

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CURSO DE GEOLOGIA**

ALEXANDRE ZAREMBA SAAD

**CARACTERIZAÇÃO MINERAL E TECNOLÓGICA DE RESÍDUO DO
BENEFICIAMENTO DE ARENITOS DA FORMAÇÃO FURNAS:
ESTUDO DE CASO AREAL COSTA, CAMPO LARGO – PR**

CURITIBA

2016

ALEXANDRE ZAREMBA SAAD

**CARACTERIZAÇÃO MINERAL E TECNOLÓGICA DE RESÍDUO DO
BENEFICIAMENTO DE ARENITOS DA FORMAÇÃO FURNAS: ESTUDO
DE CASO AREAL COSTA, CAMPO LARGO – PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Geologia da Universidade Federal do
Paraná como requisito parcial à obtenção do
grau de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Prof^a.Dr^a. Barbara Trzaskos

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Eleonora Maria
Gouvêa Vasconcellos

CURITIBA

2016

**“Sempre o vento sopra mais forte,
pra quem não está acostumado com o frio daqui..”**

(Casa das Máquinas)

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração das professoras Barbara e Eleonora, meus sinceros agradecimentos pelas excelentes orientações.

Merecido agradecimento por sábias orientações, desde o início desta pesquisa, ao Gilmar da MINEROPAR (Serviço Geológico do Paraná). Obrigado pela sugestão do tema e pelas experiências compartilhadas.

Ao pessoal das empresas Areal Costa Ltda. e Mineral Geologia, agradeço por toda colaboração com a realização desta pesquisa. Também à empresa Oxford Mineração Ltda., pela produção de dados tecnológicos complementares.

Agradeço ao LAMIR (Laboratório de Análises de Minerais e Rochas), do Departamento de Geologia, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), que por meio de seus recursos humanos e materiais, possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa. Parabéns ao laboratório, pela qualidade do trabalho que tive o privilégio de compartilhar, especialmente junto aos técnicos Ivan e Elisiane, obrigado por me ajudarem tantas vezes.

Gratidão imensa à Maysa, amada companheira, por estar junto comigo todos os dias. Aos meus familiares e amigos, agradeço todo o carinho e apoio que me deram.

RESUMO

O material resultante do beneficiamento de arenitos da Formação Furnas é caracterizado neste trabalho, em termos minerais e tecnológicos, com o objetivo de gerar dados que possibilitem a análise dos potenciais em aplicações industriais do material. O estudo foi realizado na mineração Areal Costa, em Campo Largo - PR. Os métodos utilizados incluíram análises por difratometria de raios X, fluorescência de raios X, microscopia eletrônica de varredura, granulometria por peneiramento e a *laser* e ensaios tecnológicos como cor de queima, retração linear, resistência à flexão, absorção de água e dilatação térmica linear. O material é composto por quartzo e argilominerais dos grupos da caulinita e illita, com predominância do quartzo e da caulinita, em proporções semelhantes. Os cristais de caulinita ocorrem em pilhas de cristais pseudo-hexagonais, bem cristalizados. Os ensaios tecnológicos revelaram cor de queima branca e índice de retração linear e de resistência a flexão compatível com os esperados em aplicações cerâmicas. Outros potenciais identificados são em aplicações nas indústrias de papel como carga, de refratários, tintas e cosméticos.

Palavras-chave: Argilomineral, Formação Furnas, Caracterização tecnológica, Rejeitos de mineração.

ABSTRACT

The material resulting from the processing of sandstones from the Furnas Formation is characterized in this work, in terms of minerals and technology, with the objective of data generating that allow the analysis of the potential in industrial applications of the material. The study was reported in Areal Costa mining, in Campo Largo - PR. The methods used included X-ray diffraction analysis, X-ray fluorescence, scanning electron microscopy, sieving and laser grading and technological tests such as firing color, linear retraction, flexural strength, water absorption and linear thermal expansion. The material is composed of quartz and clay minerals of the kaolinite and illite groups, predominantly quartz and kaolinite, in similar proportions. The kaolinite crystals occur in stacks of well crystallized pseudohexagonal crystals. The technological tests revealed white burn color and linear retraction index and flexural strength compatible with those expected in ceramic applications. Other identified potentials are in applications in the paper industry as filler, refractory, paints and cosmetics.

Keywords: Clay minerals, Furnas Formation, Characterization Technology, Tailings of mining.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do Areal Costa.....	2
Figura 2: Esquema diagramático das camadas octaédrica e tetraédrica.....	5
Figura 3: Fluxograma de atividades realizadas.....	7
Figura 4: Processos de preparação das amostras para confecção dos corpos de prova.....	10
Figura 5: Modelo dos corpos de prova confeccionados.....	11
Figura 6: Sequência cronológica dos processos e ensaios tecnológicos realizados.....	11
Figura 7: Fotografias da rocha minerada.....	13
Figura 8: (A) Hidrociclone; (B) Detalhe de material selecionado.....	14
Figura 9: Porção superior da pilha de rejeito da qual foram coletadas as amostras.....	14
Figura 10: Difrátogramas comparados da amostra AC-4.....	15
Figura 11: (A) Cristal pseudo-hexagonal de caulinita; (B) Amostra AC-3.....	19
Figura 12: Pilhas ou “livros” de cristais de caulinita com hábito pseudo-hexagonal.....	20
Figura 13: Imagem fotomicrográfica da amostra AC-2, com zoom de agregado.....	20
Figura 14: Imagem fotomicrográfica com gráficos de análise EDS da amostra AC-2.....	21
Figura 15: Imagem fotomicrográfica com resultado de análise EDS, da amostra AC-4.....	21
Figura 16: Gráfico de porcentagem em peso cumulativa para as frações granulométricas.....	23
Figura 17: Corpo de prova da amostra AC-5, com cor de queima branca.....	25
Figura 18: Principais aplicações industriais do caulim.....	28
Figura 19: Gráfico do potencial de aplicação industrial.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos argilominerais.....	15
Tabela 2: Resultados das análises químicas de óxidos das amostras analisadas.....	17
Tabela 3: Resultados dos ensaios tecnológicos da amostra AC-3.....	25
Tabela 4: Resultados dos ensaios tecnológicos aplicados na amostra AC-5.....	26
Tabela 5: Classificação dos Grupos de revestimentos cerâmicos.....	27

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO.....	2
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	6
4.1 TRABALHO DE CAMPO.....	7
4.2 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E QUÍMICA.....	8
4.2.1 Difratometria de raios X (DRX)	8
4.2.2 Fluorescência de raios X (FRX).....	9
4.2.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV/EDS).....	9
4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA.....	9
4.3.1 Granulometria	10
4.3.2 Ensaio tecnológicos	10
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	12
5.1 TRABALHO DE CAMPO.....	12
5.2 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E QUÍMICA.....	15
5.2.1 Difratometria de raios X (DRX)	15
5.2.2 Fluorescência de raios X (FRX).....	16
5.2.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV/EDS).....	18
5.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA.....	23
5.3.1 Granulometria	23
5.3.2 Ensaio tecnológicos	25
6. POTENCIALIDADES DE APLICAÇÕES INDUSTRIAIS	28
7. CONCLUSÕES	31
8. REFERÊNCIAS.....	32
ANEXO 1: Difratogramas (DRX) das amostras AC-1, AC-2 e AC-3.....	36
ANEXO 2: Tabela completa dos resultados das análises tecnológicas	37

1. INTRODUÇÃO

A humanidade evolui conforme aprende a se beneficiar dos materiais constituintes da Terra. A história humana pode ser observada associando-se passos evolutivos do homem com a descoberta de utilidades para materiais naturais. Um dos materiais que auxiliou o homem desde as primeiras civilizações é a argila. Havendo referências do uso de fornos para queima de tijolos de argila desde 8 a 7 milênios a. C. (Gomes 1988). Na presente pesquisa busca-se o conhecimento das propriedades e utilidades de material argiloso, componente de rejeito da mineração de arenitos.

Os arenitos da Formação Furnas, Devoniano da Bacia do Paraná, afloram por 4.185 km² no Estado do Paraná e são recursos minerais na produção de areia e caulim (MINEROPAR 2016). A presença dos argilominerais caulinita e illita, que compõem o cimento da rocha, tem origem relacionada à evolução diagenética destes arenitos (Melo 2006). Nas minerações de arenito, para produção de agregados selecionados, a rocha é submetida a processo de beneficiamento que gera resíduo lamoso, acumulado como rejeito de mineração.

A caracterização dos argilominerais e de suas propriedades foram objeto de vários estudos (e.g. Santos (1989), Chipera & Bish (2001), Luz *et al.* (2005), Murray (2007) e Christofolletti *et al.* (2015)). O conhecimento acerca das propriedades dos argilominerais é pertinente, pois delas resultam suas diversas aplicações industriais. A revelação de utilizações para resíduos de beneficiamento é lucrativa, pois conduz ao aperfeiçoamento da mineração e para restrição da chance de impactos ambientais envolvendo tais materiais.

Este estudo objetiva a definição das características do material componente do resíduo do beneficiamento de arenitos da Formação Furnas, buscando ainda a avaliação de possíveis usos para o material. Pretende-se produzir informações científicas que caracterizem química, física, mineral e tecnologicamente o rejeito da mineração. Contribuindo para o conhecimento geológico e tecnológico, possibilitando assim a avaliação das suas potencialidades em aplicações industriais.

2. ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO

O areal, objeto deste estudo de caso, está inserido na poligonal de direitos minerários nº 6230/1944 (DNPM 2016) e pertence à empresa de mineração Areal Costa Ltda., a qual atua no mercado de agregados desde 1953. A mineração possui planta de beneficiamento equipada de hidrociclone, que realiza a lavagem do agregado. Com volume atual de produção estimado em 4.000 m³/mês de areia lavada e média de 90 m³/mês, equivalendo a 2,25%, de rejeito argiloso. A área localiza-se na região sudeste do Estado do Paraná, no município de Campo Largo, próximo ao limite de Balsa Nova (Figura 1). O acesso a partir de Curitiba se faz pela BR-277, passando por Campo Largo, com entrada próxima ao pedágio no alto da serra de São Luiz do Purunã.

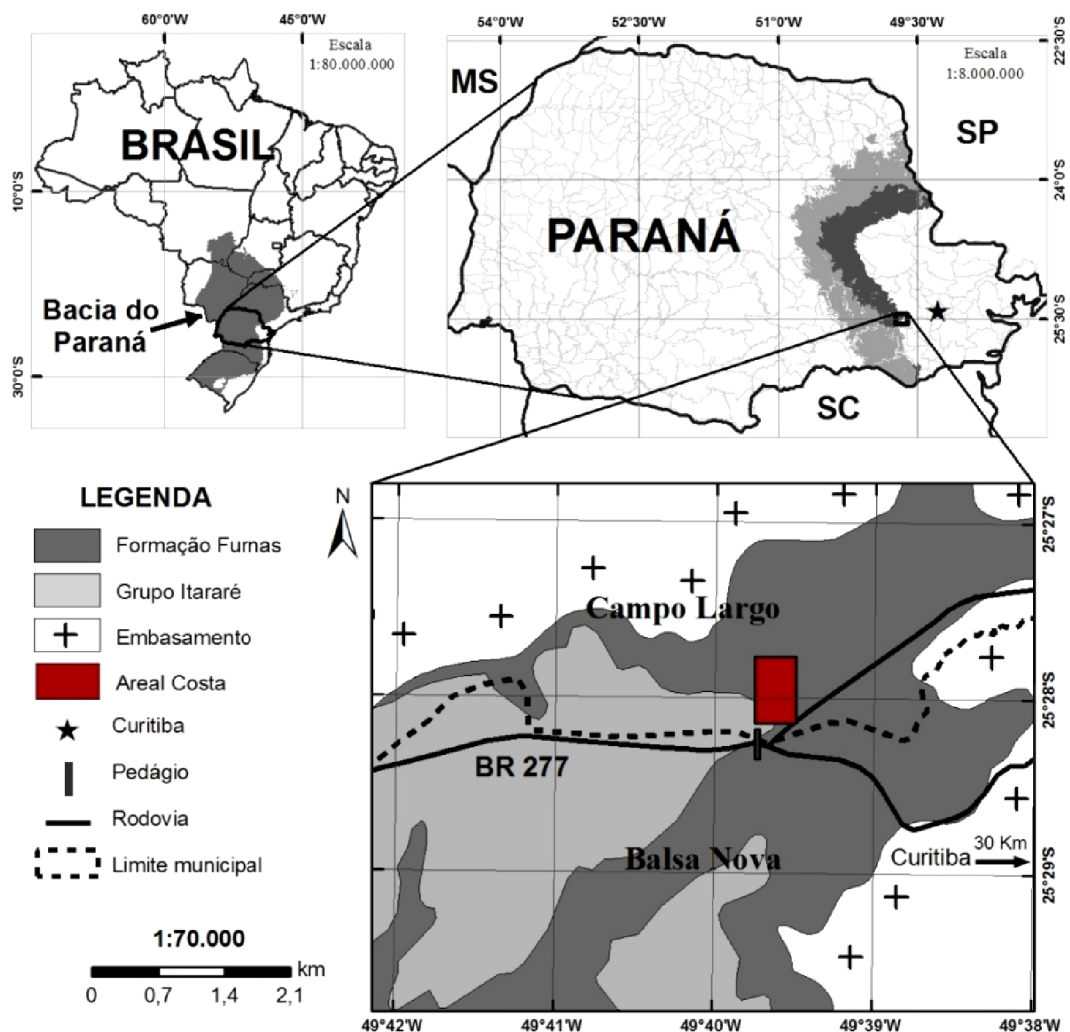


Figura 1: Localização do Areal Costa no estado do Paraná e mapa geológico de detalhe da região.

A Formação Furnas corresponde ao Devoniano Inferior da Bacia do Paraná e está inserida no Grupo Paraná ou de acordo com MILANI *et al.* (2007), Supersequência Paraná. Esta que inclui também a Formação Ponta Grossa, composta predominantemente por folhelhos, que sobrepõe os arenitos transicionalmente, mas que não aflora no local. São rochas associadas ao Grupo Itararé que afloram em contato erosivo sobre os arenitos devonianos, principalmente diamictitos e arenitos com intercalações de camadas argilosas. Estes que representam o registro Permo-Carbonífero na borda leste da Bacia do Paraná. O contato basal da Formação Furnas, nas proximidades da área de estudo, é do tipo erosivo sobre rochas metassedimentares neoproterozoicas do Grupo Açungui e sobre rochas da Formação Camarinha, registro sedimentar terrígeno do Neoproterozóico a Cambriano (MINEROPAR 2005).

Em Assine (1996) são descritas três unidades, equivalentes a hierarquia de membros da Formação Furnas. A Unidade I, basal, é caracterizada por fácies de arenitos médios a muito grossos, com grãos angulosos a sub angulosos e estratificações cruzadas planar e tangencial na base, além de arenitos conglomeráticos e conglomerados. Na Unidade II dominam os arenitos finos a grossos, predominando areia média, com estratificações cruzadas planar a tangencial na base e acanalada, ocorrendo gradações para siltitos argilosos, ricos em muscovita e com laminações heterolíticas onduladas. A Unidade III, superior, é composta por arenitos médios a muito grossos, com estratificações cruzadas tabular e acanalada e depósitos delgados e extensos de seixos, sendo escassos os níveis de siltito argiloso.

Com relação aos ambientes de deposição da Formação Furnas, Lobato & Borghi (2005) definem intervalos estratigráficos relacionados aos sistemas deposicionais marinho raso, deltaico/estuarino (maré) e flúvio-deltaico entrelaçado. A ordem corresponde respectivamente dos intervalos antigos para os mais recentes.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são brevemente apresentadas algumas definições dos principais conceitos utilizados no desenvolvimento desta pesquisa. Sendo eles: argilas; argilominerais; e caulim.

Argila

Diferentes conceitos para o termo argila são citados na literatura, a depender da finalidade, argila pode se referir à dimensão, por exemplo, um material composto por cristais de quartzo com granulometria argila. Ou ainda, se referir à composição, neste caso o termo argila está relacionado aos argilominerais. Neste sentido, em Santos (1989), o autor explica que, a classificação da argila não deve ser confundida com a classificação dos argilominerais que a constituem. São apresentadas abaixo algumas definições para o conceito de argilas:

“A escala *Wentworth scale*, define o grau argila como mais fino que 4 μm .”
(Wentworth, 1922).

“Argila é qualquer material argiloso, com granulação fina, natural, terroso.”
(Grim, 1968).

“Argilas são rochas naturalmente finamente divididas, com elevada porcentagem de partículas cristalinas de argilominerais, essas partículas passam totalmente na peneira USS n.º325 (abertura de 44 micrômetros) e têm, naturalmente, forma lamelar ou fibrosa, decorrente da estrutura cristalina peculiar do argilomíneral.” (Santos, 1989)

Argilominerais

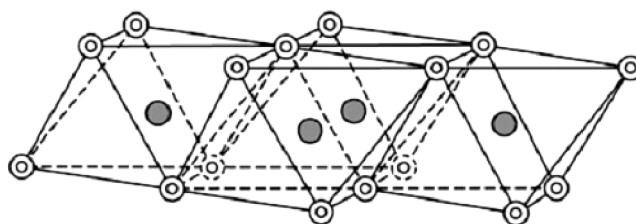
Os argilominerais são alumino silicatos hidratados e em alguns destes minerais, ferro e magnésio substituem o alumínio. Em outros, elementos alcalinos e alcalinos terrosos ocorrem como constituintes essenciais (Grim 1968). A classificação dos principais argilominerais, com base nas suas estruturas, é apresentada na tabela 1.

Tabela 1: Classificação dos argilominerais, modificado de Grim (1968).

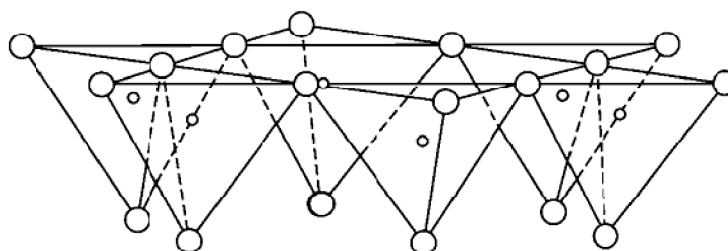
Classificação dos Argilominerais				
Cristalino				Amorfo
Duas camadas	Três camadas	Camadas mistas regulares	Estrutura em cadeia	
Grupo da Caulinita Caulinita, Dickita e Nacrita Haloisita	Grupo da esmectita Montmorilonita (Expansível) Ilita (Não expansível)	Grupo da Clorita	Sepiolita Paligorsquita	Grupo da Alofana

Murray (2007) afirma que a estrutura dos argilominerais cristalinos consiste em camadas ou folhas octaédricas e tetraédricas (Figura 2). A folha octaédrica é composta por empacotamento apertado de oxigênio e hidroxila (OH^-), juntamente com átomos de alumínio, ferro e magnésio. Enquanto a camada tetraédrica é formada por sílica e oxigênio ou hidroxila, arranjados na coordenação tetraédrica formando uma rede, conhecida como folha tetraédrica de sílica.

Camada octaédrica



Camada tetraédrica



● Alumínio ⊙ Hidroxila ○ Oxigênio ◦ Sílica

Figura 2: Esquema diagramático das camadas octaédrica e tetraédrica, modificado de Murray (2007).

A estrutura básica dos minerais do grupo da caulinita, compreendendo ainda a dickita, nacrita e haloisita, é formada por camadas chamadas 1:1, com uma folha tetraédrica e uma folha octaédrica. A fórmula estrutural da caulinita é $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ e sua composição química teórica: SiO_2 , 46.54%; Al_2O_3 , 39.50%; e H_2O , 13.96% (Murray 2007).

A illita faz parte dos argilominerais com estrutura em camada 2:1 e fórmula química $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, \text{H}_2\text{O}]$. Composta por três folhas, sendo duas tetraédricas e uma octaédrica com o cátion potássio na posição entre camadas. Diferindo da muscovita bem cristalizada por conter menos substituições de Si^{4+} por Al^{3+} , nas folhas tetraédricas (Murray 2007).

Gomes (1988) afirma que os argilominerais formam-se principalmente a partir do intemperismo das rochas, mas também por sedimentação seguida de diagênese. Sendo os processos de hidrólise e hidratação, os responsáveis pela gênese de argilominerais. A caulinita forma-se mais facilmente nos produtos da meteorização de rochas ácidas, caso de granitos, granodioritos e gnaisses. Preferencialmente em locais de grande pluviosidade e boa drenagem, para que os produtos de meteorização empobrecam em sílica e em metais alcalinos e calco-alcalinos e enriqueçam em alumínio.

Gomes (1988) classifica ainda, em três, os tipos de formação dos argilominerais, que são: os neoformados ou formados pela primeira vez; os transformados, resultantes de transformações físico-químicas de minerais pré-existent; e os herdados, os quais resultam basicamente de divisão física de minerais pré existentes.

Caulim

Caulim é uma argila macia, branca plástica constituída predominantemente pelo mineral caulinita. Depósitos de caulim são classificados como primários ou secundários. Caulins primários resultam do intemperismo residual ou alteração hidrotermal e caulins secundários têm origem sedimentar. O caulim é um importante mineral industrial e é matéria prima em muitas aplicações industriais (Muray 2002).

Além da caulinita, podem ocorrer, no mesmo depósito, outros minerais como haloisita ou metahaloisita, diquita e nacrita, que apresentam composição química muito similar, porém com diferenças estruturais importantes. A haloisita pode estar associada à caulinita, sendo possível a sua identificação apenas através do uso de microscópio eletrônico de varredura (MEV) ou de transmissão (MET). Normalmente, a caulinita apresenta partículas hexagonais, enquanto a haloisita aparece com hábito tubular (Santos 1975).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados nesta pesquisa são componentes do resíduo de beneficiamento de arenitos e ao todo, foram coletadas cinco amostras, identificadas como AC-1, AC-2, AC-3, AC-4 e AC-5. As quatro primeiras amostras têm ordem

crescente diretamente proporcional ao tempo de permanência na pilha. A amostra AC-5, trata-se de composição das quatro amostras iniciais.

Em virtude das diversas análises realizadas no material, é apresentado um fluxograma que resume em ordem cronológica as atividades realizadas (Figura 3).

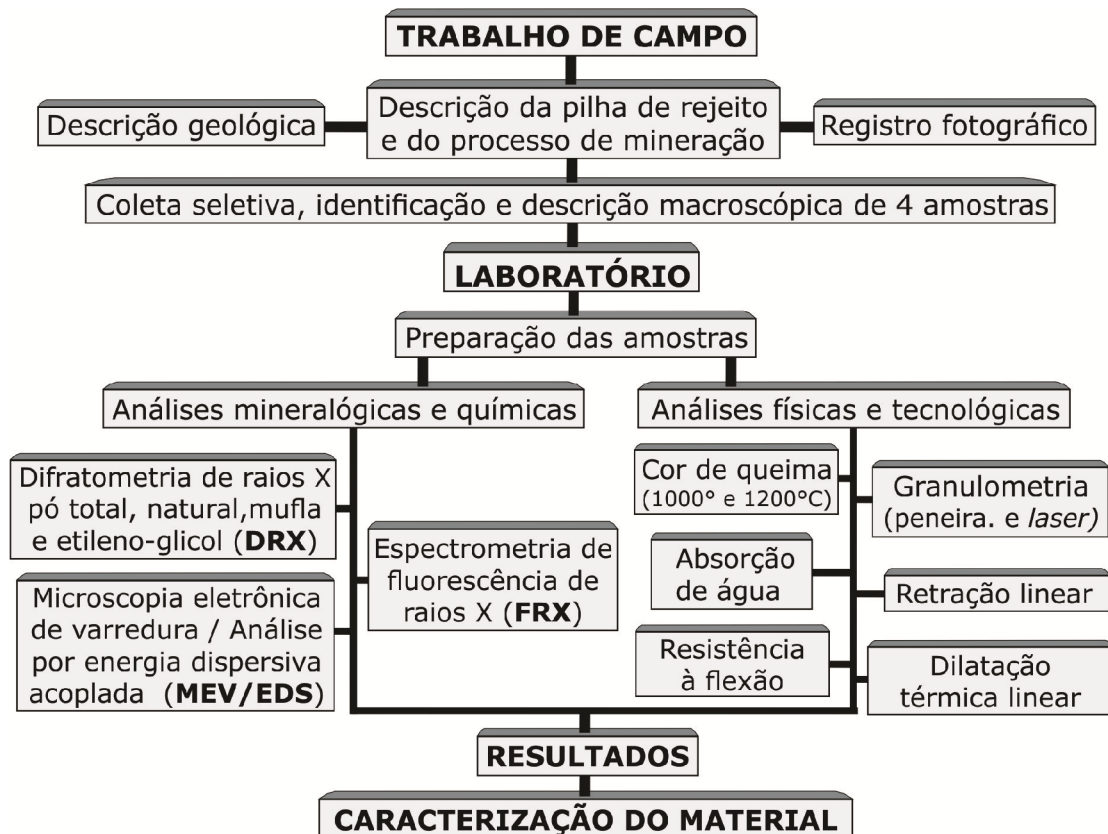


Figura 3: Fluxograma de atividades realizadas.

4.1 TRABALHO DE CAMPO

Anteriormente ao trabalho de campo foi realizada uma pesquisa bibliográfica prévia acerca do tema e dos métodos a serem aplicados. O trabalho de campo teve o objetivo de obter informações quanto à geologia local e a descrição geral do processo de mineração. A descrição geológica envolveu o reconhecimento de litotipos na frente de lavra, suas estruturas e padrão de empilhamento estratigráfico. Foi realizado o registro fotográfico e coleta de amostras do rejeito e da rocha lavrada. Para isto, além do veículo para locomoção, foram necessários sacos de amostras, câmera fotográfica, martelo, entre outros. As amostras coletadas foram identificadas e descritas macroscopicamente, sendo posteriormente encaminhadas ao laboratório.

4.2 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E QUÍMICA

Em laboratório as amostras foram submetidas à preparação e às análises químicas, mineralógicas e tecnológicas. Os procedimentos e análises foram realizados no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR), do Departamento de Geologia, localizado no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Os métodos empregados nas análises estão de acordo com os padrões adotados pelo laboratório.

4.2.1 Difractometria de raios X (DRX)

Entre as análises mineralógicas foi realizada a difratometria de raios X (DRX), pelos métodos do pó total e com tratamento específico para argilominerais. Este que incluiu as leituras das lâminas seca ao ar, calcinada em mufla a 550°C e solvatada com etilenoglicol. O equipamento utilizado foi o difratômetro de raios X, marca PANALYTICAL, modelo EMPYREAN, com detector X'Celerator. Nas condições gerais de leitura com radiação CuK α (40 kV, 30 mA, *step size* = 0.02°2 θ e tempo de contagem de 10 s). Sendo as faixas de varredura utilizadas, de 3.0 – 70°2 θ (análise do pó total) e de 3,0 – 30°2 θ (análise das amostras tratadas). O software utilizado para a interpretação dos dados foi o X'Pert High Score Plus, com posterior comparação com o banco de dados PDF - 2.

Na preparação do material, para o método do pó total, as amostras foram secas em estufa (100°C) durante 24 horas. Após este período foi realizado o quarteamento, separando 35 gramas de cada amostra. Esta quantidade foi pulverizada em pulverizador marca AMEF, com panela de tungstênio (PWC) por 24 segundos. Seguidamente foram confeccionadas as pastilhas prensadas do pó (não orientado), as quais foram submetidas à análise qualitativa e finalmente a comparação com o banco de dados.

A preparação das amostras para o método com tratamento para identificação de argilominerais (grupos) seguiu os seguintes processos. As amostras foram quarteadas separando-se 50 gramas de cada, destas, 10 gramas foram desagregadas e misturadas com 0,5 gramas de pirofosfato de sódio. Esta mistura foi agitada com água desionizada (100 ml) e colocada em “repouso” na proveta. Após duas horas foi coletado o sobrenadante e depositado sobre lâminas de vidro para secagem ao ar. Posteriormente foi realizada a leitura da lâmina seca ao ar, a leitura

da lâmina calcinada a 550°C por duas horas e a leitura da lâmina solvatada com etilenoglicol após seis horas. Em seguida realizou-se a análise qualitativa e a comparação dos difratogramas tratados.

4.2.2 Fluorescência de raios X (FRX)

Para obtenção de dados químicos do material foi realizada a análise química semi quantitativa por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX). Para tal foi utilizado o espectrômetro de fluorescência de raios X da marca PANALYTICAL, modelo Axios Max, tubo Ródio 4kv. O software utilizado para a interpretação foi o SuperQ 5I.

Com relação à preparação das amostras foram realizados os seguintes passos. Inicialmente as amostras passaram pela secagem em estufa (100°C) por 24 horas, em seguida realizou-se o quarteamento separando 35 gramas de cada amostra, estas foram pulverizadas em pulverizador marca “AMEF”, com panela de tungstênio (PWC). Após a moagem foram misturadas 7,0 gramas de amostra com 1,4 gramas de cera orgânica e confeccionadas as pastilhas prensadas. Seguidamente foi realizado o ensaio de perda ao fogo em mufla (1.000°C) por 2 horas e finalmente a análise semi quantitativa ou varredura química.

4.2.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV/EDS)

Foi realizado estudo por microscopia eletrônica de varredura com microanálise pontual por energia dispersiva acoplada (MEV/EDS), objetivando complementar os dados para a identificação mineralógica, com enfoque nos argilominerais. Para tal, foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura com EDS acoplado, da marca JEOL, modelo 6010LA, com distância WD = 9 mm e aceleração de 3 kv.

A preparação das amostras para a obtenção das fotomicrografias e análises químicas qualitativas envolveu a montagem, em suporte apropriado de fragmentos milimétricos de material *in natura*. Depois de secagem em estufa com temperatura controlada (50°C). Posteriormente os fragmentos foram metalizados com ouro e platina. As imagens foram obtidas em pontos específicos da amostra que se mostraram interessantes e apresentam aumentos que variam de 400 a 5.000 vezes.

4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

4.3.1 Granulometria

A análise granulométrica foi realizada a partir do material *in natura*, apenas desagregado manualmente. Para partículas com diâmetro maior que 2,5 mm, até a fração grânulo, a análise foi realizada por peneiramento. Utilizaram-se peneiras com aberturas de 5, 9, 16, 32 e 60 mesh, sendo que as peneiras de 5 e 60 mesh possuem aberturas equivalentes à 4 e 0,250 mm, respectivamente. Já para as frações areia grossa, média, e fina, silte e argila utilizou-se granulômetro por difração a *laser*, marca/modelo *Microtrac SIA S350*. Os valores obtidos pelos dois métodos foram recalculados proporcionalmente, com posterior exibição na forma de gráfico.

4.3.2 Ensaios tecnológicos

A preparação das amostras para os ensaios físicos tecnológicos, compostos pelos ensaios de cor de queima, retração linear e módulo de ruptura à flexão, seguiu procedimentos padrões do laboratório. Os processos aplicados ao material previamente a confecção dos corpos de prova, são sumarizados na figura 4.

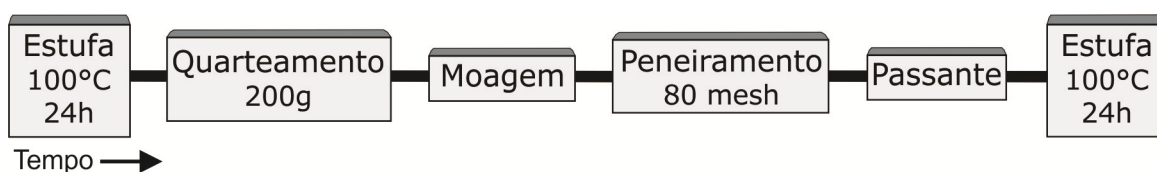


Figura 4: Processos de preparação das amostras para confecção dos corpos de prova.

A preparação iniciou com a secagem do material na estufa a 100°C, por 24 horas. Após secas, as amostras foram desagregadas com a ajuda de uma espátula de metal, quarteadas em um quarteador Jhones, para obtenção da fração de 200g representativa. Esta quantidade foi então submetida à moagem em moinho excêntrico de vibração com bolas cerâmicas, modelo CB2-T, durante 30 minutos. Após a moagem, o material que passou pela malha de 80 mesh foi colocado em estufa a 100°C por 24 horas.

Depois das amostras secas e moídas iniciou-se a confecção dos corpos de prova. Para isso foi utilizado grande variedade de equipamentos laboratoriais, entre eles: forma, pincel, espátula, balança, peneira, almofariz de porcelana, gabarito de aço, prensa, borrifador de água, paquímetro, etc.

Conforme o método adotado, foi então adicionado entre 15% e 18% de umidade em massa. Depois de umidificadas, foram pesadas aproximadamente 12

gramas da amostra transferindo-a para o gabarito de aço e prensando em prensa hidráulica de três toneladas. Este procedimento foi repetido 44 vezes, ou seja, 11 corpos de prova para cada uma das quatro amostras. Os corpos de prova possuem perfil retangular com dimensões de acordo com o modelo da figura 5.

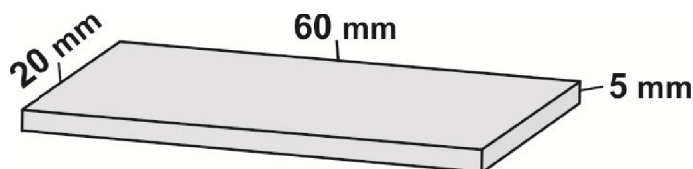


Figura 5: Modelo dos corpos de prova confeccionados.

Depois de confeccionados, os corpos de prova passaram por uma sequência de processos e análises, que é resumidamente apresentada na Figura 6.

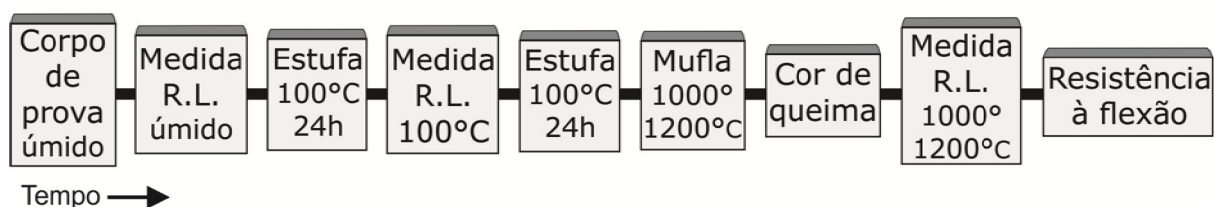


Figura 6: Sequência cronológica dos processos e ensaios tecnológicos realizados.

Com os corpos de prova úmidos, foi realizada a medição das suas dimensões com paquímetro, a fim de obter dados para o cálculo dos índices de retração linear. Seguidamente foi realizada a secagem dos corpos, em estufa a 100°C por 24 horas. Novamente os corpos de prova foram medidos com paquímetro, desta vez, secos e aquecidos. Os dados foram comparados com as outras medições, de onde se obteve o índice de retração linear das amostras após secagem a 100°C. Depois os corpos de prova foram novamente para a estufa, nas mesmas condições, para que pudessem ir para a mufla, já aquecidos.

Em seguida realizou-se a queima por duas horas em mufla, sendo que quatro corpos foram queimados sob a temperatura de 1.000°C e outros quatro sob a temperatura de 1.200°C. Para resultados comparativos, fez-se a comparação visual da cor do corpo de prova a 100 °C, 1.000 °C e 1.200°C, com padrões colorimétricos (Munsell Soil Color Charts, 2000), registrando-se o nome da cor. Para resultados quantitativos, utilizou-se um analisador de cores, modelo Instrutherm ACR-1023 (Espaço RGB: 0-1023 / Espaço HSL: 0-1,000). Os mesmos corpos de prova queimados nas temperaturas de 1000 °C e 1.200 °C foram medidos com

paquímetro. Sendo os valores resultantes incluídos na fórmula utilizada para cálculo do índice de retração linear.

O ensaio de resistência à flexão foi realizado com o equipamento Flexurômetro BP Engenharia. Para este ensaio foram utilizados os corpos de prova queimados em mufla. A metodologia adotada consiste na verificação da carga aplicada sobre o corpo de prova até o momento da ruptura, verificada na régua, na escala compatível com a distância dos apoios. Os valores finais são apresentados em kg/cm², obtidos por meio de média aritmética do número de corpos de prova testados.

O ensaio de absorção de água foi realizado com os corpos de prova queimados a 1.240°C e seguidamente imersos em água fervente por duas horas. Sendo posteriormente calculada a porcentagem de água absorvida. A determinação do coeficiente dilatométrico linear ocorreu entre 25 e 325°C com corpo de prova seco e pós queima, utilizando Dilatômetro BP Engenharia. As duas últimas análises foram realizadas em laboratório externo, pertencente à empresa Oxford Mineração Ltda., com os resultados sendo gentilmente cedidos ao autor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 TRABALHO DE CAMPO

Em campo realizou-se as descrições geológica, do processo de mineração e do material de rejeito. A descrição geológica é composta pela descrição petrográfica, em diversas escalas, da rocha na frente de lavra. A informação coletada e posteriormente comparada com a bibliografia correspondente viabiliza discussão com viés prospectivo, envolvendo o material analisado e a posição estratigráfica da rocha minerada.

Na frente de lavra (Figura 7A), foram descritos arenitos esbranquiçados de granulação fina a grossa, em camadas com geometrias tabulares e em cunha, de espessuras que variam de poucos centímetros a pouco mais que um metro. São abundantes nestas camadas as estratificações cruzadas planar a tangencial na base e acanaladas, outra característica comum é a diminuição granulométrica ascendente. Por vezes a porção basal das camadas é composta por arenito grosso a conglomerático (Figura 7B), que grada em direção ao topo para arenitos médios.

Nestas porções mais grossas é visível a olho nu, a presença de material argiloso, branco, envolvendo parcialmente os grãos. Algumas camadas de siltito argiloso, com espessuras que não ultrapassam trinta centímetros, ocorrem intercaladas com as camadas de arenito (Figura 7C). O siltito possui predominantemente laminações planoparalelas, mas também cruzadas de pequeno porte e onduladas, tipo '*wavy*' e '*linsen*'. Além de grãos de grãos de quartzo e argila branca, o siltito é rico em micas, sericita e/ou muscovita.

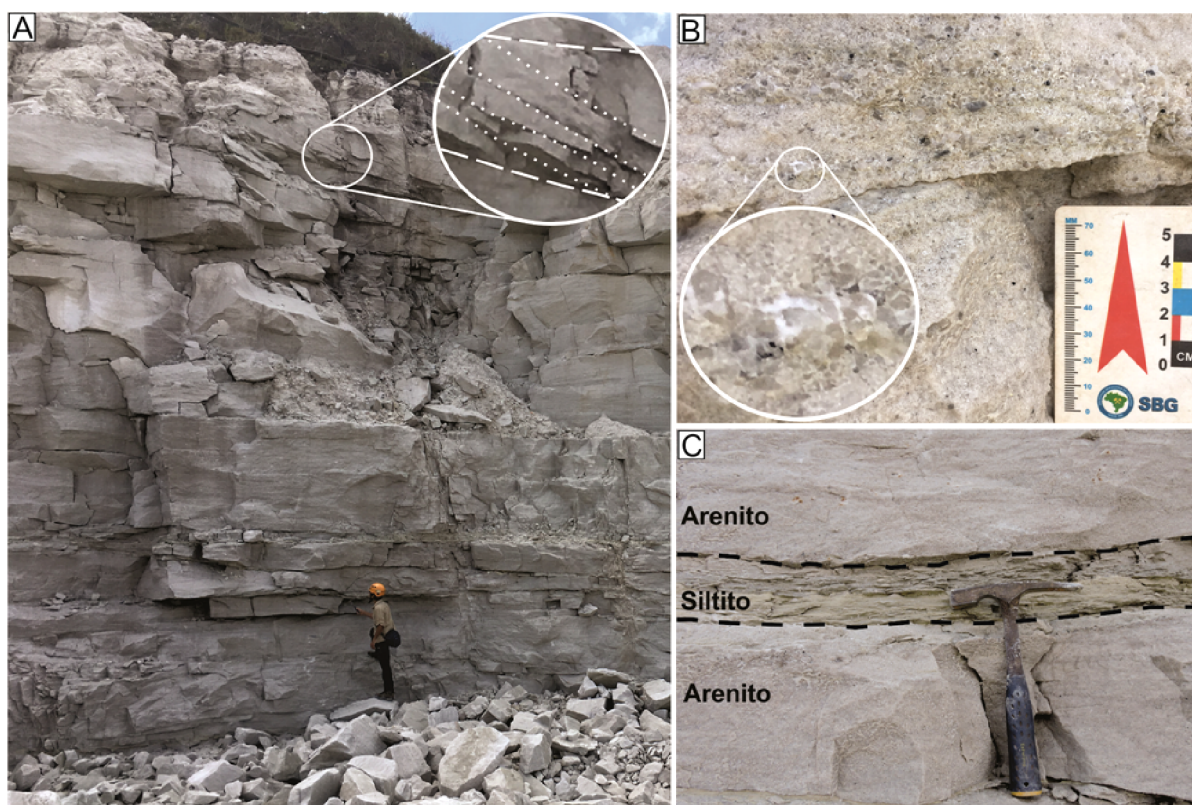


Figura 7: Fotografias da rocha minerada; (A) Visão parcial da frente de lavra, notar a estrutura acamadada da rocha e ainda estratificações cruzadas internas às camadas; (B) Detalhe de arenito conglomerático com zoom mostrando grãos envolvidos por argila branca; (C) Detalhe de camada de siltito rico em mica, entre camadas de arenito médio a grosso.

Comparando a descrição realizada com as referências da Formação Furnas, é possível estabelecer a relação do intervalo estratigráfico minerado com a Unidade II, definida por Assine (1996). Esta unidade que, em comparação às demais, apresenta a maior quantidade de rochas com granulação fina, coerentemente com o observado. A presença relevante de níveis de arenito conglomerático, sugere ainda que o intervalo estratigráfico minerado possa ser correlato da porção basal da Unidade II, na zona de transição entre a Unidade I e II, da Formação Furnas.

Depois de extraída, a rocha passa por sistema de britadores e peneiras rotativas, tipo trommel, com malhas de 5 mm, onde é segregado o produto a ser vendido como areia média (Figura 8B). O passante é submetido à lavagem, em equipamento conhecido como hidrociclone (Figura 8A), que realiza a separação granulométrica com o uso de água, em um sistema de força centrífuga. A partir deste processo é obtido o material comercializado como areia fina e o resíduo da lavagem, que é composto por mistura de água com partículas finas em suspensão.



Figura 8: (A) Vista parcial da planta de beneficiamento com detalhe para o hidrociclone; (B) Detalhe de material selecionado que constitui exemplo de produto da mineração.

Este resíduo realiza trajetória passando por sequência de tanques ou bacias de decantação, onde o material se deposita e é periodicamente transportado até local dentro da planta de beneficiamento, onde é empilhado a céu aberto (Figura 9).



Figura 9: Porção superior da pilha de rejeito da qual foram coletadas as amostras.

Macroscopicamente o material tem cor branca a bege, granulação silte/argila com grãos de areia subordinados e blocos de arenito isolados.

5.2 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E QUÍMICA

5.2.1 Difratometria de raios X (DRX)

A análise mineralógica por difratometria de raios X resultou na identificação de minerais pertencentes ao grupo dos tectossilicatos e filossilicatos (Figura 10). As amostras analisadas, AC-1, AC-2, AC-3 e AC-4, exibiram resultados muito semelhantes, o que torna o resultado da amostra AC-4, representativo das demais.

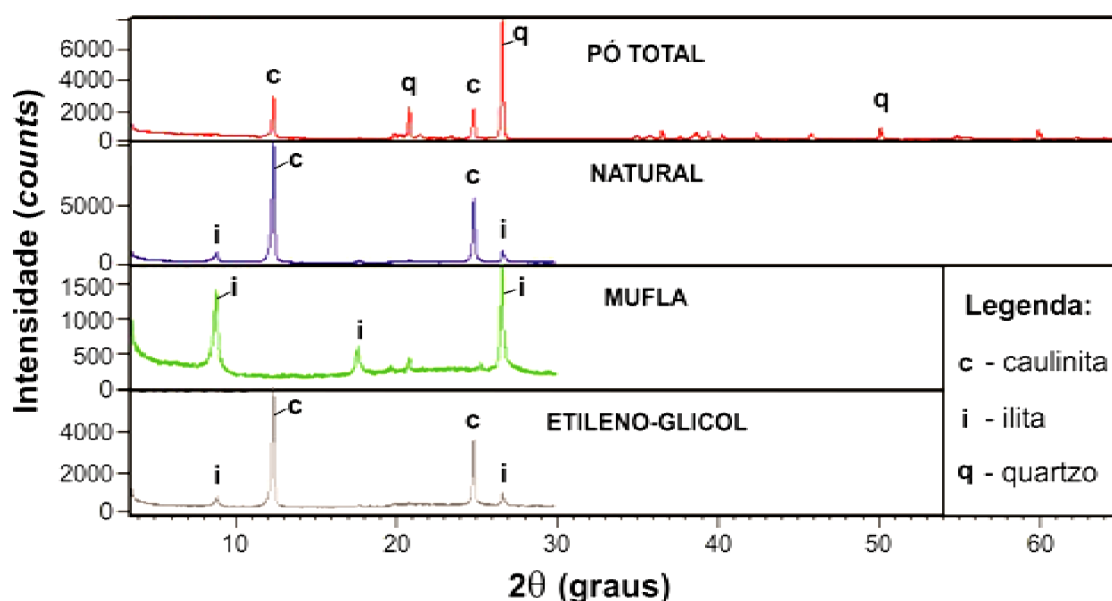


Figura 10: Difratomogramas comparados da amostra AC-4, obtidos pelos métodos pó total, natural, calcinado em mufla a 550°C e com etileno-glicol.

O quartzo é o mineral que representa o grupo dos tectossilicatos, aparecendo com intensidade nos difratogramas. Representado pelo pico principal de distância interplanar $d = 3.34 \text{ \AA} = 26,66^\circ 2\theta$, pico secundário com $d = 4.25 \text{ \AA} = 20,89^\circ 2\theta$ e pico de terceira ordem com $d = 1.81 \text{ \AA} = 50,75^\circ 2\theta$. As intensidades elevadas dos picos referentes ao quartzo, relativamente aos outros picos, indicam que o mineral ocorre com frequência nas amostras.

Caulinita e a illita são os filossilicatos pertencentes ao grupo dos argilominerais identificados nos difratogramas. Os picos referentes a estes minerais ocorrem com maior intensidade nos difratogramas das amostras tratadas, no difratograma do pó total aparecem apenas os picos da caulinite. Os argilominerais do grupo da caulinite predominam nas amostras, identificados pelas reflexões basais

proeminentes que, segundo Grim (1968), são representadas pelo pico principal $d = 7.14 \text{ \AA}$ ($12,37^\circ 2\theta$) e pelo pico secundário $d = 3.58 \text{ \AA}$ ($24,9^\circ 2\theta$).

O resultado obtido para a caulinita, com picos bem definidos, ou seja, com pouca variação no eixo x ($^\circ 2\theta$), reflete a condição granulométrica dos cristais. O padrão obtido foi comparado com dados de Chipera & Bish (2001), assemelhando-se aos resultados referentes a cristais de caulinita, com diâmetro da face maior entre 5 e 18 μm . Os picos da caulinita não aparecem no difratograma da amostra calcinada em mufla a 550°C , como consequência da geração de metacaulinita, produto amorfo resultante da desidroxilação da caulinita, conforme Santos (1989).

A ilita aparece nos difratogramas das análises com tratamento de todas as amostras e possui pico principal $d = 9,99 \text{ \AA}$ ($8,88^\circ 2\theta$), pico secundário $3,45 \text{ \AA}$ ($26,4^\circ 2\theta$) e pico terciário $d = 4,98 \text{ \AA}$ ($17,8^\circ 2\theta$). Os picos principais ocorrem com maior intensidade no difratograma mufla, onde aparece também o terceiro pico. O padrão dos resultados obtidos, em relação às áreas internas dos picos da ilita, por serem relativamente grandes, indicam que os cristais deste mineral ocorrem com granulação muito fina. De acordo com experimentos em Drits *et al.* (1997), o resultado observado é similar ao obtido a partir de cristais de ilita com granulações menores que $0,04\mu\text{m}$ ou 40nm .

Nos difratogramas natural e etileno-glicol, os picos principais da ilita aparecem com pouca intensidade em relação à caulinita, refletindo a predominância deste argilomineral. De modo geral, os resultados DRX mostram que o material é composto, em ordem decrescente de predominância, por quartzo, caulinita e ilita. Não foram constatados valores referentes à presença de fase mineral contendo óxido de ferro (Fe_2O_3). A assembléia mineral constatada é coerente com o esperado, considerando a origem arenítica do material, com elevada maturidade mineralógica.

5.2.2 Fluorescência de raios X (FRX)

A quantificação dos elementos maiores, na forma de óxidos, foi realizada via análise química semiquantitativa por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX). Os valores obtidos, juntamente com os resultados do ensaio de perda ao fogo (LOI), são apresentados na tabela 2, que exhibe ainda a composição química da média das amostras.

Tabela 2: Resultados das análises químicas de óxidos das amostras analisadas (% em peso).

Óxidos (%)	AC-1	AC-2	AC-3	AC-4	Média
SiO ₂	72,7	72,9	61,9	64,5	68,0
TiO ₂	1,0	0,8	1,5	0,9	1,0
Al ₂ O ₃	19,9	19,9	26,9	26,1	23,2
Fe ₂ O ₃ (total)	0,4	0,3	0,6	0,3	0,4
MgO	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
CaO	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Na ₂ O	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
K ₂ O	1,0	0,7	1,4	0,8	0,9
P ₂ O ₅	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
LOI *	4,5	4,9	7,1	7,0	5,9
Soma	99,8	99,8	99,8	99,9	99,7

*(LOI) *loss on ignition*

A sílica (SiO₂) é o óxido predominante nas quatro amostras analisadas, compondo em média 68% em peso das amostras. As amostras AC-1 e AC-2 contêm aproximadamente 10% a mais de sílica do que a amostra AC-3 e 8% a mais que a amostra AC-4. A alumina (Al₂O₃) ocorre com quantidades expressivas em todas as amostras, compondo na média 23,2% em peso das amostras. As amostras AC-3 e AC-4 têm a maior porcentagem deste óxido, com 26% em peso, as amostras AC-1 e AC-2 possuem relativamente menos alumina, contendo 19,9% em peso.

Estes dados mostram que mais de 90% do material é composto pelos óxidos SiO₂ e Al₂O₃. Os minerais identificados por DRX nas amostras, quartzo e caulinita, são formados essencialmente pela sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃), o quartzo sendo 100% SiO₂ e a caulinita contendo em média 45% de SiO₂, 39% de Al₂O₃ e 14% de H₂O, conforme Mermut & Cano (2001). A comparação dos valores obtidos, principalmente da amostra AC-3, com as fórmulas teóricas destes dois minerais, desconsiderando-se os outros, revela que as quantidades dos dois óxidos se aproximam de 50%.

O elemento K₂O chega a compor 1,4% da amostra AC-3 e 0,97% na média das amostras, o Na₂O é constante com 0,1% em todas as amostras. Os óxidos alcalinos terrosos, CaO e MgO, ocorrem em baixa quantidade, sendo que o CaO

está abaixo do limite de detecção do equipamento e o MgO não ultrapassa 0,2. Como a caulinita não contém potássio e geralmente possui menos de 0,1% de sódio, cálcio e magnésio, os valores de 1,4% de K₂O e 0,2% de MgO são referentes aos óxidos presentes na illita, interpretada via DRX. Os valores para CaO e Na₂O não têm significância.

O óxido de ferro (Fe₂O_{3(total)}) ocorre com valores baixos, não ultrapassando 0,6% na amostra AC-3 e 0,4% na média das amostras. O óxido de titânio possui quantidade relevante de 1,5% na amostra AC-3 e média de 1% na outras amostras. A amostra AC-3 tem resultado superior às demais amostras para o K₂O, TiO₂ e o Fe₂O_{3(total)}. Esta amostra apresentou também o maior valor de perda ao fogo com 7,17%, comparável à amostra AC-4 e superior às demais amostras. Os óxidos de ferro e de titânio ocorrem em quantidades coerentes com os valores para os respectivos óxidos na composição da caulinita, esta que contém em média 0,5% de Fe₂O₃ e 1,6% de TiO₂.

Os resultados da análise química revelam que a amostra é composta predominantemente por sílica e alumina, com quantidades menores dos óxidos de potássio, titânio, ferro e magnésio. Composição compatível com os minerais, quartzo, caulinita e illita, identificados por DRX.

5.2.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV/EDS)

As análises das amostras AC-1, AC-2, AC-3 e AC-4, por meio do microscópio eletrônico de varredura, resultaram na captura de imagens fotomicrográficas com ampliações de até 5.000X. As interpretações acerca da composição mineralógica dos grãos são baseadas nos aspectos morfológicos dos cristais e nos gráficos de EDS, comparando-se estes resultados com dados de Welton (1984).

Com base nas imagens observa-se que o material é composto por grãos de frações variadas, sendo que alguns grãos constituem agregados minerais (Figura 11). Os cristais de quartzo ocorrem como fragmentos de cristais maiores com arestas definidas e fraturas conchoidais, típicas do mineral e como cristais com feições de abrasão. Os cristais de quartzo são de hábito anédrico e subédrico, com forma angulosa a pouco arredondada.

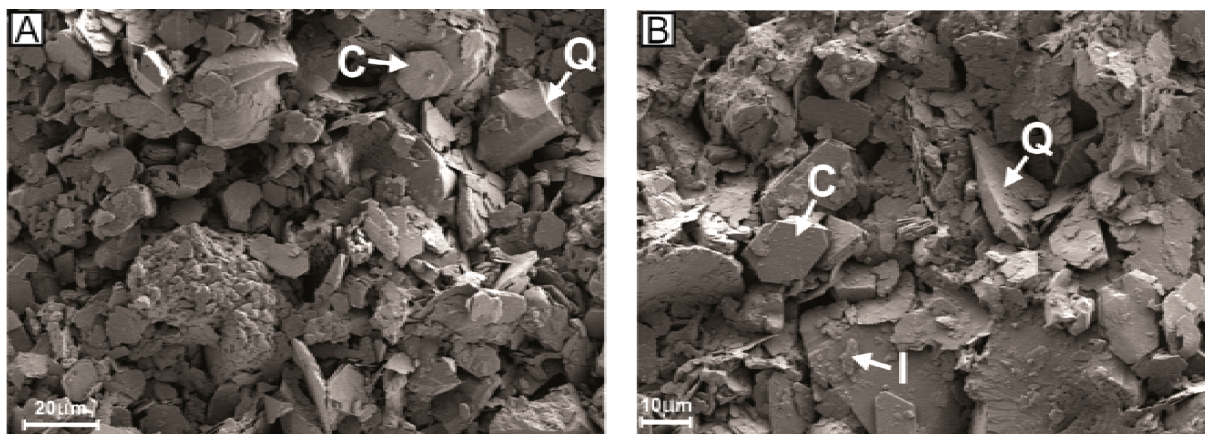


Figura 11: Imagens fotomicrográficas da amostra AC-4 (A) e da amostra AC-3 (B). As setas brancas indicam exemplos de cristais de caulinita (C), quartzo (Q) e illita (I).

Estas feições concordam com a origem detrítica aceita para estes grãos, componentes do arenito. Observa-se ainda a predominância deste mineral nos maiores grãos, correspondentes com as frações areia fina e média. Visualmente, o quartzo ocorre com predominância comparável à de outros minerais. A presença de cristais constituídos somente por sílica (SiO_2) foi confirmada também pela análise MEV/EDS.

A caulinita aparece nas imagens em pilhas ou “livros” de cristais dispostos face a face, sobre a superfície basal (001), com hábito euédrico a subédrico, pseudo-hexagonal (Figura 12), as pilhas possuem dimensões de até 15 μm . Os cristais individuais ocorrem também em placas com hábito pseudo-hexagonal, de granulação grossa com diâmetros que variam principalmente entre 5 e 30 μm .

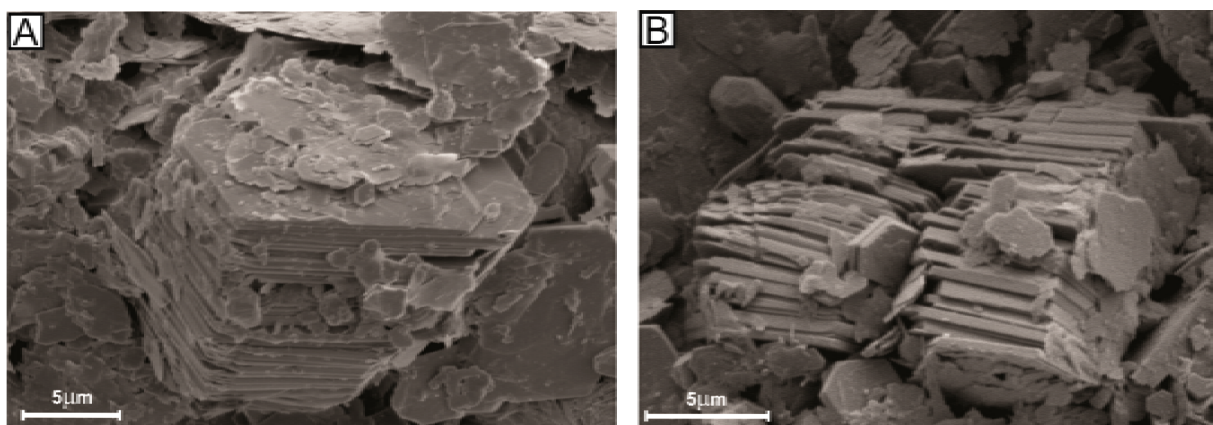


Figura 12: Pilhas ou “livros” de cristais de caulinita com hábito pseudo-hexagonal. (A) Amostra AC-1; (B) Amostra AC-3.

A caulinita ocorre também com diâmetros inferiores a 5 μm , mantendo o hábito pseudo-hexagonal mas, em geral com cristais subédricos a euédricos.

Aparentemente, muitos dos cristais isolados de caulinita provêm da delaminação e desagregação de pilhas e agregados de cristais.

Os cristais de illita têm granulação fina e ocorrem em placas de hábito anédrico, o que possibilita a sua distinção com relação aos cristais de caulinita. Ocorrem tanto isolados na superfície de cristais maiores, como em agregados (Figura 13), juntamente com cristais de caulinita com granulação fina.

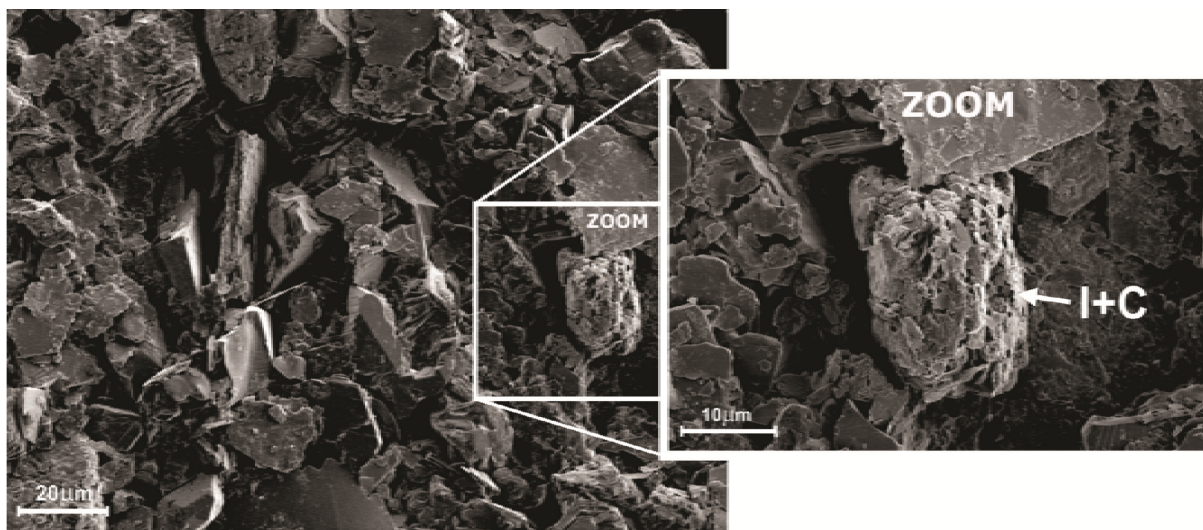


Figura 13: Imagem fotomicrográfica da amostra AC-2, com zoom de agregado de cristais de illita (I) e caulinita (C).

Esses agregados possuem dimensões de até 30 μm e formas arredondadas. Os modos de ocorrência da illita e dos agregados sugerem origem detrítica destes componentes, tendo como referência o estudo de argila ilítica por Bohor & Hughes (1971). Feições características desta proveniência são cristais de hábitos anédricos a subédricos, com granulação muito fina e partículas com características que evidenciam transporte, como por exemplo, formatos esféricos e bordas arredondadas.

As análises por EDS (Figuras 14 e 15) mostram resultados compatíveis com a composição química da caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Os gráficos são caracterizados por picos de silício (Si) e Alumínio (Al) com intensidades próximas e por conter somente o oxigênio (O) somado aos outros dois cátions, definindo um argilomineral de estrutura 1:1, com a composição da caulinita.

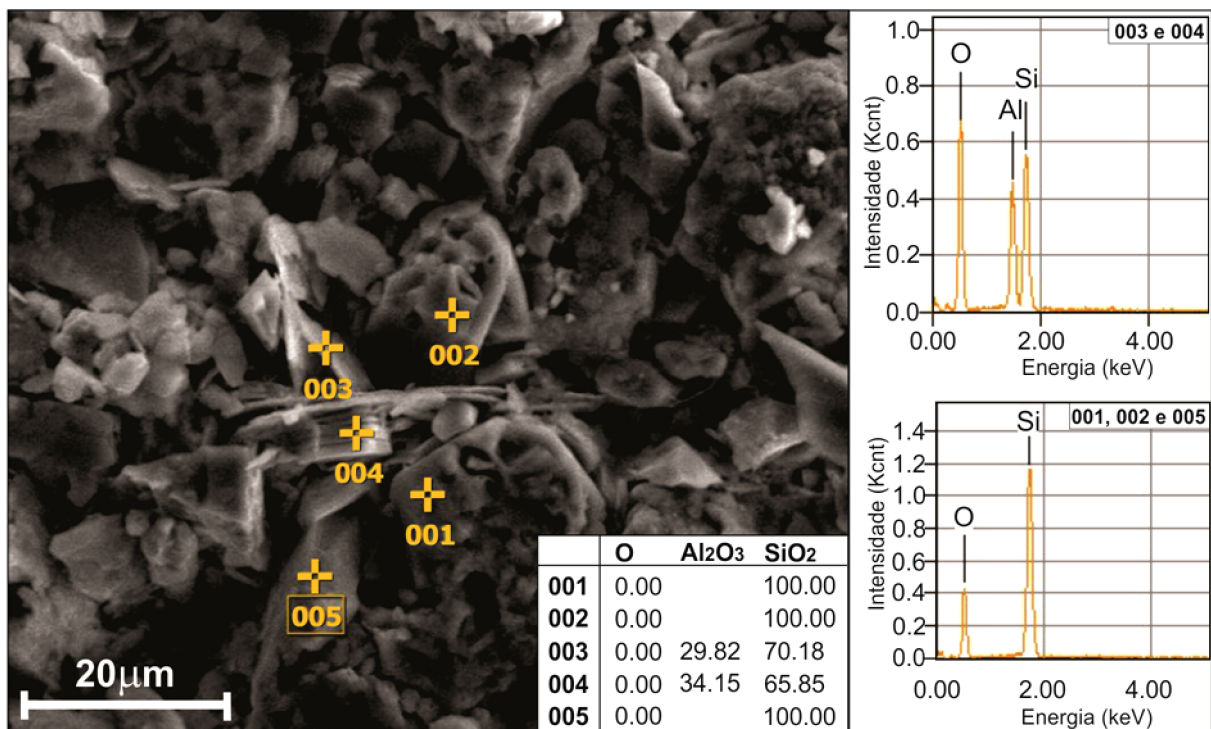


Figura 14: Imagem fotomicrográfica com gráficos de análise EDS da amostra AC-2.

Os resultados da análise por EDS nos pontos 001 e 005 (Figura 15) revelam a presença de fase mineral, representada pelos picos do silício (Si) e alumínio (Al), com pouca diferença de intensidade e a presença, em menor intensidade do potássio (K), além do oxigênio (O).

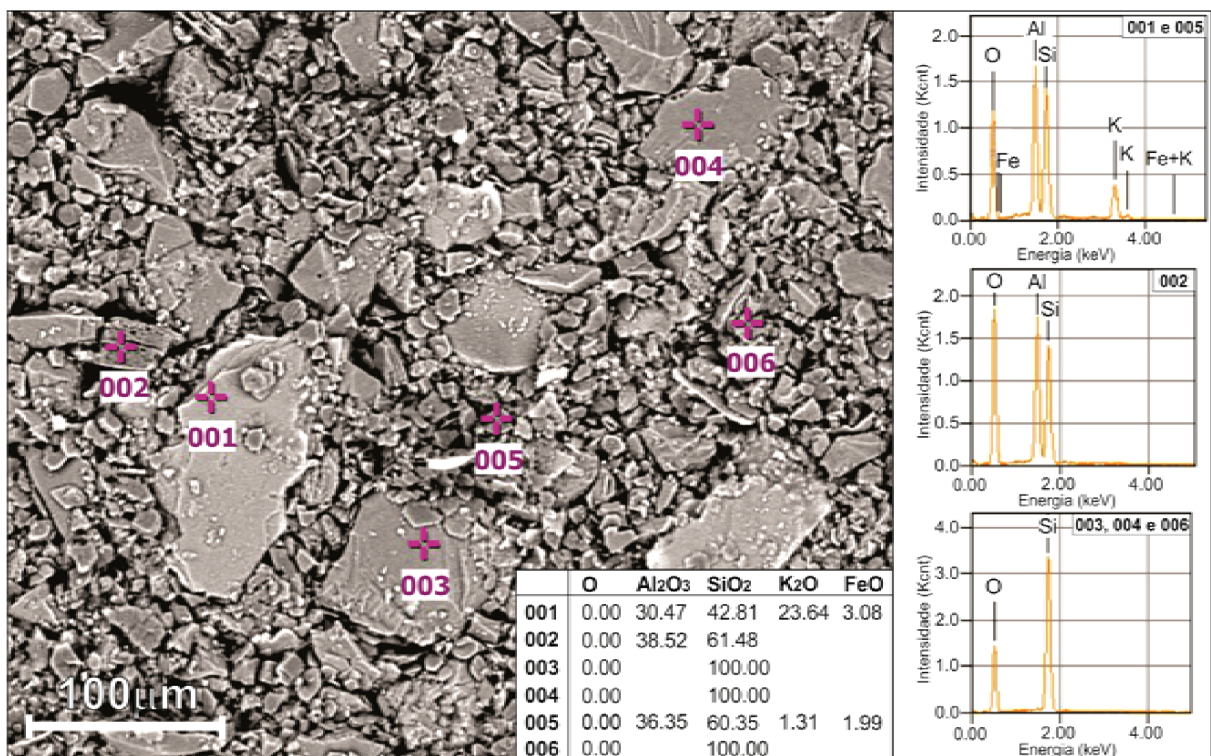


Figura 15: Imagem fotomicrográfica com resultado de análise EDS, da amostra AC-4.

Tanto a ilita ($3\text{K}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 26\text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), quanto o ortoclásio ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), possuem fórmulas teóricas compatíveis com o resultado. Variando principalmente na razão $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$, que é maior na ilita. Essas características químicas e físicas dos cristais analisados sugerem a ilita, ocorrendo com granulação muito fina na superfície de cristais maiores. A presença de feldspato não foi confirmada nas análises, mas a ocorrência de poucos cristais não é descartada.

Algumas características dos cristais de caulinita observados nas imagens MEV são comparáveis às descritas por Pruett & Webb (1993), em amostras de caulim sedimentar do Cretáceo Superior, no estado da Georgia, Estados Unidos. Esta que é uma das três áreas produtoras de caulim, dominantes do mercado mundial, juntamente com o caulim, também sedimentar, da Amazônia, no Brasil e o caulim primário de Cornwall, no sudoeste da Inglaterra (Murray 2002). A caulinita analisada da Georgia também é bem cristalizada e ocorre em pilhas e em cristais placoides de hábito pseudo-hexagonal, diferindo na granulação, que é mais fina. Pruett & Webb (1993), identificam intercrescimentos nos argilominerais, suportando a interpretação da presença de alteração diagenética no material.

A caulinita componente do caulim do Pará, conhecido como caulim da Amazônia, ocorre também em cristais com empilhamento tipo '*booklets*' ou livros, como caracterizado, por Hildebrando *et al.* (2011). A granulação da caulinita analisada assemelha-se a da extraída na Mina Brown-Coal, situada em Berzdorff, leste da Alemanha, conforme dados de Keller (1976). Que além da granulação grossa também ocorre em pilhas de cristais pseudo-hexagonais, como observado no caso do Areal Costa. A caulinita de Berzdorff foi originada a partir do intemperismo de granodiorito e possui grau de cristalinidade menor que no caso estudado.

A boa cristalinidade de cristais de caulinita, identificada por análise visual dos hábitos e por interpretações dos resultados DRX, sugere origem autigênica para estes cristais. Podendo-se relacionar com a textura observada em campo (Figura 7), onde a argila ocorre aparentemente, preenchendo poros do arenito. Tendo perdido quase totalmente a relação natural entre os limites de grãos, bem como a textura, ou arranjo geral das partículas, devido aos processos durante o beneficiamento do arenito. As análises MEV/EDS permitiram a confirmação da composição mineral interpretada por DRX, coerentemente também com os dados químicos.

5.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

5.3.1 Granulometria

O ensaio granulométrico, composto pelos métodos de peneiramento e granulometria por difração a *laser*, resultou em dados que são apresentados por gráfico da média das amostras (Figura 16).

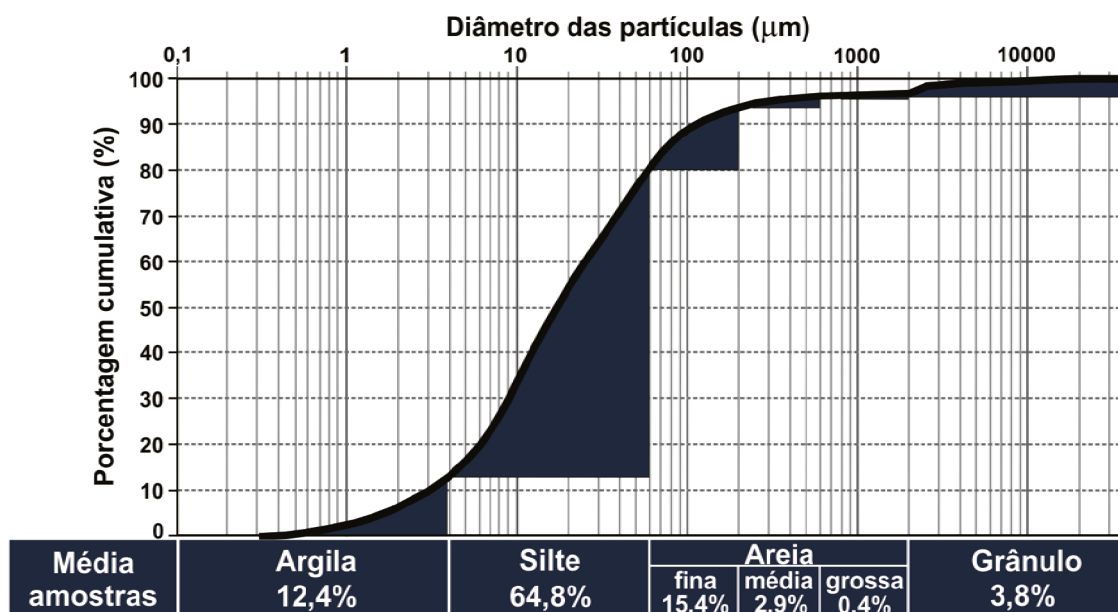


Figura 16: Gráfico de percentagem em peso cumulativa para as frações granulométricas, da média das quatro amostras, com somatório das quantidades para cada fração.

Quatro amostras foram submetidas a tal ensaio, AC-1, AC-2, AC-3 e AC-4, sendo que os valores resultantes de cada amostra variam relativamente pouco. O gráfico contém interpretação visual, com somatório da percentagem em peso para cada fração granulométrica. Sendo classificado na fração argila as partículas com diâmetro menor que 4 μm , na fração silte entre 4 e 60 μm , areia fina entre 60 e 200 μm , areia média de 200 até 600 μm , areia grossa de 600 a 2.000 μm e por fim grânulo com mais de 2.000 μm . As maiores partículas analisadas não ultrapassam o diâmetro de 4.000 μm . Muito embora tenha se observado em campo a presença isolada de fragmentos de arenito com diâmetros próximos de 5 cm, em meio ao material.

A amostra AC-1 apresenta a maior quantidade de grânulos em relação às outras, chegando a 11,1% da amostra, enquanto que as outras três amostras contêm quantidades inferiores a 1,7%. As frações areia média e grossa são

relativamente constantes nas quatro amostras, com valores baixos, devido à separação preferencial destas frações, destinada a fins comerciais. Sendo que em média 0,4% em peso das amostras são de areia grossa e 2,9% são de areia média.

Quantidades relevantes de areia fina ocorrem em todas as amostras, chegando a 19,1% na amostra AC-1 e em média 15,4% das amostras. O intervalo referente ao silte é o que contém a maior porcentagem, com média de 64,8%, mínimo de 52,8% na amostra AC-1, máximo de 70,5% na amostra AC-4.

A fração argila é representada por 14,4% em peso da amostra AC-4, 11% da amostra AC-1 e 12,4% na média das amostras. O resultado granulométrico mostra que o material é composto predominantemente por partículas da fração silte, aproximadamente 70%, com quantidades semelhantes entre argila e areia fina, ambas próximas de 15%. Outras características ressaltadas são a mínima quantidade de areia média e grossa que juntas, somam próximo de 3% do material e a presença de porcentagem semelhante referente à fração grânulo.

Segundo Prasad *et al.* (1991), a forma e a distribuição granulométrica dos cristais de caulinita são condicionantes de muitas propriedades do material, como brilho, viscosidade, opacidade, resistência cerâmica e retração. Ainda segundo os autores, a seleção granulométrica, no caso de caulins, determina principalmente a viscosidade do material, sendo alta a viscosidade de caulins compostos por cristais grandes e pequenos de caulinita e baixa viscosidade quando só há cristais grandes. Conforme observado por MEV e confirmado nos resultados granulométricos, os cristais de caulinita ocorrem com baixa seleção granulométrica, ocorrendo em duas granulações predominantes, o que possivelmente confere elevada viscosidade ao material.

A análise granulométrica, em associação com os resultados MEV permite a caracterização de um intervalo de tamanho dos grãos, para cada mineral componente do material. Como constatado, as partículas menores que 20-30 μm são preferencialmente referentes aos cristais de argilominerais, enquanto que as partículas maiores correspondem principalmente a cristais de quartzo. Com base neste critério é possível estimar que, aproximadamente 50% em peso do material correspondam aos argilominerais e os outros 50%, a cristais de quartzo com granulação superior.

5.3.2 Ensaio tecnológicos

Os ensaios tecnológicos realizados neste trabalho são comuns em estudos de materiais argilosos, com possibilidade de uso cerâmico. Foram realizados os ensaios de classificação da cor de queima do material a 100°, 1000° e 1200°C, retração linear, resistência à flexão, dilatação térmica linear e absorção de água. Os últimos dois ensaios foram aplicados na amostra AC-5 e os outros ensaios foram aplicados a todas as amostras, com exceção do ensaio de resistência a flexão que não foi aplicado apenas na amostra AC-5.

As amostras apresentam resultados muito semelhantes nestas análises. Por isso serão apresentados os resultados das análises da amostra AC-3, interpretada como a mais representativa do material, bem como os resultados das análises aplicadas especificamente na amostra AC-5. A análise da cor de queima (Tabela 3) resultou na cor branca homogênea para as três condições analisadas, em todos os corpos de prova. Os valores RGB e HSL medidos para todas as amostras são apresentados com a respectiva temperatura de queima.

Tabela 3: Resultados dos ensaios tecnológicos da amostra AC-3.

Amostra	Temperatura (°C)	Cor de queima			Retração linear (%)	Resistência à flexão (Kg/cm ²)
		RGB	HSL	Nome		
AC-3	100	618/554/483	0,020/0,143/0,538	Branca	-0,25	*
	1000	762/685/613	0,019/0,222/0,671	Branca	-0,77	*
	1200	955/861/759	0,020/0,594/0,837	Branca	3,93	317,63

* Resultados não obtidos.

A figura 17 mostra um corpo de prova da amostra AC-5, após queima a 1240°C, resultou na cor de queima branca, igualmente às demais amostras.

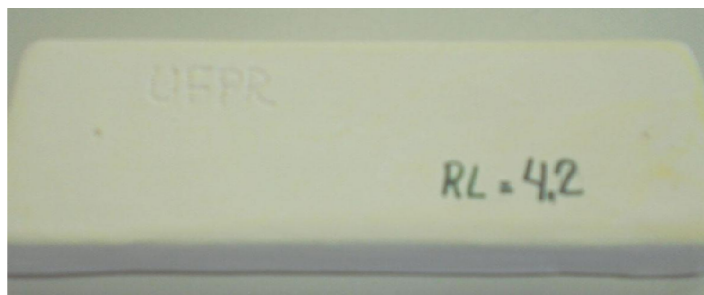


Figura 17: Corpo de prova da amostra AC-5, com cor de queima branca.

A cor de queima branca do material, em todas as condições analisadas, reflete sua elevada alvura, característica importante que agrega valor ao produto em diversos setores industriais. Os tons de branco são atribuídos principalmente à composição caulinítica e ao baixo teor de minerais com ferro, evitando a ocorrência de manchas avermelhadas.

O ensaio de resistência à flexão apresentou resultados relevantes na condição de queima a 1200°C. Na qual a partição dos corpos de prova ocorreu sob força média de 317,63 kg/cm², que equivale a 31,12 MPa. Os resultados deste ensaio para os corpos de prova aquecidos a 100°C e 1000°C, não foram obtidos, por motivo de rompimento dos corpos de prova. As outras amostras apresentaram resultados semelhantes, indicando que o material só se torna resistente após sinterização, com queima em temperaturas acima de 1200°C. A resistência verificada pós queima, é comparável com o valor de 28,5 MPa, referente a caulim utilizado na produção de grês porcelanato, no município de Balsa Nova-PR, registrado em Rodriguez *et al.* (2004).

O cálculo da retração linear dos corpos resultou em valores negativos próximos de zero para as temperaturas de 100° e 1000°C, significando um mínimo aumento na dimensão linear nestas situações. Já o corpo de prova queimado a 1200°C, apresentou índice de retração linear de 3,93%. Na tabela 4 são apresentados os resultados da retração linear, absorção de água, dilatação térmica linear e da cor de queima dos corpos de prova da amostra AC-5.

Tabela 4: Resultados dos ensaios tecnológicos aplicados na amostra AC-5.

Amostra	Retração linear queimada (%)	Absorção de água (%)	Dilatação térmica linear ($\alpha \cdot 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)		Cor
			Cru	Queimada	
AC-5	4,2	26,3	90,1	57	Branca

A retração linear, parâmetro tecnológico importante em materiais cerâmicos, quantifica o grau de agrupamento das moléculas ou sinterização à medida que a temperatura aumenta. Sendo diretamente proporcional a densidade adquirida pelo material e inversamente proporcional a porosidade, conforme Melchiades *et al.* (1996). O índice de retração linear apresentado pela média dos corpos de prova queimados a 1240°C, de aproximadamente 4% é pouco menor que o analisado por Rodriguez *et al.* (2004), no caulim de Balsa Nova-PR. Esta porcentagem de retração

é ainda considerada de média a alta, se comparadas aos dados de Christofolletti *et al.* (2015) e Jung *et al.* (2012), o primeiro em argilas coletadas no Estado de São Paulo e o segundo em massas cerâmicas.

A determinação do coeficiente dilatométrico linear (δ), entre 25° e 325°, resultou em valores para o corpo de prova cru, igual a $90,1 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e para o corpo de prova queimado a 1240°C, igual a $57 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Indicando uma expansão linear baixa para os corpos de prova queimados, se comparados, por exemplo, com os resultados de aproximadamente $80 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, obtidos por Fernandes *et al.* (1998), após queima a 1100°C de argilas coletadas em Santa Gertrudes-SP.

A análise de absorção de água, realizada com os corpos de prova queimados da amostra AC-5 (Tabela 4), resultou em porcentagem de absorção de água igual a 26,3%, considerado alto. Estes resultados viabilizam a classificação do material entre poroso e semiporoso, com relação à sua nomenclatura comercial para fins cerâmicos de revestimento (Tabela 5), equivalentes aos grupos ABS tipo BIII e BIIb, respectivamente. Esta classificação resulta da alta absorção de água, já que a resistência a flexão apresentada é coerente com materiais tipo BIIa ou Semi-grés.

Tabela 5: Classificação dos Grupos de revestimentos cerâmicos (ABNT 1997).

Absorção de água	Módulo de ruptura	Grupo ABS	Nomenclatura comercial
0 a 0,5 %	300 a 500 kgf/cm ²	BIIa	Porcelana
0,5 a 3,0 %	300 a 450	BIIb	Grés
3,0 a 6,0 %	320 a 350	BIIIa	Semi-grés
6,0 a 10,0 %	180 a 300	BIIIb	Semi-poroso
10 a 20 %	150 a 200	BIII	Poroso

Os padrões (ABNT NBR 13818:1997), foram realizados em corpos de prova com 2 x 7 cm, dimensões muito próximas das utilizadas na presente pesquisa, permitindo a comparação.

As características dos resultados tecnológicos são atribuídas ao material como se encontra na pilha de rejeito, tendo variações de propriedades que resultam em dados inconstantes para uma caracterização tecnológica aprimorada. Nota-se que a presença excessiva do quartzo, com granulação grossa, influencia negativamente.

6. POTENCIALIDADES DE APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

Argilas e argilominerais são minerais industriais muito importantes. Murray (2007) afirma que há mais de cem aplicações industriais documentadas para estes materiais. A caracterização mineral, química e tecnológica permite a definição de que a característica mais importante no material analisado é a presença, em quantidades razoáveis, de caulinita. Tal configuração direciona uma pesquisa aplicada, ao material conhecido comercialmente como caulim.

O caulim é caracterizado pela composição essencialmente caulínica, que muitas vezes pode ser obtida a partir de processos de beneficiamento. Os quais variam na utilização ou não de água, com tecnologias diversificadas. Alguns processos comuns de beneficiamento de argilas podem ser encontrados em Murray (2000), onde há também a indicação das literaturas adequadas para processos especiais. Processos de beneficiamento a úmido, inclusive com etapa de fracionamento via hidrociclone, conforme descrito por Luz *et al.* (1995), são alternativas que podem aumentar o teor de caulinita, agregando valor ao produto final da mineração, na forma de caulim.

A caulinita possui propriedades químicas e físicas que a tornam muito úteis em grande número de aplicações (Murray 2007). Algumas características mais importantes são a cor branca ou quase branca, ser quimicamente inerte em grande intervalo de PH, maciez e pouca abrasividade, plasticidade, queima branca, baixa condutividade de calor e elétrica, dispersão fácil, entre outras. Em virtude de tais características, o caulim é aplicado como matéria prima em muitas indústrias, sendo as principais esquematizadas na figura 18.



Figura 18: Principais aplicações industriais do caulim, com base em Luz *et al.* (2005).

Outras aplicações, nas indústrias de pesticidas, vidros, adesivos, cosméticos e farmacêutica são ainda citadas por Lins (2005) e Luz *et al.* (2005). Com base nestes mesmos autores, segue-se uma breve descrição das aplicações do caulim. Na produção do papel o caulim é utilizado tanto como carga, em papéis comuns, quanto em tintas de papéis revestidos (*coating*), sendo requisitos a viscosidade baixa, elevada alvura e tamanhos médios dos cristais de caulinita entre 0,2 a 4 μm . Grande utilização ocorre na indústria de cerâmica branca, que envolve: a produção de louças, onde a queima branca é fundamental; azulejos, sendo necessário granulometria dos cristais de caulinita entre 20 e 40% menores que 2 μm ; e no grês porcelanato, massa utilizada na fabricação de pisos e revestimentos, que exige alta refratariedade e baixa retração linear.

Na produção de fibra de vidro o caulim atua aumentando o ponto de fusão do produto final. Nas vastas indústrias do plástico e de tintas o caulim é largamente utilizado em diversas condições, com tratamentos muito específicos para cada produto desejado. Para a fabricação de borracha, os autores citam que o caulim ocorre com participação de mais de 50%, aumentando a resistência e a rigidez das borrachas, sendo interessante a grande área superficial dos cristais lamelares.

O caulim utilizado como catalizador no craqueamento de petróleo, deve possuir granulação extremamente fina, o mesmo ocorre na produção do concreto de alto desempenho, onde se utiliza caulim calcinado, na forma de metacaulinita. Os refratários sílico-aluminosos são compostos predominantemente por caulim, o qual deve conter mínimas quantidades de impurezas e resistência mecânica que permita a moldagem. Estes são utilizados para revestimento de fornos, caldeiras, e chaminés, nestes casos a massa utilizada é composta por 50% sílica e 50% caulim.

Tanto na indústria de cosméticos como na farmacêutica o caulim, encontra aplicação como diluente, por não ser tóxico a humanos e como estabilizante, devido sua propriedade tixotrópica, (Carretero & Pozo 2009). A tixotropia está relacionada à propriedade do mineral argiloso assumir forma de gel, quando suspenso em meio aquoso (Branco 2016). Carretero & Pozo (2010) e Carretero (2002), afirmam que a caulinita possui as atividades terapêuticas como protetor gastrointestinal, antidiarreico, protetor dermatológico, antiinflamatório e anestésico local em cremes

cosméticos. É ressaltada também a importância da utilização de argilominerais, misturados com água, em procedimentos estéticos de Geoterapia.

Com base nas propriedades favoráveis a cada tipo de aplicação industrial do caulim, é possível avaliar as potencialidades do material estudado. Considerando para tal, a intensidade do devido beneficiamento anteriormente a sua comercialização como matéria prima aos respectivos fins. Bem como a proximidade ou ausência, das indústrias ou pólos industriais mais relevantes, com a área de estudo. Com base nestes parâmetros, a potencialidade de aplicação industrial relativa, do material caracterizado é apresentada graficamente na figura 19.

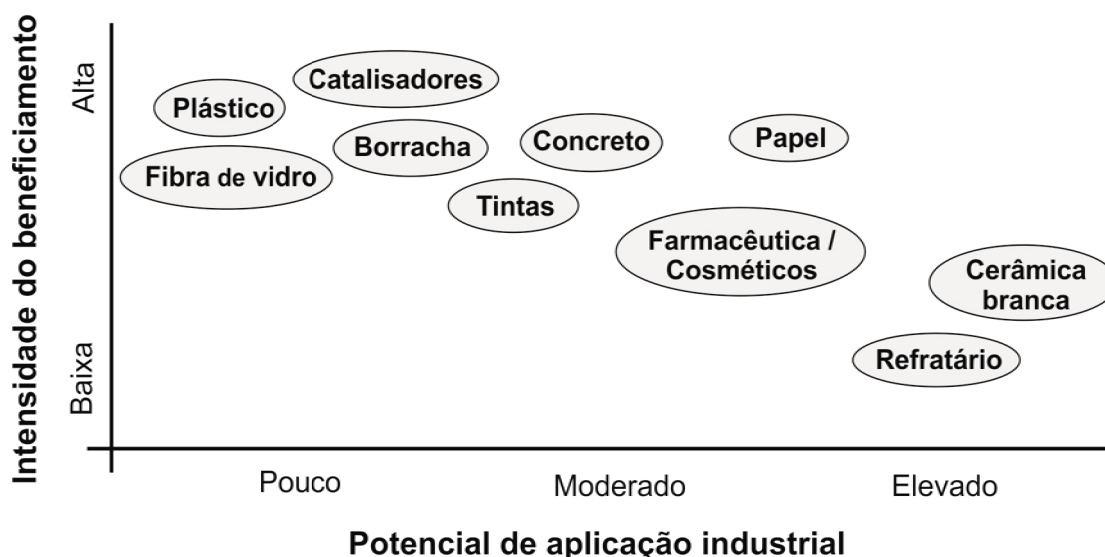


Figura 19: Gráfico do potencial de aplicação industrial *versus* intensidade do beneficiamento requisitado.

O potencial de aplicação em cerâmica branca, principalmente na produção de azulejos e grês porcelanato, deve-se tanto às características definidas, como existência do pólo cerâmico de Campo Largo-PR, próximo ao areal estudado. Elevado potencial é observado também quanto à aplicação como matéria prima de revestimentos refratários sílico-aluminosos. Devido à composição do material se adequar com a utilizada nesse caso, o que reduz a intensidade do beneficiamento e o custo de produção. Foi diagnosticada ainda a potencialidade em aplicações na indústria do papel, preferencialmente como carga, devido à granulação grossa. Usos farmacêuticos e cosméticos são interessantes, pois valorizam a matéria prima, necessitando de caracterização por análises mais específicas para confirmação.

7. CONCLUSÕES

De acordo com a caracterização realizada nos diversos aspectos do material e sua comparação com outros materiais semelhantes, pode-se concluir que:

- O intervalo estratigráfico do arenito minerado é correlacionado com porção da Unidade II, da Formação Furnas, definida por Assine (1996).
- O resíduo do beneficiamento destes arenitos é composto por quartzo e argilominerais dos grupos da caulinita e illita, em ordem decrescente de predominância.
- Quimicamente mais de 90% do material é composto por sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3), em proporções que sugerem quantidades próximas de quartzo e caulinita.
- Os cristais de caulinita ocorrem em pilhas de cristais pseudo-hexagonais, bem cristalizados e com granulações variadas.
- A fração silte é a predominante, 64% nas partículas do material, que possui aproximadamente 12% de argila e 24% de areia e grânulos.
- As características tecnológicas principais são a cor de queima branca, o índice de retração linear de 4% e resistência a flexão de 31,12 MPa, ambos após queima a 1200°C.
- O material apresentou boa dilatação térmica linear a cru e queimado, já a porcentagem de absorção de água teve valores elevados.
- Todo processo de caracterização realizado permite a confirmação do potencial do material em aplicações industriais, na forma de caulim.
- Os principais potenciais identificados são em aplicações na indústria de cerâmica branca, especialmente para produção de grês porcelanato e na indústria de refratários pela sua composição adequada.
- As aplicações como matéria prima nas indústrias de papel e tinta apresentaram potencial moderado a elevado, exigindo beneficiamento mais aprimorado.
- A utilização na indústria de cosméticos é muito interessante, pois agrega bastante valor ao material. Porém análises mais específicas devem ser realizadas a fim de confirmar a compatibilidade com o uso.

8. REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1997. **Placas Cerâmicas para Revestimentos, Especificações e Métodos de Ensaio**. 78pp.
- ASSINE, M. L. 1996. **Aspectos da estratigrafia das seqüências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 194 pp.
- BOHOR, B.F. & HUGHES R.E. 1971. **Scanning electron microscopy of clays and clay minerals**. Clays and Clay Minerals, Vol. 19. pp. 49-54.
- BRANCO, P. de M. **Minerais argilosos**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Minerais-Argilosos-1255.html> Acessado em 15 de novembro de 2016.
- CARRETERO, M.I. 2002. **Clay minerals and their beneficial effects upon human health. A review**. Applied Clay Science, N° 21, p. 155 – 163.
- CARRETERO, M.I. & POZO, M. 2009. **Clay and non-clay minerals in the pharmaceutical industry Part I. Excipients and medical applications**. Applied Clay Science, N° 46, p. 73–80.
- CARRETERO, M.I. & POZO, M. 2010. **Clay and non-clay minerals in the pharmaceutical and cosmetic industries. Part II. Active ingredients**. Applied Clay Science, N° 47, p. 171–181.
- CHIPERA, S.J. & BISH, D.L. 2001. **Baseline studies of the clay minerals society source clays: powder X-Ray diffraction analyses**. Clays and Clay Minerals, Vol. 49, N° 5, p. 398-409.
- CHRISTOFOLETTI SR; BATEZELLI A; MORENO MMT. 2015. **Caracterização geológica, mineralógica, química e cerâmica da Formação Corumbataí nos municípios de Tambaú, Porto Ferreira e Santa Rosa do Viterbo – SP**. Geociências, UNESP, São Paulo, v. 34, n. 4, p.768-783.
- COLARES F.S & ARNS, P. 2015. **Reaproveitamento de resíduos de arenito da Formação Botucatu em infraestrutura rodoviária**. Artigo submetido ao

Departamento de Engenharia Civil. UNESC- Universidade do Extremo Sul Catarinense, 17p.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. 2016. **Sigmine**. Disponível em: <http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/> Acessado em 10 de maio de 2016.

DRITS VA; EBERL DD; SRONDON J. 1997. **XRD measurement of mean crystallite thickness of illite and illite/smectite: reappraisal of the Kubler Index and the Scherrer Equation**. Clays and Clay Minerals, Vol. 45, N^o. 3, 461-475.

FERNANDES AC; CAMPOS e SOUZA PE; SANTANA PR; MORENO MMT; CARVALHO SG; 1998. **A variação das propriedades da massa cerâmica em função das características físico-químicas, mineralógicas e texturais de argilas da região de Santa Gertrudes – SP**. Cerâmica Industrial, N^o 3, (4-6), Julho/Dezembro.

GOMES, C. F. 1988. **Argilas. O que são e para que servem**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 457p.

GRIM, R. E. 1968. **Clay Mineralogy**. McGraw-Hill Book Co. 2^a ed. New York (Geological Science Series), 596p.

HILDEBRANDO E; MARTIN-CORTÉZ GR; ESPER FJ; WIEBECK H; ALVES P; VALENZUELA-DÍAZ FR. 2011. **Propriedades tecnológicas do caulim do Pará**. 55^o Congresso Brasileiro de Cerâmica, Porto de Galinhas, PE, Brasil. pg. 113-120.

JUNG M; CAMISA IS; ALBANAZ I; PEREIRA SLS; CARGNIN M; 2012. **Comparativo entre diferentes métodos de determinação da retração linear de placas cerâmicas**. Rev. Técnico Científica, Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), v. 3, n. 1.

KELLER, W.D. 1976. **Scan electron micrographs of kaolins collected from diverse origins – III. Influence of parent material on flint clays and flint-like clays**. Clays and Clay Minerals, Vol. 24, p. 262-264.

LINS, F.A.F. 2005. **Panorama da produção e consumo de rochas e minerais industriais no Brasil**. In: LUZ A.B. da & LINS F.A.F. Rochas & Minerais Industriais/Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p.11-31.

LOBATO G. & BORGHI, L. 2005. **Análise estratigráfica da formação furnas (devoniano inferior) em afloramentos da borda leste da Bacia do Paraná.** 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 6 pg. Disponível em: http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0392_05.pdf Acessado em 10 de agosto de 2016.

LUZ AB; CAMPOS AR de; CARVALHO EA de; BERTOLINO LC. 2005. **Argila/Caulim.** In: LUZ A.B. da & LINS F.A.F. Rochas & Minerais Industriais/Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 231-263.

LUZ AB; COSTA LNS; CHAVES AP. 1995. **Aspectos de alguns redutores usados no alveamento de caulins.** XVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Rio de Janeiro, v.1, p. 163-179.

MELCHIADES FG; QUINTEIRO E; BOSCHI AO. 1996. **A curva de gresificação: Parte I.** Cerâmica Industrial, Nº 01, (04/05) Agosto/Dezembro.

MELO, M. S. 2006. **Formas rochosas do Parque Estadual de Vila Velha.** Ponta Grossa: UEPG. 145p.

MERMUT, A.R. & CANO, F.A. 2001. **Baseline studies of the Clay minerals society source clays: chemical analyses of major elements.** Clays and Clay Minerals, Vol. 49, Nº. 5, p. 381-386.

MILANI et al. 2007. **Bacia do Paraná.** Boletim de Geociências da Petrobras, v. 15, n. 2, Rio de Janeiro. p. 265-287.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO PARANÁ (MINEROPAR). 2005. **Mapa geológico do Estado do Paraná, Folha Ponta Grossa.** Curitiba, mapa geológico, escala 1:250.000.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO PARANÁ (MINEROPAR) 2016. **Recursos minerais.** Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo=9> Acessado em 16 de novembro de 2016.

MUNSELL, A.H. 2000. **Munsell Soil Color Charts.** Munsell Color Company. Ed. Grand Rapids, Baltimore.

MURRAY, H.H. 2000. **Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview**. Applied Clay Science, 17, p. 207–221.

MURRAY, H.H. 2002. **Industrial Clays: Case Study**. Mining, Minerals and Sustainable Development, IIED and WBCSD, March, N^o. 64, 9 pg.

MURRAY, H.H. 2007. **Applied Clay Mineralogy: Occurrences, Processing and Application of Kaolins, Bentonites, Palygorskite Sepiolite and Common Clays**. Kaolin Applications. Ed. ELSEVIER B. V, p.85-111.

PRASAD MS; REID KJ; MURRAY HH. 1991. **Kaolin: processing, properties and applications**. Applied Clay Science, Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, N^o 6, p. 87-119.

PRUETT RJ & WEBB HL. 1993. **Sampling and analysis of KGa-1 B well-crystallized kaolin source clay**. Clays and Clay Minerals. Vol. 41, N^o. 4, p. 514-519.

RODRIGUEZ AM; PIANARO SA; BERG EAT; SANTOS AH. 2004. **Propriedades de matérias-primas selecionadas para a produção de grês porcelanato**. Cerâmica Industrial. N^o.9, p.34-38.

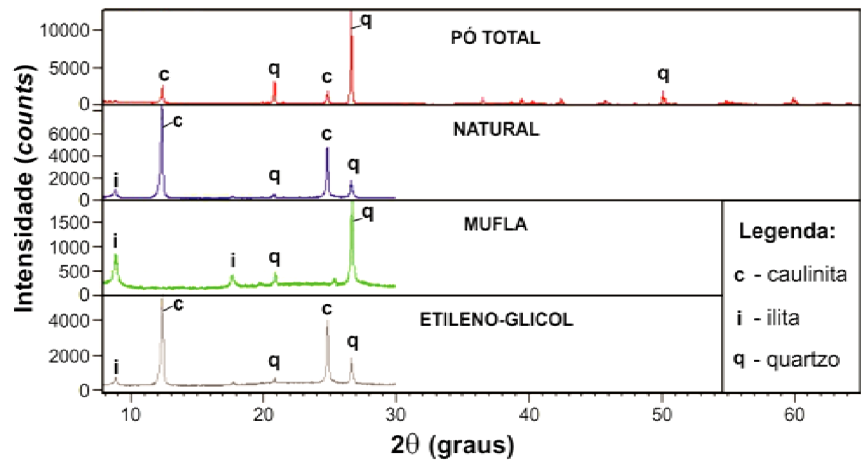
SANTOS, P.S. 1975. **Tecnologia de argilas, aplicada às argilas brasileiras**. v.1, São Paulo, Edgard Blucher, Ed. da Universidade de São Paulo, 340 p.

SANTOS, P. S. 1989. **Ciência e Tecnologia de Argilas**, v. 1, 2^a Ed., Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, Brasil, 215 p.

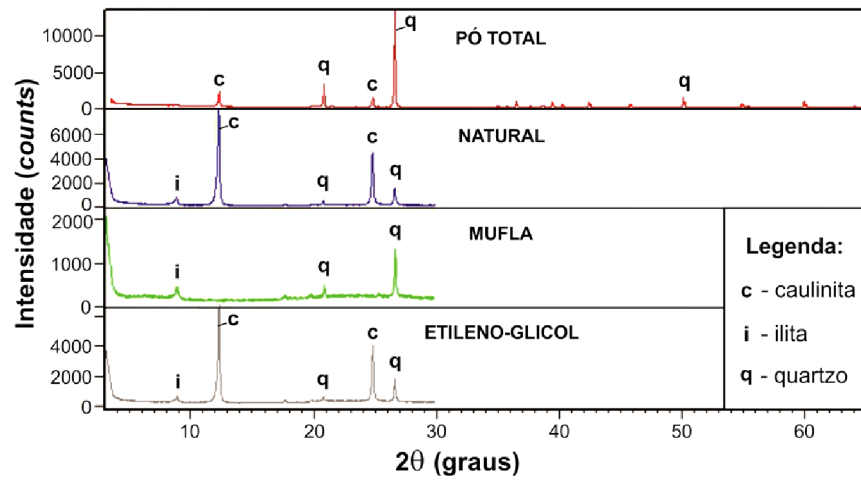
WELTON J.E. 1984. **SEM petrology atlas**. The American Association of Petroleum Geologists (Methods in exploration series), Oklahoma, Tulsa, 237 p.

WENTWORTH, C.K. 1922. **A scale of grade and class terms for clastic sediments**. The Journal of Geology, Vol. 30, N^o. 5, pp. 377-392. Disponível em: http://www.science.earthjay.com/instruction/HSU/2015_fall/GEOL_332/labs/lab_07/Wentworth_1922_Clastic_sediments.pdf. Acessado em 21/10/2016.

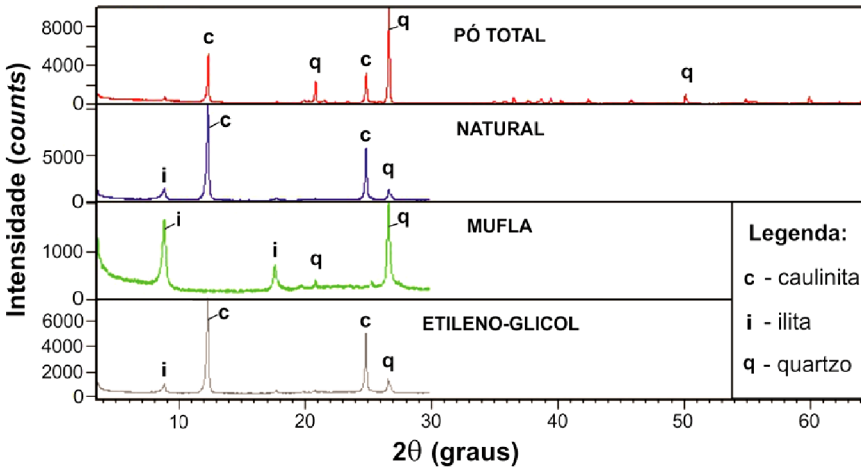
ANEXO 1: Difratomogramas (DRX) das amostras AC-1, AC-2 e AC-3



Amostra AC-1



Amostra AC-2



Amostra AC-3

ANEXO 2: Tabela completa dos resultados das análises tecnológicas

Cor, Retração linear e Resistência à flexão:

A M O S T R A	T E M P (°C)	Cor				Ensaio de Retração	Ensaio de Resistência
		Avaliação Quantitativa		Avaliação Comparativa		Retração Linear	Resistência flexão
		Espaço RGB	Espaço HSL	Padrão mais próximo	Nome da Cor	(%)	Kg/cm ²
AC-1	100	766/691/612	0,020/0,23/0,673	Sem padrão	Branca	-0,19	*
	1000	934/847/768	0,018/0,481/0,831	Sem padrão	Branca	-0,77	*
	1200	904/815/726	0,019/0,427/0,796	Sem padrão	Branca	1,43	145,96
AC-2	100	754/684/616	0,019/0,203/0,669	Sem padrão	Branca	-0,39	*
	1000	887/799/723	0,018/0,377/0,786	Sem padrão	Branca	-1,18	*
	1200	827/738/668	0,017/0,289/0,730	Sem padrão	Branca	0,25	101,38
AC-3	100	618/554/483	0,020/0,143/0,538	Sem padrão	Branca	-0,25	*
	1000	762/685/613	0,019/0,222/0,671	Sem padrão	Branca	-0,77	*
	1200	955/861/759	0,020/0,594/0,837	Sem padrão	Branca	3,93	317,63
AC-4	100	809/743/671	0,020/0,244/0,723	Sem padrão	Branca	-0,55	*
	1000	872/754/731	0,018/0,319/0,783	Sem padrão	Branca	-1,16	*
	1200	888/810/739	0,018/0,356/0,795	Sem padrão	Branca	1,65	150,21

- Resultados não obtidos.