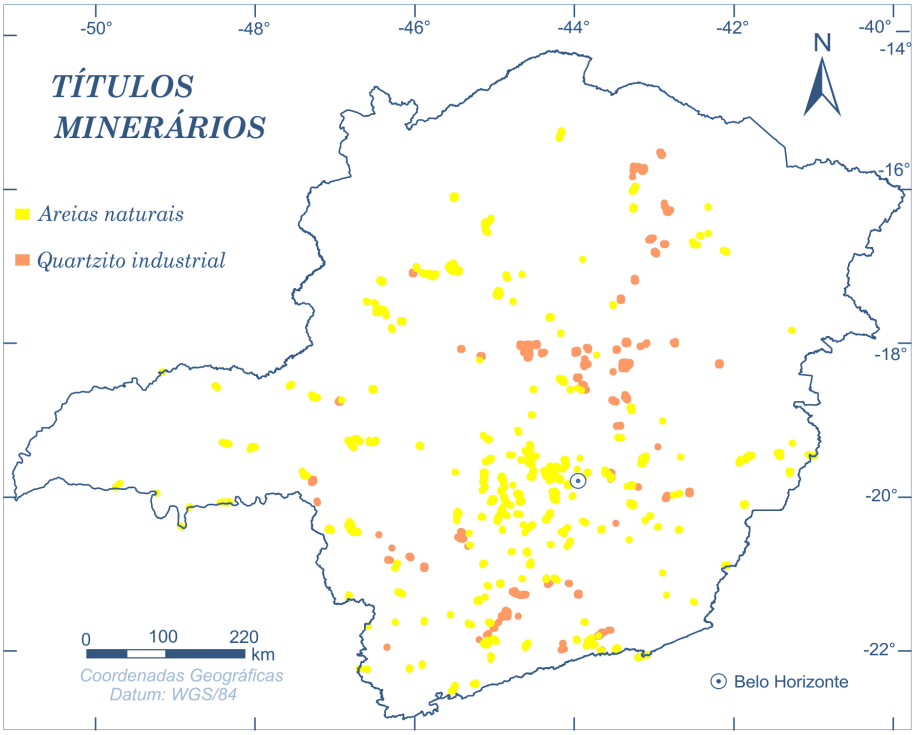

Figura 36. Distribuição dos títulos minerários referentes às areias industriais em Minas Gerais. Ao todo, estão registrados 352 referentes às areias quartzosas naturais e 139 títulos referentes ao quartzito industrial. Nos dois casos, os títulos se encontram em diversas fases do regime de aproveitamento mineral. Fonte: Banco de dados da Agência Nacional da Mineração (SIGMINE 2018).

Desses títulos citados, os que se encontram em fase atual de concessão de lavra são os mais favoráveis para a ocorrência de depósitos usados para a produção de areias industriais que abastecem as industrias cerâmicas e vidreiras. Ao todo, somam-se 12 títulos e os municípios onde ocorrem, bem como as empresas que detêm os direitos da exploração, podem ser verificados na Tabela 19. Vale ressaltar que a lavra de areia industrial é uma atividade que varia bastante, conforme as demandas do mercado, flutuações dos preços e

condições naturais (eg. época de cheia em rios podem inviabilizar a produção em depósitos de várzea). Assim, é possível que algumas das lavras listadas na Tabela 19 estejam inativas ou paralisadas.

Tabela 19. Títulos minerários para areias industriais, em fase de concessão de lavra, registrados junto à Agência Nacional de Mineração. Nem todos, porém, referem-se a depósitos em fase de operação atual.

MUNICÍPIO	NÚMERO DO PROCESSO	ANO	EMPRESA REGISTRADA	SUBSTÂNCIA
Guapé	830230	2001	Francisco Xavier Vilela de Faria Fi	Quartzito
São João del Rei	2463	1944	Mineração Omega Ltda	Areia para vidro
Itabirito/Ouro Preto	832121	2010	Monteminas Minérios Ltda	Areia
Itabirito/Ouro Preto	10604	1967	Ferrous Resources do Brasil S/A.	Areia para vidro
São Gonçalo do Rio Abaixo	820934	1972	Saint Gobain do Brasil Ltda	Areia de fundição
Bom Jesus do Amparo	830190	1985	Silica Sand Mineração Ltda	Areia de fundição
Betim/Belo Horizonte	811178	1972	Ceramica Saffran S/A.	Areia de fundição
Betim/Belo Horizonte	5109	1957	Sical Industrial Ltda	Areia de fundição
Belmiro Braga	831773	1984	Lira Barra Mineração Ltda	Areia de fundição
Lavras	803350	1972	Sandquartz Mineração Ltda	Areia de fundição
Delfim Moreira/Marmelópolis	810326	1973	Mineração Jundu Ltda	Areia de fundição
Frutal	830060	2002	Alair Muniz Dutra & Filhos Ltda	Areia

Fonte: Agência Nacional da Mineração (SIGMINE 2018).

6.4. Ocorrência e depósitos importantes em Minas Gerais

De acordo com o Anuário Mineral Brasileiro – Ano 2010 (DNPM 2011), Minas Gerais é o quarto estado do Brasil com as maiores reservas de areias naturais passíveis de serem exploradas para fins industriais, estando atrás de São Paulo, Paraná e Ceará. Tratam-se de coberturas aluvionares recentes (período Quaternário), encontradas nos leitos e margens dos rios do estado. Em relação ao quartzito industrial, o estado ocupa a segunda colocação, atrás apenas de São Paulo.

O grande volume dessas reservas justifica-se com base na constituição geológica do território, que apresenta uma ampla distribuição de sedimentos inconsolidados quaternários, encontrados em aluviões, ou em zonas de colúvios e elúvios (Figura 37). Da mesma forma, o estado detém um volumoso registro de ocorrência de quartzitos, de idades diversas. Essas rochas estão associadas com a sedimentação arenosa em bacias sedimentares antigas e que foram posteriormente soterradas, deformadas e soerguidas em superfície, em função dos movimentos tectônicos do passado (Figura 37; Pinto & Silva 2014).

Ainda com base no Anuário Mineral Brasileiro – Ano 2010 (DNPM 2011), os municípios que apresentam reservas medidas de areia industrial extraída em coberturas recentes são: *Betim, Bom Jesus do Amparo, Cascalho Rico, Juiz de Fora, Lavras, Marmelópolis, Olhos-d'Água, Poços de Caldas, Santa Rita do Sapucaí* e *São Gonçalo do Rio Abaixo* (Figura 37).

Conforme o Cadastro Industrial de Minas Gerais (CIEMG 2018), verifica-se que, na proximidade com a maioria desses municípios, ocorrem indústrias vidreiras (Figura 37). Contudo, é difícil precisar quais são efetivamente as lavras voltadas para atender às demandas das indústrias locais, pois a grande maioria das atividades em depósitos aluvionares tende a produzir areias mais impuras para abastecer o mercado da construção civil e, muitas vezes, os títulos minerários das lavras não especificam o uso da substância explorada.

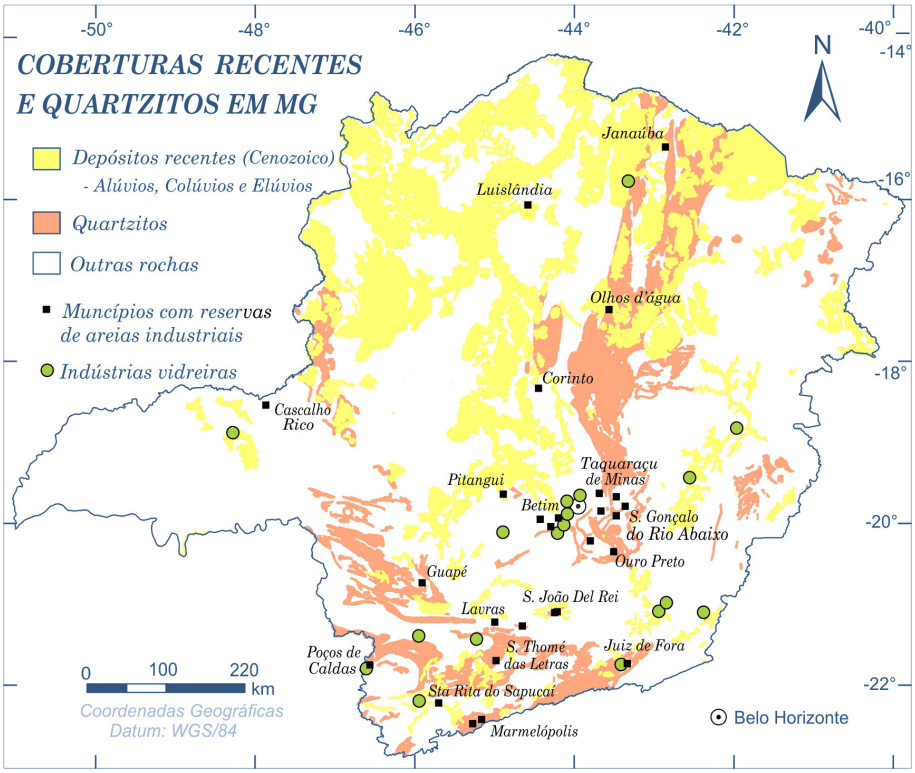

Figura 37. Distribuição das unidades geológicas que representam as regiões favoráveis para a ocorrência de depósitos de areias naturais e quartzitos em Minas Gerais. Os pontos pretos representam os municípios com registros de reservas contabilizadas no Anuário Mineral Brasileiro – Ano 2010 (DNPM 2011) e os círculos de cor vcerde mostram a localização das indústrias vidreiras no estado (CIEMG 2018), uns dos principais segmentos consumidores dessas areias. Fonte: Adaptado de Pinto & Silva (2014).

Em depósitos aluvionares, independente de as areias serem para as indústrias ou para a construção civil, as lavras ocorrem da mesma maneira: são manuais, com o uso de ferramentas rudimentares, ou são mecanizadas, com uso de tratores, escavadeiras (areias de várzea) e dragas de sucção (areias submersas; Figura 38). A diferença se dá em relação ao processo de beneficiamento ao qual o material retirado é submetido após a extração.

Figura 38. Exemplos de extração de areias aluvionares em leitos e margens de rios por dragagem. Para a produção de areias industriais, é necessário que, após a lavra, o material dragado seja submetido a um rígido processo de beneficiamento em usinas de tratamento para a remoção das impurezas. **A)** Lavra no Ribeirão dos Macacos, próximo à cidade de Cachoeira da Prata (556.945E, 7.841.749N; UTM23S WGS84). **B)** Lavra no Rio Jacaré, próximo à cidade de Formiga (452.929E, 7.785.084N; UTM23S WGS84). Fotos: A) Retirado de Romano *et al.* (2014). B) Retirado de Campello *et al.* (2015).

Com relação aos depósitos de quartzito industrial, os municípios que apresentam reservas contabilizadas são: *Barão de Cocais, Belo Horizonte, Caeté, Corinto, Delfim Moreira, Guapé, Igarapé, Itabirito, Itutinga, Lavras, Luislândia, Marmelópolis, Mateus Leme, Mato Verde, Ouro Preto, Pará de Minas, Pitangui, Santa Cruz de Minas, São João del Rei, São Tomé das Letras* e *Taquaraçu de Minas* (Figura 37).

6.5. Aspectos Econômicos em Minas Gerais

No Anuário Mineral Estadual – anos 2010 a 2014 (Dalla Costa *et al.* 2017), os dados estatísticos referentes às areias industriais estão divididos em 4 recursos: areias quartzosas naturais, quartzito industrial, quartzo e sílex (este com valores modestos de reservas e produção). Tendo como base o uso nas indústrias cerâmicas e vidreiras, os dados de reservas e produção mineral apresentados referem-se às areias naturais e aos quartzitos industriais.

Dados de reservas

Entre 2010 e 2014, o estado de Minas Gerais registrou um aumento considerável (mais do que 9 vezes o valor inicial) no volume de reservas medidas de areias quartzosas usadas para fins industriais. Em 2010, essas reservas foram contabilizadas em aproximadamente 21 milhões de toneladas, ao passo que, em 2014, os valores subiram para cerca de 190 milhões de toneladas. Esse aumento foi brusco ao longo dos anos e a maior variação foi registrada entre 2012 e 2013 (Figura 39). Quanto aos volumes de reservas lavráveis divulgados entre 2010 e 2014, um fato curioso pode ser observado: os registros foram sempre ligeiramente superiores aos das reservas medidas (Figura 39). Esse comportamento indica a relativa facilidade de extração dos recursos minerais e mostra que os cálculos das reservas medidas estão subestimados em relação ao volume real.

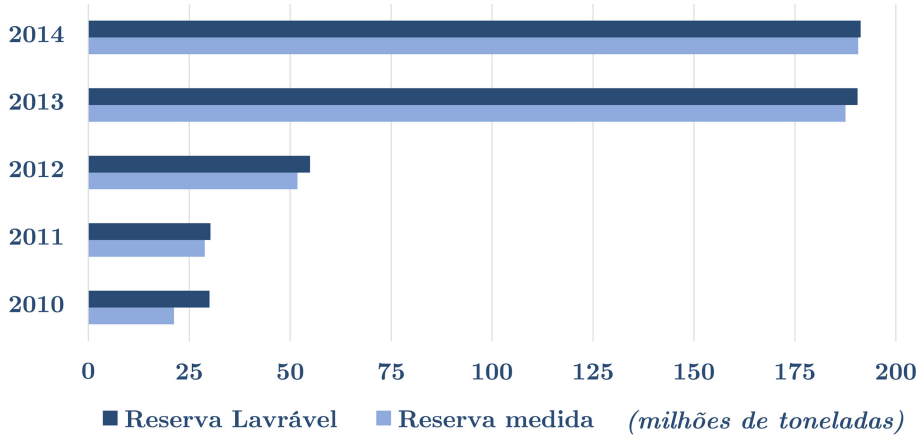

Figura 39. Evolução do volume das reservas medidas e lavráveis de areias naturais usadas para fins industriais em Minas Gerais ao longo dos anos de 2010 e 2014. Fonte: Anuário Mineral Estadual de Minas Gerais (Dalla Costa *et al.* 2017).

Em comparação com os depósitos de areias naturais, as reservas de quartzito industrial em Minas Gerais são consideravelmente maiores. Entre 2010 e 2014, o estado também registrou um aumento no volume de reservas medidas, passando de aproximadamente 150 milhões de toneladas, em 2010, para cerca de 370 milhões, em 2014. Esse aumento foi brusco ao longo dos anos e a maior variação foi registrada entre 2011 e 2012 (Figura 40). O

volume de reservas lavráveis acompanhou o aumento das reservas medidas e os valores são relativamente próximos (Figura 40), o que indica a facilidade de extração desse recurso e o grande potencial do estado para produzir areias industriais ainda por um bom tempo.

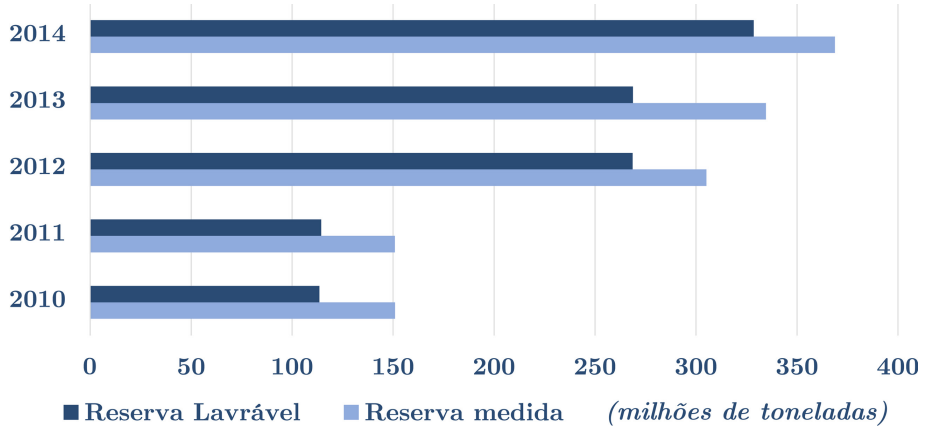

Figura 40. Evolução do volume das reservas medidas e lavráveis de quartzito industrial em Minas Gerais, ao longo dos anos de 2010 e 2014. Fonte: Anuário Mineral Estadual de Minas Gerais (Dalla Costa *et al.* 2017).

Dados de produção

No ano de 2014, o estado de Minas Gerais registrou 7 minas produtoras de areias industriais a partir de depósitos de areias naturais e outras 3 minas em quartzitos. Todas as lavras ocorreram a céu aberto e, do total, 3 minas foram classificadas como de médio porte (produção bruta anual entre 100 mil e 1 milhão de toneladas), 3 de pequeno porte (entre 10 mil e 100 mil toneladas) e 4 de micro porte (produção abaixo de 10 mil toneladas; Dalla Costa *et al.* 2017).

Em 2014, as minas de areias quartzosas em coberturas recentes produziram aproximadamente 225 mil toneladas de areias industriais, um valor menor do obtido no ano anterior (ca. 253 mil toneladas; Figura 41). Em relação aos anos anteriores, o aumento foi gradual e passou de cerca de 115 milhões de toneladas em 2010, para 160 milhões ao final de 2012. Com relação à produção beneficiada em usinas de tratamento, o estado registrou aproximadamente 140 milhões de toneladas em 2014 e, em linhas gerais, o comportamento nos anos anteriores foi semelhante ao da produção bruta, porém com valores mais baixos (Figura 41).

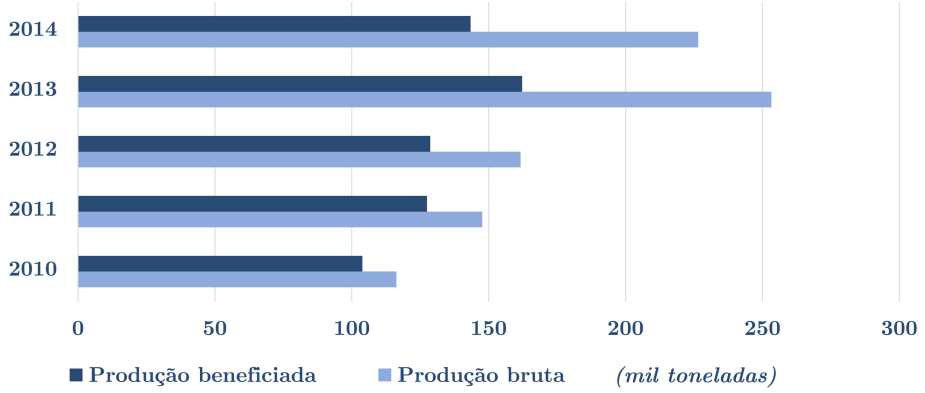

Figura 41. Evolução da produção bruta e beneficiada de areias naturais para fins industriais em Minas Gerais, ao longo dos anos de 2010 e 2014. Fonte: Anuário Mineral Estadual de Minas Gerais, Dalla Costa *et al.* 2017.

Apesar do menor número de minas, o volume da produção de areias industriais a partir do quartzito foi semelhante ao obtido em depósitos de areias quartzosas, atingindo cerca de 170 mil toneladas em 2014. Esse valor foi constante em relação ao ano anterior e ambos refletem um comportamento de queda na produção, que vinha sendo observado desde 2010, quando Minas Gerais atingiu cerca de 200 mil toneladas de areias industriais provenientes dessa fonte (Figura 42). Em relação à produção beneficiada, os valores foram menores mas mostram coerência com as variações da produção bruta. Em 2014, o estado registrou aproximadamente 125 mil toneladas de areia industrial beneficiada, cuja proveniência está relacionada com os depósitos de quartzitos lavrados no estado (Figura 42).

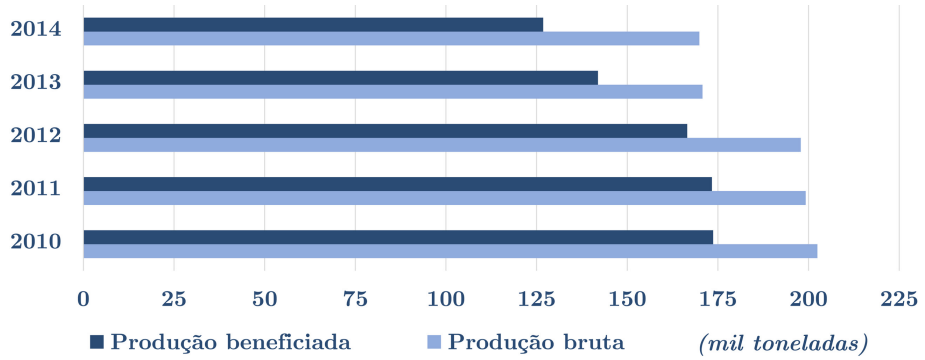

Figura 42. Evolução da produção bruta e beneficiada de quartzito industrial em Minas Gerais ao longo dos anos de 2010 e 2014. Fonte: Anuário Mineral Estadual de Minas Gerais, Dalla Costa *et al.* 2017.

As estatísticas nacionais referentes às areias industriais não são divulgadas no mais recente Sumário Mineral Brasileiro – Ano 2015 (Lima & Neves 2016).

Entretanto, mais recentemente, a revista Minérios & Minerales (2017) divulgou o ranking das 200 maiores minas brasileiras para o ano de 2016. Com base nessa lista, a mineradora *Mineração Darcy R.O e Silva*, localizada no município de São Simão (SP), foi a que mais se destacou em relação às areias industriais, com produção bruta anual de aproximadamente 380 milhões de toneladas. Em segundo e terceiro lugar, as minas da mineradora *Sibelco*, em Jaguaruna (SC), foram as que mais produziram esses recursos.

7. FELDSPATO

Feldspato é um termo genérico, que faz referência a um conjunto de silicatos de alumínio que possuem diferentes quantidades de sódio, potássio e cálcio (Figura 43) . O nome é atribuído às palavras alemãs *feld* (campo) e *spath* (pedra), provavelmente em decorrência do fato desse grupo de mineral ser o mais abundante da crosta, sendo extremamente comum como componente das rochas expostas em superfície, bem como material componente em solos e sedimentos inconsolidados (Potter 2006).

Figura 43. Detalhe de cristal de feldspato, um mineral essencial nas indústrias cerâmicas e vidreiras. Foto: Acervo do autor.

Entretanto, apesar da abundância, os depósitos lavráveis de feldspato não são recorrentes. Na maioria das vezes, esse recurso ocorre como componente microcristalino em rochas compostas por outros minerais (impurezas) e sua extração não é viável. Nesse caso, por ocorrer na forma de cristais grandes e normalmente isolados, facilmente separados de outros minerais, os pegmatitos constituem a principal fonte para a exploração desse recurso.

Segundo o Anuário Mineral Brasileiro (DNPM 2011), a última contagem das reservas nacionais de feldspato revelou a presença de ca. 320 milhões de toneladas, com os maiores volumes registrados no Paraná (28%) e em Minas Gerais (13%; Figura 44).

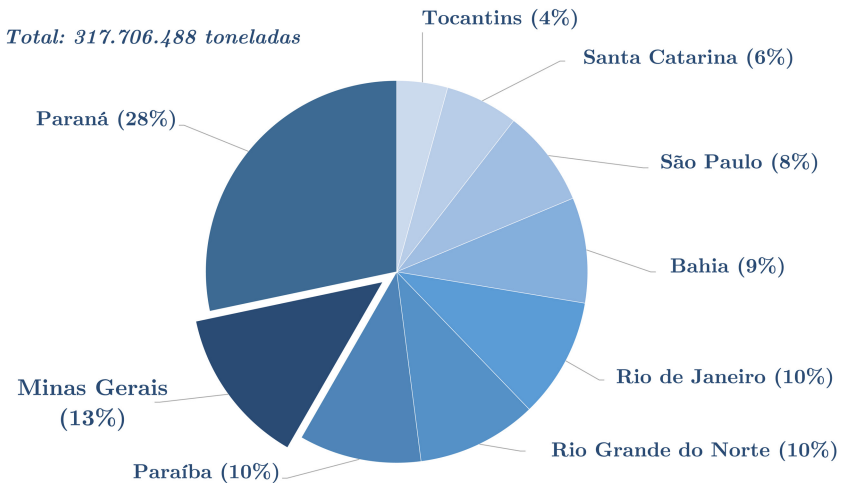

Figura 44. Distribuição das reservas de feldspato no Brasil. Fonte: Anuário Mineral Brasileiro – Ano 2010 (DNPM 2011).

Em Minas Gerais, a grande maioria dos depósitos está inserida nos domínios da Província Pegmatítica Oriental (PPO; Paiva 1946), ocorrendo em diversos distritos espalhados por toda a região leste do estado (Moraes & Hetcht 1997).

As indústrias de cerâmica e vidro são os principais consumidores de feldspato no Brasil. De acordo com o Sumário Mineral Brasileiro – Ano 2015 (Lima & Neves 2016), a produção beneficiada de feldspato em 2014 (ca. 417 mil toneladas) foi destinada à produção de pisos e revestimentos (96,1%), vidros (3,0%) e cerâmica branca (0,8%).

Além desses produtos, o feldspato também pode ser usado como carga mineral nas indústrias de tintas, plásticos, borrachas, abrasivos e como insumo na indústria de eletrodos para soldas.

7.1. Propriedades industriais

Os feldspatos compreendem um grupo de minerais classificados conforme a composição. Quimicamente, a maioria dos feldspatos pode ser classificada como membros do sistema ternário: $NaAlSi_3O_8$ (feldspatos sódicos; ou variedade albita), $KAlSi_3O_8$ (potássicos; ou variedade ortoclásio/microclina) ou $CaAl_2Si_2O_8$ (cálcicos; ou variedade anortita). Com base nas diferentes proporções entre esses álcalis, eles são denominados de maneiras diferentes:

i. os termos da série sódica e potássica são chamados de feldspatos alcalinos e incluem as variedades albita, anortoclásio e sanidina;

iii. os termos da série cálcio-sódica são conhecidos como plagioclásios e incluem as variedades anortita, bytownita, labradorita, andesina, oligoclásio e albita.

Ressalta-se que a série potássica-cálcica não é estável na natureza e, além dos tipos apresentados, outras variedades de feldspato podem ocorrer com base na presença de outros elementos (eg. celesiana – feldspato de bário; Deer *et al.* 2013).

Em linhas gerais, apesar da composição química variável, os feldspatos se assemelham bastante com relação às propriedades físicas: (i) apresentam clivagem em duas direções (ortogonais, ou levemente inclinadas entre si; (ii) são translúcidos ou transparentes; (iii) possuem brilho vítreo; (iv) possuem dureza entre 6,0 e 6,5 na escala de *Mohs*; (v) peso específico da ordem de 2,5 a 2,8; (vi) quando bem formados, produzem cristais prismáticos.

A cor é uma propriedade variável e, em análises macroscópicas, pode ser usada como diagnóstico da série composicional: os feldspatos alcalinos, principalmente os mais potássicos (ortoclásio e microclina) tendem a ser rosados, ao passo que os plagioclásios são mais esbranquiçados (Moraes & Hetcht 1997).

Como mineral industrial, normalmente a composição não é um impeditivo do uso. Entretanto, nas indústrias de cerâmicas tradicionais e vidreiras, tipos alcalinos são mais visados pelo fato de conterem maiores teores de componentes fundentes (Na_2O e K_2O), que reduzem a temperatura de fusão das massas.

Pelo fato de serem mais impuras e já conterem as quantidades de fundentes necessários, as cerâmicas vermelhas produzidas com argilas comuns não necessitam da

aplicação desse mineral. Entretanto, é um componente essencial em massas triaxiais (argila plástica + quartzo + feldspato) que compõe as cerâmicas brancas e de revestimento. Nesses casos, promove a formação da fase vítrea, em que confere transparência, brilho, redução da porosidade e resistência mecânica, elétrica e química ao produto. A quantidade de feldspato utilizada varia conforme os tipos de cerâmicas (Potter 2006): (i) Porcelanas de mesa: 17% a 20% de feldspato; (ii) Pisos cerâmicos esmaltados: 55% a 60%; (iii) Porcelanas elétricas: 25% a 35%; (iv) Porcelanas de forno (assadeiras): 10% e (v) Azulejos: 0 a 11%.

Na fabricação de vidros, o feldspato também é utilizado como fundente, devido ao fornecimento de álcalis (Na_2O e K_2O). Além disso, atua como fonte de alumina (Al_2O_3) e cálcio (CaO), ambos componentes estabilizantes que promovem aumento na resistência mecânica e química dos vidros. A sílica (SiO_2) restante é incorporada na fase vítrea. Segundo Potter (2006), uma embalagem de vidro típica (vidros do tipo Soda-Cal) é produzida com 8% de feldspato, ao passo que vidros aluminosos especiais (eg. fibras de vidro), mais resistentes e duráveis, são confeccionados com 18% desse recurso.

Vale ressaltar que o consumo de feldspato na indústria de vidro vem diminuindo, devido ao fato da existência de vários outros recursos minerais substitutivos, bem como ao aumento da produção de vidro reciclado, especialmente as embalagens de vidros. Os insumos que podem ser usados como substitutivos do feldspato em massas de vidros comuns são: (i) agalmatolito/pirofilita; (ii) areia feldspática; (iii) argilas comuns; (iv) filito; (v) nefelina sienito; (vi) talco; (vii) fonolito; (viii) granitos; (ix) escória de alto-forno (produto sintético); entre outros (Luz *et al*. 2008, Lima & Neves 2016).

7.2. Tipos de depósitos

Os pegmatitos são considerados a principal fonte de feldspato, devido aos seus grandes cristais, pureza e abundância. Tais depósitos comumente ocorrem associados com quartzo e muscovita e são tabulares, na forma de diques ou veios, que cortam as rochas hospedeiras (Figura 45). Quando associados com a evolução de magma graníticos, eles ocorrem na forma de bolsões, lentes ou massas irregulares, em zonas específicas do sistema ígneo. Em pegmatitos alterados por ação intempérica, os feldspatos tendem a ser parcial ou completamente consumidos e formam-se depósitos de caulim residual.

Além dos pegmatitos, outras fontes de feldspato são (Luz *et al*. 2008):

i. *Alaskitos* - pegmatito granítico de granulometria grossa e composição mineralógica relativamente uniforme. Trata-se de um tipo específico, que ocorre nos Estados Unidos da América, que contém cerca de 60 a 70% de feldspato, 25 a 30% de quartzo, 3 a 6% de muscovita, 2% de minerais de ferro, principalmente granada e pequenas quantidades de argilas;

ii. *Nefelina-sienito* - rocha ígnea alcalina, sem quartzo, constituída de feldspatos (microclínio e albita), feldspatoides (nefelina, sodalita), dolomita, monazita/zirconita e minerais portadores de ferro. Os feldspatoides são minerais semelhantes aos feldspatos, porém apresentam menores teores de sílica e maiores teores de alumina e álcalis;

iii. *Granitos* - rochas constituídas, essencialmente, de quartzo, feldspato e mica. Os feldspatos são minerais formadores de rochas, principalmente rochas ígneas ácidas, como o granito. Embora este possa conter entre 50 e 70% de feldspatos alcalinos, passa a ser lavrado em função de seu conteúdo em feldspato;

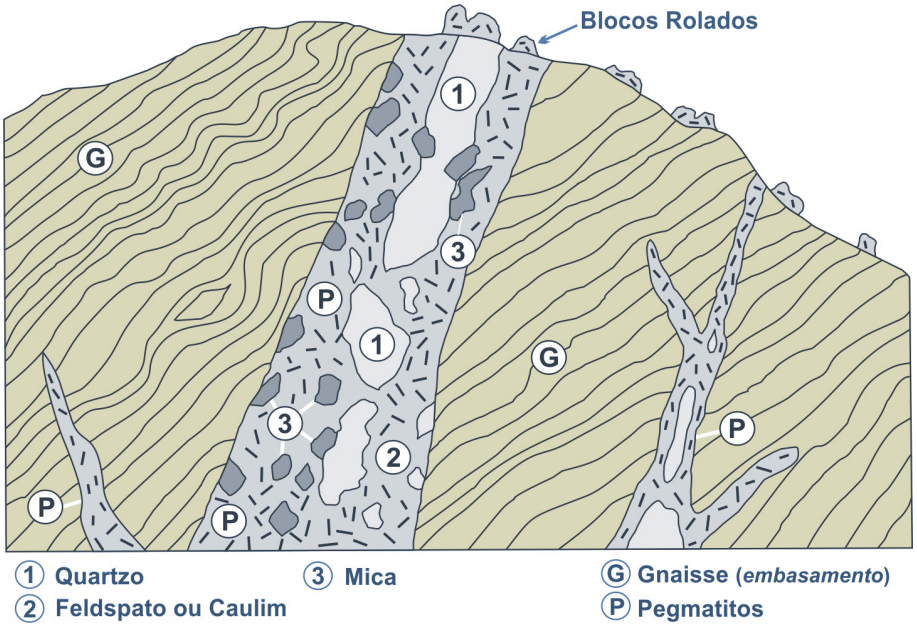

Figura 45. Esquema de ocorrência de feldspato, quartzo e micas em pegmatitos (P) intrusivos em rochas gnáissicas mais antigas (G). Fonte: Modificado de Moraes & Hetcht (1997).

iv. *Aplitos* – é conhecida como uma rocha de composição granítica, no entanto pode variar a composição, de um gabro a granito. Aplito é um termo textural que se refere a uma rocha ígnea de granulação fina, na qual os minerais constituintes apresentam uma textura de açúcar, com as faces dos cristais pobremente desenvolvidas;

v. *Areia feldspática* - depósitos de areia de praia, de rio ou de dunas podem conter quantidades de feldspatos passíveis de serem aproveitados economicamente;

vi. *Anortosito* - rocha ígnea intrusiva de granulação grossa, composta principalmente por plagioclásios ricos em cálcio (anortita);

vii. *Filitos* - rocha metamórfica de granulação fina, constituída de caulinita, sericita e quartzo, é um bem mineral com várias aplicações industriais. Um dos principais usos do filito é na indústria cerâmica, onde é empregado como fundente, auxiliando na fusão da massa cerâmica para produção de pisos, louças sanitárias e de mesa.

7.3. Direito minerário

No banco de dados da Agência Nacional de Mineração (SIGMINE 2018), os títulos minerários referentes ao aproveitamento do feldspato somam 169 e estão em diversas fases do regime de aproveitamento mineral: (i) 71 em autorização de pesquisa; (ii) 19 em concessão de lavra; (iii) 6 em disponibilidade; (iv) 2 em permissão de lavra garimpeira; (v) 26

em requerimento de lavra; (vi) 4 em requerimento de lavra garimpeira e (vi) 41 em requerimento de pesquisa.

A distribuição desses títulos no estado de Minas Gerais pode ser verificada na Figura 46, e os municípios e o nome das empresas mineradoras que detêm os registros de títulos em fase de lavra (regime de concessão de lavra ou garimpo) estão listados na Tabela 20.

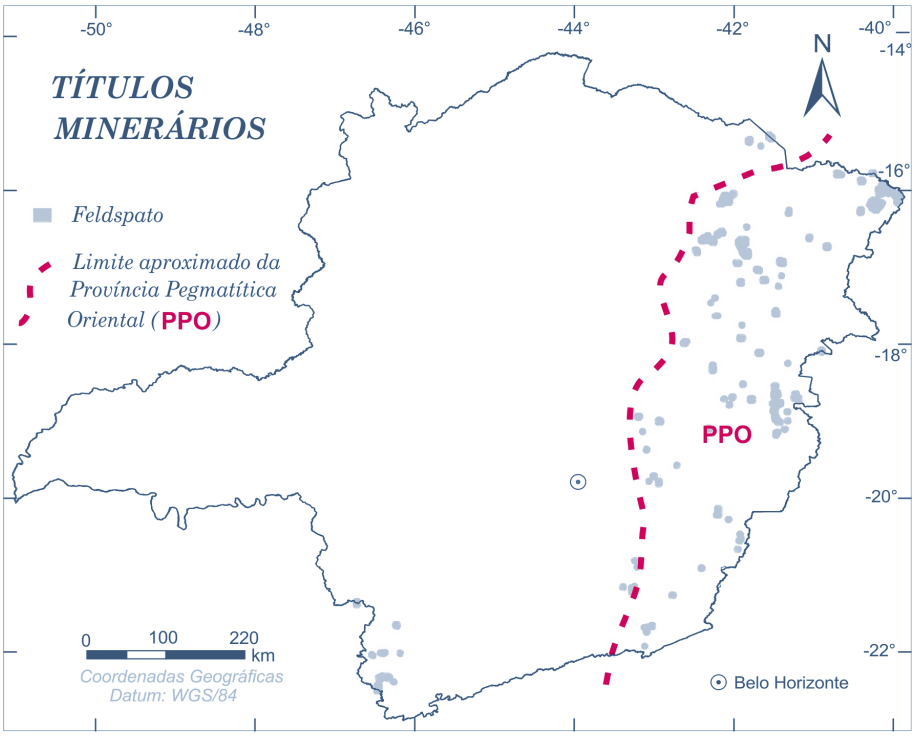

Figura 46. Distribuição dos títulos minerários referentes ao feldspato em Minas Gerais. Ao todo, estão registrados 169 títulos, que se encontram em diversas fases do regime de aproveitamento mineral. A grande maioria deles está inserida nos domínios da Província Pegmatítica Oriental. Fonte: Banco de dados da Agência Nacional da Mineração (SIGMINE 2018).

Tabela 20. Títulos minerários para feldspato em fase de concessão lavra (C.L) ou Permissão de Lavra Garimpeira (L.G), registrados junto à Agência Nacional de Mineração. Nem todos, porém, se referem a depósitos em fase de operação atual.

MUNICÍPIO	NÚMERO	ANO	FASE	NOME
Carangola	2299	1935	C.L	Mineração Caiana Ltda Me
Carangola	3246	1936	C.L	Mineração Caiana Ltda Me
Coroaci	5075	1941	C.L	Mineração Ipê Ltda Me
Ouro Fino/Bueno Brandão	4553	1967	C.L	Cláudio Bailone Minérios Ltda
Ouro Fino/Bueno Brandão	4750	1967	C.L	Cláudio Bailone Minérios Ltda
Monte Sião	8562	1967	C.L	Mineração Jotave Ltda
Ouro Fino/Bueno Brandão	10423	1967	C.L	Mineração Feldspato Ourofinense Ltda
Ouro Fino/Bueno Brandão	803083	1968	C.L	Mineração Feldspato Ourofinense Ltda
Araçuaí	805799	1970	C.L	Sigma Mineração S.A.
Ouro Fino/Bueno Brandão	819644	1970	C.L	Mineração de Feldspato Andradense Ltda
Araçuaí	801312	1972	C.L	Sigma Mineração S.A.
Araçuaí	801316	1972	C.L	Sigma Mineração S.A.
Araçuaí	802400	1972	C.L	Sigma Mineração S.A.
Ouro Fino/Bueno Brandão	806965	1974	C.L	Mineração Feldspato Ourofinense Ltda
Capelinha	800448	1978	C.L	Magnesita Refratários S.A.
Monte Sião	830740	1983	C.L	Mineração Animer do Nordeste Ltda
Salinas	832119	1986	C.L	Mineração Salinas Import. e Exportação Ltda Me
Carmésia	832649	1987	C.L	Eminosa Empresa de Mineração Ltda
Campanário	832442	2011	L.G	José Roberto Filho
Divino das Laranjeiras	833245	2013	C.L	Cooperativa dos Garimpeiros e Extrativista do Vale do Rio Doce Ltda
Caparaó	830998	2016	L.G	Adriel Gonçalves Pierrout

Fonte: Banco de dados da Agência Nacional de Mineração (SIGMINE 2018).

7.4. Ocorrência e depósitos importantes em Minas Gerais

Em Minas Gerais, predominam os depósitos de feldspatos em pegmatitos da PPO. De acordo com o Anuário Mineral Brasileiro – Ano 2010 (DNPM 2011), ocorrem importantes reservas nas proximidades dos seguintes municípios: *Abre Campo, Andradas, Araçuaí, Barão de Cocais, Bela Vista de Minas, Bom Repouso, Bueno Brandão, Caiana, Conselheiro Pena, Coronel Murta, Divino das Laranjeiras, Dom Joaquim, Galiléia, Governador Valadares, Inconfidentes, Itambacuri, Itinga, Jequitinhonha, Joaíma, Malacacheta, Medina, Minas Novas, Monte Sião, Nova Era, Ouro Fino, Poços de Caldas, Rubelita, Sabinópolis, Salinas, Santa Bárbara do Leste* e *Virgem da Lapa*.

7.5. Aspectos Econômicos em Minas Gerais

Dados de reservas

Entre 2010 e 2014, o estado de Minas Gerais registrou um aumento no volume de reservas medidas de feldspato, passando de aproximadamente 28 milhões de toneladas, em 2010, para cerca de 43 milhões, em 2014. Nos três primeiros anos da contagem, os valores mantiveram-se relativamente constantes e um aumento brusco foi registrado entre 2012 e o 2013, mantendo-se novamente constante ao final de 2014 (Figura 47). Os dados também mostram uma grande discrepância entre o volume de reservas medidas e lavráveis, essas últimas com valores que oscilaram em torno de 10 milhões de toneladas entre o período analisado. Tais reservas atingiram um máximo de cerca de 11 milhões de toneladas em 2010 e um mínimo de aproximadamente 8 milhões em 2013. No ano final da contagem (2014), o valor registrado foi próximo de 10 milhões de toneladas (Figura 47).

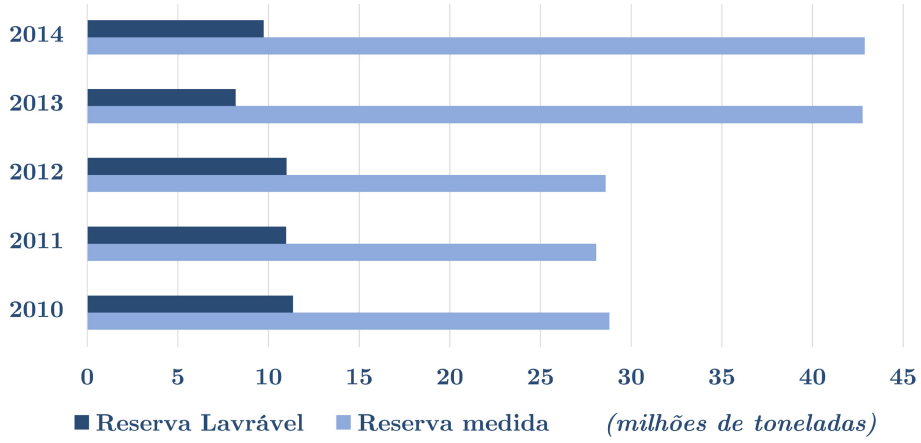

Figura 47. Evolução do volume das reservas medidas e lavráveis de feldspato em Minas Gerais entre os anos de 2010 e 2014. Fonte: Anuário Mineral Estadual de Minas Gerais (Dalla Costa *et al.* 2017).

Dados de produção

Com base no mais recente Sumário Mineral referente aos minerais industriais (Lima & Neves 2016), a produção de feldspato no mundo atingiu aproximadamente 21,6 milhões de toneladas, em 2014, e os maiores produtores foram: Turquia (23,1%), Itália (21,7%), China (9,7%), Índia (6,0%) Tailândia (5,1%), França (3,0%), Irã (2,8%), Estados Unidos (2,6%) e

Espanha (2,5%). A produção brasileira respondeu por aproximadamente 1,9% desse total, com produção bruta anual registrada em 496.894 toneladas.

Segundo essa fonte, o estado de Minas Gerais foi o segundo maior produtor nesse ano, com cerca de 35,9% desse montante (ca. 180 mil toneladas). Em primeiro lugar, veio o estado do Paraná, com 40,5%. Santa Catarina (13,0%), Rio Grande do Norte (3,2%), São Paulo (0,3%) e Paraíba (0,2%) foram os demais estados que se destacaram na produção de feldspato. Com relação à produção beneficiada, os dados revelaram que o Brasil produziu cerca de 417 mil toneladas e, desse total, Minas Gerais contribuiu com 34,5% (ca. 144 mil toneladas). As regiões Sul/Sudeste responderam juntas por 87,3% da produção bruta e por 96,7% da produção beneficiada.

Em 2014, a mineradora que mais teve destaque em Minas Gerais foi a *AMG Mineração S.A*. De acordo com o banco de dados da Agência Nacional da Mineração (SIGMINE 2018), essa empresa detém a concessão de várias lavras para a exploração de cassiterita, em pegmatitos alojados em granitos, localizados entre os municípios de Nazareno e Bom Sucesso. Nesse caso, a produção de feldspato provavelmente é secundária e é consequência da extração desse mineral.

Mais recentemente, a revista Minérios & Minerales (2017) divulgou o ranking das 200 maiores minas brasileiras para o ano de 2016. Com base nessa lista, a mineradora *Anex Mineração Ltda*, localizada no município de Itabirito, foi a que mais se destacou na produção de feldspato no Brasil, com registro de aproximadamente 60 mil toneladas.

Com base no Anuário Mineral Estadual (Dalla Costa *et al*. 2017), no período de 4 anos o estado de Minas Gerais praticamente triplicou o número de minas de feldspato, passando de 7, em 2010, para 20, em 2014. Nesse último ano, 5 minas foram registradas como subterrâneas e 15 com lavra a céu aberto. A produção foi considerada dispersa e de baixo valor por unidade, com registro de apenas 1 mina de pequeno porte (produção bruta anual entre 10 mil e 100 mil toneladas) e as 19 restantes de micro porte (produção abaixo de 10 mil toneladas).

Com relação à produção estadual entre os anos de 2010 e 2014, há uma grande inconsistência dos dados apresentados no Anuário Estadual com relação aos do Sumário Mineral Brasileiro referente ao mesmo ano (Lima & Neves 2016). Enquanto que esse último coloca Minas Gerais no segundo lugar da produção bruta nacional (ca. 180 mil toneladas), o primeiro indica que a produção bruta de feldspato em 2014 foi de apenas 35 mil toneladas. Em contrapartida, a produção beneficiada foi bem superior, atingindo cerca de 140 mil toneladas em 2014, um comportamento que foi observado em todo o período de 2010 a 2014. Entretanto, curiosamente, essa fonte não indica a existência de usinas de tratamento de feldspato em Minas Gerais.

Dessa forma, por causa dessa inconsistência em relação aos dados nacional e estadual, optou-se por não apresentar o diagrama da evolução da produção anual de feldspato em Minas Gerais entre 2010 e 2014.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCERAM – Associação Brasileira de Cerâmica. 2018. Definição e Classificação. Disponível em https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/. Acesso em 20/9/2018.

Abreu S.F. 1960. *Recursos Minerais do Brasil – Materiais não metálicos*. Rio de Janeiro, Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio, Instituto Nacional de Tecnologia, v. 1, 471 p.

Bergaya F. & Lagaly G. 2013. Chapter 1 General Introduction: Clays, Clay Minerals, and Clay Science. *In*: Bergaya F., Theng B.K.G., Lagaly G. (eds.). *Handbook of Clay Science. Developments in Clay Science*, Elsevier, 2ª ed., p. 1-18. doi: 10.1016/S1572-4352(05)01001-9

Cabral Jr. M., Tanno L.C., Sintoni A., Motta J.F.M., Coelho J.M. 2012. A indústria de Cerâmica Vermelha e o Suprimento Mineral no Brasil: Desafios para o Aprimoramento da Competitividade. *Cerâmica Industrial,* **17(**1):36-42.

Campello M.S., Oliveira M.A.S., Ávila M.A.B. 2015. Folha Formiga (SF.23-V-B-III), escala 1:100.000. *In: Projeto Fronteiras de Minas,* Belo Horizonte, UFMG-IGC-CPMTC-CODEMIG.

Cannon W.R., Gugel E., Leimer G., Woetting G., Heimann R.B. 2011. Ceramics, Advanced Structural Products. *In*: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Electronic Release,* Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 34p. doi: 10.1002/14356007.a06_043.pub2

Carter C.B. & Norton M.G. 2013. Ceramic Materials. *Science and Engineering*. 2ª ed., New York, Springer, 766p. ISBN: 9781461435235, doi: 10.1007/978-1-4614-3523-5

CIEMG – Centro Industrial Empresarial de Minas Gerais. 2018. *Cadastro Industrial de Minas Gerais*. Disponível em https://www.cadastroindustrialmg.com.br:449/. Acesso em 20/9/2018.

Ciminelli R.R. 2003. Parte IX - Recursos minerais industriais – Industrial Mineral Resources. *In*: Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H. (eds.). Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Brasília, CPRM, p. 503-539. ISBN: 8523007903

Ciullo P.A. 1996. Industrial minerals and their uses: a handbook and formulary. United States of America, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 647 p. ISBN: 9780815514084

Correia Neves J.M. 1997. Província Pegmatítica Oriental do Brasil. 1997. *In*: Schobbenhaus C., Queiroz E.T., Coelho C.E.S. (coords.). *Principais Depósitos Minerais do Brasil*. Brasília, DNPM/CPRM, v. 4, parte B, p. 343-362.

Dalla Costa M.M., Fernandes L., Duarte J.E.C., Recuero J.C. (coords.). 2017. *Anuário mineral estadual Minas Gerais. Anos base 2010 a 2014*. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), 133 p.

Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 2013. An Introduction to the Rock-Forming Minerals. 3ª ed. England, Mineralogical Society, 498 p. ISBN: 9780903056274

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. 2011. *Anuário Mineral Brasileiro 2010*. Brasília, Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), 871 p. ISSN: 01009303

Edwards G.H. & Aume V.O. 2006. Specialty Glass. *In*: Kogel J.E., Trivedi N.C., Barker J.M., Krukowski S.T. (eds.). *Industrial Minerals & Rocks, commodities, Markets and Uses*. Colorado, USA, Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., p. 1383-1392. ISBN: 9780873352499

Flörke O.W., Graetsch H.A., Brunk F., Benda L., Paschen S., Bergna H.E., Roberts W.O., Welsh W.A., Libanati C., Ettlinger M., Kerner D., Maier M., Meon W., Schmoll R., Gies H., Schiffmann D. 2008. Silica. *In: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Electronic Release*, Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 32, p. 442-507. doi: 10.1002/14356007.a23_583.pub3

Freas R.C. 2006. Container Glass. *In:* Kogel J.E., Trivedi N.C., Barker J.M., Krukowski S.T. (eds.). *Industrial Minerals & Rocks, commodities, Markets and Uses*. Colorado, USA, Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., p. 1365-1368. ISBN: 9780873352499

Freas R.C. & Lombardo C. 2006. Flooring Materials. *In:* Kogel J.E., Trivedi N.C., Barker J.M., Krukowski S.T. (eds.). *Industrial Minerals & Rocks, commodities, Markets and Uses*. Colorado, USA, Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., p. 1137-1141. ISBN: 9780873352499

Fogaça A.C.C. 1997. Geologia da Folha Diamantina. *In:* Grossi Sad J.H., Lobato L.M., Pedrosa-Soares A.C., Soares Filho B.S. (coords. e eds.). *Projeto Espinhaço em CD-ROM (textos, mapas e anexos)*. Belo Horizonte, COMIG - Companhia Mineradora de Minas Gerais. p. 1575-1665.

Galán E. & Ferrell R.E. 2013. Chapter 3 - Genesis of Clay Minerals. *In:* Bergaya F. & Lagaly G. (eds.). Handbook of Clay Science. *Developments in Clay Science*, **5**:83-126. doi: 10.1016/B978-0-08-098258-8.00003-1

Guzzo P.L. 2008. Quartzo. *In*: Luz A.B. & Lins F.F. (eds.). *Rochas & Minerais Industriais, usos e especificaçõe*s. CETEM-MCT - Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2ª ed., p. 681-721. ISBN: 9788561121372

Harvey C.C. & Lagaly G. 2013. Chapter 4.2 - Industrial Aplplications. *In*: Bergaya F. & Lagaly G. (eds.). *Handbook of Clay Science. Developments in Clay Science,* **5**:451-490. doi: 10.1016/B978-0-08-098259-5.00018-4

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. *Classificação Nacional de Atividades Econômicas*. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), versão 2.0, 2ª ed., Disponível em https://concla.ibge.gov.br/classificacoes/por-tema/atividades-economicas. Acesso em 1/6/2018.

Jong B.H.W.S.D., Beerkens R.G.C., Nijnatten P.A., Bourhis E.L. 2011. Glass, 1. Fundamentals. *In*: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Electronic Release,* Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, p. 1-54. doi:10.1002/14356007.a12_365.pub3

Keith K.S. & Murray H.H. 2006. Common clays and shales. *In:* Kogel J.E., Trivedi N.C., Barker J.M., Krukowski S.T. (eds.). *Industrial Minerals & Rocks, commodities, Markets and Uses*. Colorado, USA, Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., p. 369-371. ISBN: 9780873352499

Klein C. & Dutrow B. 2012. *Manual de ciência dos minerais*. Traduzido por Rualdo Menegat. Porto Alegre: Bookman, 23ª ed., 724 p. ISBN: 9788540700857

Lima T.M. & Neves C.A.R. (coords.). 2016. *Sumário Mineral 2015*. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), v. 35, 135 p. ISSN: 01012053

Luz A.B., Lins F.A.F, Coelho J.M. 2008. Areia Industrial. *In:* Luz A.B. & Lins F.F. (eds.). *Rochas & Minerais Industriais, usos e especificações*. CETEM-MCT - Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2ª ed., p. 103-123. ISBN: 9788561121372

Luz A.B. & Lins F.F. 2008. Feldspato. *In:* Luz A.B. & Lins F.F (eds.). *Rochas & Minerais Industriais, usos e especificações*. CETEM-MCT - Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2ª ed., p. 103-123. ISBN: 9788561121372

McColm I.J. 2013. *Dictionary of Ceramic Science and Engineering*. London, Springer, 3ª ed., 549 p. ISBN: 9789400709157, doi: 10.1007/978-94-007-0916-4

McCuiston J. & Wilson I. 2006. Ball clays. *In*: Kogel J.E., Trivedi N.C., Barker J.M., Krukowski S.T. (eds.). *Industrial Minerals & Rocks, commodities, Markets and Uses*. Colorado, USA, Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., p. 343-356. ISBN: 9780873352499

McCullah Ed. 2006. Flat Glass. *In*: Kogel J.E., Trivedi N.C., Barker J.M., Krukowski S.T. (eds.). *Industrial Minerals & Rocks, commodities, Markets and Uses*. Colorado, USA, Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., p. 1379-1382. ISBN: 9780873352499

Minérios & Minerales. 2017. 200 maiores minas brasileiras, The 200 largest mines in Brasil-2017. *Minérios & Minerales*, Ano XL, número 391, Outubro-Novembro, 68 p.

MME - Ministério de Minas e Energia. 2018. *Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos*. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Ministério de Minas e Energia, Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral, versão preliminar – atualizado 21/08/2018, 86p.

Motta J.F.M., Zanardo A., Cabral Jr. M. 2001. As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos. *Cerâmica Industrial,* **6**(2):28-39.

Motta J.F.M., Cabral Jr. M., Tanno L.C., Zanardo A. 2002. As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte II: Os Minerais Industriais e as Massas da Cerâmica Tradicional. *Cerâmica Industrial*, **7**(1):33-40.

Motta J.F.M., Zanardo A., Cabral Jr. M., Tanno L.C., Cuchierato G. 2004. As Matérias-Primas Plásticas Para a Cerâmica Tradicional: Argilas e Caulins. *Cerâmica Industrial*, **9**(2):18-22.

Moraes R.O. & Hecht C. 1997. Geologia do Feldspato. *In*: Shobbenhaus C., Queiroz E.T., Coelho C.E.S. (eds.). *Principais Depósitos Minerais do Brasil*. Brasília, DNPM/CPRM, v. 4, parte B, p. 319-326.

Neves M.R., Etchebehere M.L.C., Ruiz M.S., Freire A.S. 1997. Depósitos de caulim no estado de São Paulo. *In*: Shobbenhaus C., Queiroz E.T., Coelho C.E.S. (eds.). *Principais depósitos minerais do Brasil*. Brasília, DNPM/CPRM, v. 4, parte B, p. 111-120.

Netto C., Araújo M.C., Pinto C.P., Drumond J.B. 1998. *Projeto Leste: Cadastramento de Recursos Minerais - Pegmatitos*. Belo Horizonte, SEME/COMIG/MME/CPRM, v. 1, 210 p.

Paiva G. 1946. Províncias Pegmatíticas do Brasil. Rio de Janeiro, *Boletim DNPM/DFPM*, **78**:13-21.

Pedrosa-Soares A.C., De Campos C.P., Noce C.M., Silva L.C., Novo T., Roncato J., Medeiros S., Castañeda C., Queiroga G., Dantas E., Dussin I., Alkmim F.F. 2011. Late Neoproterozoic-Cambriam Granitic Magmatism in the Araçuaí Orogen (Brazil) the Eastern Brazilian Pegmatite Province and Related Mineral Resources. *In*: Sial A.N., Bettencourt J.S., De Campos C.P., Ferreira V.P. (eds.). Granite-Related Ore Deposits. London, *Geological Society Special Publications*, **350**:25-51. doi: 10.1144/SP350.3

Peixoto E.I.N., Falci A., Noronha C.R., Degler R., Martins L.C.D., Nassif M.T., Novo T.A. 2015. Folha Ouro Fino – SF.23-Y-B-I e Folha Andradas – SF.23-Y-A-III, escala 1:100.000, *In: Projeto Fronteiras de Minas*, Belo Horizonte, UFMG-IGC-CPMTC-CODEMIG.

Phelps G.W. & Wachtman Jr. J.B. 2000. Ceramics, General Survey. *In*: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Electronic Release*, Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, v. 7, p. 593-637. doi: 10.1002/14356007.a06_001.

Pinho J.M.M., Féboli W.L., Signorelli N., Tuller M.P., Brito D.C., Ribeiro J.H., Baptista M.C., Silva R.N. (eds.). 2017. Geologia e Recursos Minerais das Folhas Cabeceira Grande, Unaí, Ribeirão Arrojado, Serra da Aldeia, Serra da Tiririca, Paracatu, Guarda-Mor, Arrenegado, Coromandel, Lagamar, Monte Carmelo e Patos de Minas, escala 1:100.000. *In: Projeto Vazante-Paracatu, Estados de Minas Gerais e Goiás, Programa Geologia do Brasil*, CPRM, 356 p.

Pinto C.P. & Silva M.A. 2014. *Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, Escala 1:1.000.000*. Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais, CODEMIG e Serviço Geológico do Brasil, CPRM.

Potter M.J. 2006. Feldspars. *In*: Kogel J.E., Trivedi N.C., Barker J.M., Krukowski S.T. (eds.). *Industrial Minerals & Rocks, commodities, Markets and Uses*. Colorado, USA, Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., p. 451-460. ISBN: 9780873352499.

Pruett R.J. & Pickering Jr. S.M. 2006. Kaolin. *In*: Kogel J.E., Trivedi N.C., Barker J.M., Krukowski S.T. (eds.). *Industrial Minerals & Rocks, commodities, Markets and Uses*. Colorado, USA, Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., p. 383-406. ISBN: 9780873352499

Queiroz E.T. 1997. Geologia das argilas. *In*: Shobbenhaus C., Queiroz E.T., Coelho C.E.S. (eds.). *Principais depósitos minerais do Brasil. Brasília*, DNPM/CPRM, v. 4, parte B, p. 93-98.

Reis H.L.S., Alkmim F.F., Fonseca R.C.S., Nascimento T.C., Suss J.F., Prevatti L.D. 2017. The São Francisco Basin *In*: Heilbron M., Cordani U.G., Alkmim F.F. (eds.). *São Francisco craton, eastern Brazil. Tectonic Genealogy of a Miniature Continent*. Regional Geology Reviews, Springer International Publishing Co., p. 177-143. ISBN: 9783319017150, doi: 10.1007/978-3-319-01715-0_7

Romano A.W. 2007. Geologia da Folha Pará de Minas - SE.23-Z-C-IV, escala 1:100.000, nota explicativa, edição revista e atualizada. *In: Programa Geologia do Brasil*, Belo Horizonte, CPRM/UFMG, 65 p.

Romano A.W., Araújo J.C.S., Knauer L.G., Paiva C.T. 2014. Geologia e recursos minerais da Folha Contagem, SE.23-Z-C-V. Belo Horizonte: Escala 1:100.000. Texto Explicativo. *In: Programa Geologia do Brasil*, Belo Horizonte, CPRM-UFMG, 87 p.

Santini K., Fastert T., Harris R. 2006. Soda Ash. *In*: Kogel J.E., Trivedi N.C., Barker J.M., Krukowski S.T. (eds.). *Industrial Minerals & Rocks, commodities, Markets and Uses*. Colorado, USA, Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., p. 859-878. ISBN: 9780873352499

SIGMINE - Sistema de Informações Geográficas da Mineração. 2018. Agência Nacional de Mineração. Disponível em *http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/*. Acesso em 1/8/2018.

Tanno L.C. & Motta J.F.M. 2000. Panorama Setorial – Minerais Industriais. *Cerâmica Industrial*, **5**(3):37-40.

Tournassat C., Bourg I.C., Steefel C.I., Bergaya F. 2015. Chapter 1 – Surface properties of Clay Minerals. *In:* Tournassat C., Steefel C.I., Bourg I.C., Bergaya F. (eds.). *Developments in Clay Science,* **6**:5-31. doi: 10.1016/B978-0-08-100027-4.00001-2

USGS. 2018. *Mineral Commodity Summaries* 2018. United States Geological Survey, 200 p. ISBN: 9781411341999, doi: 10.3133/70194932

Valeriano C.M., Pereira R.M., Almeida J.C.H., Duarte B.P., Turbay C., Rossi A., Gontijo A., Ribeiro A., Nogueira J.R., Heilbron M., Castro C., Falcão T.C., Silva V.G.M.R. 2007. *Geologia das Folhas Alpinópolis (SF.23-V-B-V) e Guapé (SF.23-V-B-IV), escala 1:100.000 - Nota explicativa integrada*. Brasília. CPRM/UERJ, 116p.

Wentworth C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. The *Journal of Geology,* **30**(5):377-392.