

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FONTES DE SUPRIMENTO DE MATÉRIAS-PRIMAS MINERAIS: APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA DO MÉDIO RIO TIETÊ - SP

Marsis CABRAL JUNIOR, Carlos Tadeu Carvalho GAMBA,
Luiz Carlos TANNO, Amilton dos Santos ALMEIDA

Instituto de Pesquisas Tecnológica do Estado de São Paulo – IPT. Avenida Prof. Almeida Prado, 532 – Cidade Universitária – Butantã. CEP 05508-901. São Paulo, SP. Endereços eletrônicos: marsis@ipt.br; carlosgamba@ipt.br; tanno@ipt.br; asa@ipt.br

- Introdução
- Contexto Geológico e Características dos Depósitos de Argila Para Cerâmica Vermelha
 - Depósitos de Argilas Quaternárias
 - Depósitos de Argilas Formacionais
- Panorâmica do Caso Estudado
- Caracterização de Fontes de Suprimento de Matérias-Primas: Metodologia e Aplicação
 - Referências Iniciais Sobre a Abordagem Metodológica
 - Metodologia Para Caracterização de Fontes de Suprimento de Matérias-Primas Cerâmicas: Estrutura e Procedimentos Adotados
 - 1ª Fase: Diagnóstico do Setor Minero-Cerâmico
 - 2ª Fase: Prospecção Mineral de Novos Depósitos de Argila
 - 1ª Etapa – Seleção de Alvos Prospectivos
 - 2ª Etapa – Levantamentos de Campo
 - 3ª Etapa – Caracterização Cerâmica dos Depósitos
 - Caracterização Expedita
 - Caracterização Completa
 - 4ª Etapa – Qualificação dos Depósitos
 - 3ª Fase: Identificação de Potenciais Fornecedores
 - 1ª Etapa – Catalogação dos Processos de Direitos Minerários
 - 2ª Etapa – Aferição dos dados Cadastrais
 - 4ª Fase: Consolidação dos Resultados
- Aplicação da Metodologia Para Caracterização de Fontes de Suprimento de Matérias-Primas no Polo Cerâmico de Barra Bonita
 - 1ª Fase: Diagnóstico do Setor Minero-Cerâmico de Barra Bonita
 - 2ª Fase: Prospecção Mineral de Novos Depósitos de Argila para o Polo Cerâmico de Barra Bonita
 - 1ª Etapa – Seleção de Alvos Prospectivos
 - 2ª Etapa – Levantamentos de Campo nos Entornos de Barra Bonita
 - 3ª Etapa – Caracterização Cerâmica dos Depósitos Identificados
 - 4ª Etapa – Qualificação dos Depósitos Identificados Para o Polo Cerâmico de Barra Bonita
 - 3ª Fase: Identificação de Potenciais Fornecedores
 - 1ª Etapa – Catalogação dos Processos de Direitos Minerários
 - 2ª Etapa – Aferição dos dados Cadastrais
 - 4ª Fase: Consolidação dos Resultados – Cenário das Possíveis Fontes de Abastecimento para o Polo Cerâmico de Barra Bonita
- Considerações Finais
- Agradecimentos
- Referências Bibliográficas
- Apêndice

RESUMO – Um dos grandes entraves para o aprimoramento competitivo da indústria de cerâmica vermelha brasileira está relacionado a falhas no seu sistema de suprimento de matéria-prima, no qual se aliam fatores como a exaustão de jazidas e carência de novos depósitos, dificuldades no processo de regularização das minerações, e o baixo investimento tecnológico no processo produtivo. Com intuito de fornecer subsídios para a melhoria do abastecimento mineral, este trabalho apresenta uma abordagem metodológica para a apreciação sistemática das alternativas de suprimento de matérias-primas cerâmicas, tendo como referência estudos realizados no polo cerâmico paulista de Barra Bonita, situado no vale do médio rio Tietê. O conjunto de técnicas utilizadas compreendeu a conjugação de dois procedimentos de investigação: a prospecção mineral, com vistas à localização de novos depósitos de argila, e o rastreamento de potenciais fornecedores, por meio do levantamento e seleção de títulos minerários incidentes nos entornos do parque cerâmico, utilizando-se das bases de dados do DNPM. As informações obtidas foram manipuladas em ambiente SIG. Os resultados mostraram-se satisfatórios, obtendo-se uma caracterização abrangente das possíveis fontes de abastecimento – mina em operação, jazidas em fase de regularização e novos depósitos de argila, considerando distâncias de até cerca de 90 km do polo consumidor.

Palavras-chave: matéria-prima, argila, prospecção, cerâmica, mineração.

ABSTRACT – *M. Cabral Junior, C.T.C. Gamba, L.C. Tanno, A. dos S. Almeida - Proposed methodology for the identification and characterization of the potential supply areas of mineral raw materials: application in the red ceramics industry of the Medium Tietê River, Sao Paulo State, Brazil.* One of the major obstacles to improving competitiveness of the Brazilian red ceramics industry is related to

failures in the system of raw materials' supply that encompass factors such as: the exhaustion of deposits and lack of new sources, difficulties in the regularization process of mining clay, and low technological investment in the productive process. In order to provide subsidies for the improvement of mineral supply, this paper presents a methodological approach for a systematic evaluation of alternative supply of ceramic raw materials, taking as a reference studies carried out in the Barra Bonita' red ceramics cluster. The set of techniques used included the combination of two investigation procedures: a mineral exploration oriented to finding new clayey deposits, and tracking of potential suppliers, through the survey and selection of clay mining titles identified in the surroundings of red ceramic cluster, by using the databases of the National Department of Mineral Production. The collected data were manipulated in a GIS environment. The results obtained were considered satisfactory as they provided a comprehensive characterization of the possible sources of supply - mine in operation, deposits in the process of regularization, and new clayey deposits - considering distances up to about 90 km from the pole consumer.

Keywords: raw material, clay, prospection, ceramic, mining.

INTRODUÇÃO

Quando se analisa o desempenho do setor minero-cerâmico brasileiro, verifica-se que um dos entraves mais relevantes ao seu desenvolvimento refere-se às condições deficientes do suprimento de matéria-primas minerais, notadamente para as indústrias de cerâmica vermelha.

Os problemas mais salientes no sistema de abastecimento mineral abrangem a escassez de depósitos de argila, as carências tecnológicas na mineração - refletidas na falta de qualidade das matérias-primas e em perdas no processo industrial -, e as dificuldades dos mineradores no atendimento das exigências legais para regularização dos empreendimentos (Cabral Junior et al., 2010).

Com relação à falta de matérias-primas, a exaustão das jazidas de mais fácil acesso, as crescentes restrições ambientais impostas pela legislação e o acirramento da competição da mineração com outras formas de uso e ocupação do solo tendem, cada vez mais, a cercear a disponibilidade de reservas. Uma das conseqüências desses obstáculos é a necessidade de investimentos crescentes em pesquisa mineral para identificação e desenvolvimento de novos depósitos. Para um segmento produtivo caracterizado predominantemente por pequenas empresas, além desse impositivo corresponder a um importante desafio econômico e tecnológico, há também o tempo de maturação relativamente longo demandado para a implantação de um empreendimento de mineração, envolvendo estudos

técnico-econômicos e o cumprimento de procedimentos para obtenção do título minerário e licenciamento ambiental, o que coloca em risco a sustentabilidade de muitos polos cerâmicos no país.

Buscando contribuir com as técnicas de investigação do potencial geológico e minerário, este trabalho apresenta uma abordagem metodológica para a avaliação sistemática das alternativas de suprimento de matérias-primas cerâmicas, tendo como base estudos realizados em uma aglomeração produtiva do médio rio Tietê no Estado de São Paulo.

Além dessa introdução, na qual é contextualizado e definido o objetivo do trabalho, este artigo está estruturado em quatro partes adicionais. Na segunda parte é apresentada uma síntese sobre a tipologia e as principais características dos depósitos de argila para cerâmica vermelha. A terceira focaliza a indústria cerâmica paulista do médio vale do rio Tietê, enfatizando-se as dificuldades quanto ao abastecimento mineral. A quarta parte é dedicada à apresentação da metodologia proposta para a identificação, mapeamento e caracterização de fontes potenciais de suprimento de matérias-primas, e sua aplicação em um caso prático no polo cerâmico paulista de Barra Bonita, no médio vale do rio Tietê. No tópico final são feitas considerações sobre a eficácia e possibilidades de desdobramentos dos procedimentos metodológicos adotados, e os resultados obtidos em Barra Bonita.

CONTEXTO GEOLÓGICO E CARACTERÍSTICAS DOS DEPÓSITOS DE ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA

Segundo Cabral Junior et al. (2009a), as argilas empregadas na indústria de cerâmica vermelha ou, como também conhecidas na literatura técnica, argilas comuns (*common clays*) abrangem uma grande variedade de substâncias minerais de natureza argilosa. Compreendem, basicamente, sedimentos pelíticos consolidados e inconsolidados, como argilas aluvionares

quaternárias, argilitos, siltitos, folhelhos e ritmitos, que queimam em cores avermelhadas, a temperaturas variáveis entre 800 e 1.250°C.

Essas argilas possuem granulometria muito fina, característica que lhes conferem, com a matéria orgânica incorporada, diferentes graus de plasticidade, quando adicionada de determinadas porcentagens de

água, além da trabalhabilidade e resistência mecânica a seco e após o processo de queima. Tais aspectos são importantes para a fabricação de uma grande variedade de produtos cerâmicos. As cores de queima tipicamente avermelhadas são decorrentes do elevado conteúdo de óxido de ferro desses materiais, que se tornam mais proeminentes a partir de teores superiores a 4% (Fancinani, 1992).

Os depósitos de argilas para fins cerâmicos possuem ampla distribuição geográfica em todo território nacional. Isso se deve à composição do substrato geológico brasileiro, que apresenta extensas coberturas sedimentares – bacias fanerozóicas e depósitos cenozóicos –, aliada à evolução geomorfológica, que propiciou a formação de expressivos mantos residuais intempéricos.

De acordo com o contexto geológico, as concentrações econômicas de argilas para cerâmica vermelha podem ser individualizadas em dois grandes grupos tipológicos: argilas quaternárias e argilas formacionais ou de bacias sedimentares (Motta et al., 2004). Algumas características gerais comparativas entre as argilas quaternárias e as formacionais estão sintetizadas no Quadro 1.

DEPÓSITOS DE ARGILAS QUATERNÁRIAS

As argilas quaternárias ocorrem associadas aos depósitos sedimentares de preenchimento de fundo de vales (planícies atuais e terraços aluvionares), em bacias lacustres e nas planícies costeiras, formando jazidas lenticulares, com espessuras de porte métrico, que ocupam áreas de poucos hectares até alguns quilômetros quadrados. Esses sítios deposicionais constituem zonas saturadas em água, nos quais, juntamente com a sedimentação de argila, acumula-se matéria orgânica, o que interfere nas propriedades tecnológicas desses materiais. Dessas características geoambientais decorrem a sua elevada umidade e alta plasticidade, o que lhes propicia boa trabalhabilidade para os processos cerâmicos de conformação plástica, a exemplo dos produtos extrudados, tais como tijolos, blocos e telhas, até mesmo para a produção artesanal em olarias ou com equipamentos de pequeno porte.

De forma geral, constituem-se de caulinitas detriticas; no entanto, em áreas mais restritas, sobretudo em regiões de clima mais seco, são encontradas também argilas detriticas mistas, compostas de caulinita e illita (eventualmente esmectita). Depósitos mais puros de argila de elevada plasticidade (“argilas gordas” no jargão dos ceramistas) constituem bolsões lenticulares dentro dos ambientes aluviais e da planície costeira. Frequentemente, estão associados a argilas arenosas, menos plásticas (“argilas magras”), podendo ambas serem misturadas para a manufatura dos diversos

produtos de cerâmica vermelha. A fração silto-arenosa dessas argilas é composta por quartzo e pode conter outros minerais como feldspato e mica.

Os depósitos de argilas quaternárias são relativamente abundantes, espalhando-se por todo o substrato geológico brasileiro, com dezenas de polos cerâmicos estruturados nos entornos de jazidas mais significativas. No Estado de São Paulo, exemplos importantes correspondem às aglomerações produtivas instaladas no domínio do Planalto Ocidental Paulista, ao longo dos rios Paraná, Tietê e Paranapanema. O Planalto Atlântico abriga também várias outras concentrações oleiro-cerâmicas, abastecidas por jazidas aluvionares, como nos municípios de Bragança Paulista, Vargem, Socorro e Cabreúva.

DEPÓSITOS DE ARGILAS FORMACIONAIS

Os depósitos formacionais, também denominados de argilas das bacias sedimentares, são aquelas relacionadas às unidades geológicas antigas – bacias sedimentares paleozóicas e mesozóicas e, secundariamente, terciárias. As rochas de interesse cerâmico são os folhelhos, argilitos, siltitos, ritmitos e outras rochas de natureza pelítica, que são denominadas genericamente de “taguás” no jargão cerâmico. Essas rochas contêm, predominantemente, argilominerais do grupo da illita, que são ricos em óxido de potássio e proporcionam baixo ponto de sinterização, o que é uma característica marcante dessas litologias, diferenciando-as dos sedimentos argilosos mais refratários quaternários. A caulinita ocorre de forma secundária, concentrando-se nos mantos de alteração mais evoluídos. Além disso, o taguá apresenta alto conteúdo de material ferruginoso, que auxilia no processo de sinterização e proporciona cores de queima avermelhadas.

Característica importante das argilas formacionais é a grande dimensão dos depósitos, formando pacotes argilosos contínuos e relativamente homogêneos, que podem atingir espessuras de algumas dezenas de metros. Portentosas seqüências argilosas ocorrem nas inúmeras bacias sedimentares brasileiras, sendo comum a concentração de minerações na Bacia do Paraná, que suprem várias aglomerações cerâmicas nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul. Sedimentos provenientes de bacias sedimentares são também aproveitados no Rio de Janeiro (Rift da Guanabara), Bahia (Bacia do Recôncavo), e em outros estados na região Nordeste (bacias do Parnaíba, Sergipe-Alagoas, Potiguar, Araripe, entre outras).

Em São Paulo, sobressai o chamado Cinturão Mínero-Cerâmico Paulista (Cabrál Junior et al., 2010), composto por um conjunto de aglomerações de indústrias cerâmicas que acompanha a Depressão Periférica Paulista, abastecidos pelas inúmeras minerações que

QUADRO 1. Características dos depósitos de argila para cerâmica vermelha.

TIPO	GÊNESE	CARACTERÍSTICAS DOS DEPÓSITOS		MATÉRIAS PRIMAS	
		CONTEXTO GEOLÓGICO	FORMA E DIMENSÃO	COMPOSIÇÃO	PROPRIEDADES CERÂMICAS
Quaternário	Sedimentar Detrítico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Depósitos de preenchimento de fundo de vales, associado às áreas de transbordamento das planícies aluviais atuais (várzeas e canais abandonados) e em terraços sobrelevados (paleoplanícies) ▪ Pequenas depressões lacustres continentais ▪ Planície costeira, associado a áreas de inundação, com aporte sedimentar fluvial e, eventualmente, com alguma influência marinha ▪ Idade – depósitos recentes a pliopleistocênios 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forma: bolsões lenticulares ▪ Espessura: 1 a 8 m ▪ Reservas Geológicas: porte variável – 0,02 a 5 milhões de m³ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Argilas inconsolidadas com contribuição variável de silte e areia (70 a 90% < 325 #) ▪ Fração argila: composta de caulinita, com teores variáveis de illita e esmectita ▪ Teor de álcalis: 1 a 2% ▪ Teor de ferro: 4 a 8% ▪ Matéria orgânica: conteúdo apreciável 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevada plasticidade facilita a extrusão das peças ▪ Relativa refratariedade e conteúdo de matéria orgânica tendem a limitar o emprego em produtos que exigem maior resistência mecânica e baixa absorção de água
Formacional	Sedimentar e de Alteração Intempérica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rochas pelíticas associadas a bacias sedimentares terciárias a paleozóicas, correspondendo a sedimentos depositados em amplos ambientes marinhos (costeiros e plataformais) e lacustres. ▪ Camadas mais superficiais sujeitas à alteração intempérica (lixiviação de álcalis e caulinição) ▪ Ocorrências em níveis planálticos diversos, na forma de colinas, morrotes e tabuleiros 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forma: Tabular ▪ Espessura: 4 a 20 m ▪ Reservas Geológicas: grande porte – milhões a dezenas de milhões de m³ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Taguás - rochas pelíticas fundentes com alteração variável: argilitos, ritmitos, siltitos e folhelhos (mais de 80% < 325 #) ▪ Fração argila: predominância de illita, com contribuição de esmectita e camadas mistas (I-E); conteúdo de caulinita aumentando com o grau de alteração das rochas ▪ Teor de álcalis: 2 a 7% ▪ Teor de ferro: 5 a 10% ▪ Matéria orgânica: ausente ou em pequenas proporções 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Granulometria fina e teores elevados de óxidos fundentes propiciam elevada resistência mecânica e baixa absorção de água

Obs.: os valores e composições correspondem a números médios.
 Fonte: Adaptado de Cabral et al. (2000).

exploram a extensa faixa de afloramentos de rochas pelíticas permocarboníferas da Bacia do Paraná, mais notadamente do Grupo Itararé e das formações Tatuí e Corumbataí. Constituem uma faixa praticamente

contínua de aglomerações cerâmicas, que se estende do sul do Estado até a porção nordeste (região de Tambaú), reunindo a maior produção de argilas para cerâmica vermelha e revestimentos das Américas.

PANORÂMICA DO CASO ESTUDADO

O vale do médio rio Tietê, na porção centro-oeste do Estado de São Paulo, abriga uma concentração significativa de empreendimentos cerâmicos, contando com cerca de 50 pequenas e microempresas especializadas na produção de peças de cerâmica vermelha, mormente telhas, blocos e lajes.

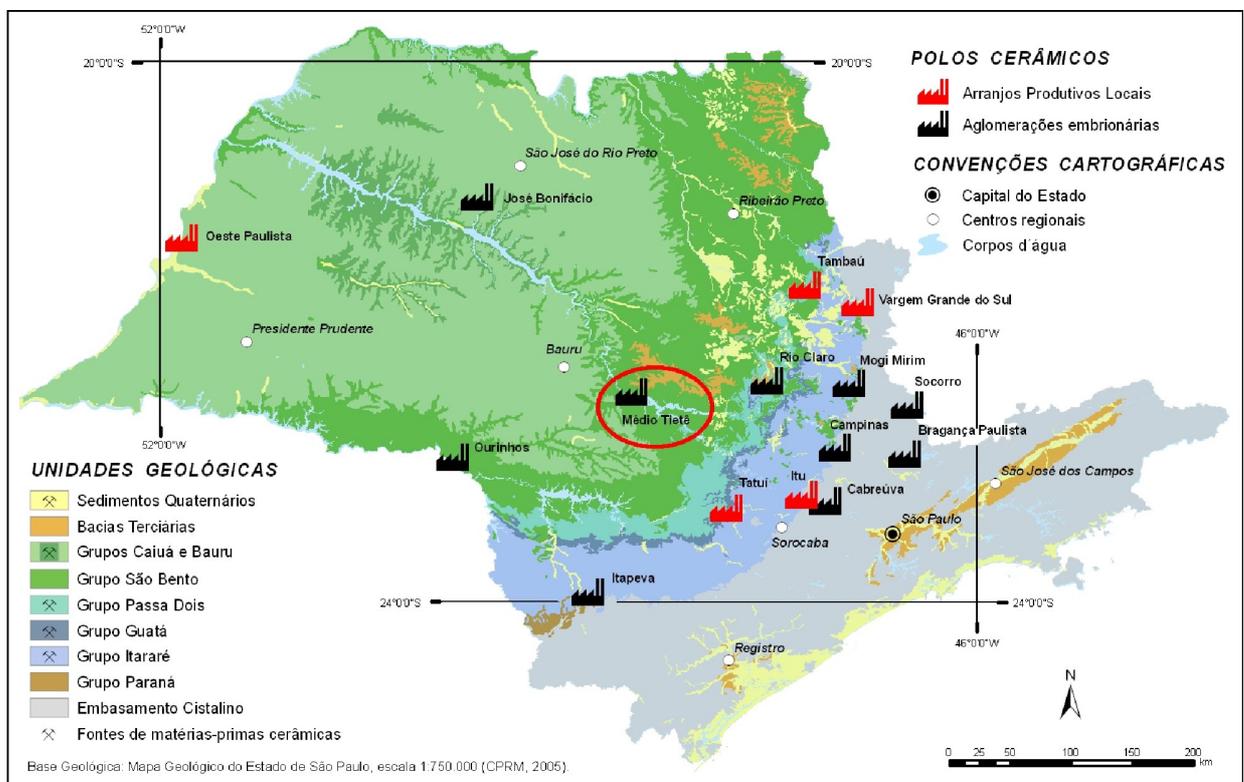
Nessa região, os estudos focalizaram um dos seus principais centros cerâmicos, localizado no município de Barra Bonita. A Figura 1 situa a área de pesquisa e as principais aglomerações produtivas mínero-cerâmicas do Estado de São Paulo.

Como em outros polos brasileiros, a concentração de indústrias cerâmicas nesse território foi inicialmente induzida por três fatores principais: farta ocorrência de matéria-prima mineral, proximidade de centros consumidores, boa infraestrutura de acesso e escoamento da produção.

A partir da década de 1960, a sucessiva construção de usinas hidrelétricas (UHEs) impulsionou a economia da região, contudo gerou conflitos e transformações profundas no meio físico, acarretando forte impacto na indústria cerâmica local. O enchimento dos reservatórios das UHEs ao longo do rio Tietê e tributários provocou o alagamento de grande parte das suas planícies aluviais e, se não esterilizando, dificultando acentualmente o acesso às reservas de argila tradicionalmente exploradas.

Nos últimos anos, a escassez de matéria-prima tem sido um fator limitante ao desenvolvimento da indústria cerâmica, inibindo a expansão da produção e, em situações mais críticas, provocando a transferência ou até mesmo o fechamento de empresas.

O abastecimento atual é feito por pequenas jazidas aluvionares próximas aos centros cerâmicos. As



Fonte: elaborado pelos autores.

FIGURA 1. Polos mínero-cerâmicos do Estado de São Paulo: em destaque a área de estudo.

restrições desse tipo de depósito, composto por ocorrências escassas e reservas pouco volumosas, têm levado os ceramistas a buscar alternativas mais onerosas, caso das indústrias de Barra Bonita que são supridas por lavras situadas em áreas marginais dos reservatórios, operando dentro de áreas isoladas por enseadeiras (diques de contenção), e por minerações

em regiões distantes a mais de 150 km das cerâmicas.

O parque cerâmico do município de Barra Bonita reproduz as dificuldades de abastecimento de muitas das aglomerações cerâmicas brasileiras, constituindo um universo de estudo modelar para a formulação e aplicação de uma metodologia para a identificação de fontes de suprimento de matérias-primas minerais.

CARACTERIZAÇÃO DE FONTES DE SUPRIMENTO DE MATÉRIAS-PRIMAS: METODOLOGIA E APLICAÇÃO

REFERÊNCIAS INICIAIS SOBRE A ABORDAGEM METODOLÓGICA

Pode-se considerar que a busca da definição de uma sistemática para a identificação de fontes potenciais de suprimento mineral para a indústria de cerâmica vermelha teve como referencial de partida dois parâmetros estratégicos. O primeiro pressuposto é a necessidade da otimização dos recursos tecnológicos, humanos e econômicos. O segundo parâmetro orientativo diz respeito à criticidade do tempo de investigação. A somatória desses dois fundamentos sintetiza a diretriz da estratégia prospectiva: “identificação de alternativas de suprimento no prazo mais breve e com menos recursos possíveis”.

Essa diretriz é uma constante em qualquer estudo prospectivo. No entanto, quando se investiga um recurso de baixo valor unitário, com uma demanda crescente e sérias restrições de oferta, como é o caso das argilas para cerâmica vermelha, acentua-se ainda mais a necessidade da minimização dos recursos e do tempo despendido nos trabalhos exploratórios.

Outro fator determinante no estabelecimento do modelo metodológico corresponde às imperfeições da estrutura de mercado desse segmento mineiro-cerâmico no país. Os custos de transação relativamente elevados - insumo específico de baixo valor unitário frente aos custos elevados para a consolidação de um mercado produtor - induzem à produção verticalizada de argila pela indústria cerâmica, não havendo, praticamente, estoques ou mesmo um mercado estabelecido ofertante de matérias-primas (Cabral Junior et al., 2009b). Em determinados polos cerâmicos, isto faz com que a competição das empresas não se dê apenas em relação a custos, qualidade ou diferenciação dos produtos cerâmicos, mas também ao acesso às matérias-primas, com os ceramistas detentores de jazidas selecionando as suas vendas de argilas, ou até mesmo não comercializando seus excedentes.

Com base nessas alegações iniciais, foi estabelecido um conjunto de procedimentos para a identificação, mapeamento e caracterização de potenciais

fontes de matérias-primas, envolvendo duas linhas de investigação: detecção de novos depósitos de argila não onerados por títulos minerários, para futura legalização por meio de um empreendimento consorciado, e levantamento de potenciais fornecedores, já estabelecidos ou detentores de jazidas em vias de implantação de lavra.

O primeiro enfoque corresponde a um levantamento de prospecção mineral convencional, com o desenvolvimento de estudos sequenciais abrangendo, basicamente, a seleção prévia dos prospectos potenciais, checagens de campo e a caracterização tecnológica das ocorrências de argila localizadas.

Considerando o longo tempo de maturação a ser percorrido desde a descoberta de uma nova jazida até a operação de uma mina (além dos riscos inerentes à pesquisa mineral), a segunda abordagem, de caráter mais direto, complementa os estudos de exploração mineral, buscando-se identificar, de forma sistemática, novos ofertantes de argila, que não fazem parte do sistema atual de suprimento de matéria-prima às indústrias cerâmicas do polo estudado. Como recurso metodológico inicial foram analisadas as bases cadastrais que relacionam os processos de direitos minerários no Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, identificando-se os títulos minerários relacionados à substância mineral argila incidentes na região de influência das indústrias cerâmicas de Barra Bonita, seguido de aferição em campo das informações apuradas.

Os dados coletados foram integrados e manipulados em *software* de geoprocessamento (ArcGis 9.3). Os sistemas de informações geográficas - SIGs são ferramentas poderosas nessa modalidade de estudo prospectivo, pois permitem armazenagem, cruzamento, análise e consolidação de bases de dados georreferenciados e atributos de fontes diversas, possibilitando uma visão global da distribuição espacial dos fenômenos investigados. Em razão de suas funcionalidades principais irem além da simples agregação de informações, têm sido cada vez mais requisitados nas pesquisas geoambientais que envolvem a tomada de decisões.

Experiências de sucesso podem ser encontradas nos trabalhos da Bonhan-Carter et al. (1988), IAEA (1994), Gonçalves et al. (2003) e Calazans & Domingues (2007).

Neste trabalho, foi processado em ambiente SIG um conjunto abrangente de informações integrando-se, entre outros, parâmetros infraestruturais, geográficos, geológicos, de títulos minerários e ambientais. Por meio de triagens sucessivas dos dados, com esse ferramental avançou-se nas duas vertentes de investigação – busca de novos depósitos e de ofertantes de matéria-prima –, o que possibilitou a caracterização de um quadro geral das possíveis fontes de abastecimento.

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA CARACTERIZAÇÃO DE FONTES DE SUPRIMENTO DE MATÉRIAS-PRIMAS CERÂMICAS: ESTRUTURA E PROCEDIMENTOS

A metodologia para a avaliação sistemática das alternativas de suprimento mineral para a indústria de cerâmica vermelha está estruturada em etapas sucessivas de avaliação e triagem que possibilitam o afunilamento seletivo das oportunidades das fontes de abastecimento de argila. A Figura 2 apresenta, na forma de fluxograma, a estrutura da metodologia, organizada em etapas sucessivas e orientada pelos dois enfoques: localização de novos depósitos de argila e identificação de potenciais fornecedores.

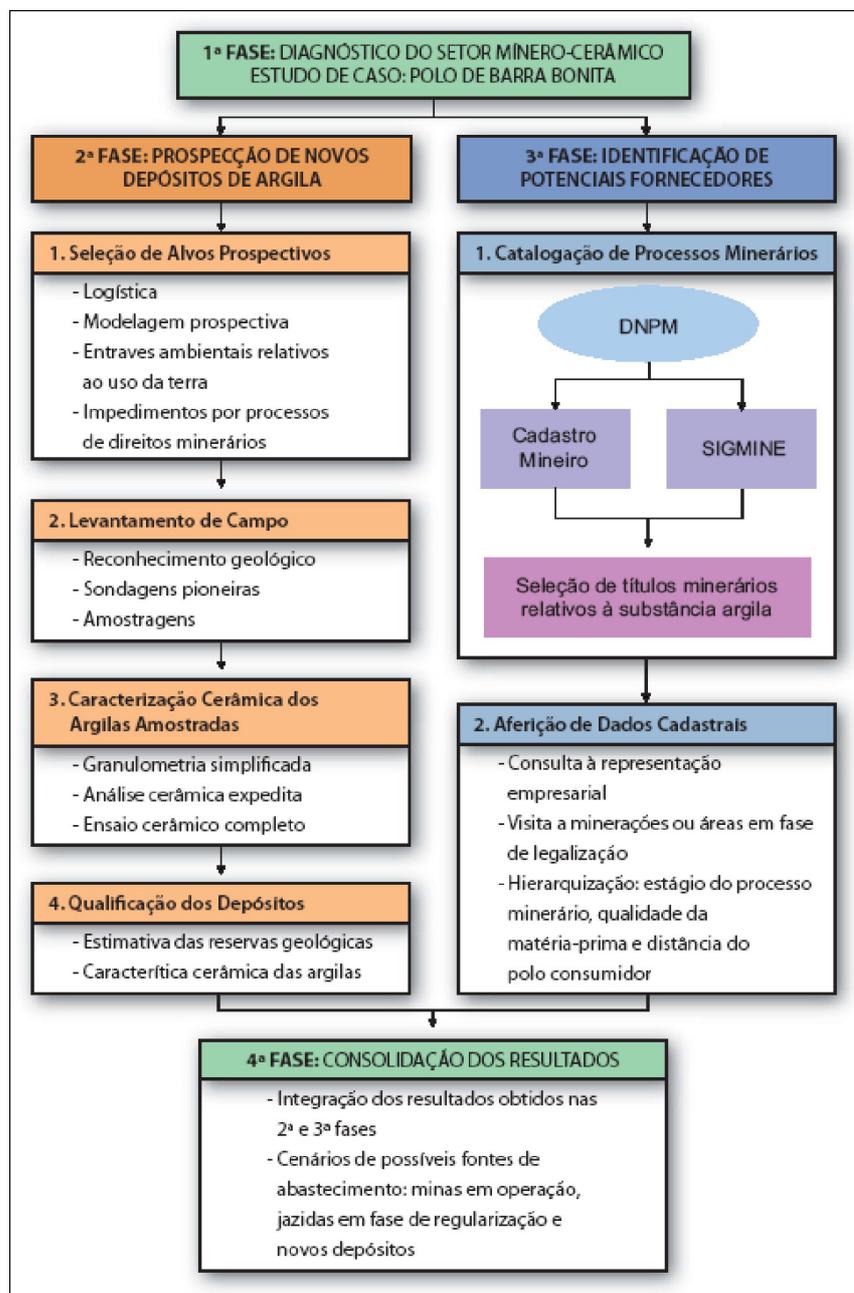


FIGURA 2. Fluxograma da metodologia proposta.

1ª Fase: Diagnóstico do Setor Mineiro-Cerâmico

A fase inicial consta de um levantamento expedito do setor mineiro-cerâmico da localidade de interesse, no caso do município de Barra Bonita. Entre as informações importantes que devem ser buscadas incluem-se: produção e número de empresas cerâmicas, tipos principais de produtos, consumo de matéria-prima, tipos de argilas empregadas e respectivas fontes geológicas, atuais fornecedores – distâncias de transporte e preços praticados, e deficiências do sistema de suprimento.

Esse conjunto mínimo de informações guia as etapas sucessivas de ambos os caminhos prospectivos, pois permitem estabelecer parâmetros básicos de rastreamento, tais como: quantidade de matéria-prima demandada e, conseqüentemente, reservas e porte dos depósitos requeridos, tipos de matérias-primas a serem buscadas (em função dos produtos e argilas consumidas), estabelecimento dos raios limítrofes do rastreamento prospectivo (considerando o transporte de argila praticado e frete embutido).

2ª Fase: Prospecção Mineral de Novos Depósitos de Argila

1ª Etapa – Seleção de Alvos Prospectivos

Como primeira etapa da campanha exploratória para a localização de novos depósitos de argila, é efetuada uma seleção de alvos para posterior checagem em campo. Esse processo de triagem prospectiva leva em consideração a análise integrada de quatro fatores:

Logística: em decorrência da localização das fontes tradicionais de matéria-prima e dos preços praticados, é definido o raio de maior interesse para a avaliação prospectiva, privilegiando-se áreas mais próximas e de mais fácil acesso.

Contexto geológico: o arcabouço geológico-geomorfológico constitui um condicionante inerente na geração e localização de um depósito mineral. É a partir da natureza dos terrenos geológicos que se concentram determinadas substâncias minerais que, em função da suas dimensões, qualidade e grau de concentração, podem definir ocorrências minerais de interesse econômico. Portanto, é sobre a delimitação dos terrenos geológicos e da análise de seu potencial mineral que se torna possível projetar e prospectar os tipos de recursos passíveis de ocorrer em determinadas regiões. A análise da potencialidade é efetuada por meio da confrontação das características genéticas dos depósitos sedimentares de argila com a natureza dos terrenos geológicos da região de interesse. Em primeira instância, essa avaliação comparativa permite estabelecer as áreas geologicamente potenciais, com as informações espacializadas resultando em um mapa de

potencial geológico para a ocorrência de depósitos de argila.

Em seguida são considerados dois parâmetros, ambientais e legais, restritivos à disponibilidade ou ao acesso aos recursos minerais.

Entraves ambientais ou relativos à ocupação do solo: eliminando-se alvos inseridos em unidades de conservação ambiental, com restrições severas à implantação da atividade de mineração, e em áreas afetadas por ocupação urbana e industrial.

Impedimento de processos minerários: excluindo-se alvos já onerados por títulos minerários

As áreas delimitadas por esses dois condicionantes impeditivos sobrepostas ao mapa previsional funcionam como filtros seletivos, permitindo individualizar áreas remanescentes, que correspondem

às zonas com potencial geológico e livres desses fatores inibidores, e que podem ser denominadas de janelas prospectivas.

2ª Etapa – Levantamentos de Campo

Os trabalhos de campo compreendem o reconhecimento geológico da região de estudo, para aferir a modelagem prévia de potencialidade e o levantamento sistemático dos alvos selecionados, para a constatação da ocorrência de camadas argilosas e apreciação preliminar quanti-qualitativa dos depósitos identificados.

Nesses locais, devem ser levantadas seções geológicas em situações de afloramento, como por exemplo, em corte de estradas e ravinas em encostas, e nas zonas rebaixadas (várzeas e terraços aluvionares) as informações são obtidas por meio de perfurações. Nessas sondagens exploratórias são empregados trados manuais ou motorizados. Eventualmente, em áreas com pouca exposição de rochas e substratos rígidos poderá haver a necessidade de equipamentos mais robustos, fazendo-se uso de sondas mecanizadas rotativas.

A descrição litológica, com a distinção das variedades de minérios argilosos e sedimentos arenosos estéreis, é efetuada macroscopicamente (auxiliadas por lupa manual), sendo observadas características como granulometria, textura, cor e plasticidade dos materiais. A amostragem dos horizontes argilosos obedece às variações texturais das camadas de minério.

3ª Etapa – Caracterização Cerâmica dos Depósitos

Nos estudos qualitativos dos depósitos, são adotadas duas rotinas laboratoriais: expedita e completa.

Caracterização Expedita

Utilizando-se de métodos ágeis, simplificados e pouco onerosos, este expediente laboratorial é empregado para a caracterização qualitativa preliminar dos depósitos, com análises realizadas em amostras de

argila coletadas em afloramento e furos de sondagens. Foram executados os seguintes tipos de determinações: (i) análise granulométrica – peneiramento a úmido segundo a série de peneiras de aberturas 0,84 mm; 0,074 mm; 0,044 mm e fundo; e (ii) ensaio cerâmico expedito – confecção manual de esferas de argila de aproximadamente 2 cm de diâmetro e queima a 1000 °C, com observação das propriedades - cor, brilho de superfície, sonoridade das esferas, aspereza da superfície e absorção de água.

Caracterização Completa

São submetidos ao procedimento de caracterização completa materiais representativos dos depósitos para uma aferição mais detalhada de suas qualificações técnicas como matérias-primas para cerâmica vermelha e de suas propriedades mineralógicas e químicas (Quadro 2).

4ª Etapa – Qualificação dos Depósitos

Dentro desse percurso de exploração mineral, na etapa final é feita uma análise integrada das informações de campo e laboratoriais, obtendo-se uma qualificação preliminar dos depósitos reconhecidos. Parâmetros importantes a serem computados referem-se à estimativa de reservas, logística de acesso e distância do centro consumidor, e especificações quanto ao desempenho tecnológico das argilas. O cálculo de reservas pode ser efetuado com base nas sondagens e seções levantadas em campo. No caso de depósitos aluvionares, a análise de imagens de fotos aéreas e sensores remotos permitem delinear com grau razoável de precisão a área de ocorrência da bacia argilosa.

3ª Fase: Identificação de Potenciais Fornecedores

1ª Etapa – Catalogação dos Processos de Direitos Minerários

A varredura sistemática em busca da localização de mineradoras que podem integrar o sistema de

abastecimento de um polo cerâmico tem como base inicial a obtenção de informações sobre os processos de direitos minerários, e que são passíveis de serem acessadas eletronicamente em dois bancos de dados do DNPM (www.dnpm.gov.br). Esses bancos fornecem uma série de elementos dos títulos minerários que permite, em uma primeira aproximação, a caracterização do conjunto de processos, dos quais podem ser priorizados aqueles associados a potenciais fornecedores, tais como: a identificação do titular, fase de tramitação do processo, substância mineral objeto de interesse, e localização precisa da área do processo.

O procedimento adotado envolve o levantamento, depuração e seleção dos títulos minerários referentes à substância argila incidentes nos entornos do parque cerâmico, integrando-se duas bases de dados: o Cadastro Mineiro e o Sistema de Informação Geográfica da Mineração – SIGMine.

A informação espacializada é fornecida pelo SIGMine na forma de arquivos vetoriais (*shapefiles*) georreferenciados. Para a obtenção de informações mais detalhadas, como a relação completa das substâncias solicitadas e o histórico do processo, é feito o seu cruzamento com o banco de dados do Cadastro Mineiro.

Igualmente aos estudos de prospecção mineral, a abrangência desse cadastramento de títulos minerários tem como referência as distâncias de transporte praticadas no centro consumidor. Dessa forma, são feitos levantamentos sucessivos dentro de áreas circulares centradas na região de consumo. A seqüência desses rastreamentos, avançando-se da envoltória mais próxima para as mais distantes, possibilita a triagem de processos agrupados em áreas com distâncias pré-estabelecidas do parque cerâmico.

Em seguida, desses conjuntos de títulos minerários abrangendo todas as fases processuais são selecionados aqueles cuja fase do processo indique correspondência com minas (concessões de lavra e licenciamen-

QUADRO 2. Procedimentos laboratoriais para caracterização de argilas.

Fonte: baseado em Souza Santos (1975) e Cabral Junior et al. (2005).

DETERMINAÇÕES	CARACTERÍSTICAS ANALISADAS
Ensaio Cerâmico	Propriedades físicas – contração linear, tensão de ruptura à flexão, absorção de água, porosidade aparente, massa específica e perda ao fogo, em amostra seca e queimada em temperaturas entre 800 °C e 950 °C.
Análise Química	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , Na ₂ O, K ₂ O, CaO, MgO, TiO ₂ e PF (perda ao fogo)
Análise Mineralógica	Avaliação semi-quantitativa por difratometria de raios X dos minerais presentes

mentos), e os potencialmente em vias de implantação de lavra (requerimentos de lavra e requerimentos de licenciamento). No segundo caso, dos processos potencialmente em vias de operação, o que de fato se traduz no impedimento para tornarem-se de imediato produtores de argila, a seleção fica restrita às áreas mais próximas.

As informações dos títulos minerários selecionados são georreferenciadas e integradas em um mapa contendo as principais vias de circulação, hidrografia, geologia e principais unidades de conservação ambiental, o qual permite uma visualização espacial do cenário de potenciais produtores de argilas na região e serve de orientação para o setor cerâmico na busca de novos ofertantes de matérias-primas.

2ª Etapa – Aferição dos dados Cadastrais

Com intuito de aferir os dados cadastrais obtidos por meio da consulta dos bancos de dados do DNPM e obter informações primárias sobre a situação minerária das áreas tituladas, são feitas reuniões com representantes empresariais do pólo cerâmico e visitas *in loco* a minerações. Com isto é possível definir, dentre os títulos minerários selecionados, quais processos de fato podem estar relacionados a potenciais fornecedores, descartando-se, por exemplo, minas exauridas, áreas ou minas que são cativas, isto é, pertencentes a ceramistas de outras localidades e que não tem interesse em fornecer matéria-prima, e áreas que tem a argila e outras substâncias tituladas (caso de portos de areia) e não dispõem mais de reservas para comercialização.

Essas atividades em campo servem ainda para avaliar o grau de interesse do setor produtivo às alternativas de suprimento preliminarmente identificadas, sendo que os seus conhecimentos prévios envolvendo mineradores e jazidas de argila na região devem também subsidiar o processo de priorização de oportunidades.

Como resultado dessa 2ª etapa, refina-se a relação de processos mais aptos a tornarem-se fornecedores, e que podem ser hierarquizados em função de características como estágio do processo minerário, qualidade da matéria-prima, condições de frete (distância da jazida), além de outros fatores comerciais.

4ª Fase: Consolidação dos Resultados

Trata-se da fase conclusiva, na qual são integrados os resultados das duas fases de investigação, abrangendo a campanha de prospecção mineral e o rastreamento de potenciais fornecedores com base na catalogação e triagens sucessivas dos títulos minerários, obtendo-se um panorama das possíveis fontes de abastecimento – minas em operação, jazidas em fase de regularização e novos depósitos.

APLICAÇÃO DA METOLOGIA PROPOSTA NA CARACTERIZAÇÃO DE FONTES DE SUPRIMENTO DE MATÉRIAS-PRIMAS NO POLO CERÂMICO DE BARRA BONITA

1ª Fase: Diagnóstico do Setor Mineiro-Cerâmico de Barra Bonita

Barra Bonita conta com 12 cerâmicas, caracterizadas como micro e pequenas empresas de estrutura familiar, que empregam métodos de produção tradicionais, sendo carentes de medidas de inovação ou aperfeiçoamento tecnológico no seu processo produtivo. Atendendo um mercado regional, circunscrito em um raio em torno de 200 km, a produção é centrada em telhas dos tipos romana e francesa, e, em menor escala, blocos e lajes, sendo estimada em 5.000 milheiros de peças/mês. A indústria local consome anualmente cerca de 92.500 m³ de matérias-primas, sendo que, desse total, 80% corresponde a argilas plásticas de várzea e 20% a argilas formacionais.

As argilas de várzea são materiais plásticos, de cores cinza escura a preta, contendo quantidades apreciáveis de matéria orgânica. Ocorrem associadas a depósitos aluvionares localizados nas planícies do rio Tietê e de seus afluentes. As lavras que abastecem a indústria local são de pequeno porte e estão situadas na margem direita do rio Tietê, em áreas parcialmente inundadas, próximas à Barra Bonita, distando cerca de 10 km das cerâmicas.

As argilas formacionais correspondem a rochas argilosas alteradas da Bacia Sedimentar do Paraná (folhelhos, argilitos e siltitos), provenientes de depósitos situados na região de Laranjal Paulista, distantes mais de 150 km de Barra Bonita. A Tabela 1 apresenta os dados essenciais para embasar as campanhas exploratórias subsequentes.

2ª Fase: Prospecção Mineral de Novos Depósitos de Argila para o Polo Cerâmico de Barra Bonita

1ª Etapa – Seleção de Alvos Prospectivos

O condicionante de logística envolveu, basicamente, a definição da zona de interesse prospectivo. Partindo-se dos deslocamentos usuais de matérias-primas para o município, que atingem até 150 km, arbitrou-se por uma envoltória para a exploração mineral de raio de 75 km, o que garantiria o acesso a qualquer ponto de interesse percorrendo-se distâncias de até 100 km.

Uma vez definida a área de prospecção, o cotejamento do seu arcabouço geológico com os modelos geológicos de jazidas de argilas permitiu a seleção dos prospectos potencialmente favoráveis à concentração econômica dessa substância mineral, que se encontram discriminados na Figura 3.

TABELA 1. Perfil do suprimento mineral de Barra Bonita.

NÚMERO DE CERÂMICAS	PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL Milheiros de peças/ cerâmica	PRODUÇÃO TOTAL 2010 Milheiros de peças	CRESCIMENTO ESTIMADO 2010
12	420	60.480	10%
TIPOS DE PRODUTOS (%)		CONSUMO TOTAL DE ARGILA (m ³) - 2010	MISTURA PADRÃO
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Telhas (70%) ▪ Blocos (15%) ▪ Lajes (15%) 		92.500	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Argila de várzea - 80% ▪ Argila formacional - 20%
SUPRIMENTO			
DISTÂNCIAS DE TRANSPORTE km		PREÇOS PRATICADOS (FOB) – R\$/m ³	PREÇO DE FRETE (Valores médios) – R\$/m ³
ARGILA DE VÁRZEA		5	20,00
TAGUÁ		150	25,00
FORNECEDORES ATUAIS			
TITULAR	PROCESSO MINERÁRIO	RESERVA TOTAL Disponível e legalizada no aglomerado produtivo - toneladas	
1 – PERASSOLI & PERASSOLI LTDA	820.359/06	350.000	
PROBLEMAS IDENTIFICADOS			
1 – Instabilidade do suprimento mineral: carência de jazidas nas proximidades, dificuldade na regularização dos empreendimentos, deficiências no conhecimento geológico das jazidas e na tecnologia de lavra; falta de padronização das matérias-primas.			
2 – Fragilidade da governança local: rivalidade acirrada entre os ceramistas e dificuldade de práticas cooperadas.			
Obs. estimativa do consumo de argila considerando a relação média de 1.000 peças / 1,53 m ³ de argila ou 2,3 toneladas (peso específico de 1,5 da argila sobre o caminhão).			

Fonte: elaborado pelos autores a partir de informações obtidas diretamente do setor minero-cerâmico de Barra Bonita.

Qualitativamente, a potencialidade dos terrenos geológicos foi hierarquizada em quatro categorias: elevada, média, baixa e áreas/unidades destituídas de potencial geológico para depósitos de argila. Essa diferenciação permite priorizar a sequência de alvos a serem investigados em campo.

As áreas consideradas de alto potencial correspondem às faixas de afloramento das formações Teresina, Serra Alta e Corumbataí. Tratam-se de unidades permianas da Bacia do Paraná, portadoras de possantes camadas pelíticas e que são fontes tradicionais de argila em outras regiões do Estado de São Paulo (Tanno et al., 1994; Cabral Junior et al., 2001).

Em que pese que as faixas aluvionares serem portadoras ordinárias de depósitos de argila, a complexidade para a caracterização de condicionantes como a dinâmica fluvial atual e pretérita, e a natureza das áreas fontes

fez com que fosse atribuído, de forma indiscriminada, potencial intermediário para essas coberturas quaternárias.

Foram reconhecidas com baixo potencial as formações Rio do Peixe e Araçatuba da Bacia Bauru. Inseridas em contexto deposicional eminentemente desértico (Fernandes & Coimbra, 2000), as camadas argilosas dessas unidades cretácicas são delgadas e ocorrem de forma restrita e errática, não sendo praticamente aproveitadas como componente principal de massas cerâmicas.

Em função de suas características genéticas e litológicas classicamente reconhecidas, as demais formações aflorantes Pirambóia, Botucatu, Itaqueri e Serra Geral foram consideradas destituídas de potencial prospectivo para ocorrências de depósitos de argilas para fins cerâmicos. As três primeiras são compostas essencialmente por fácies detríticas arenosas e termos

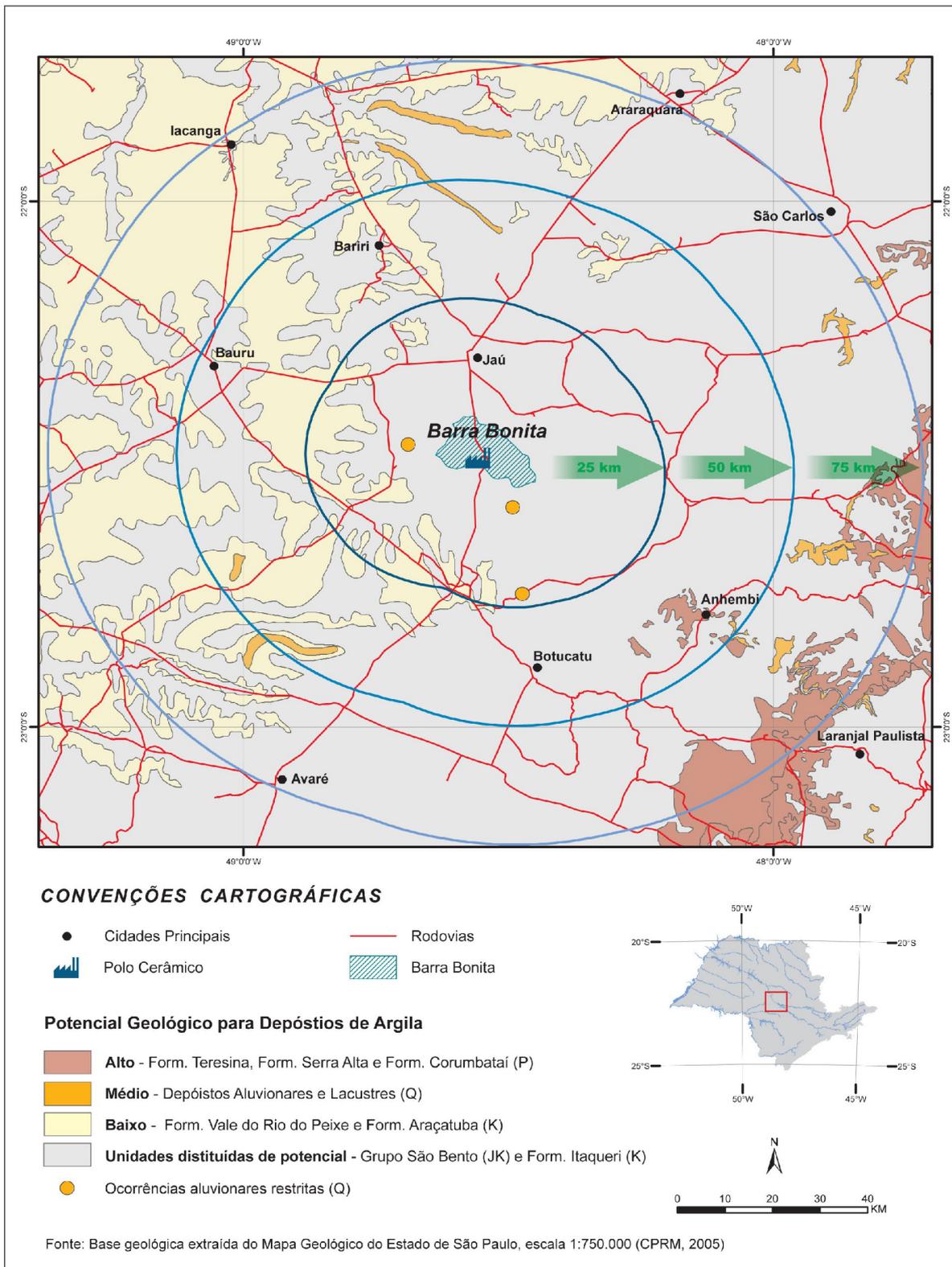


FIGURA 3. Mapa de potencial geológico para depósitos de argila.

rudáceos, e a unidade Serra Geral é constituída predominantemente de rochas basálticas (Schneider et al., 1974; IPT, 1981; CPRM, 2005).

Sobrepondo ao mapa de potencial geológico as áreas delimitadas pelos fatores restritivos ambientais e já oneradas por processos de direitos minerários (Figura 4), obtém-se um novo mapa com as áreas

remanescentes que correspondem aos alvos de interesse prospectivo, hierarquizados de acordo com grau de favorabilidade geológica (Figura 5).

Esses sítios geológicos selecionados, que integram o mapa de janelas prospectivas, constituem os prospectos que deverão ser checados diretamente *in loco* na etapa seguinte de campo.

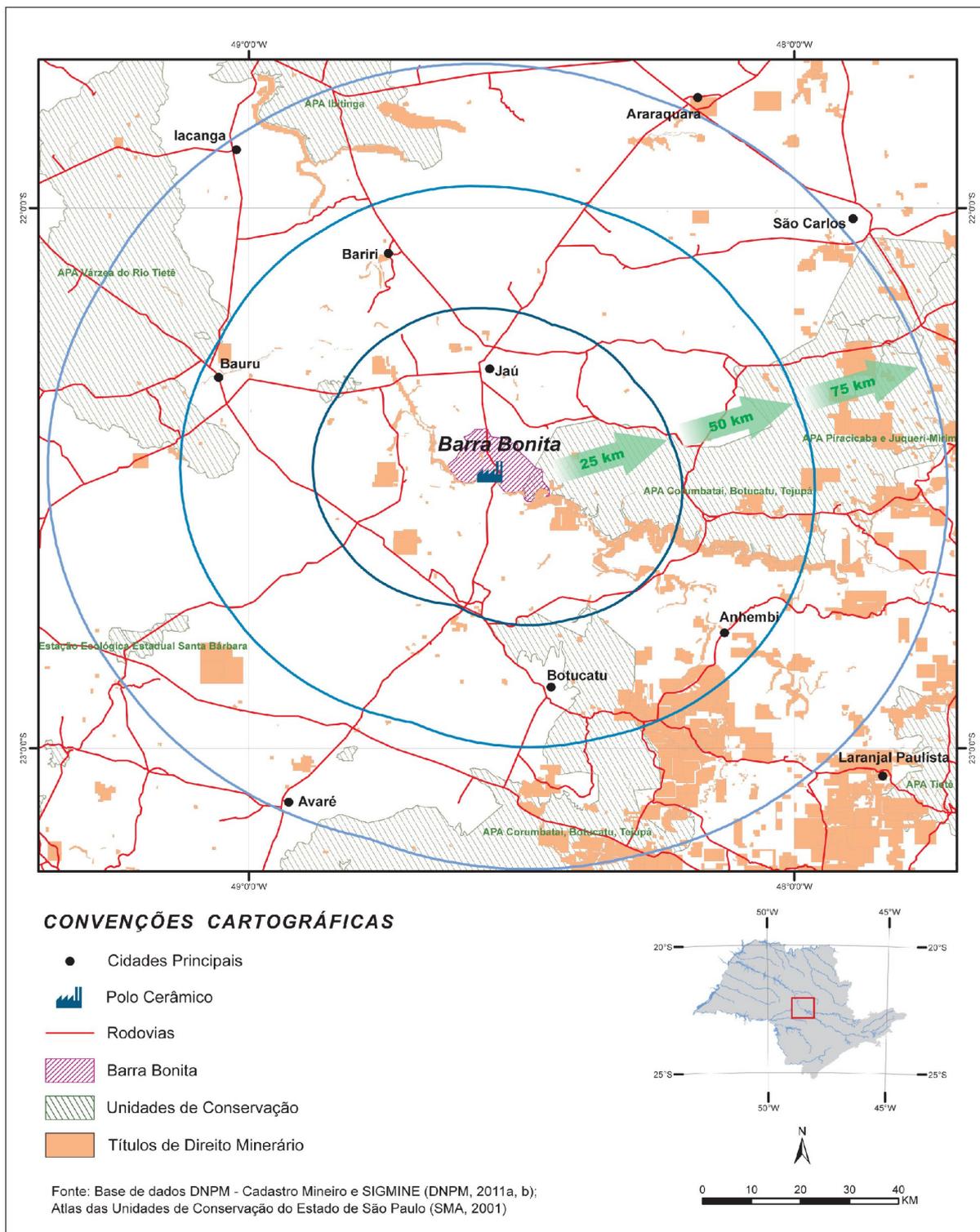


FIGURA 4. Mapa de áreas restritivas para a prospecção.

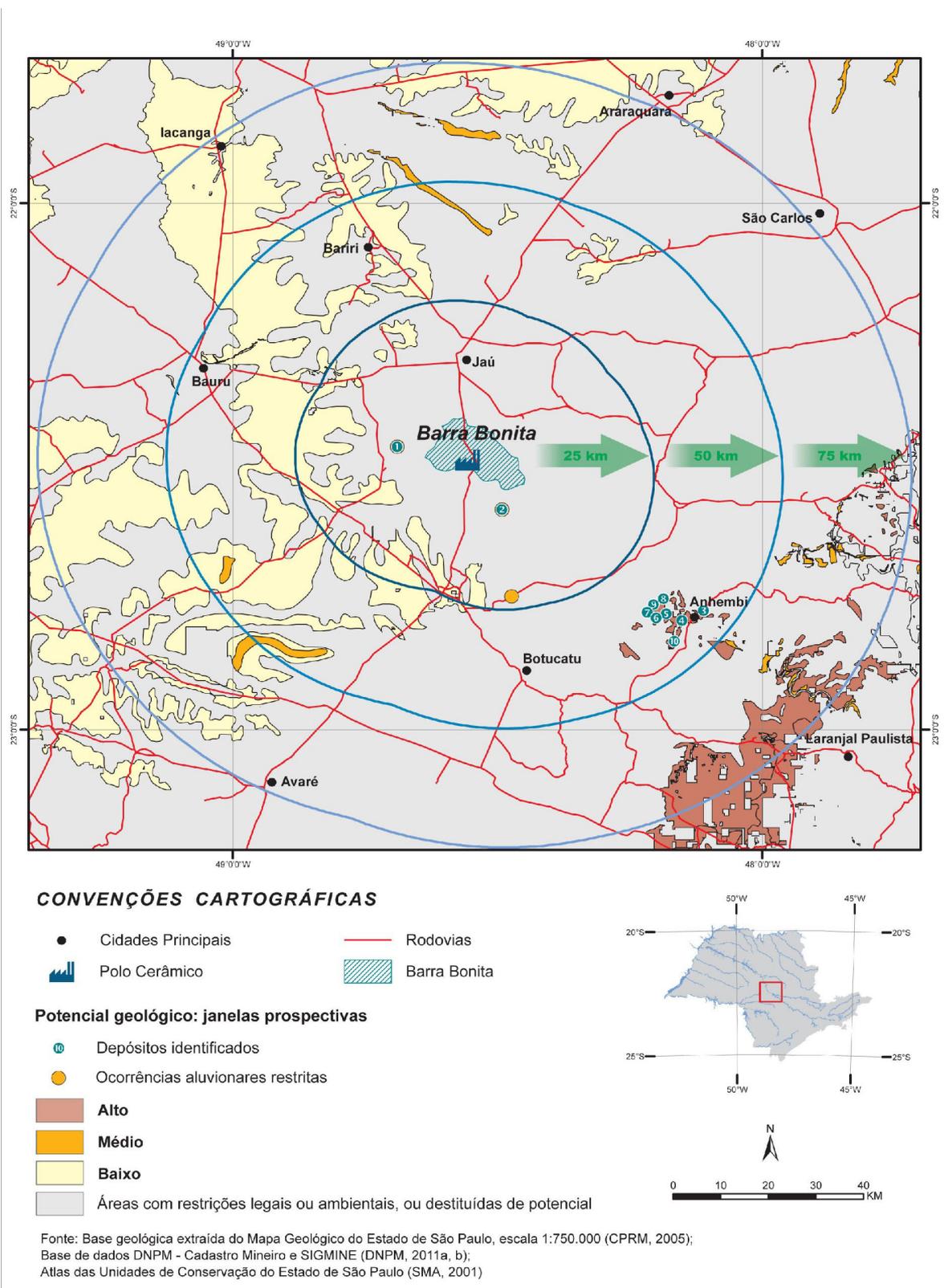


FIGURA 5. Mapa de janelas prospectivas e localização dos depósitos de argila identificados.

2ª Etapa – Levantamentos de Campo nos Entornos de Barra Bonita

Uma expedita campanha prospectiva envolvendo investigações de superfície e subsuperfície permitiu caracterizar 10 áreas principais com potencial para contribuir no suprimento de matérias-primas às cerâmicas de Barra Bonita (Figura 5).

Os depósitos identificados enquadram-se em dois tipos básicos: aluvionar e formacional (taguá). Ao primeiro tipo estão relacionados dois depósitos de pequeno porte, ambos associados a depressões alveolares em cabeceira de drenagens, e correspondem a depósitos de argilas plásticas, de características tecnológicas similares às matérias-primas básicas empregadas nas cerâmicas de Barra Bonita. Como perfil litológico típico, apresenta uma camada de argila orgânica com espessura em torno de 1 m, aflorante ou capeada por delgada camada de turfa, sobreposta a areias ou diretamente sobre leito de cascalho.

As demais áreas identificadas caracterizam-se como depósitos de argilas formacionais (taguás) associadas à Formação Teresina no município de Anhembi. Correspondem a espessas sequências predominantemente pelíticas, que chegam a atingir cerca de 15 m de espessura, constituídas de camadas centimétricas a métricas de siltito e argilito, com intercalações subordinadas de lentes e camadas de arenitos finos a muito finos. Em algumas ocorrências levantadas, ocorrem também lentes e camadas até métricas de rochas carbonáticas. Os afloramentos seguem um padrão de intemperismo, com as camadas superficiais sendo mais alteradas e friáveis, passando gradualmente a rochas mais frescas e rijas em profundidade.

As sondagens pioneiras efetuadas nas planícies aluvionares mais amplas da região, associadas aos rios Jacaré Pepira e Guaçu, foram pouco produtivas, revelando uma sedimentação predominantemente arenosa. O mesmo ocorre com os terrenos sedimentares da Bacia Bauru, não sendo identificadas camadas argilosas de interesse econômico nos afloramentos visitados. No entanto, a brevidade dos levantamentos não permite o descarte total desses prospectos, o que exigiria uma campanha mais exaustiva de campo.

3ª Etapa – Caracterização Cerâmica dos Depósitos Identificados

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios cerâmicos realizados em amostras dos dois depósitos aluvionares e de duas ocorrências na região de Anhembi abrangendo rochas argilosas da Formação Teresina.

Os característicos cerâmicos determinados laboratorialmente, como os índices de absorção de água e resistência mecânica, indicam o potencial de uso dessas argilas para composição de massas para todos os

produtos tradicionais de cerâmica vermelha, como blocos, telhas, lajes e elementos vazados. A exceção refere-se à amostra do Depósito 1 que apresentou valores relativamente baixos para essas propriedades. No entanto, deve-se considerar o caráter pontual da amostragem, sendo que, em função da baixa recuperação da sondagem e da elevada umidade da amostra coletada, os ensaios tiveram que ser realizados em amostras prensadas, o que pode ter falseado os resultados obtidos. De qualquer forma, as indicações de campo e laboratoriais sugerem o potencial de aproveitamento da argila desse depósito na composição de massas cerâmicas (Apêndice 1), destacando-se os excelentes resultados para os depósitos de taguá de Anhembi, que atestam a elevada fundência dessas rochas, sugerindo a possibilidade de sua aplicação até na fabricação de revestimentos cerâmicos.

4ª Etapa – Qualificação dos Depósitos Identificados

A Tabela 3 apresenta algumas características principais dos depósitos identificados, como tipo de ocorrência, distância do parque cerâmico e estimativa de reserva.

As reservas geológicas de argilas aluvionares totalizam cerca de 430.000 toneladas. Com características similares aos materiais argilosos que são empregados como componente principal das massas das cerâmicas de Barra Bonita, os quais entram com 80% das misturas de matérias-primas, as reservas identificadas são suficientes para a demanda do polo por cerca de 6 anos, considerando um consumo total da ordem de 90.000 toneladas/ano. Outro importante fator que concorre pela viabilidade econômica para a implantação de lavras de argila nesses depósitos refere-se a sua localização privilegiada, distante menos de 20 km do centro consumidor.

Os depósitos de argilas formacionais são muito mais expressivos. As reservas geológicas, indicadas na Tabela 3, são consideradas como valores mínimos, pois foram estimadas com base em levantamentos preliminares realizados apenas em superfície. Atividades de pesquisa mineral em etapas posteriores, envolvendo furos de sondagens, o que foge ao escopo do trabalho aqui apresentado, devem ampliar consideravelmente as espessuras e reservas da maior parte das ocorrências identificadas. Mesmo assim, foi possível o dimensionamento preliminar de pelo menos três depósitos expressivos, com reservas da ordem milhões de toneladas (depósitos 3, 5 e 9). Em função da estrutura produtiva e das misturas de argila empregadas pelas indústrias de Barra Bonita, esse material poderá servir como um componente complementar das massas cerâmicas, necessitando de um período de sazonalidade para incrementar a sua trabalhabilidade. Para as cama-

TABELA 2. Resultados dos ensaios cerâmicos.

Amostra	T	AA	PA	TRF	CLS	CLQ	CLT	PF	MEA	LP	COR
	°C	(%)	(%)	(kgf/cm ²)	(%)	(%)	(%)	(%)	(g/cm ³)	(%)	
Depósito 1	110			29	0,2					25,3	cinza claro
	800	21,5	37,4	31		1,5	1,6	10,1	1,74		laranja
	850	20,8	36,3	34		1,8	2	10,2	1,74		laranja
	900	20,2	35,9	36		2,1	2,3	10,3	1,77		laranja
	950	19,3	34,3	38		2,3	2,5	10,4	1,78		laranja
Depósito 2	110			80	8					21,1	bege claro
	800	16,9	31,3	69		0,2	8,2	7,1	1,85		verm. claro
	850	16,5	30,6	84		0,4	8,4	7,2	1,86		verm. claro
	900	15,6	29,2	95		0,9	8,8	7,3	1,87		verm. claro
	950	12,7	23,7	105		1,1	9	7,4	1,88		verm. claro
Depósito 3	110			108	7					29,7	bege
	800	16,2	29,3	166		0	7	4,7	1,81		vermelho
	850	15,5	28,4	256		0,2	7,2	5,6	1,83		vermelho
	900	15,3	28,2	258		0,4	7,4	5,7	1,84		vermelho
	950	15,1	28	267		1,1	8	5,8	1,85		vermelho
Depósito 7	110			62	6,8					29,0	cinza claro
	800	17,2	30,7	130		1,1	7,8	3,8	1,78		marrom claro
	850	14,5	26,8	255		1,3	8	4,8	1,85		marrom claro
	900	14,2	26,4	283		2,6	9,2	4,9	1,88		laranja
	950	11,4	22,4	318		4,5	11	5	1,98		laranja

Siglas empregadas: T – temperatura de queima; AA – absorção de água; PA – porosidade aparente; TRF – tensão de ruptura à flexão; CLS – contração linear a seco; CLQ – contração linear de queima; CLT – contração linear total; PF – perda ao fogo; MEA – massa específica aparente; LP – limite de plasticidade.

* Amostra do Depósito 1 - moldagem por prensagem; demais amostras - moldagem por extrusão.

TABELA 3. Depósitos de argila identificados na área de influência do Polo cerâmico de Barra Bonita.

Depósitos Identificados	Contexto Geológico	Distância das Cerâmicas km	Área Mínima (ha)	Espessura Média (m)	Reserva Geológica
1	Aluvionar	20	30	1,3	390.000
2	Aluvionar	13	17	0,8	140.000
3	Formação Teresina	70	20	15	3.000.000
4	Formação Teresina	65	10	2,7	270.000
5	Formação Teresina	61	25	9	2.250.000
6	Formação Teresina	60	8	4	320.000
7	Formação Teresina	58	3	5	150.000
8	Formação Teresina	67	5	2	100.000
9	Formação Teresina	68	25	10	2.500.000
10	Formação Teresina	93	5	2	100.000

das de rochas argilosas menos alteradas, mais rijas (taguá duro), o processo de cominuição deverá valer-se de equipamentos adicionais, como destorroador e desintegrador, e, em casos de rochas mais duras, haverá a necessidade de se acoplar um equipamento de moagem.

Essas informações gerais dos depósitos devem ser consideradas como indicativas e relativas a uma primeira fase de prospecção mineral. Servem, sobretudo, para indicar a perspectiva relativamente favorável do potencial de suprimento mineral às cerâmicas de Barra Bonita e orientar a tomada de decisão do setor produtivo com respeito à seleção de áreas que deverão ser priorizadas para se iniciar o processo de legalização visando à implantação de futuras minas de argila. A caracterização dimensional dos depósitos (cubagem) e das propriedades das argilas deverá requerer, em fase subsequente de pesquisa, a implantação de malha sistemática de sondagens e estudos laboratoriais dos materiais argilosos.

3ª Fase: Identificação de Potenciais Fornecedores para o Polo Cerâmico de Barra Bonita

1ª Etapa - Catalogação dos Processos de Direitos Minerários

Baseando-se no condicionante logístico de transporte das matérias-primas, procedeu-se à triagem dos títulos minerários de interesse (relativos à substância argila) em áreas delimitadas por raios de 25, 50 e 75 km, sendo essa última envoltória máxima, similarmente aos levantamentos de prospecção mineral, definida em função das distâncias de transporte praticada pelas cerâmicas de Barra Bonita.

Essa primeira seleção de títulos minerários resultou na identificação de um total de 831 processos, assim

distribuídos (Tabela 4 e Figura 6): 70 na área mais próxima (raio de 25 km de distância), 142 no anel intermediário (25 a 50 km de distância) e 761 no anel mais distante (50 a 75 km).

Desse montante de títulos minerários foram destacados aqueles cujas informações cadastrais sugerem que já estão habilitados (concessões de lavra e licenciamentos) ou em vias de regularização para lavra (requerimentos de lavra e requerimentos de licenciamento). No caso dos processos relacionados a fases prévias de implantação de lavra, deu-se prioridade para os que estivessem mais próximos do polo cerâmico, com o rastreamento limitando-se no raio máximo de 50 km. A síntese dessa segunda filtragem é apresentada na Tabela 5.

Esse segundo processo de triagem resultou na seleção total de 107 títulos minerários, que traduzem o universo mais representativo de potenciais produtores de argila na região, dos quais poderá se evoluir para novos fornecedores para as cerâmicas de Barra Bonita.

2ª Etapa – Aferição dos dados Cadastrais

Em função do grande número de processos levantados, a checagem de campo priorizou as áreas contidas na envoltória de até 50 km de raio. Seguindo os procedimentos propostos, constatou-se que do total de 27 títulos minerários selecionados, somente três áreas podem ser consideradas como passíveis de serem fornecedoras às cerâmicas de Barra Bonita: 1 Licenciamento (19 ha) e 2 Requerimentos de Lavra (36 e 50 ha), todos situados até 25 km de distância. O licenciamento corresponde a uma mina em operação, situada na margem do reservatório de Bariri, com reservas estimadas inferiores a 100.000 toneladas. Os demais processos foram rejeitados em decorrência, por exemplo, dos titulares não terem interesse em comer-

TABELA 4. Processos de direitos minerários relativos à substância mineral argila na área de influência das cerâmicas de Barra Bonita.

FASE	Até 25 km	25 a 50 km	Até 75 km	Total
Requerimento de Pesquisa	35	33	155	223
Autorização de Pesquisa	21	26	329	376
Requerimento de Lavra	10	7	82	99
Concessão de Lavra	3	4	43	50
Requerimento de Licenciamento	0	0	43	43
Licenciamento	1	2	37	40
Total	70	142	761	831

Fonte: bases de dados do DNPM - Cadastro Mineiro e o Sistema de Informação Geográfica da Mineração – SIGMine - período de consulta jan/2011 (DNPM 2011a, b).

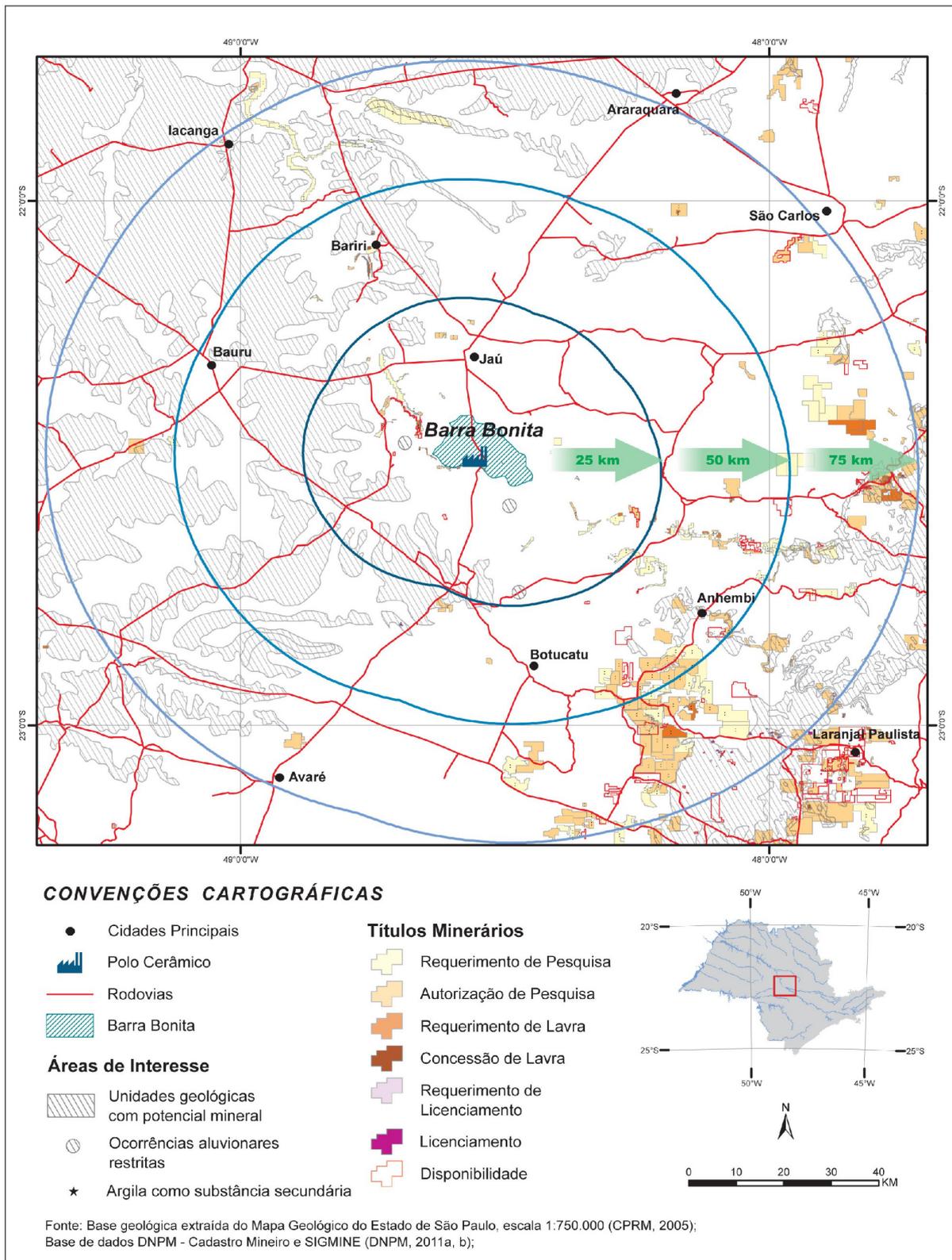


FIGURA 6. Mapa dos títulos minerários relativos à substância mineral argila na área de influência das cerâmicas de Barra Bonita.

TABELA 5. Processos de direitos minerários priorizados - substância mineral argila.

FASE	Até 25 km	25 a 50 km	Até 75 km	Total
Requerimento de Lavra	10	7	Não considerado	17
Concessão de Lavra	3	4	43	50
Requerimento de Licenciamento	0	0	Não considerado	0
Licenciamento	1	2	37	40
Total	14	13	86	107

Fonte: bases de dados do DNPM - Cadastro Mineiro e o Sistema de Informação Geográfica da Mineração – SIGMine - período de consulta jan/2011 (DNPM 2011a, b).

cializar sua produção (minas cativas de centros cerâmicos concorrentes – Bariri e Macatuba), ou corresponderem a áreas exauridas ou não dispõem de reservas aproveitáveis.

4ª Fase: Consolidação dos Resultados – Cenário das Possíveis Fontes de Abastecimento para o Polo Cerâmico de Barra Bonita

Nessa última fase dos estudos, foram integrados os resultados das duas vertentes de investigação – prospecção mineral (2ª Fase) e rastreamento de fornecedores por meio do tratamento de informações dos títulos minerários (3ª Fase), consolidando-se um panorama das principais alternativas de abastecimento para as indústrias cerâmicas de Barra Bonita. A Tabela 6 sintetiza as opções de fontes de suprimento, hierarquizadas segundo as distâncias reais entre os depósitos e o centro de consumidor.

Das 13 fontes potenciais, apenas uma área corresponde a uma mina em operação, constituindo a única alternativa no momento para fazer frente à demanda das cerâmicas de Barra Bonita. Até 20 km de distância, há mais quatro opções de suprimento, duas áreas (II e

III) referentes a processos em fase de legalização, e dois novos depósitos identificados, de natureza aluvionar.

As demais 8 alternativas situam-se a distâncias entre 58 e 95 km, todas relacionadas a depósitos de argilas formacionais. Apesar dessas distâncias serem um fator inconveniente, pois o transporte procedente dessas áreas deve incorrer em fretes maiores em relação às cinco primeiras opções de suprimento, trata-se da mais próxima concentração de depósitos de argila de porte médio a grande, suficientes para sustentar a demanda de Barra Bonita por dezenas de anos. Além disso, há um ganho considerável em relação ao abastecimento atual de taguá, que são trazidos de minas localizadas na região de Laranjal Paulista e Conchas, a distâncias em torno de 150 km.

O aprimoramento tecnológico nas indústrias, agregando-se equipamentos de moagem na pré-preparação das matérias-primas e máquinas mais potentes no processo de manufatura cerâmica, permitiriam a utilização de misturas compostas essencialmente de argilas formacionais, o que solucionaria o problema de abastecimento mineral para o parque cerâmico de Barra Bonita e região.

TABELA 6. Potenciais fontes de suprimento de argilas para o polo cerâmico de Barra Bonita.

	Áreas Potenciais	Depósito Identificado	Reservas - toneladas -	Distância Cerâmicas	Potenciais Fornecedores	Reserva - toneladas -	Distância Cerâmicas
Raio até 25 km	I				Licenc.	< 100.000	< 10 km
	II				Req. Licenc.	Não Disponível	10 km
	III				Req. Licenc.	Não Disponível	12 km
	IV	Dep. 2	140.000	13 km			
	V	Dep. 1	390.000	20 km			
Raio 25 a 50 km	VI	Dep. 7	150.000	58 km			
	VII	Dep. 6	320.000	60 km			
	VIII	Dep. 5	2.250.000	61 km			
	IX	Dep. 4	270.000	65 km			
	X	Dep. 8	100.000	67 km			
	XI	Dep. 9	2.500.000	68 km			
	XII	Dep. 3	3.000.000	70 km			
	XIII	Dep. 10	100.000	93 km			

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho buscou-se avançar nas técnicas de investigação sistemática para a identificação, mapeamento e caracterização de fontes potenciais de matérias-primas para a indústria de cerâmica vermelha.

Pode-se considerar que os estudos empíricos realizados no polo cerâmico paulista de Barra Bonita, situado no médio vale do rio Tietê, atestaram a eficácia da abordagem metodológica formulada.

A conjugação de dois vetores de busca associando-se uma prospecção geológica em bases convencionais, mas apoiada em modelos geológicos que se mostraram consistentes, e o rastreamento direto de potenciais fornecedores, lastreado em informações cadastrais dos títulos minerários do DNPM, possibilitaram o delineamento de um primeiro cenário das possíveis fontes de abastecimento. O conjunto de alternativas alcançadas abrangeu a identificação de um ofertante em condições imediatas de suprimento (mineração de argila em operação), áreas com processos de direitos minerários em fase final de legalização, as quais podem se traduzir em fornecedoras a curto e médio prazo, bem como de novas jazidas desoneradas de títulos minerários.

Com esse elenco de potencialidades, o setor empresarial dispõe das informações técnicas essenciais para a tomada de decisão quanto à forma mais conveniente para o aprimoramento das condições do sistema de suprimento mineral. No caso de Barra Bonita, a estruturação do abastecimento em bases mais sustentáveis segue, claramente, na seguinte direção: acordos comerciais com a mineradora em operação e, em

seguida, com os titulares dos processos minerários. Concomitantemente, um esforço estratégico importante deverá envolver o processo de legalização dos depósitos identificados na região. Independente do caminho escolhido pelos ceramistas, as chances de sucesso dessa busca de mineradores parceiros e a viabilização de uma mineração própria serão ampliadas à medida que as ações forem executadas de forma articulada pelo setor empresarial, de preferência procurando-se atuar de forma consorciada.

A ampliação dos potenciais fornecedores poderá ainda ser buscada por meio da expansão das aferições em campo das áreas com processos minerários indicativos de empreendimentos ativos ou em vias de operação, situados no raio de 50 a 75 km em relação ao centro consumidor de Barra Bonita.

A aplicação desta metodologia em outros polos cerâmicos deverá ser efetuada com ajustes em relação às condições de demanda e logística de suprimento, e ao contexto geológico dos territórios envolvidos, podendo-se agregar outras ferramentas na análise prospectiva, como por exemplo, o apoio de geotecnologias na seleção de prospectos. As novas aferições desse modelo de investigação propiciadas pela sua aplicação em outros locais, bem como por meio do maior suporte tecnológico na etapa de prospecção mineral deverão contribuir para o seu aperfeiçoamento como uma abordagem sistemática de busca e avaliação de alternativas de fontes de matérias-primas minerais para a indústria de cerâmica vermelha no país.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT e ao prof. Dr. Mauro da Silva Ruiz pelo o apoio na elaboração do Abstract.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BONHAM-CARTER, G.F.; AGTERBERG, F.P.; WRIGHT, D.F. Integration of Geological Datasets for Gold Exploration in Nova Scotia. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 54, p. 1585-1592, 1988.
2. CABRAL JUNIOR, M.; MOTTA, J.F.M.; MELLO, I.S.C.; TANNO, L.C.; SALVADOR, E.D.; CHIERERGATTI, L.A. Recursos Minerais do Fanerozóico do Estado de São Paulo. **Geociências**, São Paulo, v. 20, n. 1/2, p. 105-159, 2001.
3. CABRAL JUNIOR, M.; SINTONI, A.; OBATA, O.R. (Coords.), **Minerais Industriais: orientação para regularização e implantação de empreendimentos**. São Paulo. Publicação IPT 3000, 86 p., 2005.
4. CABRAL JUNIOR, M.; MOTTA, J.F.M.; ALMEIDA, A. DOS S.; TANNO, L.C. Argilas para Cerâmica Vermelha. In: LUZ, A. B.; FREITAS; LINS, F.A.F. (Orgs.), **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 747-770, 2009. (a)
5. CABRAL JUNIOR, M.; CRUZ, T.T.; TANNO, L.C. Central de Massa: uma alternativa para o aprimoramento do suprimento de matéria-prima à indústria de cerâmica vermelha. **Cerâmica Industrial**, v. 14, n. 5/6, p. 11-19, 2009. (b)
6. CABRAL JUNIOR, M.; TANNO, L.C.; SINTONI, A.; MOTTA, J.F.M.; COELHO, J.M. A Mineração de Argila para Cerâmica Vermelha no Brasil. **Brasil Mineral**, v. 294, p. 46-57, 2010.

7. CALAZANS, P.P. & DOMINGUES, A.L. Implantação e funcionalidades de um sistema de informação geográfica mineral na Companhia Vale do Rio Doce – CVRD. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007, p. 1979-1986.
8. CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**, Escala 1: 750.000. São Paulo: CPRM, 2005.
9. DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. **Sistema Cadastro Mineiro do DNPM**. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br>. Acessado em: 28jan2011.
10. DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. **Sistema de Informação Geográfica da Mineração – SIGMine do DNPM**. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br>. Acessado em: 28jan2011.
11. FACINCANI, E. **Tecnologia cerâmica – I laterizi**. Itália: Gruppo Editoriale Faenza Editrice. Faenza. Seconda edizione, 267 p., 1992.
12. FERNANDES L.A. & COIMBRA A.M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 4, p. 717-728, 2000.
13. GONÇALVES, J.H.; ROSA, J.W.C.; ABRAM, M.B.; LEÃO NETO, R.; RAMOS, M.A.B.; JESUS, J.D.A.; MATOS, G.M.M.; BAARS, F.J. Estruturação de Bases de Dados e Metodologia de Integração de Dados em SIG. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (Eds.), **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, p. 633-642, 2003.
14. IAEA. **Spatial data integration for mineral exploration, resource assessment and environmental studies: a guidebook**. Vienna: IAEA, IAEA-TECDOC-782, 1994.
15. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Mapa geológico do Estado de São Paulo. Escala 1: 500.000. São Paulo: IPT. **Monografia**, n. 2, 126 p., 1981.
16. MOTTA, J.F.M.; ZANARDO, A.; CABRAL JUNIOR, M.; TANNO, L.C.; CUCHIERATO, G. As matérias-primas plásticas para a cerâmica tradicional: argilas e caulins. **Cerâmica Industrial**, v. 9, n. 2, p. 33-46, 2004.
17. SMA – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Atlas das Unidades de Conservação do Estado de São Paulo**. São Paulo: SMA, 2001.
18. SCHNEIDER R.L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia - SBG, 1974, v. 1, p. 41-65.
19. SOUZA SANTOS, P. **Tecnologia de argilas**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda. 2 v. 1975.
20. TANNO, L.C.; MOTTA, J.F.M.; CABRAL JUNIOR, M. Pólos de cerâmica vermelha no Estado de São Paulo: aspectos geológicos e econômicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 38, 1994, Blumenau. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica, 1997, v. 1, p. 378-383.

*Manuscrito Recebido em: 17 de outubro de 2011
Revisado e Aceito em: 2 de dezembro de 2011*

APÊNDICE

Para a avaliação de desempenho dos corpos de prova (teste em escala laboratorial), entre outras propriedades, utilizaram-se os valores limites recomendados às massas cerâmicas para uso em cerâmica vermelha descritos por Santos (1975) e adotados no laboratório da Seção de Recursos Minerais e Tecnologia Cerâmica – SRM do IPT, como sintetizados a seguir:

Massa Cerâmica (Extrudada ou Prensada)	Produtos Cerâmicos		
	Tijolos maciços kgf/cm ²	Blocos kgf/cm ²	Telhas kgf/cm ²
Tensão de ruptura da massa seca a 110°C (mínima)	15 kgf/cm ²	25 kgf/cm ²	30 kgf/cm ²
Tensão de ruptura da massa após a queima (mínima)	20 kgf/cm ²	55 kgf/cm ²	65 kgf/cm ²
Absorção de água da massa após a queima (máxima)	-	25%	20%