

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO MACCHIONI PEREIRA



**CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS GRAÚDOS PARA
CONSTRUÇÃO CIVIL PRODUZIDOS NA REGIÃO METROPOLITANA
DE CURITIBA**

CURITIBA

2014

BRUNO MACCHIONI PEREIRA

CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS GRAÚDOS PARA
CONSTRUÇÃO CIVIL PRODUZIDOS NA REGIÃO METROPOLITANA
DE CURITIBA

Trabalho de conclusão de curso apresentado
para obtenção do título de bacharel em
geologia, na disciplina Trabalho de Conclusão
de Curso II, Departamento de Geologia.

Orientador:
Profº. Msc. Mauro Salgado Monastier

Coorientador:
Geól. Msc. Luiz Antonio Chierregati

CURITIBA

2014

RESUMO

A produção de agregados graúdos na Região Metropolitana de Curitiba (RMC) representa uma parcela importante tanto na mineração quanto no setor de construção civil. Esta região apresenta um contexto geológico complexo e diversificado, resultando em grande variedade de matérias primas utilizadas como agregado graúdo. As amostras foram coletadas em pedreiras da RMC consideradas representativas do material destinado à construção civil, e os litotipos amostrados foram gnaisse, granito, diabásio, riolito e mármore. A caracterização tecnológica teve grande importância para compreender o comportamento da rocha como agregado graúdo, determinar seus principais índices físicos e resistência à abrasão. As análises química, mineralógica e petrográfica serviram para reconhecer características geológicas intrínsecas das matérias primas para a produção de agregados. O potencial para a ocorrência da Reação Álcali Agregado (RAA) foi feita através do reconhecimento de feições características das rochas. Os ensaios (Abrasão *Los Angeles* e determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água) e análises permitiram estabelecer parâmetros de correlação entre os diferentes litotipos estudados. Através das observações dos dados obtidos, foi possível notar a existência de uma relação entre os valores de resistência à abrasão e o teor de álcalis da rocha.

Palavras-chave: Agregados graúdos; geologia econômica, Região Metropolitana de Curitiba

ABSTRACT

The aggregate production in Curitiba Metropolitan Region (CMR) represents an important share for both mining and building sector. This region presents a complex and diversified geological context, resulting in many different raw materials used as aggregate. The samples were collected in quarries considered as representative for building-destination material, and the lithotypes are gneiss, granite, rhyolite, diabase and marble. The technological characterization had great importance to understand the rock behavior as aggregate, to determine its main physical indexes and abrasion resistance. The chemical, mineralogical and petrographic analysis served to recognize the raw materials geological intrinsic characteristics for aggregate production. The alkali-aggregate reaction (AAR) potential occurrence was determined through the recognition of the rocks characteristic features. The tests (Los Angeles abrasion and specific mass, apparent specific mass and water absorption determination) and the analysis allowed to establish correlation parameters between different studied lithotypes. Through observation of collected data, it was noted the existence of a relation between the abrasion values and the alkali content of the rocks.

Keywords: Aggregate, economic geology, Curitiba Metropolitan Region

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Conjuntos habitacionais construídos pelo programa Minha Casa, Minha Vida em Curitiba. Fonte: cohabct.com.br.....	1
Figura 2. Localização da RMC em relação ao estado do Paraná e ao Brasil.	3
Figura 3. A Região Metropolitana de Curitiba e seus 29 municípios.	4
Figura 4. Amostragem em pilha, de acordo com a norma NRM NM 26.	5
Figura 5. À esquerda, pesagem do agregado seco, à direita, o material sendo pesado em água.	6
Figura 6. À direita, a máquina utilizada no ensaio de abrasão Los Angeles. À esquerda a carga abrasiva usada no ensaio.	7
Figura 7. Material sendo peneirado, após o ensaio de abrasão.	8
Figura 8. Presença de fraturas preenchidas por clorita em protocataclasito. A presença de fraturas pode ser um fator que influencie no resultado dos ensaios de abrasão.....	9
Figura 9. Sericitização em cristal de feldspato alcalino (FK).	10
Figura 10. Presença de subgrãos (destaque em vermelho) no quartzo: indicador de potencial para reação álcali-agregado.....	11
Figura 11. Principais formatos dos fragmentos de agregados. Fonte: Pinho (2007).....	11
Figura 12. Caso de RAA em estado avançado em pilar de prédio. Fonte: Lima (2009).	13
Figura 13. Mapa geológico detalhando as principais unidades aflorantes na RMC, com base na Folha Curitiba	14
Figura 14. <i>Distribuição das pedreiras amostradas ao longo da RMC.</i>	21
Figura 15. Areal Cotragon via satélite (Google Earth) e detalhe dos blocos do Complexo Atuba aflorando na cava.	22
Figura 16. Estocagem de brita em pilhas no Areal Cotragon	22
Figura 17. À esquerda cava da mineração vista em planta através de imagem de satélite (Google Earth), na direita detalhe da frente de lavra e bancadas.	23
Figura 18. Imagem de satélite da cava da Saibreira São Mateus	23
Figura 19. Vista geral da lavra na Saibreira São Mateus.....	24
Figura 20. Imagem de satélite da Grandó Mineração. Nota-se a geometria alongada com orientação NW.....	24
Figura 21. Cava da Pedreira Grandó.	25
Figura 22. Lavra em bancada na Mineração Terra Rica.....	25
Figura 23. Frente de lavra na mineração Pegmatito Paraná. À esquerda a imagem de satélite (Google Earth), à direita vista em campo.....	26
Figura 24. Disseminação de fluorita no Granito Agudos do Sul.	26
Figura 25. Imagem de Satélite da Saibreira Boa Esperança. Fonte: Google Earth.À direita, a frente de lavra.].....	27
Figura 26. Britador e pilhas de material britado.	27
Figura 27. Frente de lavra da Pedreira São Jorge.: à esquerda a imagem de satélite; e a direita em campo.....	28
Figura 28. Detalhe da cava da Mineração Guaricana vista por satélite. À direita, a imagem da frente de lavra.....	28
Figura 29. Vista por imagem de satélite (esquerda) da Pedreira Central e da frente de lavra (direita)	29
Figura 30. Detalhe da rocha lavrada na Pedreira Central.....	29
Figura 31. À esquerda, a imagem de satélite da Mineração Costa. À direita, frente de lavra da Mineração Costa. Nota-se a presença de camadas de areia de várzea sobre as rochas do complexo Atuba.	30
Figura 32. Veio aplítico cortando gnaisse	30
Figura 33. Imagem de satélite da lavra na Pedreira Boscardin	31
Figura 34. Aspecto geral da LC-20 em lâmina.....	34
Figura 35. Sericitização em cristal de plagioclásio.....	34
Figura 36. Exemplos de intercrescimento peritítico e de zonamento em cristais de FK.	35
Figura 37. O quartzo nos interstícios formados pelos cristais de FK.....	36
Figura 38. Detalhe geral da lâmina petrográfica do ponto LC-39. À esquerda em polarizadores paralelos, à direita, cruzados.	36
Figura 39. Detalhe do fraturamento na rocha, e da clorita definindo a foliação. À esquerda em polarizadores paralelos, à direita, cruzados.....	37
Figura 40. Aspecto geral do dibásio da Grandó Mineração. À esquerda com polarizadores paralelos, à direita, cruzados.	37
Figura 41. À esquerda, sericitização completa de cristais de plagioclásio (pseudomorfos), à esquerda, intercrescimento mirmequítico em plagioclásio.	38
Figura 42. Cumulados de carbonatos mais grossos em meio à matriz da rocha.	39

Figura 43. À esquerda, veio de quartzo em meio à matriz carbonática. À direita, contato da banda de quartzo com o carbonato.....	39
Figura 44. Aspecto geral da LC-50. À esquerda, polarizadores paralelos; à direita, cruzados.....	40
Figura 45. Aspecto geral da LC-62. Nota-se o aspecto cataclasado da rocha.....	41
Figura 46. Bandamento gnáissico na amostra da LC-63.....	42
Figura 47. Amostra do riolito da LC-64.....	43
Figura 48. Detalhe da Lâmina petrográfica do lamprófito encontrado na Mineração Guaricana, à esquerda, em polarizadores paralelos, à direita, cruzados.....	43
Figura 49. Aspecto geral da lâmina LC-65, vista em polarizadores paralelos (esquerda), e polarizadores cruzados (direita).....	44
Figura 50. Cristais de hornblenda no gnaíse da LC-66.....	45
Figura 51. Intercrescimento perítico em cristais de FK.....	45
Figura 52. À esquerda, gráfico da perda por abrasão, à direita, a média dos álcalis das amostras...	47
Figura 53. Sobreposição dos gráficos de abrasão e álcalis, mostrando a semelhanças entre eles... ..	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação dos pontos visitados e amostrados no trabalho.....	20
Tabela 2. Tabela com os resultados dos índices físicos.....	31
Tabela 3. Resultados de desgaste à abrasão.....	32
Tabela 4. Principais minerais determinados pela difratometria de raios X.....	32
Tabela 5. Resultados da fluorescência de raios X.....	33
Tabela 6. Valores de absorção de água (ou porosidade) das amostras.....	49

LISTA DE SIGLAS E/OU ABREVIATURAS

ABDI – Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

FK - Feldspato Alcalino

PORMIN - Portal de Apoio ao Pequeno Produtor Mineral

RAA – Reação Álcali-Agregado

RMC – Região Metropolitana de Curitiba

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.2. A REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	2
1.3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	4
1.4. AGREGADO GRAÚDO (BRITA)	12
1.5. REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO (RAA).....	13
2. GEOLOGIA REGIONAL	14
2.1. COMPLEXO GRANULÍTICO SANTA CATARINA	14
2.2. COMPLEXO ATUBA	15
2.3. SUPERGRUPO AÇUNGUI.....	15
2.4. SUÍTE GRANÍTICA RIO PIÊN.....	16
2.5. INTRUSÕES GRANÍTICAS ALCALINAS E CALCIOALCALINAS.....	16
2.6. COMPLEXO MÁFICO – ULTRAMÁFICO PIÊN.....	17
2.7. FORMAÇÃO GUARATUBINHA.....	18
2.8. FORMAÇÃO FURNAS	18
2.9. GRUPO ITARARÉ.....	18
2.10. INTRUSIVAS BÁSICAS E ALCALINAS.....	18
2.11. FORMAÇÃO GUABIROTUBA.....	19
2.12. DEPÓSITOS ALUVIONARES	19
3. PONTOS DE AMOSTRAGEM	19
3.1. LC-20 – AREAL COTRAGON	21
3.2. LC-36 – PEDREIRA BASALTO	22
3.3. LC-39 – SAIBREIRA SÃO MATEUS	23
3.4. LC-40 – GRANDO MINERAÇÃO.....	24
3.5. LC-42 - MINERAÇÃO TERRA RICA	25
3.6. LC-50 – PEGMATITO PARANÁ.....	25
3.7. LC-62 – SAIBREIRA BOA ESPERANÇA	26
3.8. LC-63 – PEDREIRA SÃO JORGE.....	27
3.9. LC-64 – MINERAÇÃO GUARICANA.....	28
3.10. LC-65 – PEDREIRA CENTRAL.....	28
3.11. LC-66 – MINERAÇÃO COSTA.....	29
3.12. RL-13 – PEDREIRA BOSCARDIN	30
4. RESULTADOS	31
4.1. ÍNDICES FÍSICOS.....	31
4.2. ABRASÃO <i>LOS ANGELES</i>	32
4.3. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X.....	32

4.4. FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X.....	33
4.5. PETROGRAFIA.....	33
5. DISCUSSÃO.....	46
6. CONCLUSÃO.....	50
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
8. ANEXO	54

1. INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de Curitiba (RMC) é constituída por 29 municípios, sendo a oitava região metropolitana mais populosa do país e segunda maior em extensão.

A produção de agregados para construção civil representa um importante setor da mineração na RMC, e constitui aproximadamente 83% de todas as atividades mineiras, onde a produção de agregados graúdos corresponde a 6% dos processos vigentes (Concessões de Lavra, Licenciamentos, Requerimentos de Lavra e Registros de Extração) da região.

De acordo com o Anuário Mineral Brasileiro (DNPM, 2010), a produção de rochas britadas e cascalho no Paraná em 2009 foi da ordem de 1,60 milhões de toneladas, onde 16% foi destinado à construção civil. O valor total da produção foi superior a 216 milhões de reais.

O setor de construção civil tem crescido nos últimos anos, dado em conta o crescimento populacional, econômico e em função de programas do governo, tais como o Minha Casa, Minha Vida (figura 1), e o PAC – Programa de Aceleração do Crescimento.

Esse crescimento conseqüentemente gerou um aumento da demanda por outros bens minerais utilizados na construção civil, como areia (agregado miúdo), argila para cerâmica vermelha e de revestimento, e o calcário para a indústria de cal e cimenteira.



Figura 1. Conjuntos habitacionais construídos pelo programa Minha Casa, Minha Vida em Curitiba. Fonte: cohabct.com.br.

Considerando a importância da produção de agregados graúdos para a economia da RMC, a caracterização tecnológica deste material e sua correlação com as fontes de produção são fundamentais, tanto para se entender as suas

qualidades e características, quanto para um estudo de potencial das rochas da região para a produção de agregados graúdos.

1.1. OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho consistem em:

- Identificar e localizar os principais produtores de agregados graúdos na RMC;
- Coletar amostras dos diferentes litotipos explorados;
- Caracterização tecnológica do material coletado, com base na determinação de índices físicos e ensaios de resistência à abrasão;
- Caracterização química e mineralogia das rochas, a partir de análises de fluorescência e difratometria de raios X;
- Avaliar, através da petrografia, o potencial para a reação álcali-agregado (RAA), identificando condições que sejam propícias ao seu desencadeamento;
- Observar e determinar as características geológicas das rochas amostradas e de suas unidades litoestratigráficas.
- Relacionar os resultados das análises e ensaios, e identificar a influência de suas características na qualificação do agregado.

1.2. A REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

A Região Metropolitana de Curitiba (RMC) está situada na porção leste do estado do Paraná, fazendo divisa a norte com o estado de São Paulo, a leste com os municípios do litoral paranaense, a sul com o estado de Santa Catarina e a oeste com os municípios do Segundo Planalto Paranaense. Encontra-se principalmente no Primeiro Planalto Paranaense e em parte da Serra do Mar (figura 2).

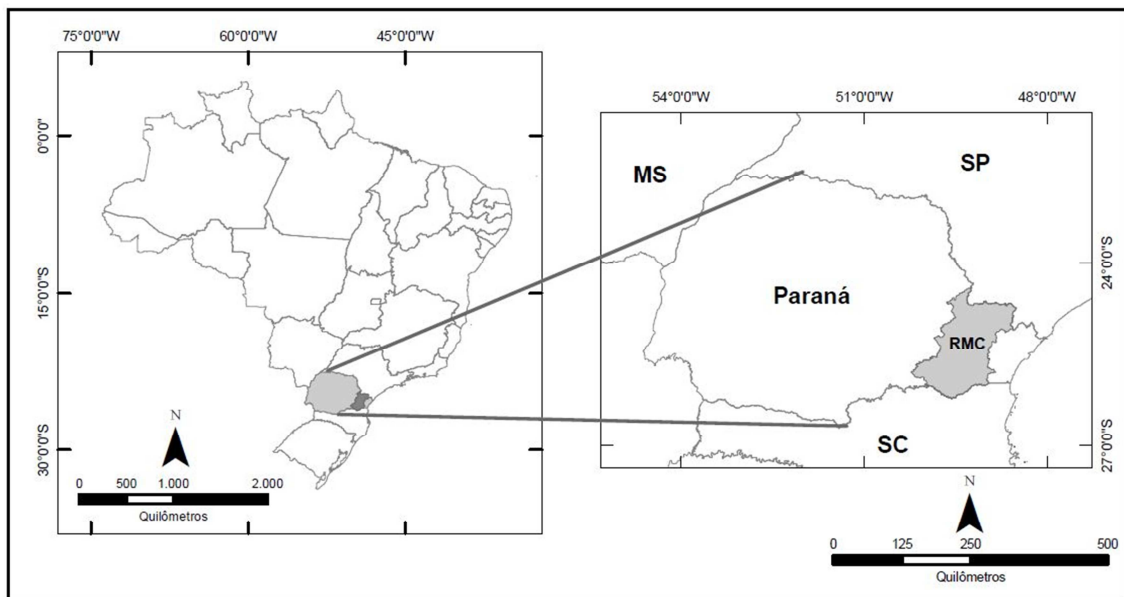


Figura 2. Localização da RMC em relação ao estado do Paraná e ao Brasil.

Apresenta uma área de 16.581,21 km², sendo composta por 29 municípios: Adrianópolis, Agudos do Sul, Almirante Tamandaré, Araucária, Balsa Nova, Bocaiúva do Sul, Campina Grande do Sul, Campo do Tenente, Campo Largo, Campo Magro, Cerro Azul, Colombo, Contenda, Curitiba, Doutor Ulysses, Fazenda Rio Grande, Itaperuçu, Lapa, Mandirituba, Piên, Pinhais, Piraquara, Quatro Barras, Quitandinha, Rio Branco do Sul, Rio Negro, São José dos Pinhais, Tijucas do Sul e Tunas do Paraná (figura 3).

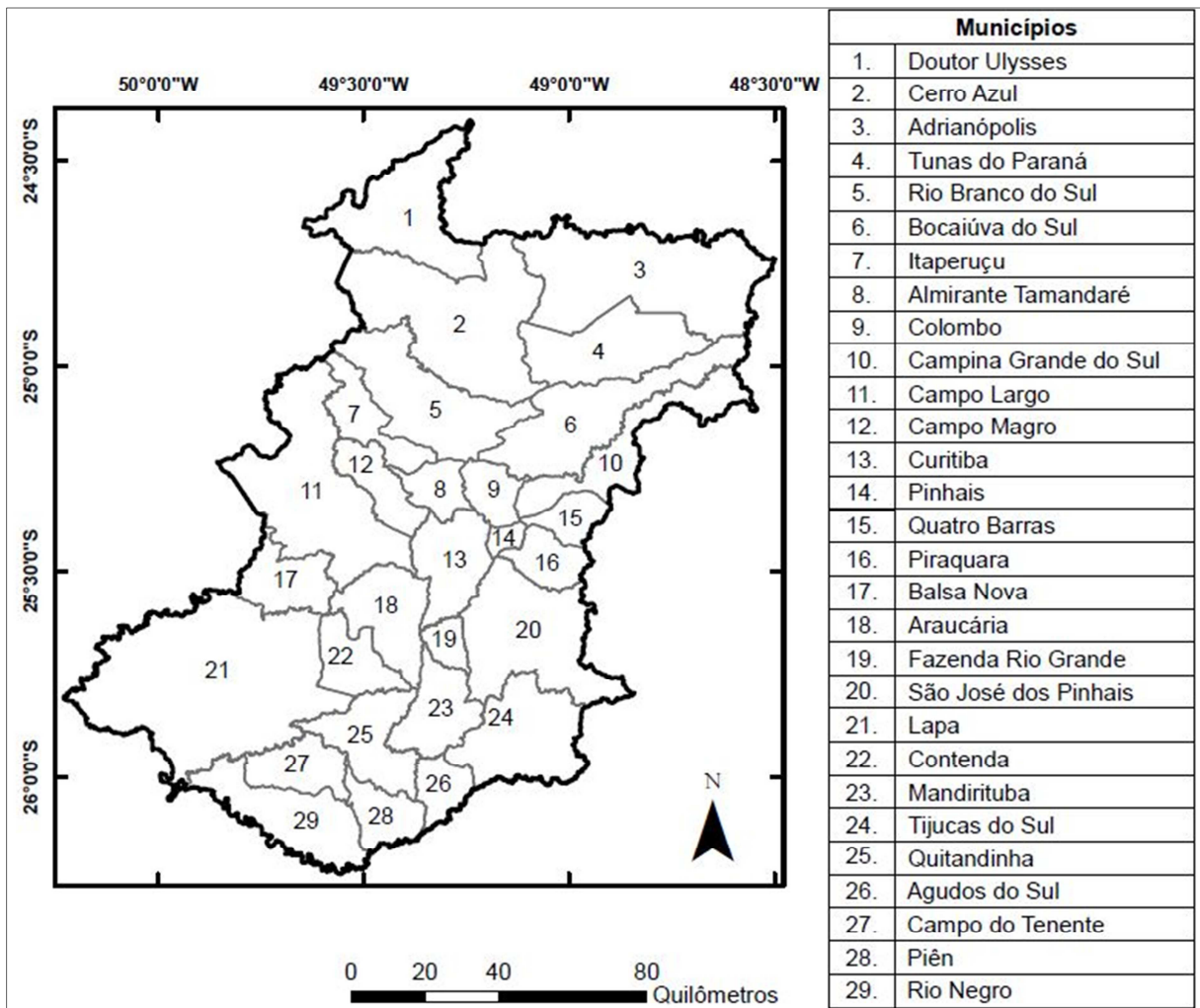


Figura 3. A Região Metropolitana de Curitiba e seus 29 municípios.

1.3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para melhor organização e apresentação dos dados, este trabalho foi dividido em quatro etapas: a) saídas de campo para a coleta de amostras e descrição da lavra; b) preparação das amostras e realização das análises e ensaios; c) petrografia das amostras laminadas; d) interpretação dos dados e apresentação dos resultados.

Este trabalho fará uso de dados do Projeto Materiais de Construção Civil na Região Metropolitana de Curitiba, da CPRM, ainda em desenvolvimento, e que tem por objetivo caracterizar e avaliar as principais ocorrências de depósitos de matérias primas minerais da RMC – britas, areia, argila e calcário.

As análises e ensaios bem como grande parte das lâminas petrográficas foram realizadas com os recursos desse projeto. As saídas de campo e coletas de amostras também foram feitas com estrutura fornecida pela CPRM.

Campo e amostragem

Durante a etapa de campo, foram visitadas cerca de doze empresas produtoras de brita da RMC, para a coleta das amostras e descrição da geologia local, dos métodos de lavra e beneficiamento.

A amostragem para as determinações de índices físicos e resistência à abrasão foi feita de acordo com a norma NBR NM 26 da ABNT, para amostragem em pilhas. Devido à dificuldade em assegurar a representatividade das amostras, devido ao processo de segregação do material mais grosso, que tende a se alojar na face externa da pilha, a norma diz que o procedimento mais adequado é fazer a coleta em diferentes partes da pilha: no topo, no meio e na base (figura 4). Para as análises química, mineralógica e petrografia, deve se coletar uma amostra de rocha sã, não necessariamente britada.



Figura 4. Amostragem em pilha, de acordo com a norma NRM NM 26.

Determinação de índices físicos

Os índices físicos determinados neste trabalho são massa específica, massa específica aparente e absorção de água. A determinação dos índices físicos foi realizada de acordo com a norma NBR NM 53 da ABNT, nos Institutos LACTEC.

A caracterização desses índices tem grande importância nos resultados dos ensaios e na qualificação dos agregados estudados.

Massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, desconsiderando os poros permeáveis. Massa específica aparente é definida pela relação entre a massa do agregado seco e o seu volume, incluindo os poros permeáveis. Absorção de água, ou porosidade, define-se pelo quanto de massa de água o material absorve pelo preenchimento dos poros. O valor de absorção é expresso em porcentagem de sua massa seca.



Figura 5. À esquerda, pesagem do agregado seco, à direita, o material sendo pesado em água.

Segundo a norma NBR NM 53, para se determinar os índices físicos, a amostra é pesada seca, então submersa em água por 24h, pesada submersa (figura 5), removida da água e pesada úmida.

Após esse procedimento, para a determinação da massa específica (d), deve-se dividir o valor da massa da amostra seca (m) pelo valor da massa da amostra seca, menos da amostra submersa (m_a).

$$d = \frac{m}{m - m_a}$$

Para se determinar a massa específica aparente (d_a), divide-se o valor da massa do agregado seco (m) pelo valor da massa do material saturado (m_s) menos a massa deste submerso (m_a).

$$d_a = \frac{m}{m_s - m_a}$$

A determinação da absorção de água (A) é feita através da divisão da massa do agregado saturado (m_s) menos a massa do material seco (m) pela massa do agregado seco (m) vezes cem.

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100$$

Abrasão Los Angeles

De acordo com a DNER-ME 035/98, a Abrasão *Los Angeles* consiste no desgaste sofrido pelo agregado durante o ensaio de abrasão.

Segundo a norma NBR NM 51 da ABNT a máquina de abrasão *Los Angeles* consiste em um tambor giratório, onde juntamente com uma carga abrasiva, composta por esferas de aço, o material é colocado e girado, de acordo com a determinação (figura 6). Essas determinações foram realizadas nos Institutos LACTEC.



Figura 6. À direita, a máquina utilizada no ensaio de abrasão *Los Angeles*. À esquerda a carga abrasiva usada no ensaio.

Após esse procedimento o agregado é retirado da máquina, pesado e peneirado (figura 7). Todo o material de granulometria inferior a 1,7 mm é rejeitado. O restante é lavado e seco em estufa. Após esse procedimento, é feito o cálculo de perda por abrasão, da seguinte forma:

$$P = \frac{m - m_1}{m} \times 100$$

Onde P é a perda por abrasão, dado em porcentagem; m é a massa da amostra total, retirada da máquina de abrasão seca; e m_1 é a massa do material retido na peneira de malha 1,7 mm.



Figura 7. Material sendo peneirado, após o ensaio de abrasão.

Difratometria de Raios X

Utilizado para definir a mineralogia da amostra a partir da incidência de raios X. A rocha é moída, quarteada, prensada e feita uma pastilha com cerca de quinze gramas de material. A pastilha é colocada dentro do difratômetro, onde é submetida a um feixe de raios X, que incide em diversos ângulos. Conforme o feixe é direcionado sobre a pastilha, atinge determinados planos cristalográficos, sendo então difratado com um ângulo específico de acordo com a estrutura cristalina do mineral. O difratômetro possui um detector que capta os raios difratados. Cada mineral possui um ângulo específico de difração, e baseado neste princípio, é possível determinar a mineralogia da amostra analisada (GOBBO, 2009). As análises de difratometria foram realizadas no LAMIR.

Fluorescência de Raios X

Utilizado para se determinar a composição química das amostras a partir da emissão de raios X. A amostra a ser analisada é moída, quarteada e prensada, formando-se uma pastilha. A pastilha é então colocada no espectrofotômetro e submetida a um feixe de raios X, provocando excitação dos elementos químicos

existentes que emitem radiação quando retornam ao seu estado anterior. Cada elemento químico possui um espectro específico de emissão, que é captado pelo espectrofotômetro, sendo então possível identificar a composição química da amostra analisada (GOBBO, 2009). Essas análises foram realizadas no LAMIR – Laboratório de Minerais e Rochas.

Petrografia

A petrografia busca identificar a mineralogia das rochas, bem como os processos geológicos ocorridos para sua formação, que possam ter influência nos resultados dos ensaios de abrasão (figura 8), determinação de índices físicos ou que possam gerar potencial para reatividade do agregado. As descrições petrográficas foram realizadas no LAPEM e no Laboratório de Microscopia do DGEOL.

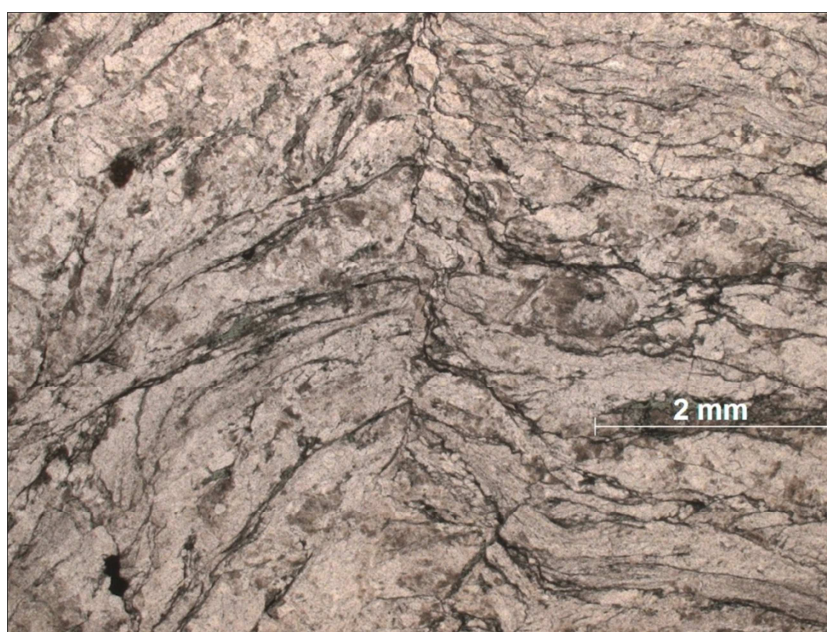


Figura 8. *Presença de fraturas preenchidas por clorita em protocataclasito. A presença de fraturas pode ser um fator que influencie no resultado dos ensaios de abrasão.*

Através da observação de lâminas delgadas, foi possível a caracterização de fatores geológicos que são relevantes para a correlação dos resultados de abrasão e a presença de texturas e estruturas que possam influenciar o desencadeamento da reação álcali-agregado (RAA).

Pinho (2007) *apud* Frazão (2002), afirma que os principais fatores que influenciam na qualidade dos agregados graúdos são:

- **Estado de alteração:** afeta a durabilidade, propriedades físicas e mecânicas das rochas, (figura 9);
- **Presença de minerais deletérios:** minerais que desencadeiam reações químicas no concreto. Exemplos destes são os sulfetos (como pirita e marcassita), as zeólitas, que podem adsorver água em suas estruturas, substâncias vítreas, argilominerais expansíveis e alguns minerais do grupo da serpentina.

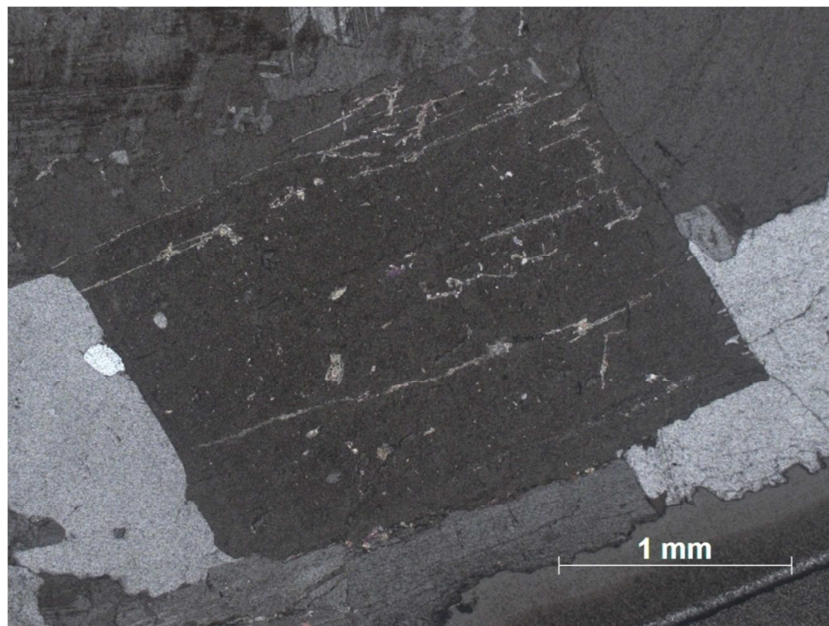


Figura 9. Sericitização em cristal de feldspato alcalino (FK).

Tiecher (2010) afirma que o grau de cristalinidade e deformação do quartzo também influencia na reação álcali-agregado. Cristais de quartzo e feldspato alcalino que tenham granulação criptocristalina, muito comum em rochas vulcânicas, apresentam maior potencial para reação, assim como o grau de deformação das rochas: quanto maior o grau de deformação de uma rocha, baseado na deformação do quartzo, maior o potencial desta para reação. A figura 10 mostra um cristal de quartzo com a formação de subgrãos, que é evidência de deformação no retículo cristalino. Segundo o autor, intercrescimentos como o mirmequítico também indicam potencial para o desencadeamento da RAA.

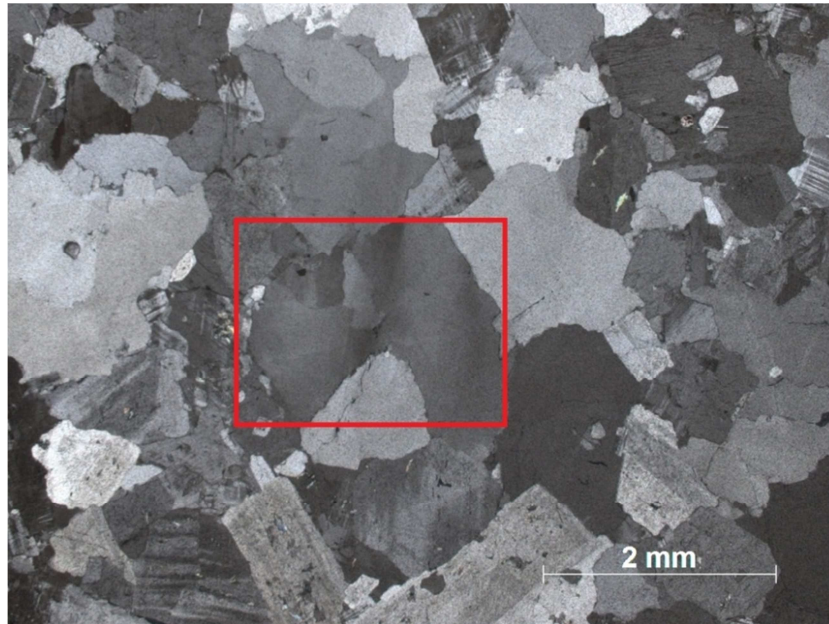


Figura 10. Presença de subgrãos (destaque em vermelho) no quartzo: indicador de potencial para reação álcali-agregado.

A trama e arranjo dos minerais também influenciam nas características do material britado. A granulação dos fragmentos tem influência na compacidade dos agregados, assim como a forma (hábito) dos cristais. Rochas bandadas ou estratificadas tendem a produzir fragmentos de formas lamelares ou alongadas, enquanto que rochas com estrutura isótropa (sem orientação) tendem a formar fragmentos de forma cúbica. (PINHO, 2007). As formas possíveis para a os fragmentos são exemplificadas na figura 11.

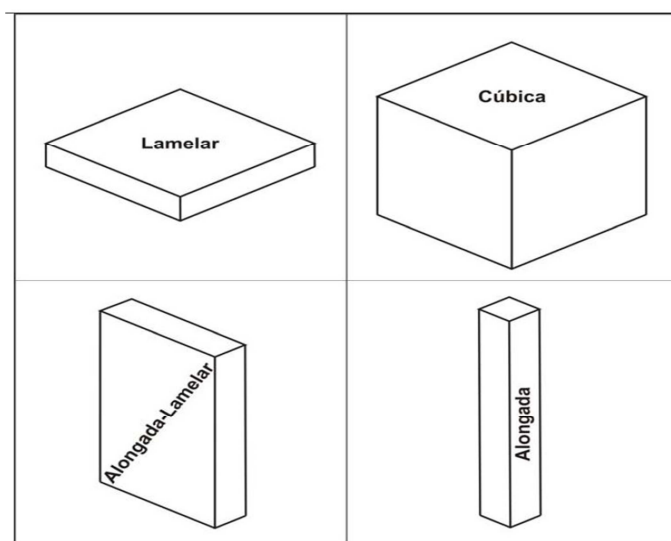


Figura 11. Principais formatos dos fragmentos de agregados. Fonte: Pinho (2007).

Interpretação dos dados

A interpretação dos dados foi realizada através da comparação dos resultados das análises e ensaios, buscando a correlação entre composições químicas, mineralógicas e dos condicionantes geológicos com os valores de resistência à abrasão e índices físicos.

Para se estabelecer essas relações, foi elaborada uma tabela com todos os dados de análises, ensaios e petrografia, de acordo com o ponto amostrado, para com isso, elaborar gráficos, afim de se visualizar mais facilmente as relações entre as diferentes informações.

Também foi construído um Sistema de Informações Geográficas (SIG) com as localizações dos pontos amostrados e com as informações da geologia da RMC, tendo como base a Folha Curitiba, da CPRM.

A construção das tabelas e gráficos foi feita através do programa *Microsoft Excel 2010*, e a construção do SIG foi com o programa *ArcGIS 10.1*.

1.4. AGREGADO GRAÚDO (BRITA)

De acordo com o manual “Agregados para construção civil: Areia, Brita e Cascalho” (PORMIN, 2008), o termo “Brita” refere-se ao agregado de origem artificial, tamanho graúdo, lavrado em pedreiras que explorem rochas cristalinas pouco intemperizadas e coesas, preferencialmente de composição quartzo-feldspática. A composição da rocha, entretanto, não interfere no termo “Brita”.

Segundo a norma NBR 7211, da ABNT, os agregados são definidos como materiais pétreos fragmentados naturalmente ou através de processos artificiais. As britas também são referidas como “Agregado Graúdo”, e segundo a norma NBR 7525 da ABNT, são classificadas de acordo com seu tamanho, da seguinte forma:

- Nº1 – 4,75 a 12,5mm – Usada para concreto comum;
- Nº2 – 12,5 a 25,0mm – Concretos de maior resistência;
- Nº3 – 25 a 50mm – Lastro de ferrovias;
- Nº4 – 50 a 76mm – Obras de drenagem;
- Nº5 – 76 a 100mm – Muros de contenção e gabiões.

A rocha utilizada como brita, deve apresentar preferencialmente, granulação não muito grossa, baixa porosidade, pouco fraturamento e mínima orientação mineral possível. Não é recomendado o uso de rochas xistosas ou acamadadas. De

acordo com o relatório de agregados minerais da ABDI (2012), cerca de 85% dos agregados graúdos produzidos no país são derivados de granitos e gnaisses, 10% provém de calcários e dolomitos e 5% é originado de basaltos e diabásios.

Além da composição mineralógica a morfologia e superfície dos grãos também influenciam no material produzido. Grãos mais rugosos e angulosos tendem a ser melhores do que grãos lisos e arredondados, pois propiciam maior atrito e aderência no concreto.

1.5. REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO (RAA)

A RAA é um fenômeno que ocorre pela reação química de três elementos: os álcalis do cimento, o agregado reativo e a água que pode causar grandes danos a estruturas de concreto, por vezes irreversíveis (figura 12). A RAA causa deterioração do concreto endurecido, provocando a formação de um gel expansivo a partir das reações entre os agregados reativos e os álcalis do cimento. Fatores ambientais tais como temperatura e umidade do ar podem influenciar na reatividade dos elementos, assim como na velocidade das reações (LIMA *et al.*, 2009). O gel higroscópico formado pelas reações expande-se, causando deformações que diminuem a resistência do concreto, provocam fissurações e até a destruição total das estruturas afetadas (FIGUERÔA & ANDRADE, 2007 *apud* LIMA *et al.*, 2009).



Figura 12. Caso de RAA em estado avançado em pilar de prédio.
Fonte: Lima (2009).

2. GEOLOGIA REGIONAL

A Região Metropolitana de Curitiba encontra-se inserida em um contexto geológico bastante diversificado, onde afloram unidades do Arqueano ao Quaternário, resultantes de diferentes eventos tectônicos e geológicos. A figura 13 mostra as unidades litoestratigráficas presentes na RMC.

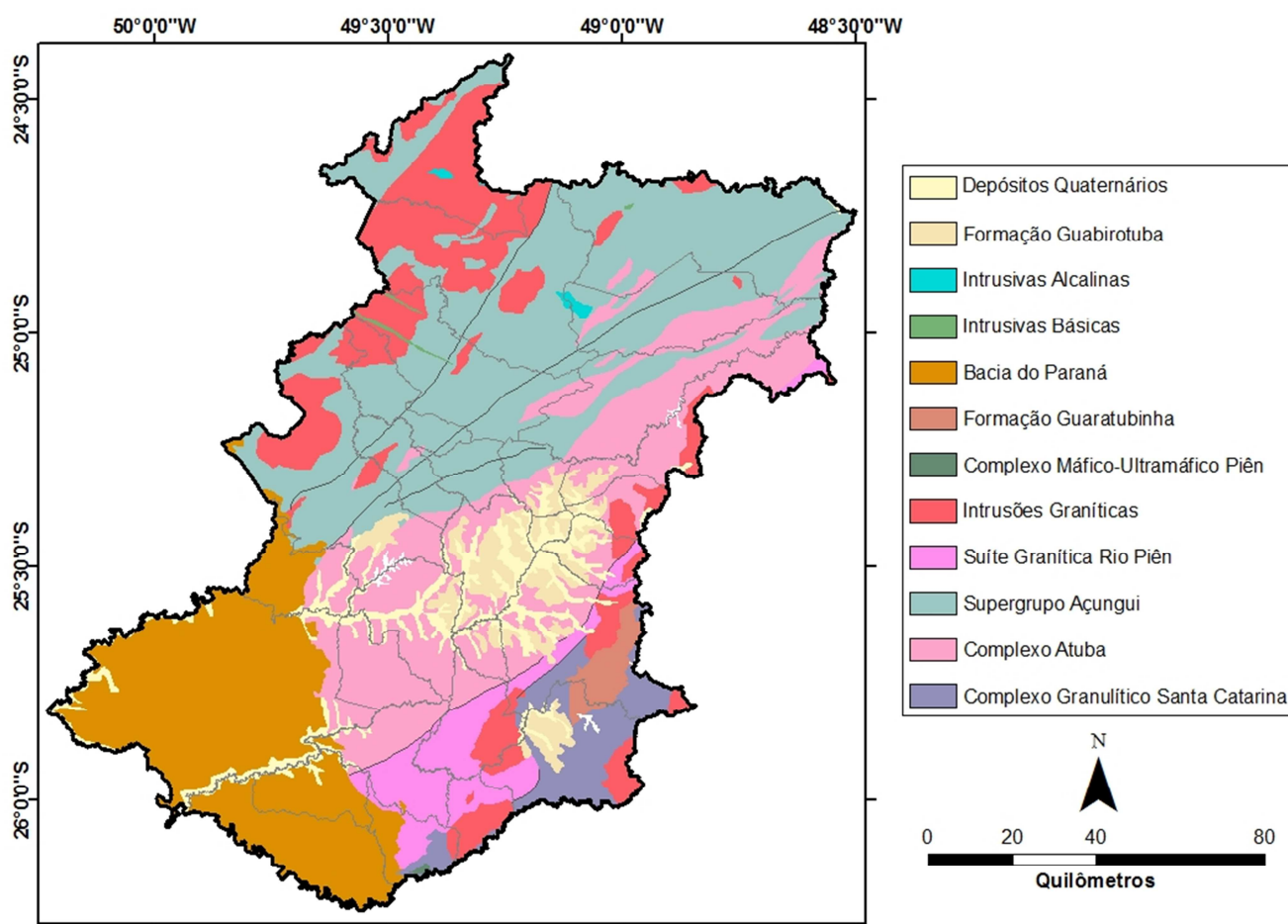


Figura 13. Mapa geológico detalhando as principais unidades aflorantes na RMC, com base na Folha Curitiba

2.1. COMPLEXO GRANULÍTICO SANTA CATARINA

Esta unidade encontra-se na porção sul e sudeste da RMC. O Complexo Granulítico Santa Catarina é composto principalmente por ortogneisses félsicos a intermediários, de composição tonalítica, trondhjemítica e granodiorítica (TGG), subordinadamente por rochas metassedimentares e intrusivas básicas e ultrabásicas (BASEI *et al.* 1997). Está inserida no contexto da Província Mantiqueira, e pertence ao Domínio Luís Alves (HASUI *et al.* 2012). Dados geocronológicos apontam a

formação dessas rochas entre o Arqueano e o Paleoproterozoico (SIGA Jr. *et al.*, 1993; SIGA Jr., 1995). Figueiredo *et al.* (1991) sugere, com base em dados geoquímicos, a formação do Complexo Granulítico Santa Catarina num ambiente de arco insular.

2.2. COMPLEXO ATUBA

Presente principalmente na porção central e nordeste da RMC, consiste em gnaisses bandados migmatíticos, intercalados a corpos anfibolíticos e a xistos magnesianos (SIGA Jr. *et al.*, 1995), migmatitos com estruturas estromáticas, mesossoma composto por biotita-anfibólio gnaisses e leucossoma de composição tonalítico-granodiorítica e gnaisses granulíticos (CURY, 2009), com direção principal dos bandamentos para NE. Limita-se a noroeste pelo Grupo Açungui e a sul pela Suíte Rio Piên, e pertence ao Domínio Curitiba, da Província Mantiqueira (HASUI *et al.*, 2012). Segundo datações apresentadas em Siga Jr. *et al.* (1995), a formação das rochas do Complexo Atuba se deu no Paleoproterozoico, com posterior reativação e migmatização no Neoproterozoico.

Em meio às rochas metassedimentares do Grupo Açungui, afloram núcleos de granitoides alcalinos deformados, denominados Núcleos Betara e Tigre (CURY *et al.*, 2002), que de acordo com Kaulfuss, (2001) *apud* Cury (2002), são de idade arqueana a paleoproterozoica.

2.3. SUPERGRUPO AÇUNGUI

Situado na porção norte e nordeste da RMC, consiste em uma grande diversidade de unidades de rochas metassedimentares e metavulcânicas, como filitos, quartzitos, xistos, mármore, metamargas, anfibolitos e diversos outros litotipos de baixo a médio grau metamórfico. De diversos trabalhos realizados na região que separaram essas rochas em várias unidades e muitas subdivisões locais, uma divisão principal, em dois grandes grupos, o Grupo Açungui e o Grupo Setuva, prevaleceram, com base em critérios estruturais e metamórficos (CAMPANHA & SADOWSKI, 1999). Campanha (1991) faz a proposta de classificar essas rochas como Supergrupo Açungui, sendo então subdividido em uma série de cinturões de direção NE, de acordo com o *trend* estrutural e a posição geográfica. De noroeste

para sudeste, esses cinturões são chamados Domínio Norte, representado pelo Grupo Itaiacoca; Domínio Central, composto pela Formação Água Clara e Grupo Votuverava (subdividido em Subgrupo Lageado e Subgrupo Ribeira); e Domínio Sul, que consiste na Formação Capiru e Grupo Setuva.

O Supergrupo Açungui pertence ao Domínio Apiaí, da Província Mantiqueira (HASUI *et al.*, 2012), e diversos autores realizaram estudos geocronológicos nas rochas dessas unidades, que indicaram sua formação no Mesoproterozoico e início do Neoproterozoico (CAMPANHA & SADOWSKI, 1999).

2.4. SUÍTE GRANÍTICA RIO PIÊN

Aflora na porção sul e sudeste da RMC, consiste basicamente em granitoides deformados, especialmente hornblenda-quartzo monzodioritos, biotita monzogranitos e granodioritos. Ocorre como uma faixa alongada, de direção preferencial SW-NE, e é limitada a norte pelo Complexo Atuba, e a sul pelo Complexo Granulítico Santa Catarina (CURY, 2009). Dados geocronológicos apontam idades neoproterozoicas (620 – 610 Ma, 605 – 595 Ma) (HARARA, 1993). Este mesmo trabalho usa levantamentos e estudos geoquímicos para definir a Suíte Granítica Rio Piên como um arco magmático. De acordo com Hasui *et al.*(2012), esta unidade, juntamente com o Complexo Atuba, faz parte do Domínio Curitiba.

2.5. INTRUSÕES GRANÍTICAS ALCALINAS E CALCIOALCALINAS

Distribuídos ao longo de toda a RMC, ocorrem diversos corpos graníticos, alinhados para NE. Esses corpos são separados de acordo com sua distribuição geográfica, idades e associações litogeoquímicas, assim como as suas relações estratigráficas com unidades adjacentes.

No extremo noroeste da RMC encontram-se os complexos Cunhaporanga e Três Córregos, compostos basicamente por granodioritos porfiríticos, quartzo-monzonitos, tonalitos e sienogranitos (PRAZERES FILHO *et al.*, 2003). Encontram-se intrudidos em meio às rochas do Supergrupo Açungui, especialmente nas unidades do Grupo Itaiacoca e Formação Água Clara. Com base em dados litogeoquímicos e petrológicos, esses dois Complexos são classificados como de tipo I calcioalcalinos, formados em arcos magmáticos continentais (WERNICK *et al.*,

1990; GIMENEZ FILHO, 1993; REIS NETO, 1994; GIMENEZ FILHO *et al.*, 2000; GUIMARÃES, 2000; PRAZERES FILHO, 2000; PRAZERES FILHO *et al.*, 2001 *apud* PRAZERES FILHO *et al.*, 2003).

Uma série de *stocks* graníticos, orientados com direção SW-NE encontra-se intrudidos em meio ao Grupo Votuverava. Entre estes, se destacam os granitos Passa Três, Cerne, Piedade, Morro Grande e Varginha. São compostos por biotita-sienitos, monzogranitos e quartzo sienitos porfiríticos (CURY *et al.*, 2008), álcali-feldspato granitos, quartzo álcali-feldspato sienitos (DRESSEL, 2013). Dados litogeoquímicos mostram diversidade na química dessas intrusões, onde o Granito Varginha é classificado como tipo I caledoniano, e os granitos Passa Três, Cerne, Piedade e Morro Grande são do tipo A (DRESSEL, 2013; CURY *et al.*, 2008). Esses dados também mostram que a formação e colocação desses corpos se deu num ambiente tardiorogênico.

Na porção sul e leste da RMC, encontram-se os granitos da Serra do Mar, representados pelos corpos denominados Rio Negro, Agudos do Sul, Palermo, Marumbi, Anhangava e Serra da Graciosa. São compostos por sienitos e monzodioritos tipo A, formados em ambiente anorogênico (GUALDA & VLACH, 2006). Kaul (1997) sugere que esses granitos não tenham se formado em ambiente anorogênico, e sim em um ambiente pós colisional distensivo.

Datações foram realizadas nos trabalhos de Prazeres Filho *et al.* (2003), Cury *et al.* (2008) e Kaul (1997), todos indicando que esses corpos graníticos são de idade neoproterozoica.

2.6. COMPLEXO MÁFICO – ULTRAMÁFICO PIÊN

Encontra-se na região extremo sul da RMC, é composto por serpentinitos, xistos magnesianos, harzburgitos serpentinizados, metaortopiroxenitos e metagabronoritos (HARARA, 1993). Levantamentos geoquímicos sugerem que essa unidade se formou em um ambiente de margem continental ativa, relacionada à zona de subducção. Dados geocronológicos apontam idade neoproterozoica para esse complexo (HARARA, 1993).

2.7. FORMAÇÃO GUARATUBINHA

Posicionado na porção sudeste da RMC, consiste em uma bacia molássica (SIGA JR. *et al.*,1993) composta por tufos vulcânicos, lápili-tufos, ignimbritos, arenitos, conglomerados, brechas vulcânicas, andesitos e riolitos (REIS NETO *et al.*, 2000). Basei *et al* (1992) considera que a formação dessa unidade, assim como de outras bacias vulcanossedimentares, se deu por ajustes crustais causados após eventos orogênicos. Levantamentos geocronológicos indicam que essa bacia formou-se no Neoproterozoico (SIGA JR. *et al.*,1993).

2.8. FORMAÇÃO FURNAS

Situada na porção oeste da RMC, consiste em arenitos quartzosos de granulação média a fina, arenitos caulíníticos e/ou feldspáticos mal selecionados, com intercalações de níveis e lentes conglomeráticas (ASSINE, 1999). Com base em relações estratigráficas com as unidades subsequentes, foi classificada como de idade devoniana, bem como por dados paleontológicos. De acordo com estudos faciológicos, foi interpretada a origem dessa unidade em ambiente litorâneo (ASSINE, 1999). Essa unidade está inserida no contexto da Bacia do Paraná.

2.9. GRUPO ITARARÉ

Encontrado na porção sudoeste da RMC, é constituído por folhelhos, arenitos, siltitos e diamictitos (VESELY & ASSINE, 2004). Estudos estratigráficos indicam que este grupo é do Carbonífero (VESELY & ASSINE, 2002). A associação de fácies, litotipos e estruturas sedimentares indicam que esta unidade formou-se em um ambiente marinho com influência glacial (FRANÇA & POTTER, 1988).

2.10. INTRUSIVAS BÁSICAS E ALCALINAS

Presentes em toda a RMC, ocorrem principalmente como diques, compostos por basaltos, microgabros, microdioritos e dacitos (VANZELA *et al.*, 2004). Esses diques encontram-se orientados para NW, e possuem espessuras e comprimentos

variados. A intrusão dessas rochas está associada ao desenvolvimento de uma estrutura denominada Arco de Ponta Grossa (RAPOSO, 1995).

Pinese (1989) *apud* Raposo (1995), através de estudos geocronológicos, determinou que as rochas desta unidade são de idade cretácea.

As intrusões alcalinas encontram-se na região norte da RMC, e são compostas por álcali-feldspatos sienitos, sienitos alcalinos, dioritos, monzodioritos, gabros e monzogabros e brechas vulcânicas (VASCONCELLOS & GOMES, 1992). Dados geocronológicos evidenciam que estas rochas foram formadas no Cretáceo Superior (SIGA JR. *et al.*, 2007), e levantamentos geofísicos e estruturais indicam que estas intrusões estão associadas tectonicamente ao Lineamento São Jerônimo – Curiúva (RUBERTI *et al.*, 2005 *apud* SIGA JR *et al.*, 2007).

2.11. FORMAÇÃO GUABIROTUBA

Posicionado nas porções central e sudoeste da RMC, a Formação Guabirota é constituída por argilitos, arenitos arcoseanos, conglomerados e calcretes (CUNHA, 2011). As rochas dessa unidade foram depositadas em um sistema de leques aluviais coalescentes e rios entrelaçados (CUNHA, 2011). Salamuni (1988) atribuiu idade oligo-miocênica, com base no processo de deformação crustal que gerou essa unidade. Segundo Salamuni *et al.* (2004), essa unidade se formou devido a um sistema de transtensões e distensões, denominado Rife Serra do Mar.

2.12. DEPÓSITOS ALUVIONARES

Encontram-se principalmente na porção central da RMC, os principais depósitos aluvionares da região foram formados pelos rios Iguazu, Barigui, Passaúna e Belém. Consistem em sedimentos inconsolidados, compostos principalmente por areias e argilas, depositados em ambientes fluviais.

3. PONTOS DE AMOSTRAGEM

Cerca de doze pedreiras foram visitadas, onde foram realizadas coletas de amostras, seguidas de uma breve descrição da geologia local, métodos de lavra e

beneficiamento (tabela 1). Os pontos visitados encontram-se principalmente na porção sudeste da RMC, e em sua maioria no município de São José dos Pinhais (figura 14). Os litotipos predominantemente lavrados são gnaisses e granitos, porém também foram amostradas britas de diabásio, riolito e mármore.

Tabela 1. *Relação dos pontos visitados e amostrados no trabalho.*

EMPRESA	MUNICÍPIO	ROCHA LAVRADA
LC-20 - Areal Cotragon	São José dos Pinhais	Gnaisse bandado
LC-36 - Pedreira Basalto	Quatro Barras	Álcali-Feldspato Granito
LC-39 - Saibreira São Mateus	São José dos Pinhais	Granito cataclasado
LC-40 - Grandó Mineração	Antônio Olinto*	Diabásio
LC-42 - Mineração Terra Rica	Almirante Tamandaré	Mármore dolomítico
LC-50 - Pegmatito Paraná	Agudos do Sul	Monzogranito
LC-62 - Saibreira Boa Esperança	São José dos Pinhais	Gnaisse
LC-63 - Pedreira São Jorge	Balsa Nova	Gnaisse
LC-64 - Mineração Guaricana	São José dos Pinhais	Riolito
LC-65 - Pedreira Central	Campo Largo	Gnaisse/Diabásio
LC- 66 - Mineração Costa	São José dos Pinhais	Gnaisse
RL-13 - Pedreira Boscardin	Piraquara	Granito

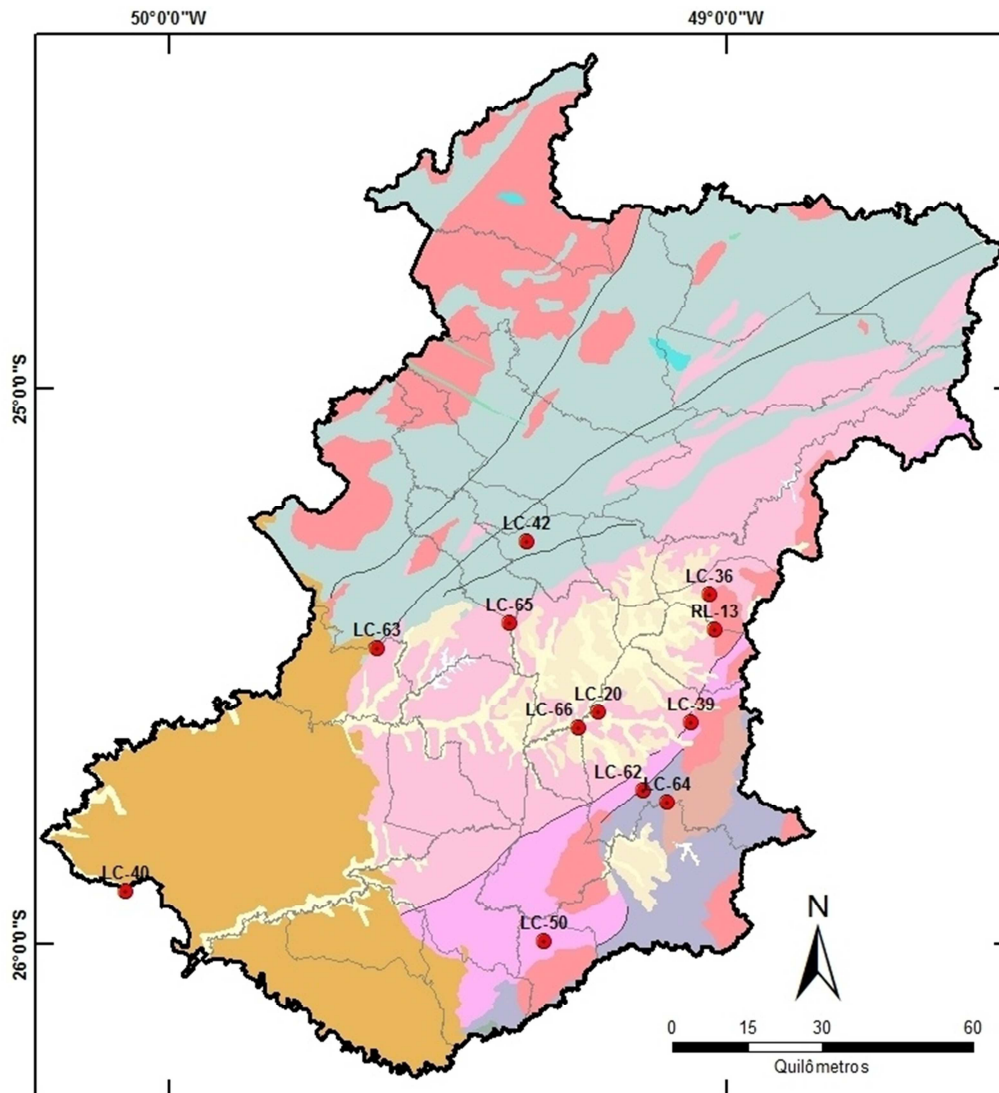


Figura 14. Distribuição das pedreiras amostradas ao longo da RMC.

3.1. LC-20 – AREAL COTRAGON

Situada no município de São José dos Pinhais, na localidade denominada Colônia Rio Grande, essa empresa tem como principal produto a areia, explorada da várzea do Rio Iguaçu. No entanto, devido à pequena espessura da cobertura arenosa, a lavra rapidamente atingiu as rochas do Complexo Atuba (figura 15), cuja porção alterada é explorada como saibro e a rocha sã é lavrada pra a produção de brita (figura 16).

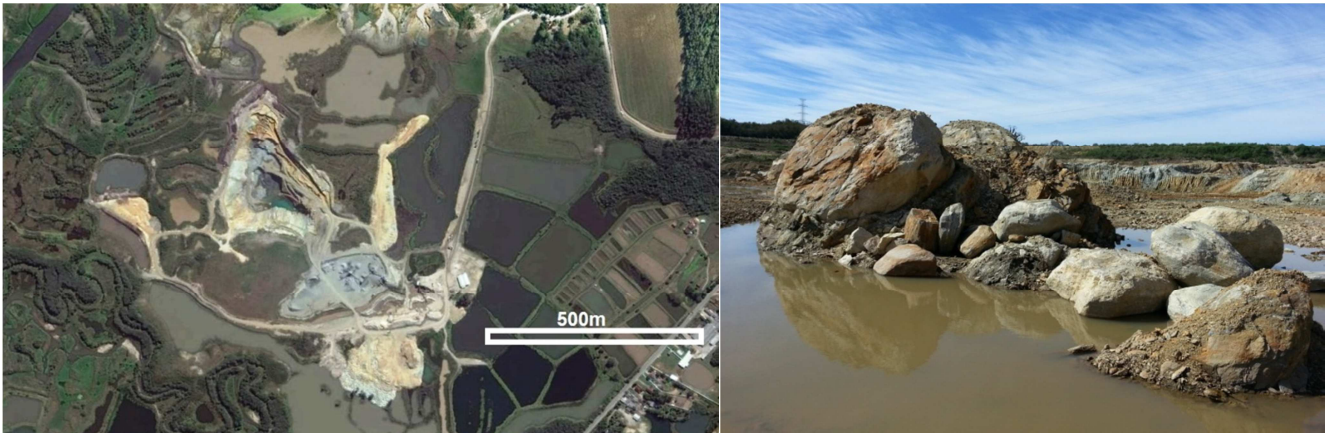


Figura 15. Areal Cotragon via satélite (Google Earth) e detalhe dos blocos do Complexo Atuba aflorando na cava.



Figura 16. Estocagem de brita em pilhas no Areal Cotragon

3.2. LC-36 – PEDREIRA BASALTO

Está localizada no município de Quatro Barras, próxima ao contorno leste, e lava um álcali-feldspato granito do corpo granítico Anhangava. O nome “Pedreira Basalto” não deriva portanto do tipo de material explorado, e deve-se ao histórico da constituição da empresa. A rocha é composta por cerca de 70% de FK, 20% de biotita e 10% de quartzo, e possui estrutura maciça. A figura 17 mostra a frente de lavra da pedreira, tanto em campo como a imagem de satélite.



Figura 17. À esquerda cava da mineração vista em planta através de imagem de satélite (Google Earth), na direita detalhe da frente de lava e bancadas.

3.3. LC-39 – SAIBREIRA SÃO MATEUS

Lavra situada no Município de São José dos Pinhais, na localidade denominada Colônia Murici (figura 18). A rocha lavrada é um granito intensamente deformado, com evidências de milonitização e cataclasamento. A análise petrográfica indicou que a rocha lavrada é um protocataclasito. De fato esta pedreira situa-se próxima à Zona de Cisalhamento Piên-Tijucas, podendo ser uma explicação da presença de cataclasitos e milonitos nesta pedreira. A figura 19 mostra a lava na Saibreira São Mateus.

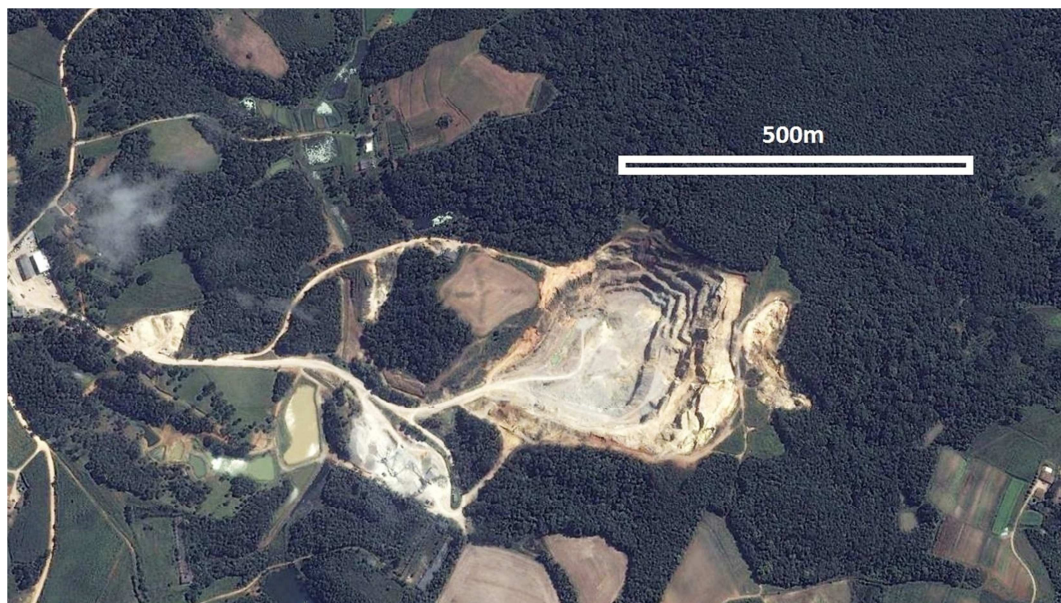


Figura 18. Imagem de satélite da cava da Saibreira São Mateus



Figura 19. Vista geral da lavra na Saibreira São Mateus.

3.4. LC-40 – GRANDO MINERAÇÃO

Apesar de se encontrar fora da RMC (município de Antônio Olinto) ela foi incluída neste trabalho por explorar um tipo litológico diferente, e por ser de fato, fornecedor de brita para a RMC, situando-se muito próxima ao município da Lapa. Esta empresa lavra um dique de diabásio (figura 20) intrudido nos arenitos do Grupo Itararé, com espessura aproximada de quarenta metros (figura 21).



Figura 20. Imagem de satélite da Grando Mineração. Nota-se a geometria alongada com orientação NW.



Figura 21. Cava da Pedreira Grando.

3.5. LC-42 - MINERAÇÃO TERRA RICA

Localizada no município de Almirante Tamandaré, esta empresa lava mármore dolomítico, para diversas finalidades: produção de cal, corretivo agrícola, areia de calcário e brita de calcário. A figura 22 mostra a frente de lavra.

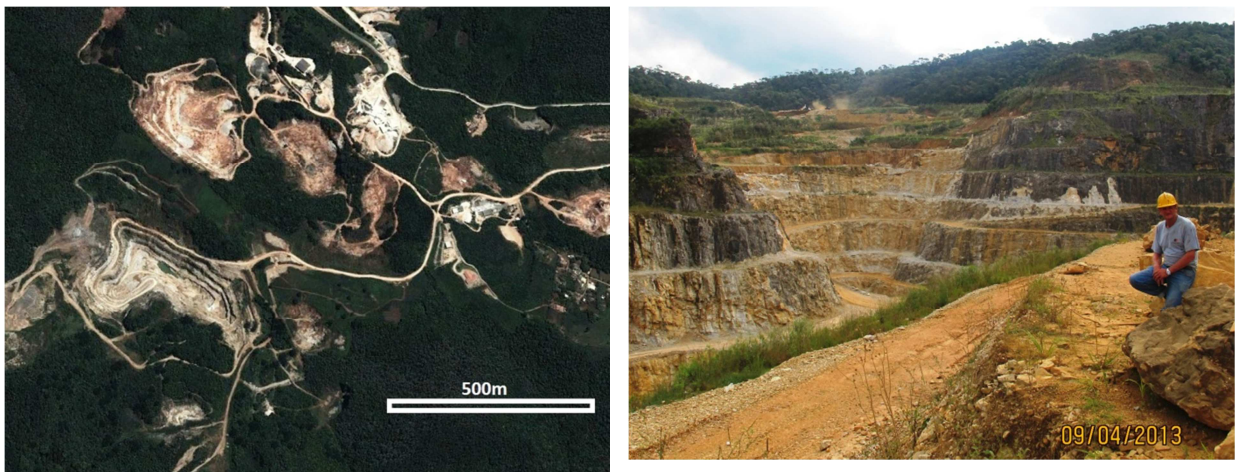


Figura 22. Lavra em bancada na Mineração Terra Rica.

3.6. LC-50 – PEGMATITO PARANÁ

Localizada em Agudos do Sul, no corpo granítico de mesmo nome (figura 23), ocorre um monzogranito que, pela baixa quantidade de quartzo (< 30%), é tratado comercialmente como feldspato, utilizado na indústria cerâmica. Por representar um potencial para a produção de brita, foi amostrado e ensaiado para

este trabalho. Destaca-se a ocorrência frequente de disseminações de fluorita (figura 24), evidenciado pela análise química desta rocha.



Figura 23. Frente de lavra na mineração Pegmatito Paraná. À esquerda a imagem de satélite (Google Earth), à direita vista em campo.



Figura 24. Disseminação de fluorita no Granito Agudos do Sul.

3.7. LC-62 – SAIBREIRA BOA ESPERANÇA

Localizada no município de São José dos Pinhais, consiste em uma lavra sobre o Complexo Santa Catarina (figura 25). A rocha explorada é um gnaise composto por 60% de FK, 30% de anfibólio e 10% de quartzo. A rocha aparenta ser um granito deformado, com orientação dos cristais de anfibólio. A figura 26 mostra o material sendo britado e depositado em pilhas.



Figura 25. Imagem de Satélite da Saibreira Boa Esperança. Fonte: Google Earth.À direita, a frente de lavra.]



Figura 26. Britador e pilhas de material britado.

3.8. LC-63 – PEDREIRA SÃO JORGE

Situa-se no município de Balsa Nova, próximo à BR-376. Esta pedreira lava um gnaisse do Complexo Atuba, composto por bandas de quartzo e feldspato intercalado a bandas de anfibólio (figura 27).

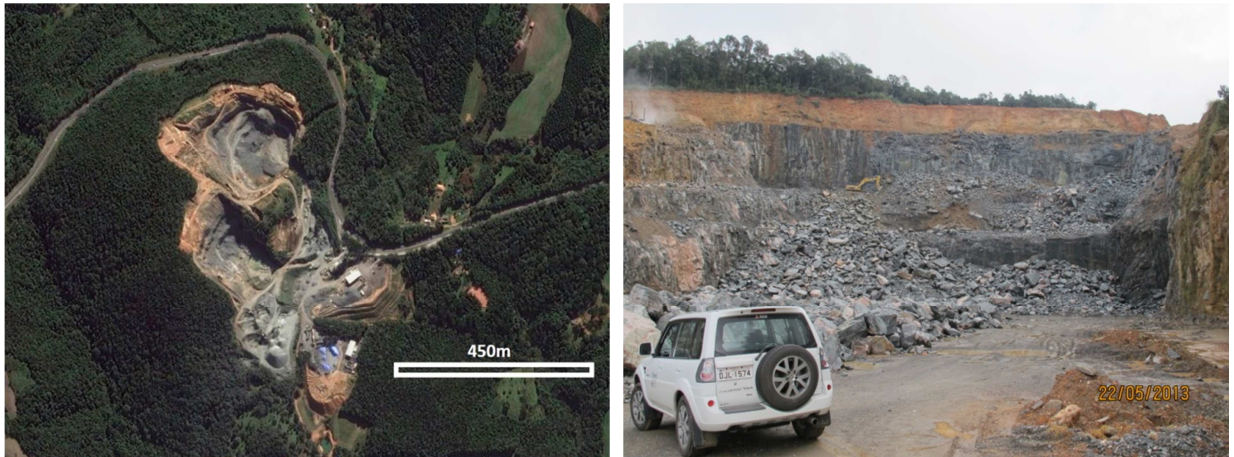


Figura 27. Frente de lavra da Pedreira São Jorge.: à esquerda a imagem de satélite; e a direita em campo.

3.9. LC-64 – MINERAÇÃO GUARICANA

Está localizada no município de São José dos Pinhais, próximo à BR-376. A lavra é feita em riolitos da Formação Guaratubinha (figura 28). Este riolito é composto por quartzo e feldspato, e possui textura afanítica. A rocha é cortada por diques de lamprófiro.



Figura 28. Detalhe da cava da Mineração Guaricana vista por satélite. À direita, a imagem da frente de lavra.

3.10. LC-65 – PEDREIRA CENTRAL

Localizada no município de Campo Largo, próximo à BR-376, esta empresa explora um gnaisse do Complexo Atuba (figura 29). Este gnaisse apresenta uma estrutura bandada, com intercalação de bandas compostas por quartzo e FK e bandas de anfibólio e biotita (figura 30), sendo cortada por diques de diabásio.

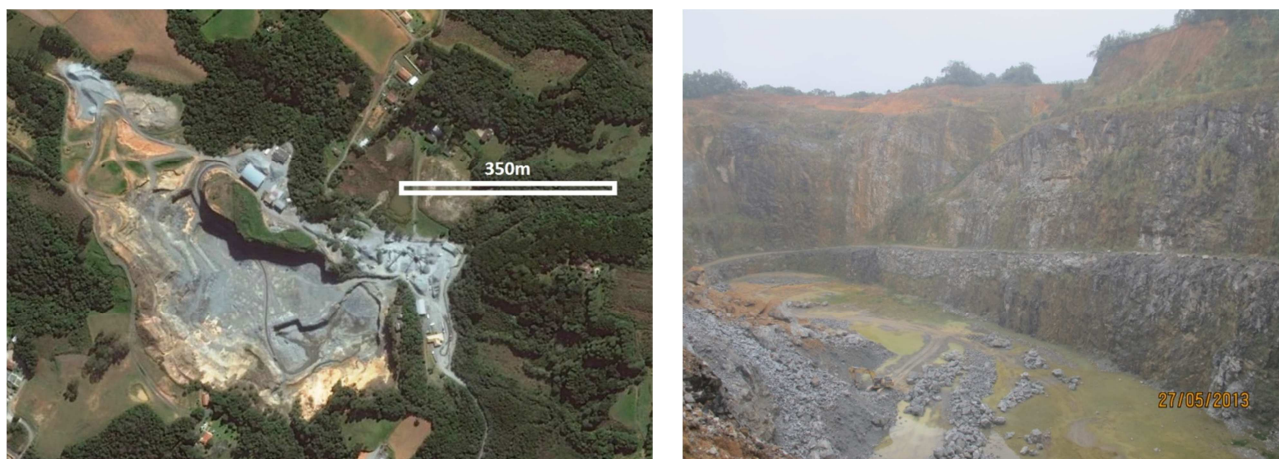


Figura 29. Vista por imagem de satélite (esquerda) da Pedreira Central e da frente de lavra (direita)



Figura 30. Detalhe da rocha lavrada na Pedreira Central.

3.11. LC-66 – MINERAÇÃO COSTA

Situado no município de São José dos Pinhais, semelhante ao Areal Cotragon, essa pedreira inicialmente tinha como principal atividade a extração de areia de várzea. Conforme a lavra de areia foi avançando, atingiu as rochas do Complexo Atuba (figura 31), que atualmente são lavradas para a produção de brita. A rocha explorada é um gnaisse com bandamento incipiente, composta por 40% de FK, 30% de quartzo e 30% de anfibólio. A rocha é cortada por veios aplíticos de composição quartzo-feldspática (figura 32).

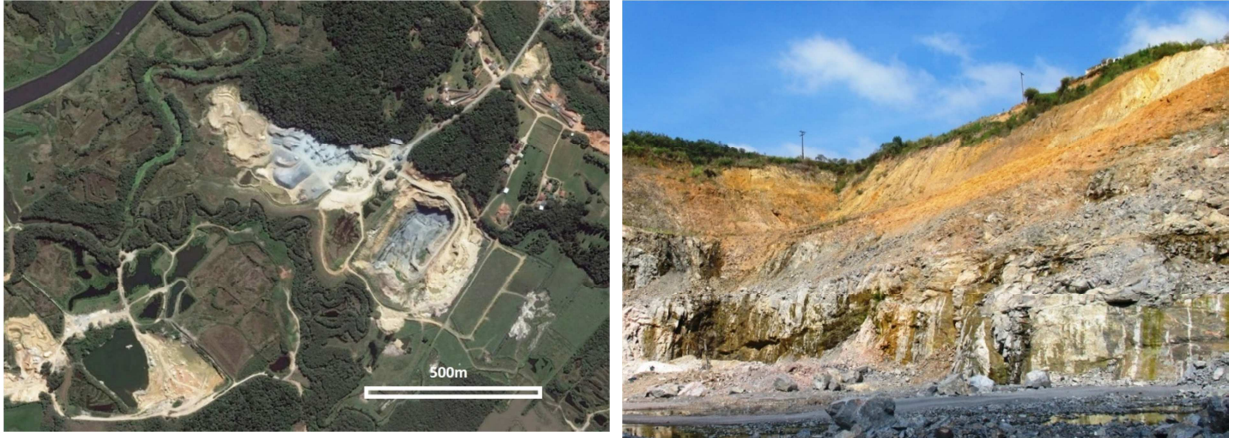


Figura 31. À esquerda, a imagem de satélite da Mineração Costa. À direita, frente de lavra da Mineração Costa. Nota-se a presença de camadas de areia de várzea sobre as rochas do complexo Atuba.



Figura 32. Veio aplítico cortando gnaisse

3.12. RL-13 – PEDREIRA BOSCARDIN

Lavra situada no município de Piraquara, explora uma parte do Granito Anhangava, assim como a Pedreira Basalto (LC-36). A rocha lavrada é composta por um sienogranito róseo, com estrutura maciça e com a presença de anfibólio. A figura 33 mostra uma imagem de satélite da cava da pedreira.



Figura 33. Imagem de satélite da lavra na Pedreira Boscardin

4. RESULTADOS

4.1. ÍNDICES FÍSICOS

A partir da determinação dos índices físicos, podemos determinar alguns dados sobre o material ensaiado. Com a massa específica e massa específica aparente, é possível se saber a densidade do agregado, assim como o volume de brita necessária para de produzir determinada quantidade de concreto. A absorção de água é fundamental para saber o quanto a massa do agregado pode aumentar com a infiltração de água, e até mesmo pode-se fazer uma relação da absorção com a potencialidade para reatividade. Os resultados deste ensaio são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Tabela com os resultados dos índices físicos.

Ponto Amostrado	Massa Específica	Massa Específica Aparente	Absorção de Água
LC-20 - Areal Cotragon	2,95 g/cm ³	2,88 g/cm ³	0,9%
LC-36 - Pedreira Basalto	2,71 g/cm ³	2,68 g/cm ³	0,4%
LC-39 - Saibreira São Mateus	2,63 g/cm ³	2,59 g/cm ³	0,6%
LC-40 - Grandó Mineração	2,93 g/cm ³	2,84 g/cm ³	1,1%
LC-42 - Mineração Terra Rica	2,87 g/cm ³	2,84 g/cm ³	0,3%
LC-50 - Pegmatito Paraná	2,63 g/cm ³	2,58 g/cm ³	0,7%
LC-62 - Saibreira Boa Esperança	2,63 g/cm ³	2,68 g/cm ³	0,4%
LC-63 - Pedreira São Jorge	2,75 g/cm ³	2,73 g/cm ³	0,3%
LC-64 - Mineração Guaricana	2,65 g/cm ³	2,61 g/cm ³	0,5%
LC-65 - Pedreira Cenral	2,74 g/cm ³	2,70 g/cm ³	0,5%
LC-66 – Mineração Costa	2,66 g/cm ³	2,63 g/cm ³	0,4%
RL-13 - Pedreira Boscardin	2,64 g/cm ³	2,60 g/cm ³	0,6%

4.2. ABRASÃO LOS ANGELES

Através desses resultados é possível determinar o quanto os agregados ensaiados são resistentes, ou não, à abrasão, e, portanto, sua qualificação para o uso na construção civil. Os valores de desgaste de acordo com o ponto amostrado estão relacionados na tabela 3..

Tabela 3. Resultados de desgaste à abrasão.

Ponto Amostrado	Desgaste
LC-20 - Areal Cotragon	11%
LC-36 - Pedreira Basalto	14%
LC-39 - Saibreira São Mateus	15%
LC-40 - Grando Mineração	11%
LC-42 - Mineração Terra Rica	22%
LC-50 - Pegmatito Paraná	31%
LC-62 - Saibreira Boa Esperança	17%
LC-63 - Pedreira São Jorge	14%
LC-64 - Mineração Guaricana	12%
LC-65 - Pedreira Central	17%
LC-66 - Mineração Costa	14%
RL-13 - Pedreira Boscardin	31%

4.3. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

Essa análise servirá como suporte para a descrição petrográfica, identificando os minerais presentes na rocha. Os dados quantitativos são de pouca confiança, portanto deve-se dar maior importância ao nome dos minerais encontrados por esta análise. Na tabela 4 estão os minerais identificados na difratometria.

Tabela 4. Principais minerais determinados pela difratometria de raios X.

LC-20	LC-36	LC-39	LC-40	LC-42	LC-50
Plagioclásio	Quartzo	Quartzo	Plagioclásio	Dolomita	Quartzo
Piroxênio	Plagioclásio	Plagioclásio	Piroxênio	Quartzo	Plagioclásio
Quartzo	Feldspato Alcalino	Feldspato Alcalino	Quartzo	Plagioclásio	Feldspato Alcalino
Mica	Anfibólio	Clorita	Mica	Mica	Mica
Anfibólio	Mica	-	Anfibólio	-	-
Argilomineral	pp Clorita	-	Ilmenita	-	-
-	-	-	Argilomineral	-	-
LC-62	LC-63	LC-64	LC-65	LC-66	RL-13
Quartzo	Quartzo	Quartzo	Quartzo	Quartzo	Quartzo
Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio
Feldspato Alcalino	Feldspato Alcalino	Feldspato Alcalino	Feldspato Alcalino	Feldspato Alcalino	Feldspato Alcalino
Mica	Mica	Mica	Mica	Mica	Mica
pp Clorita	Clorita	pp Clorita	Anfibólio	Anfibólio	-
-	-	-	Clorita	Clorita	-

4.4. FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

Assim como a difratometria, esta análise serve como complemento à petrografia, indicando os principais óxidos que compõem as amostras. A tabela 5 mostra os óxidos maiores de cada ponto amostrado.

Tabela 5. Resultados da fluorescência de raios X.

Amostra	LC-20	LC-36	LC-39	LC-40	LC-42	LC-50	LC-62	LC-63	LC-64	LC-65	LC-66	RL-13
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
SiO ₂	51,88	61,51	70,52	52,5	3,17	74,82	72,4	65,58	75,64	66,16	61,82	69,4
Al ₂ O ₃	13,05	16,67	15,18	13,46	0,4	14,06	14,6	15,42	12,93	13,15	15,81	14,8
Fe ₂ O ₃	13,78	6,5	2,67	13,29	0,2	0,65	0,8	4,23	1,65	7,14	6,67	2,4
CaO	8,1	2,72	0,95	7,15	29,6	0,98	1,2	3,34	0,54	3,22	4,1	1
MgO	4,6	0,9	1,17	3,8	20,91	0,04	0,2	1,77	0,05	1,11	2,93	0,1
K ₂ O	1,49	4,77	4,05	2,28	0,08	4,25	4,1	3,27	4,92	4,02	2,49	5,6
Na ₂ O	2,71	5,12	4,77	2,99	< 0,01	5,06	5,6	4,11	3,68	3,22	3,95	5,5
TiO ₂	2,91	0,6	0,23	3,25	0,01	0,03	0,1	0,43	0,09	1,01	0,61	0,2
MnO	0,2	0,15	0,05	0,18	0,01	0,04	< 0,1	0,07	0,03	0,14	0,1	0,1
P ₂ O ₅	0,47	0,16	0,05	0,63	0,02	0,01	< 0,1	0,17	0,01	0,38	0,23	< 0,1
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1
Rb ₂ O	-	-	-	-	-	-	< 0,1	-	-	-	-	< 0,1
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3
BaO	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-
SrO	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-
P.F.	0,56	0,47	0,9	0,86	45,41	0,56	0,66	1,16	0,75	1,02	1,76	0,56
Soma	99,75	99,57	100,56	100,4	99,82	100,51	99,96	99,54	100,3	100,56	100,48	100,06

4.5. PETROGRAFIA

Através da petrografia, foi possível determinar a mineralogia da rocha, bem como a relação entre os minerais, texturas e estruturas presentes.

LC-20 – Areal Cotragon

Através da petrografia foi possível determinar a assembleia mineralógica da rocha, que consiste em cerca de 40% de quartzo, 30% de plagioclásio (anortita), 10% de FK e 20% de hornblenda. A textura da rocha é granonematoblástica, com bandamento gnáissico, e, portanto foi classificada como um gnaiss (figura 34).

O quartzo encontra-se anédrico, de granulação média a fina e com as bordas retilíneas a interdigitadas. É possível se observar cristais fraturados com deformação intensa, evidente pela formação de subgrãos. Apresenta orientação incipiente.

O plagioclásio (anortita) está presente como cristais anédricos a subédricos, de granulação média e bordas interdigitadas, com distribuição e trama aleatória dos cristais. Encontra-se completa ou parcialmente sericitizado. O FK encontra-se como cristais anédricos de granulação grossa, completamente sericitizados (figura 35). Algumas pequenas porções dos cristais não estão alteradas, onde é possível observar a geminação do tipo *carlsbad*.

A hornblenda ocorre como cristais anédricos, de granulação fina a média, com orientação incipiente, concentrados em bandas.

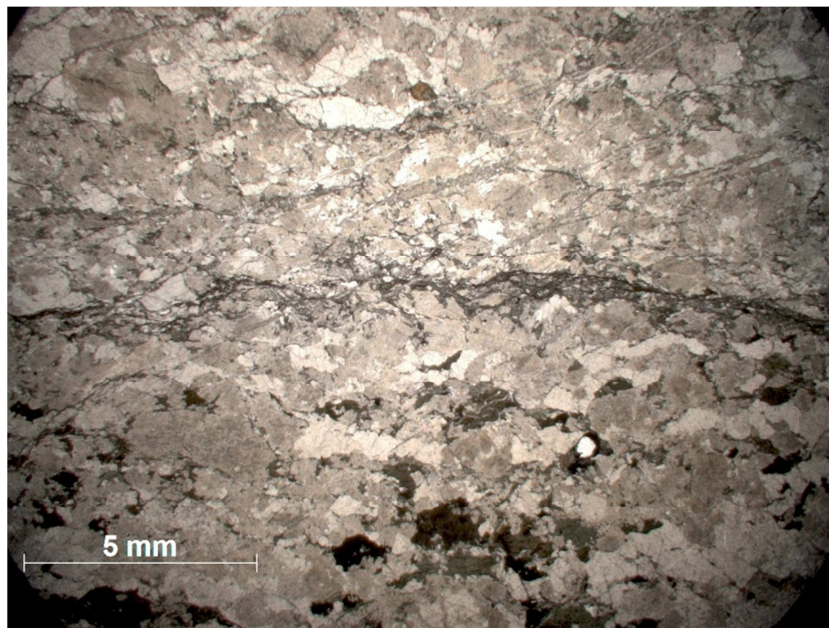


Figura 34. Aspecto geral da LC-20 em lâmina.

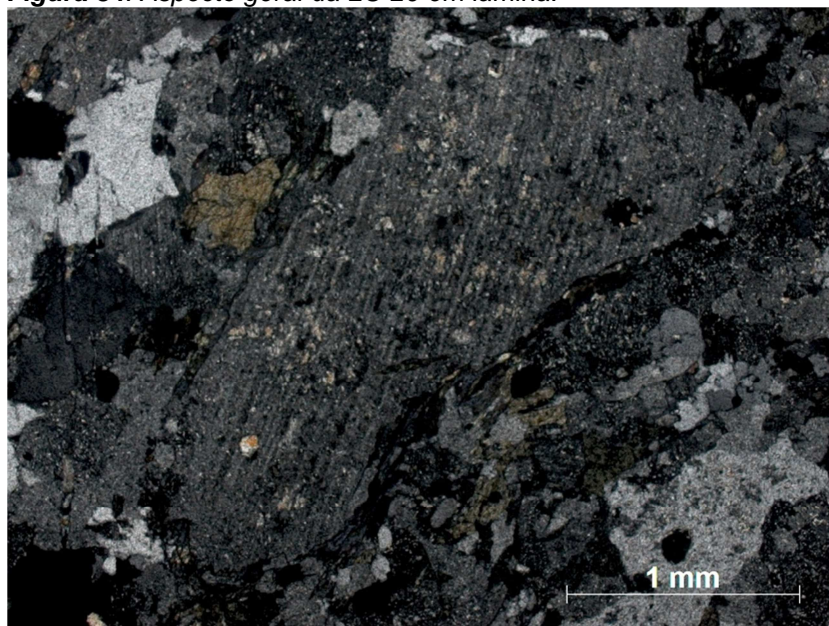


Figura 35. Sericitização em cristal de plagioclásio.

LC-36 – Pedreira Basalto

Composto por cerca de 80% e FK, 10% de biotita, 5% de hornblenda, 5% de quartzo e traços de minerais opacos. A rocha portanto é um álcali-feldspato sienito. A granulação da rocha é média a fina, com textura fanerítica heterogranular e estrutura maciça.

A maior parte dos cristais de FK são euédricos de hábito prismático, com intercrescimento pertítico e alguns são geminados (*carlsbad*) enquanto outros possuem zoneamento do centro para a borda (figura 36). Existem dois tipos de cristais de FK: aqueles que compõem a matriz e alguns maiores, de granulação média. A maior parte desses cristais de FK de granulação média apresenta as bordas corroídas e processo incipiente a avançado de sericitização, com a sericita presente preferencialmente nas fraturas. Os contatos entre os cristais são interdigitados e retilíneos.

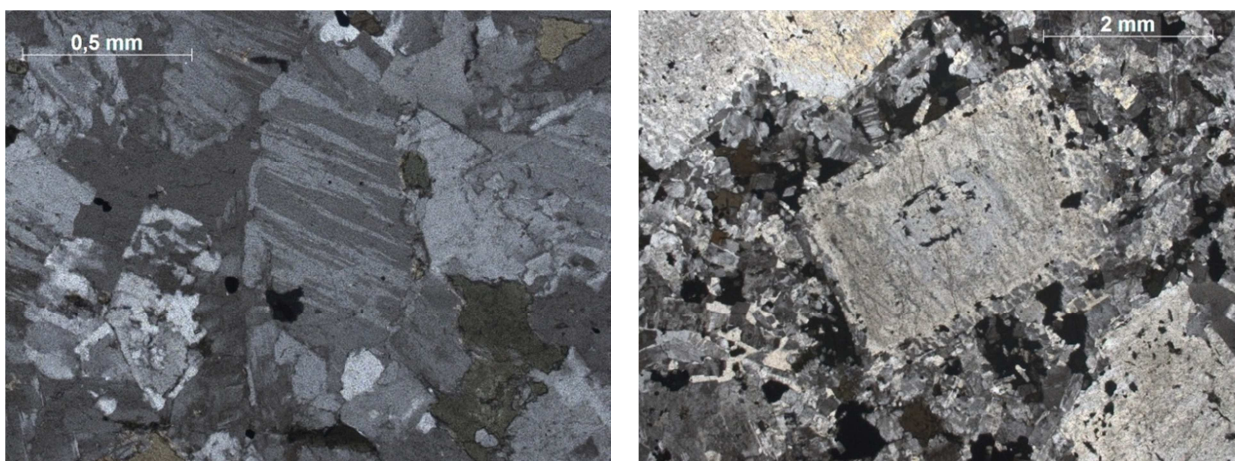


Figura 36. Exemplos de intercrescimento pertítico e de zonamento em cristais de FK.

Os cristais de biotita são subédricos a anédricos, sem orientação e distribuídos aleatoriamente na matriz da rocha. Aproximadamente 5% dos cristais estão completamente oxidados. Quanto à hornblenda, se encontra como alguns poucos cristais subédricos prismáticos, alterados para óxidos e para biotita. A maior parte apresenta as bordas corroídas.

O quartzo encontra-se intersticial em meio aos cristais de FK (figura 37), com hábito anédrico e granulação fina. Apresenta contatos retilíneos e extinção ondulante.

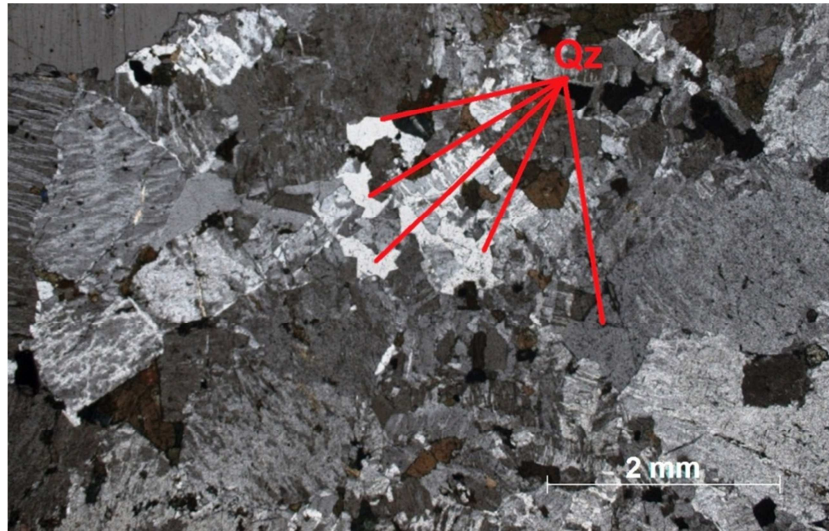


Figura 37. O quartzo nos interstícios formados pelos cristais de FK.

LC-39 – Saibreira São Mateus

Composta por 40% de FK, 30% de quartzo, 30% de clorita e traços de minerais opacos, a rocha encontra-se intensamente fraturada, formando foliações (por fluxo cataclástico). A rocha apresenta textura nematoblástica, estrutura foliada e cataclasada, e pela quantidade de matriz deformada na rocha (SIBSON, 1977) é classificada como protocataclasito. A figura 38 mostra um detalhe geral da lâmina petrográfica.

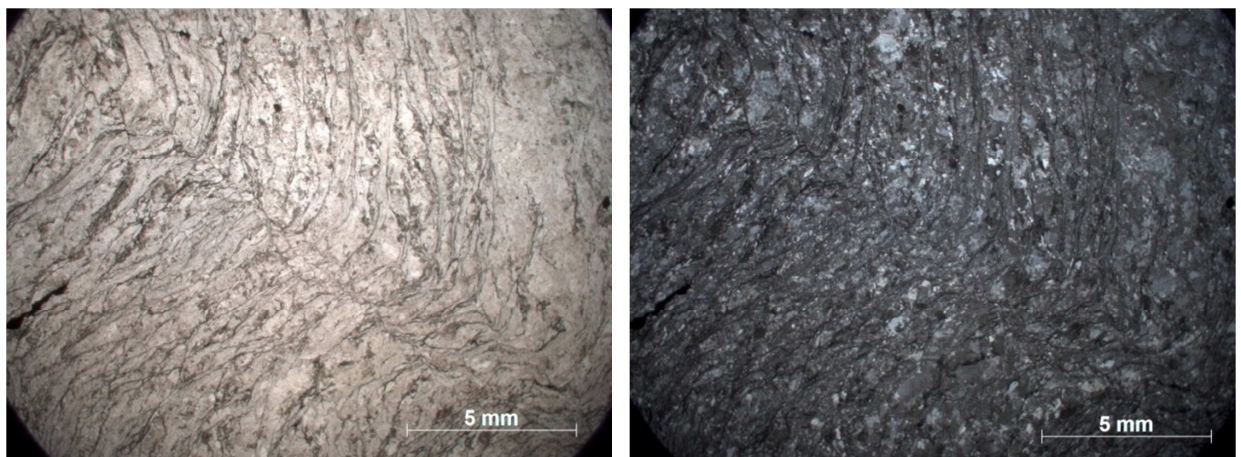


Figura 38. Detalhe geral da lâmina petrográfica do ponto LC-39. À esquerda em polarizadores paralelos, à direita, cruzados.

Os cristais de FK e quartzo encontram-se bastante cominuídos, com suas bordas limitadas por planos de fraturas anastomosadas, ou com contato interdigitado. O quartzo possui extinção ondulante, enquanto que o FK apresenta zoneamento incipiente

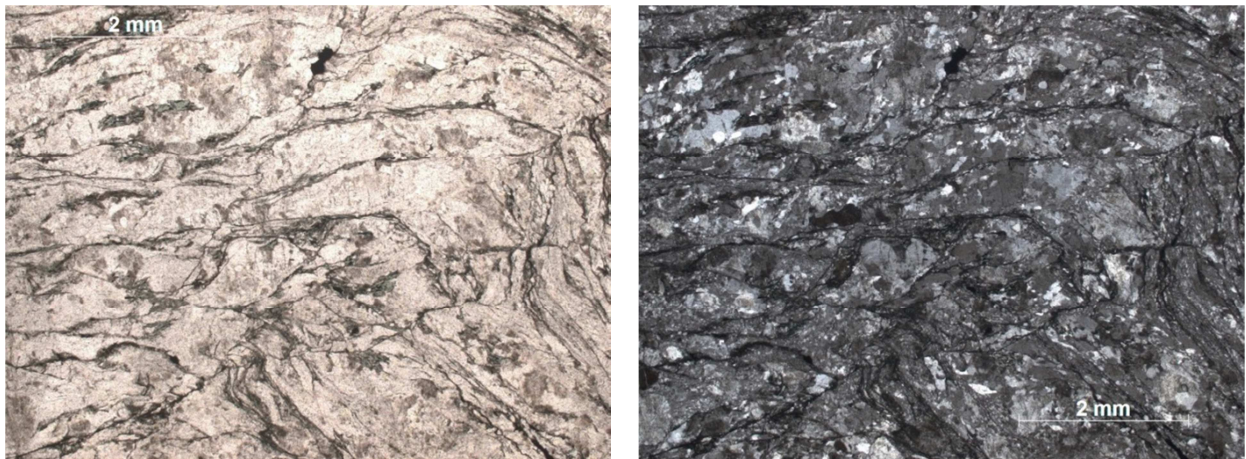


Figura 39. Detalhe do fraturamento na rocha, e da clorita definindo a foliação. À esquerda em polarizadores paralelos, à direita, cruzados

A clorita está orientada conforme os planos da foliação (figura 39), definindo a mesma, ou nos planos de fraturamento que cortam a rocha. Apresenta-se como cristais anédricos, com estiramento incipiente.

LC-40 – Grandó Mineração

Diabásio composto por 50% de plagioclásio, 30% de piroxênio, 20% de opacos e traços de apatita. A estrutura da rocha é maciça e a textura é fanerítica equigranular fina subofítica mirmequítica. A figura 40 mostra uma visão geral da lâmina petrográficas.

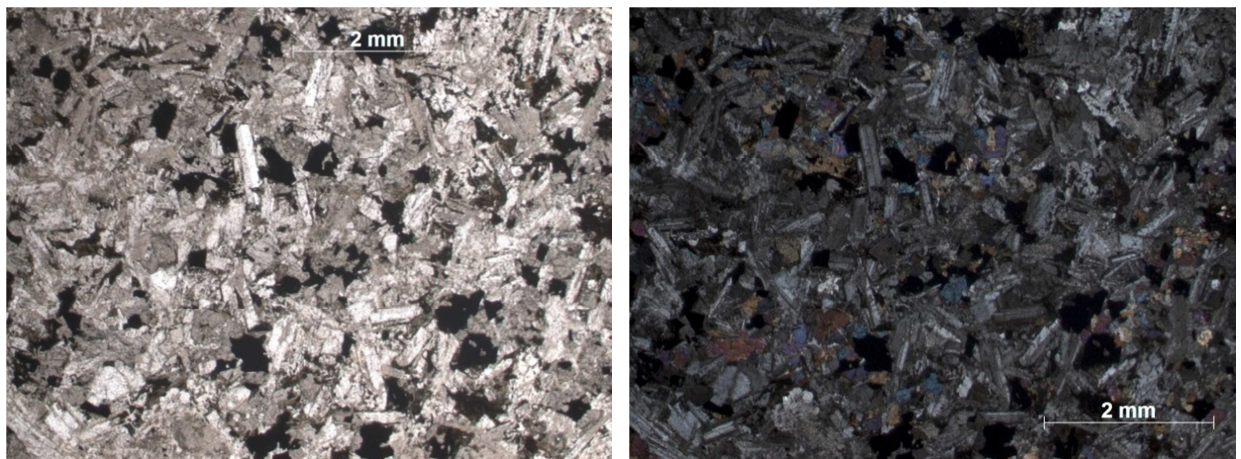


Figura 40. Aspecto geral do diabásio da Grandó Mineração. À esquerda com polarizadores paralelos, à direita, cruzados.

O plagioclásio encontrado na lâmina, pelo ângulo de extinção é a bitownyta. Apresenta-se como cristais euédricos de hábito prismático, granulação fina, e de trama aleatória. Cerca de 40% dos cristais de plagioclásio encontram-se

sericitizados, e localmente é possível se observar intercrescimentos mirmequíticos (figura 41).

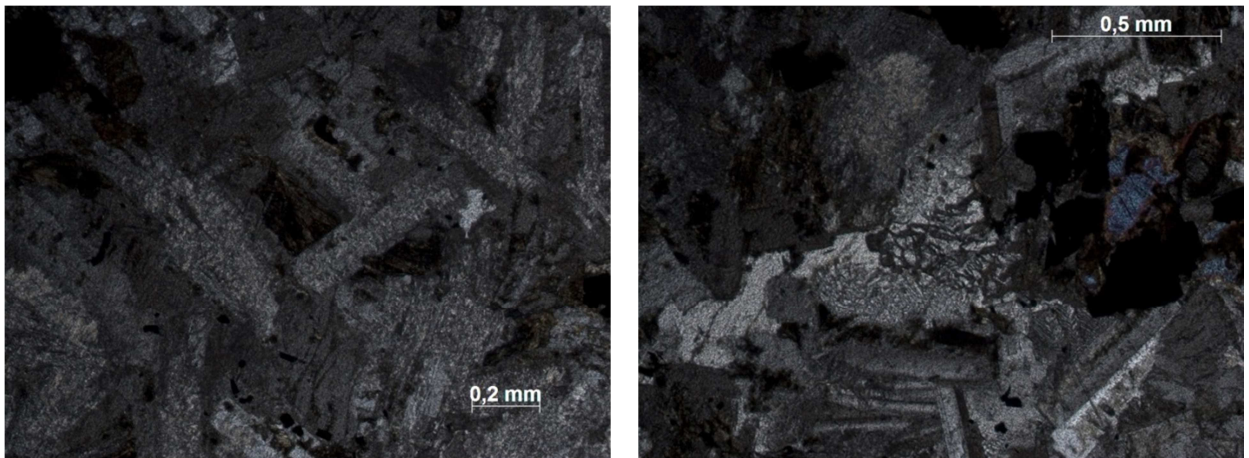


Figura 41. À esquerda, sericitização completa de cristais de plagioclásio (pseudomorfos), à esquerda, intercrescimento mirmequítico em plagioclásio.

Os cristais de plagioclásio se encontram anédricos, com granulação fina, geralmente próximo aos minerais opacos. Alguns se encontram oxidados e alterados para anfibólio. Os minerais opacos (ilmenita, segundo a difratometria) são euédricos a anédricos, em meio à matriz da rocha.

LC-42 – Mineração Terra Rica

A rocha lavrada na Mineração Terra Rica consiste em um mármore, composto por 70% de carbonato (dolomita, segundo a difratometria) e 30% de quartzo. A rocha possui textura granoblástica e estrutura maciça.

Os cristais de dolomita são subédricos a anédricos, com granulação fina a média e trama aleatória. Ocorrem alguns “cumulados” de cristais de granulação mais grossa em meio à matriz de carbonato fino, como é visto na figura 42.

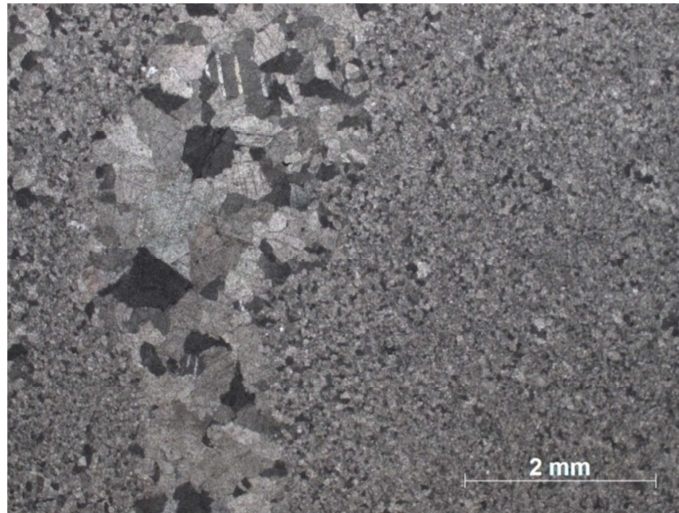


Figura 42. Cumulados de carbonatos mais grossos em meio à matriz da rocha.

Na lâmina também é possível observar veios e lentes de quartzo (figura 43), de hábito subédrico e contato retilíneo entre os cristais. Em alguns locais o veio encontra-se rompido.

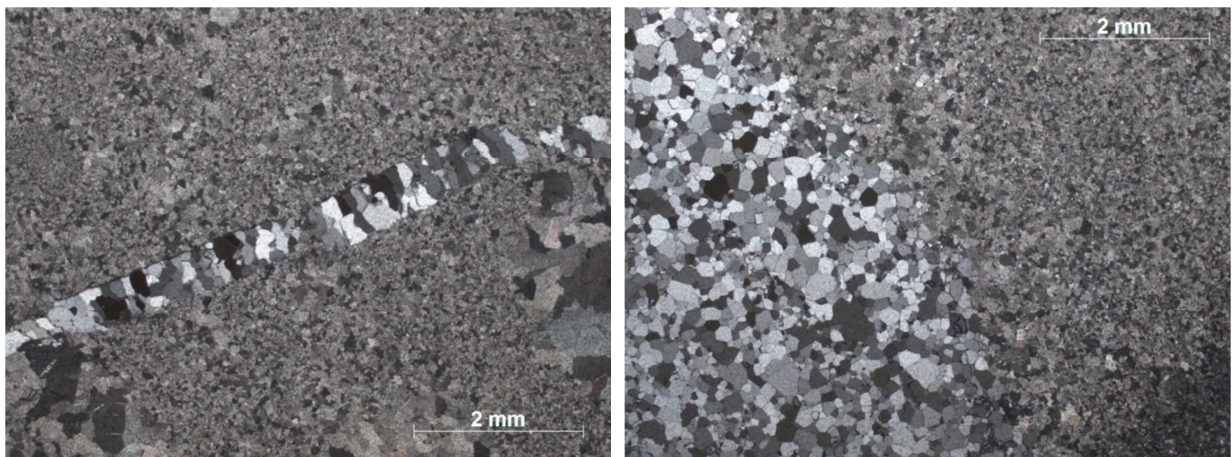


Figura 43. À esquerda, veio de quartzo em meio à matriz carbonática. À direita, contato da banda de quartzo com o carbonato

LC-50 – Pegmatito Paraná

Através da petrografia, foi observado que a rocha é composta por cerca de 35% de plagioclásio, 25% de microclínio, 30% de quartzo e traços de opacos e biotita. O plagioclásio, que foi determinado como sendo labradorita através do ângulo de extinção, encontra-se como cristais subédricos a euédricos. Alguns cristais apresentam zonamento do centro para a borda, e os contatos são retilíneos, especialmente nos cristais de hábito prismático, e interdigitado. Maior parte dos cristais apresenta-se sericitizado, porém alguns se encontram alterados para carbonato.

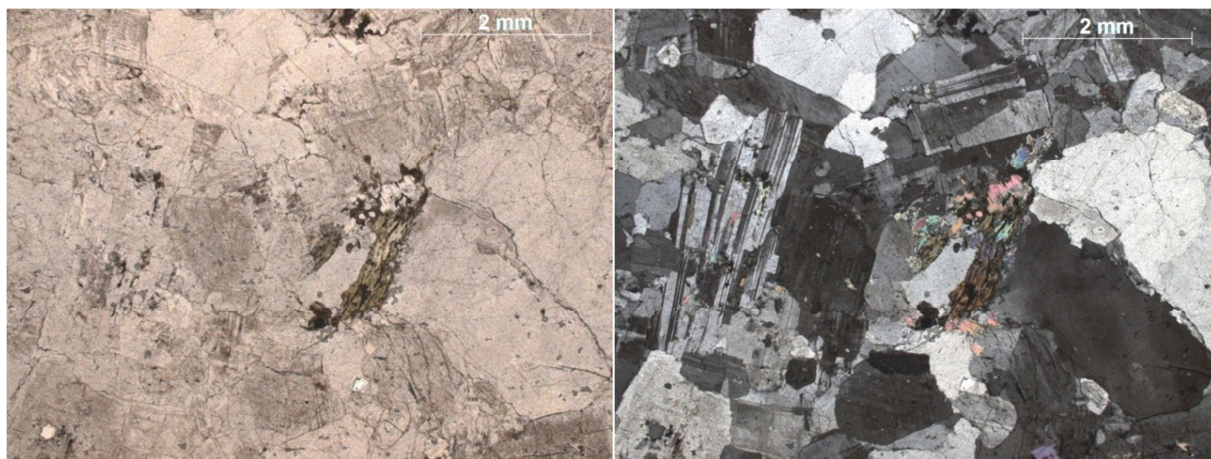


Figura 44. Aspecto geral da LC-50. À esquerda, polarizadores paralelos; à direita, cruzados.

Os cristais de microclínio e de quartzo apresentam-se subédricos a anédricos, granulação média a fina, com existência de cristais finos de quartzo em meio à matriz da rocha. O contato entre os cristais é interdigitado. O quartzo possui extinção ondulante e chega à formação de subgrãos. A biotita encontra-se em meio à matriz da rocha, com trama aleatória.

A estrutura da rocha é maciça, com textura fanerítica equigranular média, e pela mineralogia a rocha foi denominada como sendo um monzogranito. Uma vista geral da lâmina petrográfica é mostrada na figura 44.

LC-62 – Saibreira Boa Esperança

A rocha lavrada na Saibreira Boa Esperança consiste em um granulito cataclasado, composto por cerca de 70% de quartzo, 15% de plagioclásio, 10% de FK, 5% de clorita e traços de minerais opacos. A estrutura da rocha é incipientemente foliada, e textura granonematoblástica. A figura 45 mostra um aspecto geral da lâmina delgada dessa rocha.

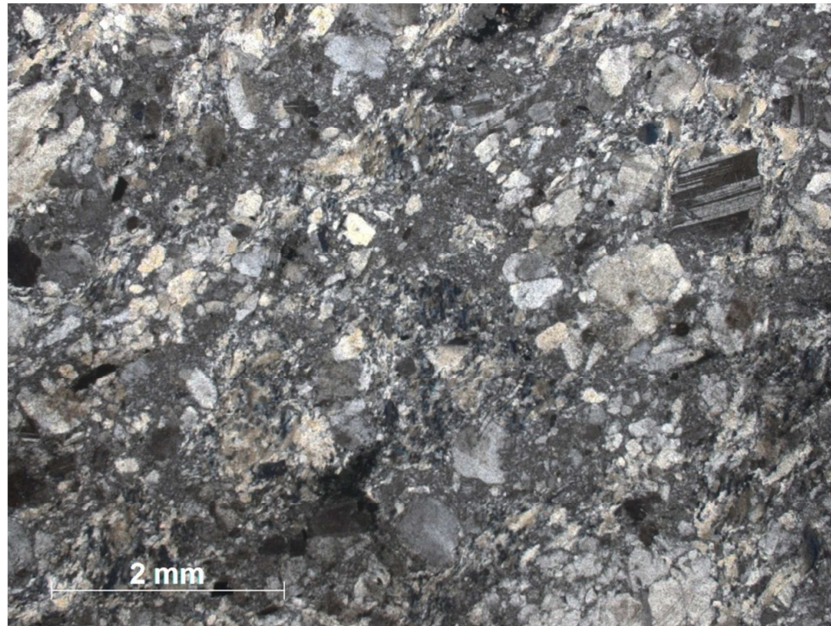


Figura 45. Aspecto geral da LC-62. Nota-se o aspecto cataclasado da rocha.

O quartzo apresenta hábito anédrico, granulação média a muito fina, como parte da matriz do cataclasito. Encontra-se cominuído, fraturado e deformado, evidente pela extinção ondulante, existência de subgrãos e estiramento mineral. A maioria dos cristais possui incipiente orientação. O plagioclásio apresenta hábito euédrico a subédrico, porém intensamente fraturado e deformado, observado pela existência de extinção ondulante e geminação em ponta de lança. As bordas dos cristais se encontram corroídas, e os centros com incipiente sericitização.

Os cristais de microclínio encontram-se de forma semelhante ao plagioclásio, com as bordas corroídas, intensa deformação e granulação média, porém com hábito anédrico. A clorita encontra-se orientada e dispersa em meio a matriz da rocha.

LC-63 – Pedreira São Jorge

A rocha consiste em um gnaiss bandado, com textura nematoblástica e lepidoblástica, composto por 50% de quartzo, 35% de biotita, 5% de FK, 5% de plagioclásio e 5% de hornblenda (figura 46).

O quartzo encontra-se presente com hábito subédrico, contato interdigitado entre os cristais, está concentrado em bandas, juntamente com o FK e o plagioclásio, e está incipientemente estirado.

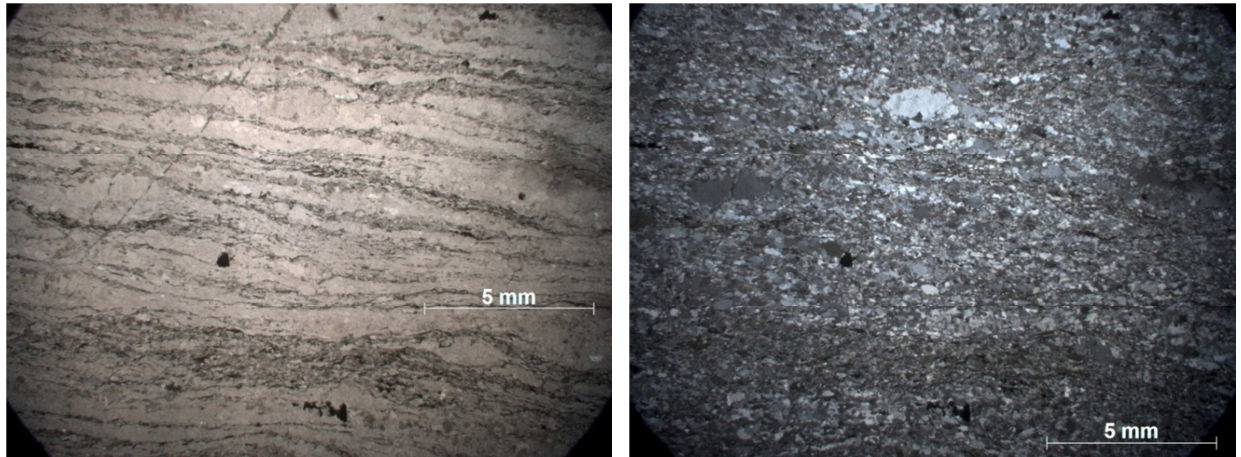


Figura 46. Bandamento gnáissico na amostra da LC-63.

A biotita está presente como cristais subédricos, orientados conforme o bandamento, junto com a hornblenda. Em meio às bandas de biotita ocorrem cristais de microclínio e de quartzo, aparentemente rotacionados.

LC-64 – Mineração Guaricana

A rocha explorada é um riolito, composto aproximadamente por 40% de quartzo, 50% FK e 10% de plagioclásio. A textura é afanítica, e a estrutura maciça. Alguns fenocristais de plagioclásio são visíveis, distribuídos pela matriz da rocha, sem orientação (figura 47).

As características geológicas do riolito foram determinadas a olho nu, dado em conta que a rocha laminada na Mineração Guaricana foi um dos diques de lamprófiro, que será descrito mais adiante.

O lamprófiro é composto por cerca de 35% de biotita, 20% de piroxênio, 20% de carbonato, 15% de anfibólio, 5% de olivina, e 5% de FK.

Os minerais estão distribuídos aleatoriamente na rocha, e a estrutura é isótropa. O FK está completamente sericitizado, restando apenas pequenas porções nos núcleos e bordas dos cristais. A figura 48 mostra uma visão geral da lâmina.

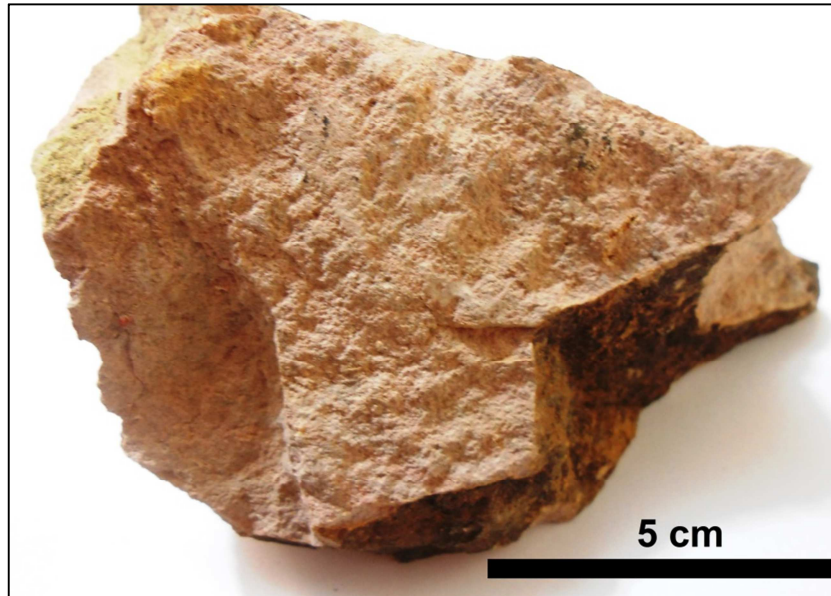


Figura 47. Amostra do riolito da LC-64.

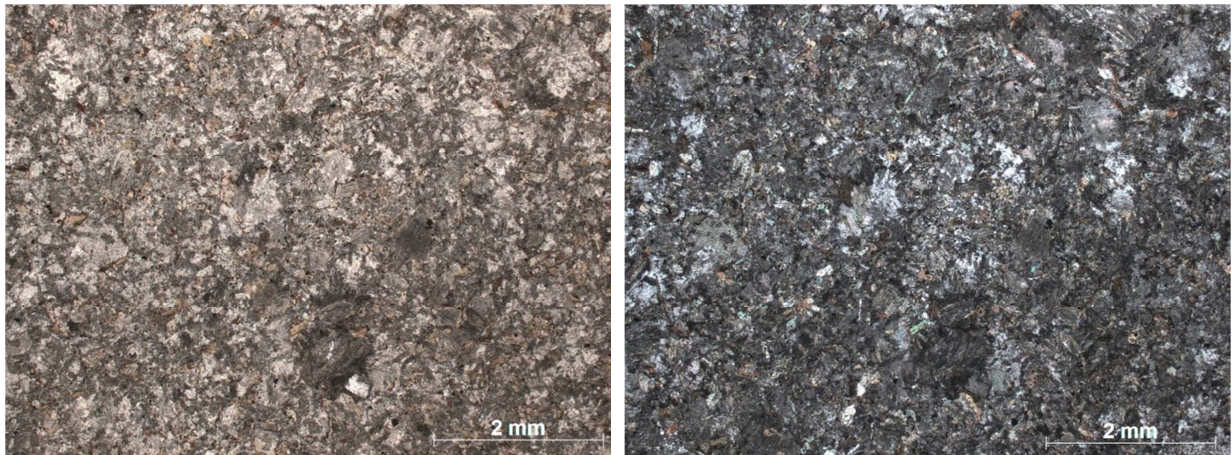


Figura 48. Detalhe da Lâmina petrográfica do lamprófiro encontrado na Mineração Guaricana, à esquerda, em polarizadores paralelos, à direita, cruzados.

LC-65 – Pedreira Central

Rocha composta por 40% de quartzo, 20% de plagioclásio, 30% de hornblenda e 10% de biotita. A textura da rocha é granoblástica e a estrutura é bandada (bandamento gnáissico), e, portanto é considerado um gnaisse. A figura 49 mostra a lâmina petrográficas, sob um aspecto geral.

O quartzo exibe feições de recristalização – contatos retilíneos entre os cristais, aspecto granular, trama e distribuição aleatória. A extinção ondulante é pouco marcante. O plagioclásio encontra-se como cristais de granulação média, contatos retilíneos e aspecto granular. Muitos cristais apresentam deformação, evidente pela geminação irregular. Pela extinção na geminação, o plagioclásio é a labradorita.

A hornblenda está presente como cristais anédricos de hábito granular, contatos retilíneos e sem orientação, assim como a biotita, no entanto, esta se encontra com incipiente processo de alteração.

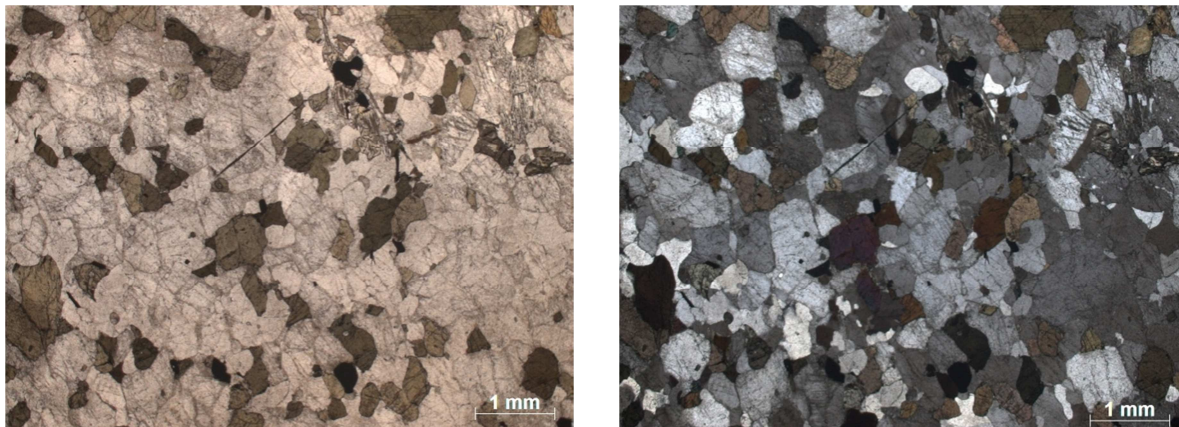


Figura 49. Aspecto geral da lâmina LC-65, vista em polarizadores paralelos (esquerda), e polarizadores cruzados (direita).

LC-66 – Mineração Costa

A rocha lavrada na Mineração Costa consiste em um gnaiss, composto por 30% de quartzo, 20% de plagioclásio, 20% de FK e 30% de hornblenda. A textura é granonematoblástica, com estrutura bandada.

O quartzo está presente como cristais de granulação fina a média, anédricos e com contatos interdigitados. Muitos cristais apresentam extinção ondulante. Da mesma forma se encontra o plagioclásio, com hábito anédrico e bordas interdigitadas. A geminação polissintética se encontra deformada, e é observado processo incipiente a intermediário de sericitização.

Os cristais de FK são anédricos, com granulação um pouco mais grossa que os demais minerais. Processo de sericitização parcial e trama aleatória dos cristais.

Os cristais de hornblenda estão presentes com hábito anédrico, de granulação média, e estão distribuídos aleatoriamente na rocha, sem orientação (figura 50).

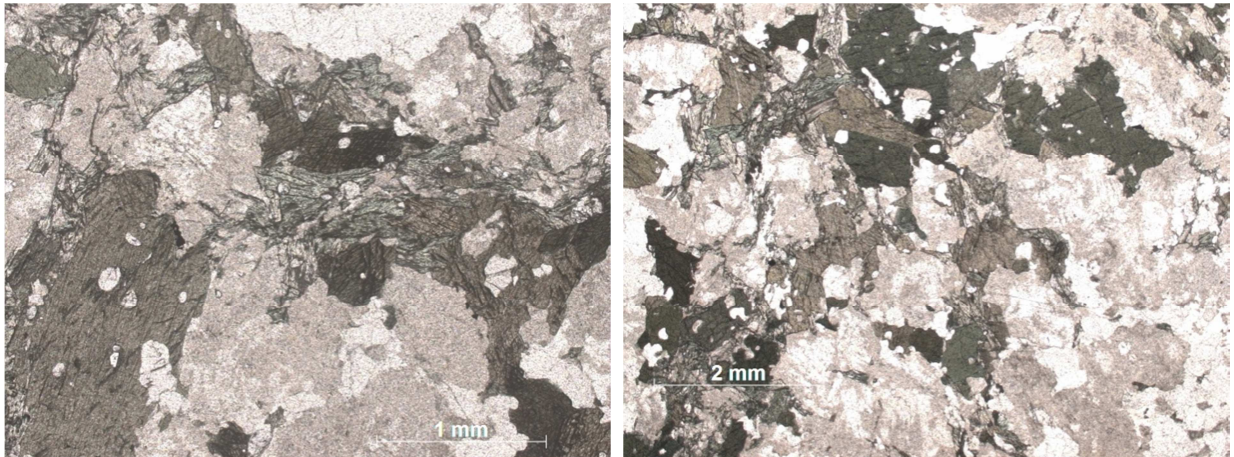


Figura 50. Cristais de hornblenda no gnaiss da LC-66.

RL-13 – Pedreira Boscardin

Rocha composta por cerca de 20% de quartzo, 70% de FK, 10% de biotita e traços de titanita. A textura da rocha é fanerítica equigranular média a grossa e a estrutura é maciça, classificada como um sienogranito.

O quartzo está presente como cristais anédricos de granulação média. Os contatos são retilíneos, e ocorre incipiente deformação, evidente pela extinção ondulante, porém também são vistos alguns cristais com fraturamento.

Os cristais de FK encontram-se subédricos a euédricos, de granulação média a grossa. Os contatos são retilíneos a interdigitado. Praticamente todos os cristais apresentam intercrescimento perítico (figura 51), e estão não alterados.

A biotita se apresenta anédrica, com trama aleatória pela matriz, sem orientação. Encontra-se alterada, eventualmente, para opacos.

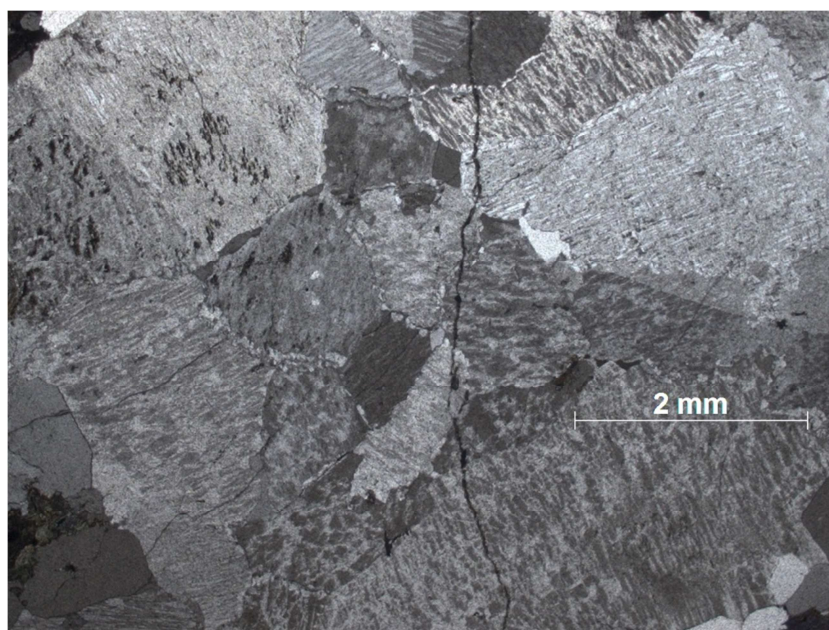


Figura 51. Intercrescimento perítico em cristais de FK.

5. DISCUSSÃO

Através dos resultados das análises e ensaios, foi feita uma correlação entre as informações, combinando os dados e verificando a influência destes sobre o ensaio de abrasão. Foi realizado também estudo do potencial para a RAA com base na petrografia.

Dos doze agregados submetidos ao ensaio de abrasão, seis obtiveram resultados que variaram entre 11% e 14%. No entanto outras seis amostras tiveram desgaste superior a 14%, chegando até 31%.

Através da comparação dos dados, constatou-se que a resistência à abrasão é influenciada pela combinação de vários fatores, porém, diferentes dos que se esperava serem mais importantes.

Primeiramente, esperava-se que o teor de sílica (SiO_2) tivesse papel decisivo na resistência à abrasão, porém, a correlação dos dados mostrou que este parâmetro tem pouca influência, como é observado no diabásio da Mineração Grando (LC-40), que possui baixo teor de sílica e considerável resistência à abrasão. Seguindo pelo mesmo raciocínio, buscou-se comparar a porcentagem modal de quartzo presente nas amostras com o desgaste, e concluiu-se que a influência desta é pequena, considerando que o granulito da Saibreira Boa Esperança (LC-62), que possui 70% de quartzo apresentou pouca resistência aos ensaios de abrasão.

Pelos resultados da amostra citada anteriormente, levou-se a crer que o estado de deformação da rocha fosse o fator de maior influência na resistência à abrasão, visto que este granulito encontra-se cataclasado em determinadas porções. Com base nesse critério, buscou-se quantificar a deformação das rochas estudadas, atribuindo-lhes valores numéricos. O critério para essa quantificação foram evidências de deformação nos cristais, tais como a presença de extinção ondulante, formação de subgrãos e estiramento mineral. Quanto maior a presença ou intensidade de cristais deformados, maior valor de deformação foi atribuído. No entanto, estes valores não apresentaram correlação com os valores de desgaste, como foi observado no protocataclasito da Saibreira São Mateus, que se encontra intensamente deformado e pouco desgastado.

Pinho (2007) afirma que rochas que apresentam estruturas anisótropas, como bandamentos e orientação mineral tendem a produzir agregados com

características diferentes das rochas com estrutura isótropa. A mesma autora afirma que o estado de alteração das rochas também influencia nas características dos agregados, diminuindo a durabilidade e afetando as propriedades físicas e mecânicas do material. Analisando esses fatores, não foi encontrada relação entre a presença de estruturas e alteração com o desgaste por abrasão. Tendo como evidência disto a amostra da LC-20, que está intensamente sericitizada e baixo valor de desgaste. O mesmo vale para as demais amostras de gnaisses, que apesar de apresentarem bandamentos, tiveram pouca perda no ensaio de abrasão.

Características físicas, como a massa específica e a porosidade (absorção de água) também foram comparadas, supondo que quanto maior a quantidade de poros de uma rocha, menor será sua resistência, porém este parâmetro também apresentou pouca ou nenhuma influência na perda por abrasão.

Ao se comparar o teor de álcalis ($K_2O + Na_2O$) das amostras com os valores de desgaste, foi observada a existência de um padrão semelhante, quanto maior o teor destes elementos, maior o valor de perda por abrasão apresentam as amostras.

A figura 52 mostra os gráficos das porcentagens de perda por abrasão e dos teores de álcalis.

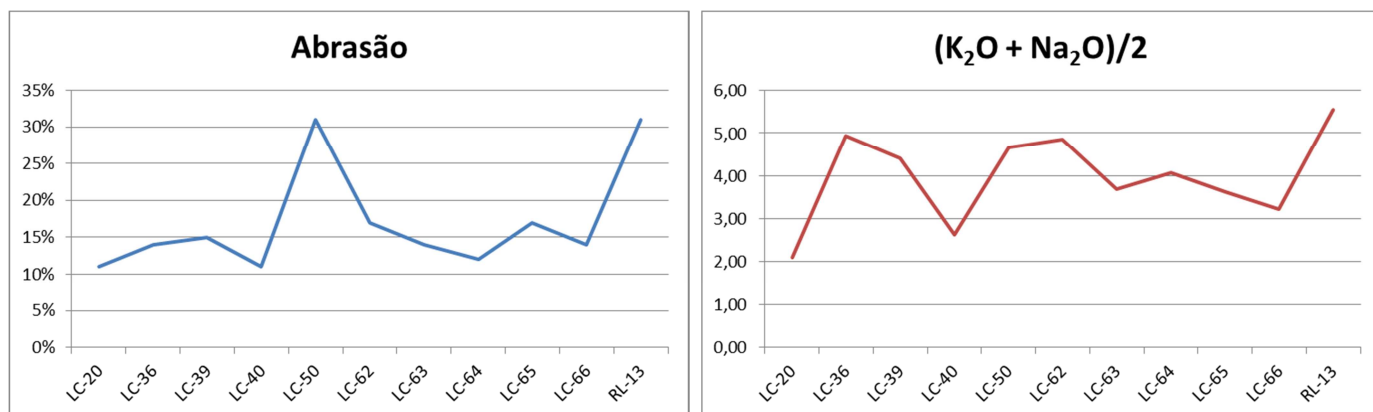


Figura 52. À esquerda, gráfico da perda por abrasão, à direita, a média dos álcalis das amostras

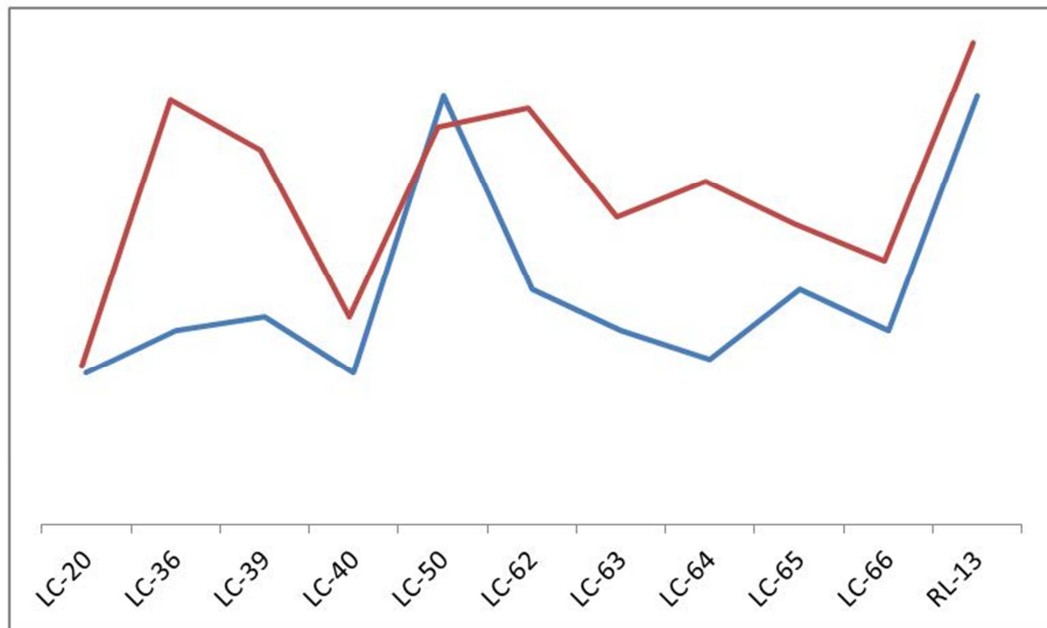


Figura 53. Sobreposição dos gráficos de abrasão e álcalis, mostrando a semelhanças entre eles.

O potássio (K), o sódio (Na), e, subordinadamente, o alumínio (Al), são os principais elementos que compõem os feldspatos potássicos, minerais presentes na maioria dos granitos, riolitos e gnaisses. Este mineral apresenta dureza intermediária (6 na escala de *Mohs*), porém é susceptível ao intemperismo químico, alterando-se facilmente para argilominerais, que também são constituídos por potássio, sódio e alumínio, e apresentam baixa dureza.

A figura 53 mostra a semelhança nos gráficos de abrasão e total de álcalis, onde coincidem os picos positivos e negativos. Considerando essa relação, sugere-se que quanto maior a quantidade de álcalis, menor a resistência das rochas ao intemperismo químico, e portanto, à abrasão.

Os dados utilizados para estabelecer esta relação são de rochas de composição silicática. Para o mármore da Mineração Terra Rica (LC-42), atribuiu-se a baixa resistência à mineralogia, constituída basicamente por dolomita e alguns veios de quartzo em meio à matriz.

Vale ressaltar que a alteração observada em microscópio é de origem hidrotermal (sericitização e oxidação), e não teve influência nos ensaios de abrasão, onde o fator que interfere está relacionado com o intemperismo químico.

Através da petrografia, foram observadas as características geológicas que indicam potencial para ocorrer as RAA's.

Segundo Pinho (2007), a porosidade dos agregados influencia diretamente no potencial de reação, pois está relacionada diretamente com a quantidade de ligante (cimento) a ser usado no concreto. A tabela 6 mostra os valores de porosidade por amostras.

Tabela 6. Valores de absorção de água (ou porosidade) das amostras.

PONTO	A	PONTO	A
LC-20	0,90%	LC-62	0,40%
LC-36	0,40%	LC-63	0,30%
LC-39	0,60%	LC-64	0,50%
LC-40	1,10%	LC-65	0,50%
LC-42	0,30%	LC-66	0,40%
LC-50	0,70%	RL-13	0,60%

Com base neste índice, observa-se que o diabásio da LC-40 apresenta maior valor de porosidade, como o gnaisse da LC-20, o monzogranito da LC-50, o sienogranito da RL-13 e o protocataclasito da LC-39. As demais amostras apresentaram valores que vão de 0,3 a 0,5%.

Pinho (2007) afirma que existem quatro tipos de RAA:

- **Reação Álcali-Sílica** – Ocorre com sílica amorfa e criptocristalina, e cristais deformados de quartzo;
- **Reação Álcali-Silicato** – Ocorre quando os álcalis do cimento reagem especificamente com alguns silicatos existentes na rocha;
- **Reação Álcali-Carbonato** – Provocada pelo contato dos álcalis reativos com a dolomita;
- **Reação Sulfato/ Alumínio** – Reação provocada pelo sulfato de origem de alteração dos sulfetos com a alumina do cimento.

Observando essas reações, pode-se considerar o mármore da Mineração Terra Rica (LC-42) potencialmente reativo, pois foi determinado através da petrografia e difratometria que esta rocha é composta essencialmente por dolomita, podendo desencadear a reação álcali-carbonato.

Tiecher (2010) faz uma relação da cristalinidade e deformação do quartzo, afirmando que rochas que apresentem materiais vítreos ou quartzo e feldspato

criptocristalinos apresentam maior potencial para o desencadeamento da RAA. Com base nisso, pode-se afirmar que o riolito da Mineração Guaricana (RL-64), que apresenta textura afanítica e granulação muito fina possui potencial para a ocorrência dessa reação. Considerando o grau de deformação do quartzo, todos os agregados estudados apresentam potencial para reação, pois os cristais de quartzo se encontram com extinção ondulante. As rochas que se encontram mais deformadas são o protocataclasito da Saibreira São Mateus (LC-39) e o granulito cataclasado da Saibreira Boa Esperança (LC-62). A autora também menciona texturas como potencial de reação, como o intercrescimento mirmequítico, presente no diabásio da LC-40.

6. CONCLUSÃO

Através análise e discussão dos resultados, pode-se concluir que a RMC possui uma série de matérias primas com diferentes características. Este trabalho mostrou a importância da caracterização tecnológica e correlação com as suas propriedades naturais – composição química, mineralogia e processos geológicos para a melhor qualificação e conhecimento do material utilizado como agregado graúdo. Pode-se concluir também que a presença de indicadores para a RAA são frequentes, no entanto não significam que os agregados irão de fato desencadear a reação.

Em geral, os ensaios tecnológicos apontaram proximidade nos resultados das amostras, com poucos resultados divergentes.

Este trabalho também apontou uma possível relação do desgaste por abrasão com a quantidade de álcalis na rocha (Na e K), e não necessariamente com a quantidade de sílica, quartzo ou com o estado de deformação da rocha.

Vale ressaltar que para a melhor determinação deste resultado, se faz necessário um número maior de amostras.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI. Agregados minerais para obras de construção civil e infraestrutura nas principais regiões metropolitanas do Brasil: diagnósticos e cenários da cadeia produtiva, seus desafios e oportunidades. Brasília, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 7211**: Agregados para Concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26**: Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 51**: Agregado Graúdo – Ensaio de Abrasão “Los Angeles”.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSINE, M.A. Fácies, Icnofósseis, Paleocorrentes e sistemas deposicionais da Formação Furnas no flanco sideste da Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociências, v.29, p. 357-370, 1999.

BASEI, M. A. S.; SIGA JR., O.; MACHIAVELLI, A.; MANCINI, F. Evolução tectônica dos terrenos entre os cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). Revista Brasileira de Geociências, V.22, p. 216-221, 1992.

BASEI, M.A.S.; McReath, I.; SIGA JR., O. *The Santa Catarina Granulite Complex of Southern Brazil: A Review. Gondwana Research, v.1, p. 383-391, Japan, 1998.*

CAMPANHA, G. A. C. Tectônica proterozoica no alto e médio vale do Ribeira, estados de São Paulo e Paraná. 296 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

CAMPANHA, G. A. C.; SADOWSKI, G. R.; *Tectonics of the southern portion of the Ribeira Belt (Apiaí Domain), Precambrian Research, p. 31-51, 1999.*

SILVA, P. C. S. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil .Curitiba, Folha SG.22-X-D-I, Escala 1:100.000 .Estado de São Paulo / organizado por Paulo Cezar Santarem da Silva, Arlindo Akio Yamato, Claudemir Severiano de Vasconcelos e Idio Lopes Jr. – Brasília: CPRM, 1999.

CUNHA, P. V. C. Gênese de calcretes da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba, Paraná. 74 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 2011.

CURY, L. F.; KAULFUSS, G. A.; SIGA JR, O.; BASEI, M. A. S.; HARARA, O. M.; SATO, K.; Idades U-Pb (Zircões) de 1,75 Ga em Granitoides Alcalinos Deformados dos Núcleos Betara e Tigre: Evidências de Regimes Extencionais do Estateriano na Faixa Apiaí. Revista do Instituto de Geociências – USP, v. 2, p. 95-108, dezembro 2002.

CURY, L. F.; SIGA JR, O.; HARARA, O. M.; PRAZERES FILHO, H. J.; BASEI, M. A. S. Aspectos Tectônicos Das Intrusões dos Granitos do Cerne, Passa Três e Rio Abaixo,

Sudeste do Pré-Cambriano Paranaense. Estudo Baseado em Datações ^{39}Ar - ^{40}Ar em Micas. Revista do Instituto de Geociências – USP, v.8, p. 87-104, abril 2008.

CURY, L. F. Geologia do Terreno Paranaguá. 187 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

DNPM. 2010. Anuário Mineral. Disponível em http://www.dnpm.gov.br/relatorios/amb/Completo_2010.pdf. Acessado em 20/10/2014

DNER. DNER-ME 035/98, Agregados – determinação da “Abrasão Los Angeles”. Rio de Janeiro. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 1998. Método de ensaio.

DRESSEL, B.C. Relações de colocação, deformação e tipologia dos granitos Varginha, Morro Grande, Piedade e Cerne, Leste do Paraná. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013

FIGUEIREDO, M. C. H.; BASEI, M. A. S.; MANTOVANI, M. S.M; FRYER, B. J. O Complexo Granulítico Santa Catarina: Um arco insular Arqueano?. 1991

FRANÇA, A. B.; POTTER, P. E.; Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé. B. Geoci. PETROBRAS, Rio de Janeiro, 2 (2/4), p. 417 – 191, Rio de Janeiro, 1988,

GOBBO, L.A. Aplicação da difração de raios-X e método de Rietveld no estudo de cimento Portland. 202 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

GUALDA, G. A. R.; VLACH, S. R. F.; The Serra da Graciosa A-type Granites and Sienites, Southern Brazil. Part 1: Regional setting and geological characterization. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 79(3), p. 405-430, 2007.

HARARA, O. M.; Análise estrutural, Petrológica e Geocronológica dos Litotipos da Região de Piên (PR) e Adjacências. 196 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HASUI. Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BATORELI, A. Geologia do Brasil. 900 p. Editora Beca, 2012.

KAUL, P.F.T.; O magmatismo na Serra do Mar e Adjacências (sul do Brasil) no final do Proterozoico e seus condicionantes tectônicos. 256 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

LIMA, R.B.S.; SILVA, A. R. S.; COSTA, F. N, Reação álcali agregado e seus efeitos na construção de edifícios. 2009.

PINHO. D.; Contribuição à petrografia de pedra britada. 447 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PORMIN. Agregados Minerais Para Construção Civil: Areia, Brita e Cascalho, 2009, acessado em 04/05/2014

PRAZERES FILHO, H. J.; HARARA, O. M.; BASEI, M. A. S.; PASSARELLI, C. R.; SIGA JR, O. Litoquímica, Geocronologia U-Pb e Geologia Isotópica (Sr-Nd-Pb) das Rochas Graníticas dos Batólitos Cunhaporanga e Três Córregos na Porção Sul do Cinturão Ribeira, Estado do Paraná. Revista do Instituto de Geociências – USP, v.3, p. 51-70, 2003.

RAPOSO, M. I. B. Episódios intrusivos no Arco de Ponta Grossa, determinados através de um estudo paleomagnético. *Revista Brasileira de Geociências*, 25 (1): 3-19, 1995.

REIS NETO, J. M.; VASCONCELLOS, E. M. G.; BITTENCOURT, C. Guaratubinha formation - pr: petrographic characterization of The volcanoclastic rocks. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(3): 371-374, 2000

SALAMUNI, E.; EBERT, H. D.; HASUI, Y. Morfotectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(4): 469-478, 2004.

SIGA JR, O.; BASEI, M. A. S.; MACHIAVELLI, A. Evolução geotectônica da porção ne de Santa Catarina e se do Paraná, com base em interpretações geocronológicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 23(3): 215-223, 2004

SIGA JR, O.; BASEI, M. A. S.; REIS NETO, J. M.; MACCHIAVELLI, A.; HARARA, O. M. O Complexo Atuba: um cinturão paleoproterozóico intensamente retrabalhado no Neoproterozóico., 1995.

SIGA JR, O.; GOMES, C. B.; SATO, K.; PASSARELLI, C. R. O Maciço Alcalino de Tunas, PR: Novos dados geocronológicos. *Revista do Instituto de Geociências – USP*, v.7,n. 2, p. 71-80, 2007.

TIECHER, F. Influência do grau de cristalinidade e deformação do quartzo no desencadeamento da Reação Álcali-Agregado. 239 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

VANZELA, G. A.; VASCONCELLOS, E. M.G.; MESQUITA, M.J.M.; PINESE, J.P.P. Caracterização Petrográfica e Geoquímica de Diques Mesozoicos à Nordeste de Rio Branco do Sul, PR. *Geochim.Brasil.*, 18(2): 64-76, 2004.

VASCONCELLOS, E. M. G.; GOMES, C.B. Caracterização petrográfica de brechas vulcânicas no Complexo Alcalino de Tunas, PR. *Revista Brasileira de Geociências*, 22(3): 269-274, 1995.

VESELY, F. F.; ASSINE, M.L. Superfícies estriadas em arenitos do Grupo Itararé produzidas por gelo flutuante, sudeste do estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(4): 587-594, 2002.

VESELY, F. F.; ASSINE, M.L. Seqüências e tratos de sistemas deposicionais do Grupo Itararé, norte do estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(2): 219-230, 2004.

8. ANEXO

Tabela geral dos dados analisados.

	ROCHA	PETROGRAFIA														QUÍMICA											ÍNDICES FÍSICOS			ABRASÃO					
		MINERALOGIA												GEOLOGIA		ALTERAÇÃO	DEFORMAÇÃO	ESTRUTURA	TEXTURA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅		P.F.	M.E. (g/cm ³)	M.E.A. (g/cm ³)	A.A.	
		QZ	FK	PL	HB	PX	BT	SR	OX	OP	CL	DL	AP	TT	CB																				
LC-20	Gnaiss	40	5	10	20	0	0	25	0	tr	0	0	0	0	0	Sericitização intensa	pouco deformada	bandada	granonematoblástica	51,88	13,05	13,78	8,10	4,60	1,49	2,71	2,91	0,20	0,47	0,56	2,95	2,88	0,90%	11%	
LC-36	Álcali-feldspato sienito	5	40	0	5	0	10	40	tr	1	0	0	0	0	0	Sericitização moderada, oxidação incipiente	pouco deformada	maciça	Fanerítica heterogranular	61,51	16,67	6,50	2,72	0,90	4,77	5,12	0,60	0,15	0,16	0,47	2,71	2,68	0,40%	14%	
LC-39	Protocataclasito	30	40	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	pouca ou nenhuma alteração	muito deformada	foliada, cataclasada	Nematoblástica	70,52	15,18	2,67	0,95	1,17	4,05	4,77	0,23	0,05	0,05	0,90	2,63	2,59	0,60%	15%	
LC-40	Diabásio	0	0	30	0	30	0	20	tr	20	0	0	tr	0	0	sericitização intermediária	não deformada	maciça	Fanerítica equigranular fina mirmequítica	52,50	13,46	13,29	7,15	3,80	2,28	2,99	3,25	0,18	0,63	0,86	2,93	2,84	1,10%	11%	
LC-42	Mármore Dolomítico	30	0	0	0	0	0	0	0	0	70	0	0	0	0	pouca ou nenhuma alteração	não deformada	maciça	Granoblástica	3,17	0,40	0,20	29,60	20,91	0,08	< 0,01	0,01	0,01	0,02	45,41	2,87	2,84	0,30%	22%	
LC-50	Monzogranito	30	20	20	0	0	tr	20	0	tr	0	0	0	0	tr	sericitização intermediária	não deformada	maciça	Fanerítica equigranular média	74,82	14,06	0,65	0,98	0,04	4,25	5,06	0,03	0,04	0,01	0,56	2,63	2,58	0,70%	31%	
LC-62	Granulito cataclasado	70	10	10	0	0	0	5	0	0	5	0	0	0	0	sericitização incipiente	localmente deformada	maciça, cataclasada	granonematoblástica	72,40	14,60	0,80	1,20	0,20	4,10	5,60	0,10	< 0,1	0,1	0,66	2,63	2,68	0,40%	17%	
LC-63	Gnaiss	50	5	5	5	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	pouca ou nenhuma alteração	deformada	bandada	granonematoblástica	65,58	15,42	4,23	3,34	1,77	3,27	4,11	0,43	0,07	0,17	1,16	2,75	2,73	0,30%	14%	
LC-64	Riolito	40	50	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	alteração intermediária	não deformada	maciça	afanítica	75,64	12,93	1,65	0,54	0,05	4,92	3,22	0,09	0,03	0,01	0,75	2,65	2,61	0,50%	12%	
LC-65	Gnaiss	40	0	20	30	0	10	0	tr	tr	0	0	0	0	0	oxidação incipiente	deformada	bandada	Granoblástica	66,16	13,15	7,14	3,22	1,11	4,02	3,22	1,01	0,14	0,38	1,02	2,74	2,7	0,50%	17%	
LC-66	Gnaiss	30	10	15	30	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	sericitização incipiente	deformada	bandada	Granoblástica	61,82	15,81	6,67	4,10	2,93	2,49	3,95	0,61	0,10	0,23	1,76	2,66	2,63	0,40%	14%	
RL-13	sienogranito	20	70	0	0	0	10	0	0	tr	0	0	0	tr	0	alteração para opacos incipiente	não deformada	maciça	Fanerítica equigranular média	69,40	14,80	2,40	1,00	0,10	5,60	5,50	0,20	0,10	< 0,1	0,1	1,76	2,64	2,6	0,60%	31%

QZ - Quartzo	PL – Plagioclásio	PX - Piroxênio	SR - Sericita	OP - Opacos	DL - Dolomita	TT - Titanita
FK – Feldspato Alcalino	HB - Hornblenda	BT - Biotita	OX – Óxidos	CL – Clorita	AP – Apatita	CB - Carbonato