



**Pesquisa geológica e avaliação de ocorrência de rocha vulcânica
para a produção de rocha ornamental**

Porto Alegre, 2015

Marvin Witt Rodrigues de Freitas

PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

**Pesquisa geológica e avaliação de ocorrência de rocha
vulcânica para a produção de rocha ornamental**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Clóvis Gonzatti

Porto Alegre, 2015

CIP - Catalogação na Publicação

Witt Rodrigues de Freitas, Marvin

Pesquisa geológica e avaliação de ocorrência de rocha vulcânica para a produção de rocha ornamental / Marvin Witt Rodrigues de Freitas. -- 2015.

83 f.

Orientador: Clóvis Gonzatti.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre, BR-RS, 2015.

1. ensaios tecnológicos de rocha. 2. pesquisa de ocorrência mineral. 3. Formação Serra Geral. 4. cubagem. 5. Bacia do Paraná. I. Gonzatti, Clóvis, orient. II. Título.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer especialmente à minha mãe Regina Rigatto Witt por toda educação que ela sempre me proveu e por toda dedicação na minha criação. Com certeza se eu cheguei onde cheguei, devo isso à minha mãe.

Também gostaria de agradecer ao meu pai, por todo conhecimento e experiências que sempre me passou, pelas longas conversas e grandes conselhos e por sempre acreditar que eu seria capaz. Ao meu querido irmão Léo pelas aulas de computador e games, grande moleque.

Ao meu orientador, Clóvis Gonzatti pela confiança no meu trabalho e por me levar à Goiânia para a competição de Mecânica de Rochas que fez com nós fôssemos campeões mundiais em Montreal, também por toda dedicação nas aulas e pela grande motivação para ir em busca de oportunidades fora da universidade. Também gostaria de agradecer à Ângela pelo apoio nos ensaios no LEME e também ao Rogério e Andrade pelo apoio nos ensaios na CIENTEC.

Tenho que agradecer à Cintia por toda paciência e todo amor que me trouxe nestes últimos dois anos e pelos muitos anos que ainda virão. Beijos preta.

Minha querida vizinha Sirlei pelos ótimos momentos em Porto Alegre e Tramandaí que se mantêm até os dias de hoje. Aos meus dindos que sempre me propiciaram ótimos momentos com direito a batizado nas ondas de Capão Novo. Também ao meu avô Aduato pelos verões em Capão Novo e pelas partidas de escova. Ao meu avô Joaquim (*in memoriam*) por sempre zelar por toda família e ajudar a mantê-la unida.

Aos meus grandes amigos da vida e faculdade Maurício Bidone e Pedro Meirelles por toda parceria envolvida. Também ao Rogério Chaves, Artur Ferrari e tantos outros amigos pela amizade que sempre se reforça apesar de não nos vermos mais como no passado. Enfim a todos aqueles que de certa forma contribuíram para este momento.

“Redondos, corretos e bondosos são eles uns com os outros, tal como grãos de areia são redondos, corretos e bondosos uns com os outros.”

Friedrich Nietzsche - Assim falou Zaratustra, 1885.

RESUMO

O trabalho apresentado tem como objetivo principal a pesquisa de uma possível jazida mineral a ser explorada para fins de produção de rocha ornamental na região de São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. Para isto, foram realizados diversos ensaios tecnológicos, análise de lâminas petrográficas e estudo da geologia regional a fim de determinar a qualidade de duas litologias presentes na área de estudo, uma dacítica e outra basáltica. Durante a fase inicial foram utilizadas fotos aéreas e imagens de satélite para mapeamento regional de grandes estruturas. Foram coletadas amostras para a realização de ensaios tecnológicos e confecção de lâminas petrográficas. Entre os ensaios estão: determinação dos índices físicos, resistência à compressão uniaxial, determinação de velocidade sônica, resistência ao impacto de corpo duro, resistência ao desgaste amsler e resistência à flexão. Posteriormente a rocha foi classificada com base nas especificações nacionais e internacionais. As duas litologias apresentaram bons resultados segundo os ensaios tecnológicos, sendo que a rocha dacítica atendeu às especificações em todos os testes realizados. O basalto não atendeu às normas qualitativas nos ensaios de absorção de água, porosidade aparente e desgaste por abrasão amsler. Desta maneira recomenda-se o uso desta rocha em ambientes internos. Foi executada a cubagem da jazida com base em levantamento topográfico previamente realizado na área de estudo. A partir deste levantamento foi produzido um Modelo Digital de Elevação (MDE) do terreno onde foi inserido o polígono para cálculo do volume com auxílio do software ArcScene® do pacote ArcGis®. O polígono escolhido possui cerca de 100 hectares, e foi posicionado com base no local de amostragem e na morfologia dômica favorável à extração do minério em bancadas. O volume total de minério estimado foi de 1.484.037 metros cúbicos. Como não foi possível o contato entre as duas litologias na região de estudo foi utilizada a massa específica média das duas litologias para cálculo de tonelagem, o que resultou em 3.497.538 toneladas de jazida estimada.

Palavras-Chave: Ensaios Tecnológicos de Rocha. Bacia do Paraná. Fácies Caxias. Cubagem.

Abstract

The presented work aims to research mineral deposit to be exploited for ornamental rock production purposes in the region of São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brazil. For this were carried out several technological tests, analysis of thin sections and study of regional geology for determining the quality of two lithologies present in the study area, dacitic and basaltic. During the initial phase aerial photos and satellite images were used for regional mapping of large structures. It was performed the collection of samples for conducting technology trials and preparation of thin sections. The following tests were accomplished: determination of physical proprieties, uniaxial compressive strength, determination of sonic speed, resistance to hard body impact, resistance to Amsler abrasion and flexural strength. Later the rock was classified based on national and internacional specifications. Both lithology has presented good results in the technological tests, and the dacitic rock met the specifications in all tests. Basalt did not meet the specifications in the water absorption tests, porosity and Amsler abrasion. Thus it is recommended the use of this rock in indoor areas. It ran the scaling of the deposit based on survey previously conducted in the study area. Based on this survey it was produced a Digital Elevation Model (DEM) of the land where the polygon is to calculate the volume with the aid of ArcScene® ArcGis® software package. The chosen polygon has about 100 hectares, and was positioned based on the location of sampling and dome-type morphology favorable to the extraction of ore in benches. The total ore volume was estimated in 1,484,037 cubic meters. As it was not possible to find the contact between the two lithologies in the area, so it was used the average density of the two lithologies for tonnage calculation, which resulted in 3,497,538 tons of estimated deposit.

Palavras-Chave: Rock Tests. Parana Basin. Fácies Caxias. Cubage.

Lista de Apêndices

Apêndice 1. Tabela de Ensaio de Determinação de Índices Físicos – Basalto.....	57
Apêndice 2. Tabela de Ensaio de Determinação de Índices Físicos – Dacito	58
Apêndice 3. Tabela de Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro.....	59
Apêndice 4. Tabela de Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial.....	60
Apêndice 5. Tabela de Ensaio de Resistência a Flexão em Três Pontos.....	61
Apêndice 6. Tabela de Ensaio de Resistência ao Desgaste Amsler	62
Apêndice 7. Tabela de Ensaio de Determinação de Velocidade Sônica	63

Lista de Tabelas

Tabela 1. Sistemas de coordenadas do polígono utilizado na cubagem da jazida em SIRGAS 2000 e WGS 1984 - UTM 22S.	42
Tabela 2. Resultados de ensaios tecnológicos comparados as especificações da ABNT e ASTM.	48

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Comparação de resultados de ensaios tecnológicos com outras rochas de gênese ou composição semelhante.	50
---	----

Lista de Figuras

Figura 1. Localização da área com vias de acesso e principais cidades. Fonte: Freitas (2015). Imagem de satélite: Bing Maps. Datum: Sirgas 2000.....	08
Figura 2. Face irregular e brilho graxo de rocha basáltica em matacão exposto após detonação para construção de estrada vicinal. Fonte: Freitas (2015).....	11
Figura 3. Descontinuidades horizontais em derrame dacítico de aproximadamente 30 metros de espessura em mina abandonada às margens da RS-235. Fonte: Freitas (2015).....	12
Figura 4. Detalhe de derrame basáltico sofrendo alteração esferoidal.	13
Figura 5. Organograma com método de pesquisa de rocha ornamental. Fonte: Sales e Morais (2013).	15
Figura 6. Lineamentos regionais em verde de orientação preferencial NE e NNW. Imagem de satélite: Bing®. Datum: SIRGAS 2000. Fonte: Freitas (2015).....	18
Figura 7. Grão de augita englobando grãos prismáticos de minerais pesados. Microscópio com aumento de 20x a luz natural. Fonte: Freitas (2015).....	21
Figura 8. Textura fanerítica fina inequigranular em basalto. Microscópio com aumento 5x e nicóis cruzados. Fonte: Freitas (2015).	23
Figura 9. Amígdala preenchida por carbonato e quartzo (esquerda) e amígdala preenchida por quartzo fibroso (direita) na lâmina L6F4 em microscópio com aumento de 5x e lente com nicóis cruzados. Fonte: Freitas (2015).....	25
Figura 10. Amígdala preenchida por quartzo. Microscópio com aumento de 40x em nicóis cruzados. Fonte: Freitas (2015).	27
Figura 11. Chapas polidas e corpos-de-prova. Fonte: Freitas (2015).	28
Figura 12. Estufa pequena modelo S250SD utilizada para secar amostras e medir sua massa seca. Fonte: Freitas (2015).	29
Figura 13. Balança BEL 2Kg utilizada para pesar os corpos-de-prova. Fonte: Freitas (2015).....	30
Figura 14. Balança BEL 2Kg durante a pesagem de um corpo-de-prova após a saturação. Fonte: Freitas (2015).	31
Figura 15. PUNDIT LAB utilizado para a medição do tempo de propagação da velocidade sônica. Fonte: Freitas (2015).....	32
Figura 16. Amostra de basalto preparado para o ensaio de resistência à flexão em três pontos com os três cutelos. Fonte: Freitas (2015).....	34
Figura 17. Corpo-de-prova de dacito preparado para ser ensaiado. Fonte: Freitas (2015)	35
Figura 18. Corpo-de-prova de dacito após rompimento, em forma de cunha. Fonte: Freitas (2015).....	36
Figura 19. Amostra de dacito após marcação do centro corpo-de-prova. Fonte: Freitas (2015).....	37

Figura 20. Funcionário da CIENTEC realizando as medidas para centralizar o corpo-de-prova no colchão de areia. Fonte: Freitas (2015).	38
Figura 21. Amostra de dacito após rompimento, com face planar (direita) e amostra de basalto após rompimento, com face irregular (esquerda). Fonte: Freitas (2015).	39
Figura 22. Relógio comparador com precisão de milésimo de milímetro utilizado para medir desgaste por abrasão amsler dos corpos-de-prova ensaiados.....	40
Figura 23. Equipamento utilizado para realizar desgaste por abrasão amsler. Corpos-de-prova são comprimidos contra chapa de aço rotatória onde é inserida areia a partir dos dois funis superiores.....	41
Figura 24. Polígono com vértices numerados e localização do ponto de amostragem. Imagem de satélite: Bing Maps. Fonte: Freitas (2015).....	42
Figura 25. Modelo de elevação digital do terreno gerado a partir de levantamento topográfico com divisões de altitude na região de estudo. Datum: WGS 1984 22S. Fonte: Freitas (2015).....	44
Figura 26. Modelo raster gerado a partir de levantamento topográfico demonstrando variações de altitude na região de estudo. Datum: WGS 1984 22S. Fonte: Freitas (2015).....	45

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Justificativa	8
1.2 Caracterização do problema	8
1.3 Objetivos e Metas.....	8
1.4 Premissas e Hipótese	9
2. CONTEXTO GEOLÓGICO	10
2.1 Geologia Local	11
3. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA	14
3.1 Roteiros de Pesquisa de Rochas Ornamentais	14
3.2 Patologias Associadas às Rochas Ornamentais	15
3.3 Normatização e Especificações	16
4. METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO	17
4.1 Fase Preliminar	17
4.2 Trabalho de Campo.....	18
4.3 Análises Petrográficas.....	19
4.3.1 Descrição das Amostras:	20
4.4. Ensaios Tecnológicos	27
4.4.1 Coleta de Amostras e Preparação de Corpos-de-Prova.....	27
4.4.2 Determinação dos Índices Físicos.....	28
4.4.3 Determinação da velocidade sônica.....	31
4.4.4 Ensaio de Resistência à Flexão – Método dos Três Pontos	32
4.4.5 Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial.....	34
4.4.6 Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro	36
4.4.7 Determinação do Desgaste por Abrasão Amsler.....	39
4.5 Cubagem.....	41
5.RESULTADOS	47
5.1 Ensaios Tecnológicos	47
5.2.Cubagem da Jazida.....	51
6.CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
7.REFERÊNCIAS	53
8. APÊNDICES	56
9. ANEXOS.....	64

1. INTRODUÇÃO

A região de pesquisa localiza-se na região sul do Brasil, no estado Rio Grande do Sul, dentro dos limites do município de São Francisco de Paula, próximo a RS-235 (Figura 01). A área de estudo localiza-se às margens do reservatório da barragem do Salto, barragem esta localizada no rio Caí. A área dista 142 quilômetros da cidade de Porto Alegre, 17 quilômetros de Canela e 19 quilômetros de São Francisco de Paula.

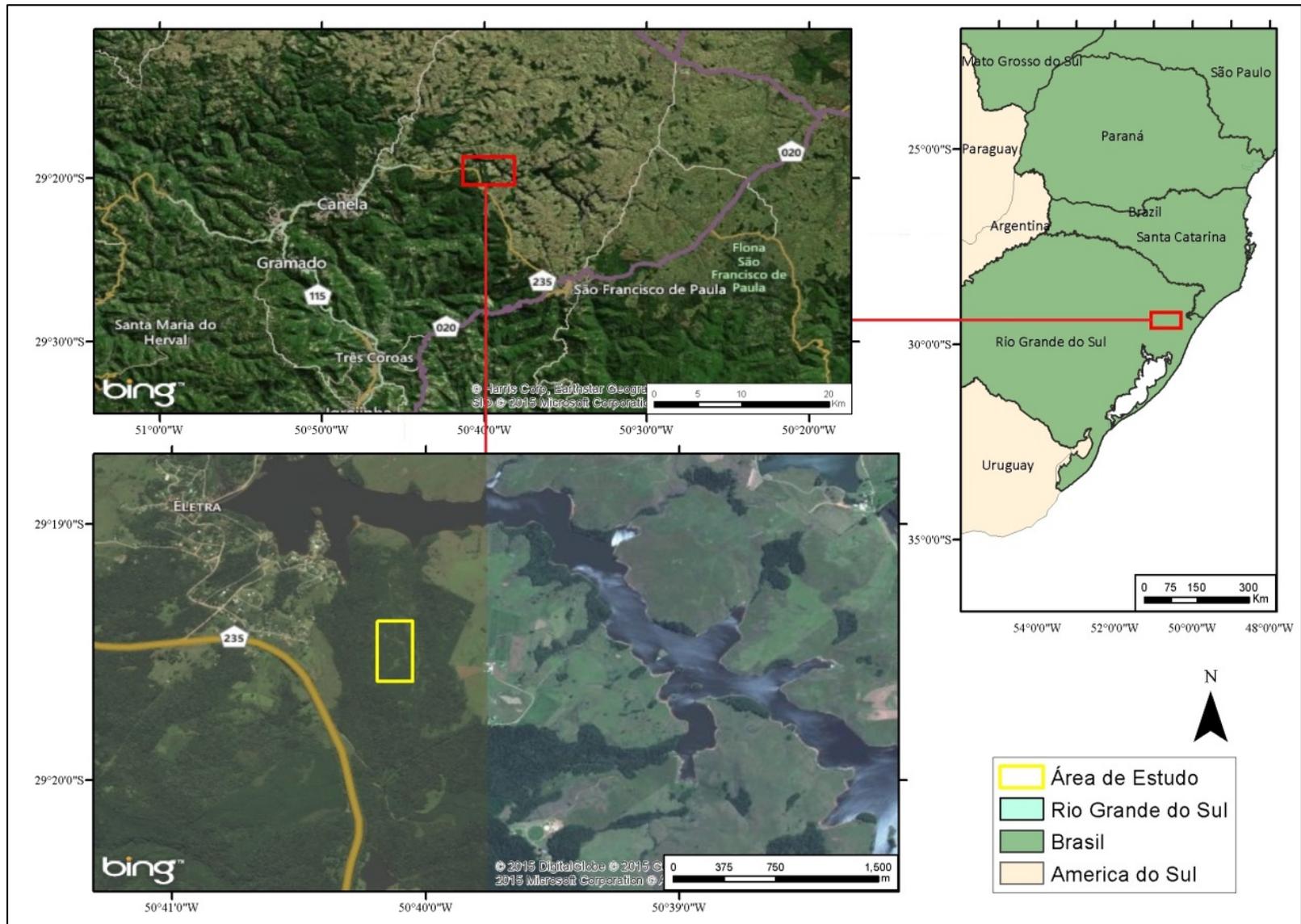


Figura 1. Localização da área com vias de acesso e principais cidades. Fonte: Freitas (2015). Imagem de satélite: Bing Maps. Datum: Sirgas 2000.

1.1. Justificativa

As rochas ornamentais representam uma grande fonte de renda e emprego no Brasil, gerando mais de cem mil empregos e movimentando mais de dois bilhões de dólares ao ano (MEC, 2007). Segundo o MEC (2007) “Os estados de Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia respondem por 80% da produção nacional”. Os granitos respondem por 40% da produção total, atrás apenas dos mármore, que representam 45% (MEC, 2007).

O Rio Grande do Sul é o décimo estado brasileiro (Secex, MDIC, 2013) na exportação de rochas ornamentais. Atrás, por exemplo, do estado vizinho, Santa Catarina. Porém, de 2012 a 2013, o Rio Grande do Sul apresentou um crescimento de 27,1% (equivalente a aproximadamente um milhão de dólares) (Secex, MDIC, 2013) nas exportações o que demonstra o crescente investimento no setor e a possibilidade de exploração de novas jazidas.

As rochas vulcânicas são pouco estudadas para fins de extração de rocha ornamental quando comparadas às rochas plutônicas e metamórficas (ardósias, mármore e gnaisses). Este trabalho visa suprir uma demanda por estudos e dados das rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral.

1.2 Caracterização do problema

Foram identificadas dois tipos de rochas na região, sendo a primeira um dacito (Nardy, 2008) de aspecto acinzentado com textura sal e pimenta e a segunda rocha um basalto de coloração avermelhada e brilho graxo. Foi uma surpresa encontrar derrames de composição basáltica em cotas de oitocentos metros de altitude intercalados com os derrames dacíticos.

1.3 Objetivos e Metas

O objetivo do trabalho é definir se as rochas do objeto de estudo apresentam os requisitos técnicos para serem extraídas com fins de produção de rocha ornamental e realizar a cubagem da jazida. Foram observados parâmetros estruturais e petrológicos, bem como parâmetros definidos a partir de ensaios tecnológicos.

Durante o trabalho foram realizados diversos ensaios tecnológicos como, por exemplo: resistência à compressão uniaxial, determinação dos índices físicos e resistência à flexão em três pontos. Todos os ensaios seguiram as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e os resultados foram avaliados segundo as especificações da ABNT e da *American Society for Testing and Materials* (ASTM). A partir da comparação entre os resultados obtidos e os índices mínimos de qualidade necessários é possível avaliar a qualidade da rocha e seu potencial de uso como rocha ornamental.

Também foi possível realizar o cálculo de reservas disponíveis na pedreira utilizando dados de topografia disponíveis. Para essa medição foram utilizados dados *Raster* e o modelo de elevação digital (MED).

1.4 Premissas e Hipótese

Neste trabalho foram aceitas as seguintes premissas:

- As rochas vulcânicas apresentam a menor quantidade de quartzo (mineral muito abrasivo) vantagens de extração principalmente quando comparadas a rochas plutônicas, devido à menor quantidade de quartzo (mineral muito abrasivo) em sua composição.
- As rochas vulcânicas ácidas do Grupo Palmas estão dispostas em derrames de maior espessura quando comparados a rochas vulcânicas básicas.

Com base nestas premissas e na análise dos dados coletados em campo foi formulada a seguinte hipótese: as rochas vulcânicas ácidas possuem potencial técnico e econômico para serem exploradas com fins ornamentais. Devido à menor quantidade de quartzo, espera-se que a vida útil das serras adiamantadas seja maior, o que diminui os custos de extração. Devido aos derrames mais espessos espera-se uma menor quantidade de descontinuidades e uma maior espessura de rocha sã.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A Formação Serra Geral é formada por rochas vulcânicas básicas (basaltos toleíticos) e ácidas (dacitos, riolitos) que se originaram em eventos magmáticos do tipo fissural, durante o cretáceo, na Bacia do Paraná. É considerada uma grande região magmática, ou LIPs (Coffin & Eldholm, 2001), com predominância de lavas toleíticas abrangendo superfícies superiores a um Mkm² e volumes de, no mínimo, um Mkm³ extravasados em períodos de alguns milhões de anos. Rochas de composição ácida e intermediária na forma de lavas ou como intrusivas também são encontradas normalmente no início ou no fim do magmatismo (Coffin & Eldholm, 2001).

As rochas vulcânicas ácidas aflorantes na região são do grupo Palmas subgrupo Caxias do Sul (Nardy, 2008). “As rochas vulcânicas ácidas mesozóicas da Bacia do Paraná recobrem uma área de 64.000 km² e representam 2,5% do volume total da Formação Serra Geral” (Nardy, 2008) (p.3) sendo que o grupo Palmas representa 2% do volume total da Formação Serra Geral.

Existe uma grande discussão com relação à origem das rochas vulcânicas ácidas da bacia do Paraná, onde se destacam duas correntes: , a primeira defende que elas seriam provenientes de fluxos piroclásticos (Petrini et al, 1989); Whittingham (1989); Roisenberg (1989); Milner *et al.* 1992) e a segunda defende que seriam de fluxo de lavas (Comin-Chiaramonti 1988; Bellieni *et al.* 1988; Henry e Wolff 1992). Umann *et al.*(2001) caracterizou as rochas petrologicamente e geoquímicamente como formadas em derrames. O objetivo deste trabalho não é discutir a gênese, mas sim suas características mecânicas para uso comercial.

Nardy, Machado e Oliveira (2008) interpretam a litoestratigrafia e suas diferenças geoquímicas, caracterizando de forma notável as rochas da fácies Caxias tipo Palmas. “Caracterizadas pela coloração cinza clara, às vezes adquirindo tonalidade vermelho-acastanhada, natureza afírica, textura hipo a holohialina com marcante aspecto sal-e-pimenta

2.1 Geologia Local

A área dentro dos limites da fazenda é marcada por esparsos afloramentos de lajeados na região leste, próxima à quebra de relevo em direção ao reservatório da barragem do salto e por alguns cortes de estrada. Foram descritos afloramentos com presença de rocha sã e afloramentos com perfis de solo e rocha em estado de alteração avançado.

No local onde foi realizada a amostragem dos blocos para confecção dos corpos-de-prova para os ensaios tecnológicos existe a presença de duas rochas, uma basáltica e outra dacítica. Devido aos esparsos afloramentos e ao alto grau de alteração, não foi possível detectar o contato dos derrames em campo. A rocha basáltica apresenta coloração avermelhada com faces expostas irregulares, brilho graxo e presença de amígdalas preenchidas por quartzo (Figura 02). Já as rochas expostas dos derrames dacíticos se encontram expostas em derrames espessos, de até 30 metros (figura 03) e com presença de descontinuidades horizontais.



Figura 2 - Face irregular e brilho graxo de rocha basáltica em matacão exposto após detonação para construção de estrada vicinal. Fonte: Freitas (2015).



Figura 3 - Descontinuidades horizontais em derrame dacítico de aproximadamente 30 metros de espessura em mina abandonada às margens da RS-235. Fonte: Freitas (2015).

A região apresenta solos de espessuras variáveis com horizonte de solo orgânico pouco espesso e presença de cambissolos com espessura variável de até cinquenta centímetros. Os cambissolos são característicos de zonas com geomorfologia acidentada (altas declividades), como a região em questão. Derrames basálticos com estruturas de fluxo também foram observados com alteração esferoidal em blocos de rocha logo abaixo do horizonte B de solo (figura 04).



Figura 4 - Detalhe de derrame basáltico sofrendo alteração esferoidal.
Fonte: Freitas (2015).

3. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta uma revisão sobre os principais conceitos abordados durante o trabalho, fundamentais para o seu completo entendimento. Dentre os principais temas, são apresentados roteiros de pesquisa para rocha ornamental, trabalhos sobre ensaios tecnológicos e as principais patologias associadas à rocha ornamental.

3.1 Roteiros de Pesquisa de Rochas Ornamentais

Normas e roteiros para pesquisa de rochas ornamentais no Brasil são recentes, o trabalho mais utilizado atualmente é o *Roteiro Básico para Pesquisa de Rocha Ornamental* desenvolvido por Matta, Vêras e Correia (2006), incorporada pelo DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral). O modelo detalha (em ordem): levantamento topográfico, levantamento geológico-estrutural, coleta de amostras para testes laboratoriais, realização de sondagem e geofísica, caracterização tecnológica da rocha (ensaios) e finalmente a cubagem da jazida através de métodos de cálculo.

O modelo de Sales e Morais (2003) (Figura 05) também apresenta as principais diretrizes a serem seguidas durante a pesquisa de jazida para rocha ornamental. Durante a fase inicial o trabalho sugere: revisão de informações, exploração regional de campo, análises laboratoriais para determinação de características físicas e alterabilidade das rochas. Durante a investigação de detalhe recomenda-se a realização de mapeamento geológico-estrutural, sondagem e geofísica. Finalmente, na fase final, deve-se calcular a reserva de minério e planejar sua exploração.

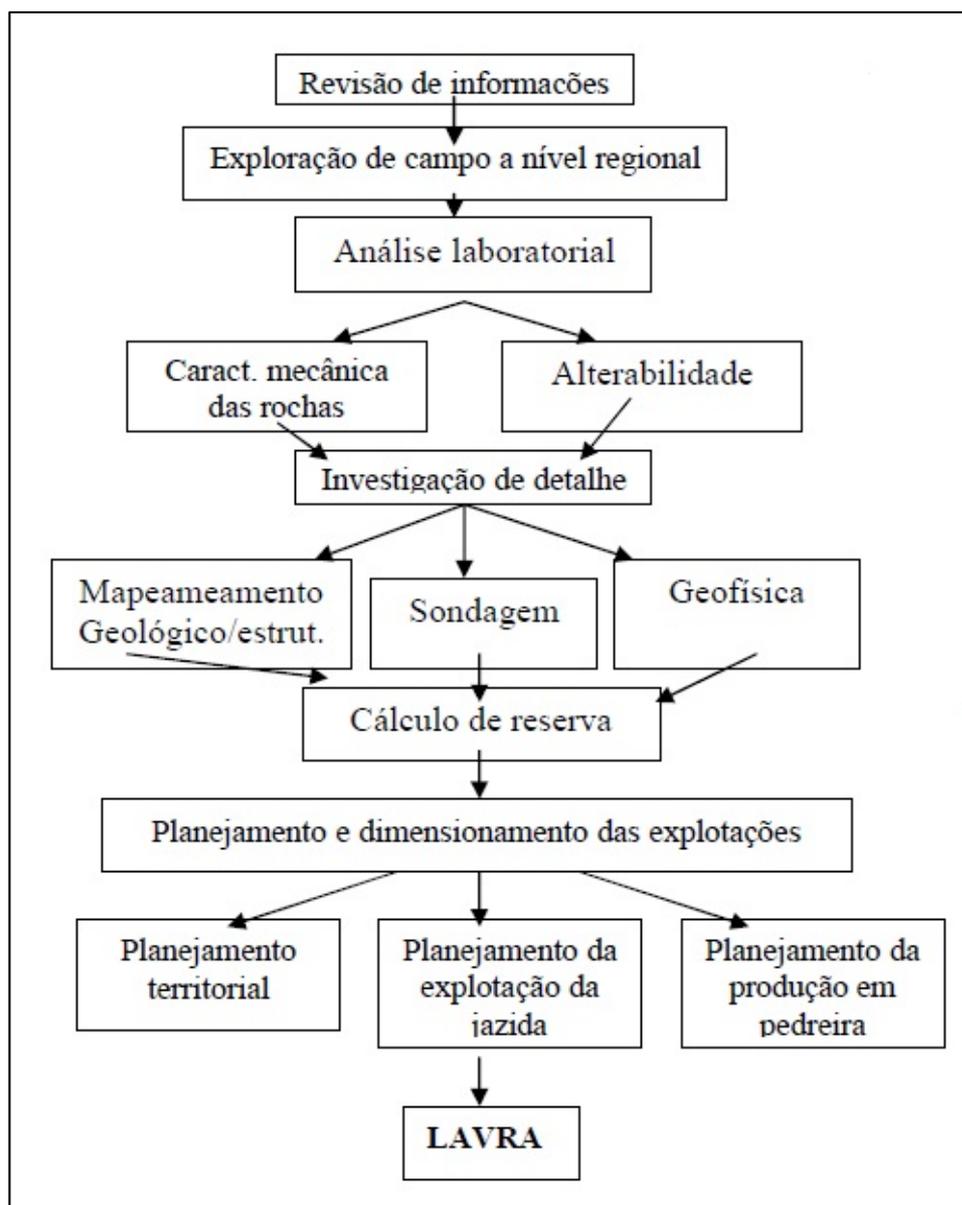


Figura 5 - Organograma com método de pesquisa de rocha ornamental.
Fonte: Sales e Morais (2013).

3.2 Patologias Associadas às Rochas Ornamentais

Os ensaios para caracterização da qualidade da rocha foram descritos por *Frasca* (2002) com o objetivo de identificar as diversas patologias apresentadas pelas rochas durante o tempo de uso. *Frasca* demonstra a importância da análise petrográfica, ensaios de tração, flexão, resistência à compressão uniaxial, entre outros, e relaciona os ensaios para os diversos usos dos materiais como pisos, paredes, fachadas e tampos. Ensaios de alteração acelerada em granitos foram

descritos por Becerra e Costa (2007) como, por exemplo: lixiviação dinâmica e exposição a vapores de ácido.

3.3 Normatização e Especificações

A normatização dos ensaios é realizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e as especificações mais utilizadas são a da própria ABNT e da (ASTM) American Society for Testing and Materials. A norma ABNT NBR 15845(2010) normatiza os métodos de ensaio para rochas de revestimento como: análise petrográfica, determinação de índices físicos, resistência à compressão uniaxial, dentre outros. Os resultados destes ensaios devem ser comparados com as principais especificações nacionais e internacionais como forma de validação da qualidade da rocha. Estes parâmetros são especificados para granitos (nome comercial) pela ABNT na norma ABNT NBR 15844(2010) e pela designação C 615-03(2009) da ISRM (*International Society of Rock Mechanics*).

4. METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO

4.1 Fase Preliminar

A fase inicial do projeto caracteriza-se por uma revisão bibliográfica da região de São Francisco de Paula (Nardy, Machado e Oliveira; 2009) e (Umann *et al*, 2001) e, principalmente, dos métodos e roteiros para a pesquisa de rocha ornamental. Em seguida se realizou um estudo de fotos aéreas e imagens de satélite com a identificação dos lineamentos principais na região de estudo de orientação SW-NE (Figura 06). Delimitando a região de estudo observam-se dois lineamentos de orientação NNW.

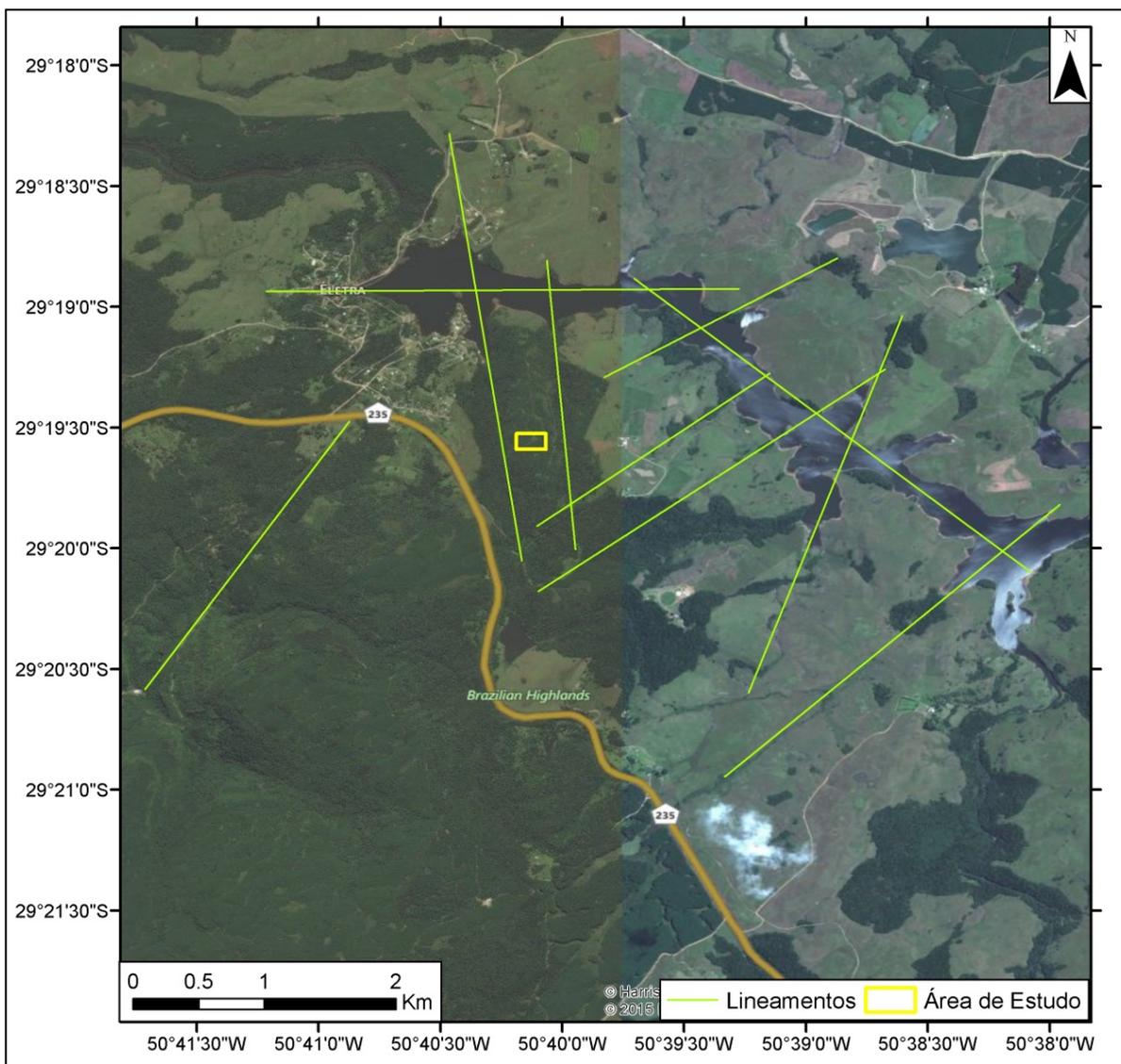


Figura 6 - Lineamentos regionais em verde de orientação preferencial NE e NNW. Imagem de satélite: Bing®. Datum: SIRGAS2000. Fonte: Freitas (2015).

A fisiografia local apresenta uma intensa plantação de Pinus, com a presença do reservatório da Barragem do Salto ao Norte da área estudada. Com relação à infraestrutura local, nota-se a presença de estradas vicinais dentro do perímetro da fazenda e sua posterior ligação com a RS-235, o que facilitaria o transporte, existe, ainda, um loteamento no limite noroeste da fazenda com a presença de um pequeno comércio.

4.2 Trabalho de Campo

Durante esta fase foram realizadas fotografias dos principais afloramentos presentes e foi analisada a disposição das rochas em afloramento. Não foi possível

observar a relação em campo dos derrames dacíticos com os basálticos. Durante esta fase também foram coletadas amostras para a realização de lâminas petrográficas e testes tecnológicos que serão abordados no próximo capítulo.

A amostragem dos blocos ocorreu em estrada vicinal interna da fazenda onde havia grande quantidade de blocos soltos em campo, ao lado da estrada, provenientes de detonação realizada para a construção da mesma. Este material foi escolhido para a amostragem por ser o local mais próximo da zona a ser cubada onde existe a presença de rocha sã. Por ser uma região de plantação de Pinus os afloramentos na área escolhida para a cubagem são escassos.

4.3 Análises Petrográficas

Durante a análise petrográfica, foi seguido o roteiro presente no anexo A da norma ABNT NBR 15845 (2010). Foram utilizadas rochas provenientes de furos de sondagem e rochas coletadas em campo (Figura 06). Três amostras utilizadas foram coletadas em campo: CF-1, CF-5 e VF-5 e outras sete são provenientes de furos de sondagem: L1F1, L2F1, L3F1, L4F1, L5F3, L6F4, L7F5. A nomenclatura das lâminas petrográficas provenientes dos furos de sondagem foi de: número da lâmina seguido do número do furo de sondagem. Cabe ressaltar que a localização exata dos furos de sondagem não foi fornecida pelo empreendedor parceiro no projeto, porém, devido à sua grande semelhança com a rocha VF-5, foram consideradas do mesmo derrame basáltico.

Foram identificados dois tipos de litologia presentes, uma de composição dacítica e outra de composição basáltica. Nos diversos furos de sondagem realizados foram identificados apenas rochas de composição basáltica. As descrições macroscópicas apresentam pouca variação, com baixo grau de alteração nas rochas amostradas. .

Durante a descrição microscópica, foi identificado grande número de minerais opacos muito oxidados nas rochas de composição basáltica, o que causa uma coloração avermelhada escura (vinho) às amostras. Também foi identificada uma grande quantidade de amígdalas e fraturas nas rochas basálticas preenchidas por quartzo e zeolita secundários. As amostras dacíticas apresentam bom estado de sanidade.

4.3.1 Descrição das Amostras:

-CF-1

Descrição Macroscópica: Rocha de coloração cinza escuro no estado úmido e com estrutura maciça no plano de serragem. Granulação fina, sem evidências de alteração ou presença de xenólitos, fraturas ou cavidades.

Descrição Microscópica: Rocha porfírica, contendo fenocristais de k-feldspato e augita. Presença de pequenas amígdalas preenchidas por quartzo. Borda de oxidação de minerais opacos, k-feldspatos bastante alterados para argilominerais. Rocha fracamente alterada.

Análise Microscópica Modal:

- Plagioclásio: 45%, presentes na matriz com grãos em torno de 0.1mm, anédricos.
- K-feldspato: 23%, como fenocristais de até 0.6mm subédricos.
- Quartzo: 17%, presente na matriz, grãos anédricos e preenchendo amígdalas.
- Augita: 4%, presente na matriz em grãos prismáticos subédricos de até 2mm.
- Minerais Opacos: 8%, como fenocristais de até 0.3mm subédricos.
- Argilominerais: 3%, presente em bordas de alteração de k-feldspatos.

Classificação: Dacito.

-CF-5

Descrição Macroscópica: Rocha de coloração cinza escura no estado úmido com estrutura maciça no plano de serragem. Granulação fina, sem evidências de alteração, ausência de xenólitos, fraturas ou cavidades.

Descrição Microscópica: Rocha porfírica, contendo fenocristais de k-feldspato e augita. Presença de pequenas amígdalas preenchidas por quartzo. Borda de oxidação de minerais opacos e k-feldspatos moderadamente alterados para argilominerais. Rocha sã. Minerais de augita englobando grãos de minerais opacos (Figura 07).

Análise Modal

- Plagioclásio: 44%, presentes na matriz com grãos em torno de 0.1mm, anédricos.
- K-feldspato: 26%, como fenocristais de até 0.6mm subédricos.
- Quartzo: 17%, presente na matriz, grãos anédricos e preenchendo amígdalas.
- Augita: 4%, presente na matriz em grãos prismáticos subédricos de até 2mm.
- Minerais Opacos: 6%, como fenocristais de até 0.3mm subédricos.
- Argilominerais: 3%, presente em bordas de alteração de k-feldspatos.

Classificação: Dacito.

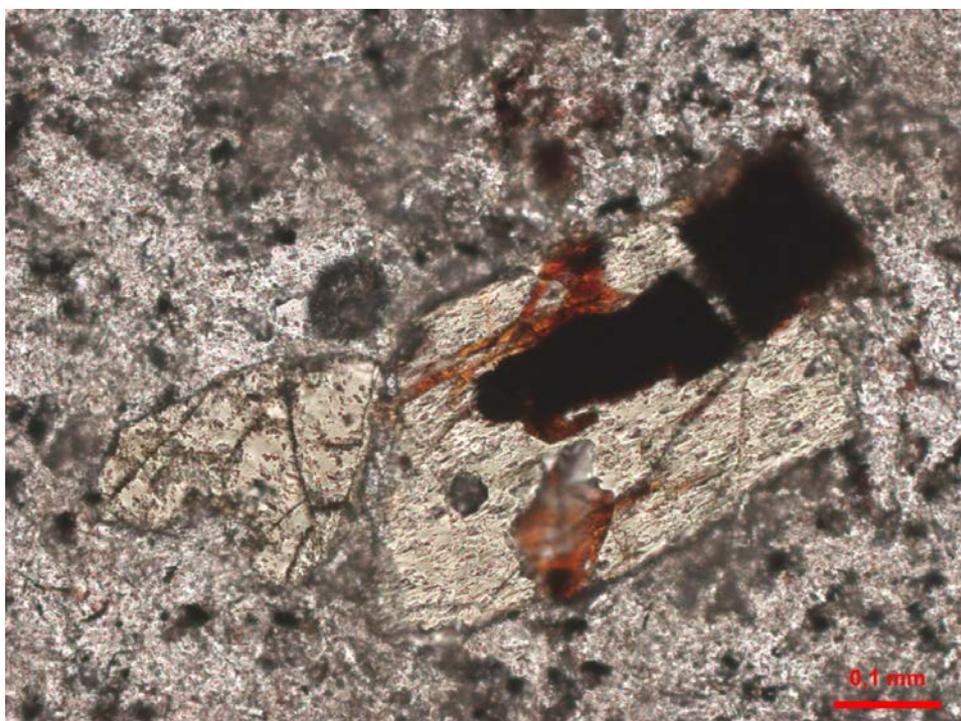


Figura 7 - Grão de augita englobando grãos prismáticos de minerais pesados. Microscópio com aumento de 20x a luz natural. Fonte: Freitas (2015).

-VF-5

Descrição Macroscópica: Rocha de coloração vermelha escura no estado úmido com estrutura maciça no plano de serragem. Granulação fina, sem evidências de alteração, ausência de xenólitos, fraturas ou cavidades.

Descrição Microscópica: Rocha fanerítica fina, inequigranular. Presença de amígdalas, e fraturas de até 2 mm preenchidas por quartzo. Minerais opacos muito

oxidados formando grandes bordas de alteração. Distribuição homogênea dos grãos. Rocha fracamente alterada.

Análise Modal

- Plagioclásio: 60%, euédrico a subédrico de aproximadamente 0.1mm.
- Augita: 30%, subédricas de aproximadamente 0.05mm.
- Minerais Opacos: 6%, subédricos com formato losangular de aproximadamente 0.02mm.
- Quartzo: 4%, secundário preenchendo fraturas e amígdalas.

Classificação: Basalto.

-L1-F1

Descrição Macroscópica: Rocha de coloração vermelha escura no estado úmido com estrutura maciça no plano de serragem. Granulação fina, sem evidências de alteração, presença de pequenas amígdalas preenchidas por material esbranquiçado.

Descrição Microscópica: Rocha fanerítica fina (Figura 08), inequigranular. Presença de amígdalas conectadas a fratura de 6 mm preenchidas por quartzo. Minerais opacos muito oxidados. Distribuição homogênea dos grãos. Rocha fracamente alterada.

Análise Modal

- Plagioclásio: 71%, euédrico a subédrico de aproximadamente 0.15mm.
- Augita: 19%, subédricas de aproximadamente 0.03mm.
- Minerais Opacos: 4%, subédricos com formato losangular de aproximadamente 0.02mm.
- Quartzo: 6%, secundário preenchendo fraturas e amígdalas, anédrico.

Classificação: Basalto.

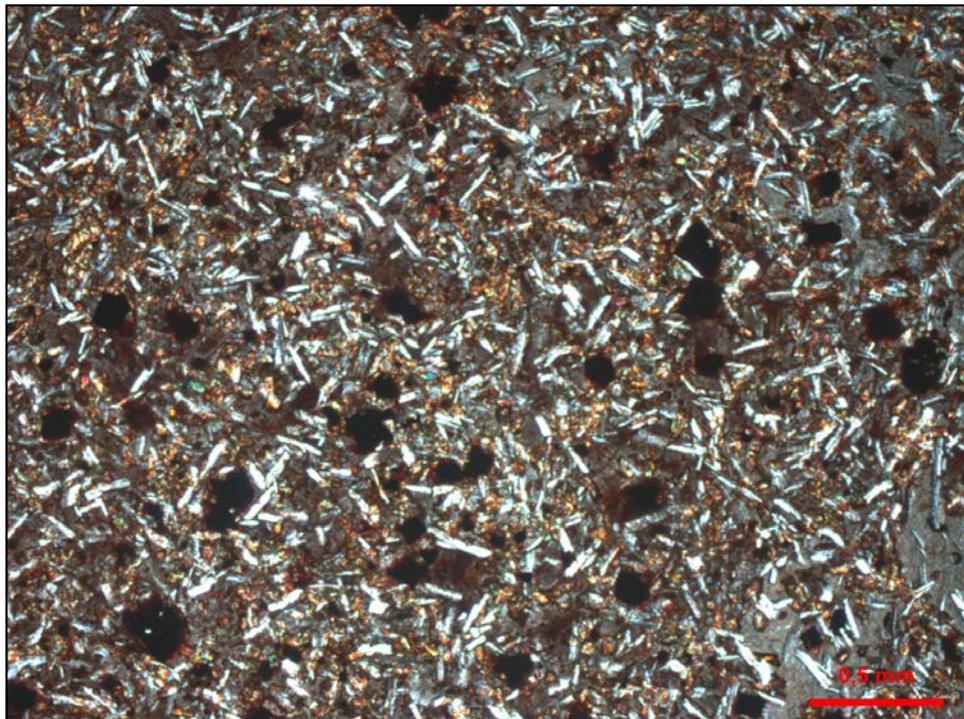


Figura 8 - Textura fanerítica fina inequigranular em basalto. Microscópio com aumento 5x e nicóis cruzados.
Fonte: Freitas (2015).

-L2-F1

Descrição Macroscópica: Rocha de coloração vermelha escura no estado úmido com estrutura maciça no plano de serragem. Granulação fina, sem evidências de alteração.

Descrição Microscópica: Rocha fanerítica fina, inequigranular. Presença de amígdalas conectadas a fratura de 6 mm preenchidas por quartzo. Minerais opacos muito oxidados. Distribuição homogênea dos grãos. Rocha fracamente alterada.

Análise Modal

- Plagioclásio: 65%, subédrico de aproximadamente 0.08mm.
- Augita: 26%, subédricas de aproximadamente 0.03mm.
- Minerais Opacos: 5%, subédricos de aproximadamente 0.03mm.
- Quartzo: 4%, secundário preenchendo fraturas e amígdalas, anédrico.

Classificação: Basalto.

-L3-F1

Descrição Macroscópica: Rocha de coloração marrom avermelhada no estado úmido com estrutura maciça no plano de serragem. Granulação fina, sem evidências de alteração. Presença de pequenas fraturas preenchidas por material esbranquiçado.

Descrição Microscópica: Rocha fanerítica fina, inequigranular. Minerais opacos muito oxidados. Distribuição homogênea dos grãos, porém presença de fraturas preenchidas por quartzo. Rocha fracamente alterada.

Análise Modal

- Plagioclásio: 68%, subédrico de aproximadamente 0.1mm.
- Augita: 20%, subédricas de aproximadamente 0.03mm.
- Minerais Opacos: 5%, subédricos de aproximadamente 0.02mm.
- Quartzo: 7%, secundário preenchendo fraturas e amígdalas, anédrico.

Classificação: Basalto.

-L4-F1

Descrição Macroscópica: Rocha de coloração vermelha escura no estado úmido com estrutura estratificada no plano de serragem. Granulação fina, sem evidências de alteração.

Descrição Microscópica: Rocha fanerítica fina, inequigranular. Presença de cinco zonas de alta oxidação de aproximadamente 2mm de espessura e 5mm de espaçamento. Minerais opacos muito oxidados. Distribuição homogênea dos grãos. Rocha fracamente alterada. Fraturas de até 2mm preenchidas por quartzo.

Análise Modal

- Plagioclásio: 66%, subédrico de aproximadamente 0.1mm.
- Augita: 20%, subédrica de aproximadamente 0.03mm.
- Minerais Opacos: 7%, subédricos de aproximadamente 0.04mm.
- Quartzo: 7%, secundário preenchendo fraturas, anédrico.

Classificação: Basalto.

-L5-F3

Descrição Macroscópica: Rocha de coloração vermelha escura no estado úmido com estrutura maciça no plano de serragem. Granulação fina, sem evidências de alteração. Presença de pequenas amígdalas.

Descrição Microscópica: Rocha fanerítica fina, inequigranular. Minerais opacos muito oxidados. Distribuição homogênea dos grãos. Rocha fracamente alterada. Amígdalas de aproximadamente 1mm de diâmetro preenchidas por quartzo.

Análise Modal

- Plagioclásio: 68%, subédrico de aproximadamente 0.07mm.
- Augita: 20%, subédrica de aproximadamente 0.05mm.
- Minerais Opacos: 5%, subédricos de aproximadamente 0.02mm.
- Quartzo: 7%, secundário preenchendo fraturas e amígdalas, anédrico.

Classificação: Basalto.

-L6-F4

Descrição Macroscópica: Rocha de coloração vermelha muito escura no estado úmido com estrutura amigdaloidal no plano de serragem. Granulação fina, com alteração média a elevada. Presença de grandes amígdalas.

Descrição Microscópica: Rocha fanerítica fina, com presença de grandes amígdalas. Minerais opacos muito oxidados, tornando a coloração da rocha vermelha escura. Distribuição homogênea dos grãos. Medianamente alterada, com alto grau de oxidação. Amígdalas de até aproximadamente 5 mm de diâmetro preenchidas por quartzo fibroso (Figura 09), carbonato e quartzo prismático.

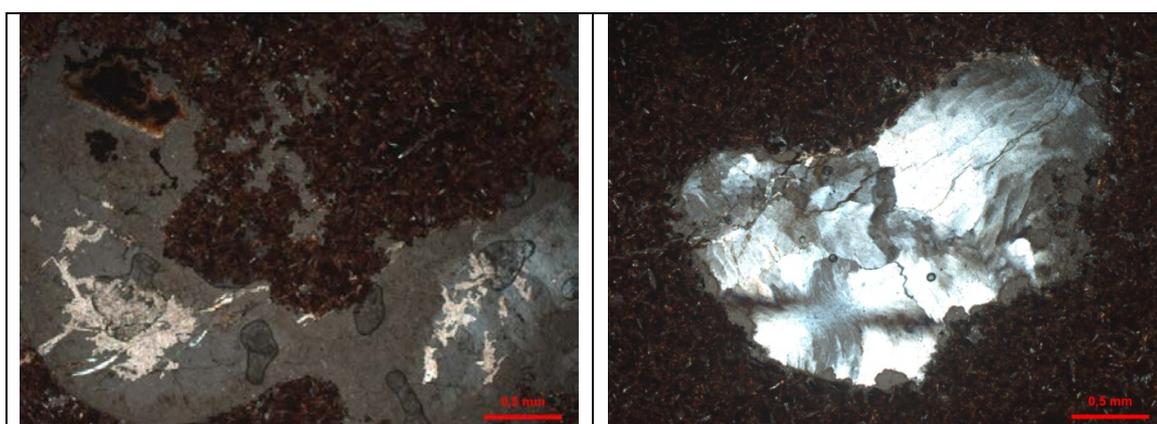


Figura 9 - Amígdala preenchida por carbonato e quartzo (esquerda) e amígdala preenchida por quartzo fibroso (direita) na lâmina L6F4 em microscópio com aumento de 5x e lente com nicóis cruzados.

Fonte: Freitas (2015).

Análise Modal

- Plagioclásio: 68%, subédrico de aproximadamente 0.1mm, muito alterados para argilominerais.
- Augita: 20%, subédrica de aproximadamente 0.05mm.
- Minerais Opacos: 5%, subédricos de aproximadamente 0.02mm.
- Quartzo: 7%, secundário preenchendo fraturas e amígdalas, anédrico.

Classificação: Basalto.

-L7-F5

Descrição Macroscópica: Rocha de coloração vermelha escura no estado úmido com estrutura maciça no plano de serragem. Granulação fina, sem evidências de alteração. Presença de pequenas amígdalas.

Descrição Microscópica: Rocha fanerítica fina, inequigranular. Minerais opacos muito oxidados. Distribuição homogênea dos grãos. Rocha fracamente alterada. Amígdalas de aproximadamente 1mm de diâmetro preenchidas por quartzo (Figura 10).

Análise Modal

- Plagioclásio: 68%, subédrico de aproximadamente 0.07mm.
- Augita: 20%, subédrica de aproximadamente 0.05mm.
- Minerais Opacos: 5%, subédricos de aproximadamente 0.02mm.
- Quartzo: 7%, secundário preenchendo fraturas e amígdalas, anédrico.

Classificação: Basalto.

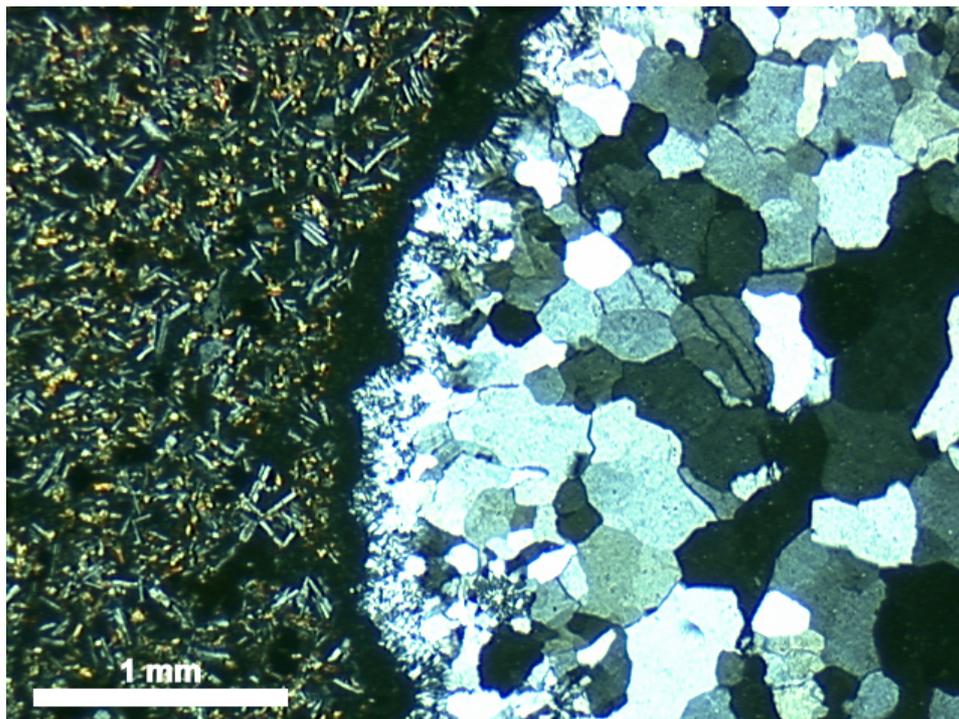


Figura 10 - Amígdala preenchida por quartzo. Microscópio com aumento de 40x em nicóis cruzados.
Fonte: Freitas (2015).

4.4. Ensaaios Tecnológicos

Os ensaios tecnológicos de índices físicos e determinação da velocidade sônica foram realizados nos laboratórios do Instituto de Geociências (IGEO), os ensaios de resistência à compressão uniaxial e resistência à flexão em três pontos foram feitos no Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) e os ensaios de desgaste por abrasão amsler e resistência ao impacto de corpo duro foram realizados na Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC).

4.4.1 Coleta de Amostras e Preparação de Corpos-de-Prova

Foram coletados três blocos de aproximadamente 30 cm³, cada um representando os dois principais tipos de derrame existentes na região de estudo. Estes blocos foram levados para o município de Paraí, onde foram cortados em chapas e corpos-de-prova (Figura 11) de diversos tamanhos para a realização de diferentes ensaios tecnológicos. As chapas foram posteriormente polidas para serem utilizadas como mostruário.



Figura 11 - Chapas polidas e corpos-de-prova.
Fonte: Freitas (2015).

4.4.2 Determinação dos Índices Físicos

Os ensaios para a determinação dos índices físicos foram baseados no Anexo B da Norma 15845:2010 da ABNT (ABNT NBR 15844, 2010). Os corpos-de-prova possuem dimensões de cinco a sete centímetros de comprimento e relação base/altura de 1/1. Foram analisados dez corpos-de-prova de derrame de coloração acinzentada e dez corpos-de-prova de coloração avermelhada totalizando vinte corpos-de-prova ensaiados. Estes foram lavados antes do início do ensaio em água corrente com escova de cerdas macias.

A secagem foi realizada em estufa pequena (Figura 12), modelo S250SD, nº de série 4212, durante um período aproximado de 72 horas em uma temperatura $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$ com pesagens sucessivas de dez corpos-de-prova em um intervalo de oito horas para análise de variação de massa. Quando constatada variação de

massa inferior a 0,1% entre as pesagens, os corpos-de-prova são pesados em balança BEL 2Kg, nº de série 4212 (Figura 13), medindo-se sua massa seca.



Figura 12 - Estufa pequena modelo S250SD utilizada para secar amostras e medir sua massa seca. Fonte: Freitas (2015).



Figura 13 - Balança BEL 2Kg utilizada para pesar os corpos-de-prova.
Fonte: Freitas (2015).

Em seguida os corpos-de-prova foram colocados em duas bandejas onde foi adicionada água até alcançar um terço de sua altura, quatro horas depois até atingir dois terços de sua altura e finalmente após mais quatro horas até atingir completa submersão. Após este período, os corpos-de-prova permaneceram mais quarenta horas saturando, totalizando um ciclo de quarenta e oito horas.

A seguir mediram-se suas massas imersas com a utilização de um balde e um fio de massa desprezível acoplado à balança. Após esses procedimentos, os corpos-de-prova foram enxugados com um pano levemente úmido e pesou-se sua massa saturada (Figura 14).

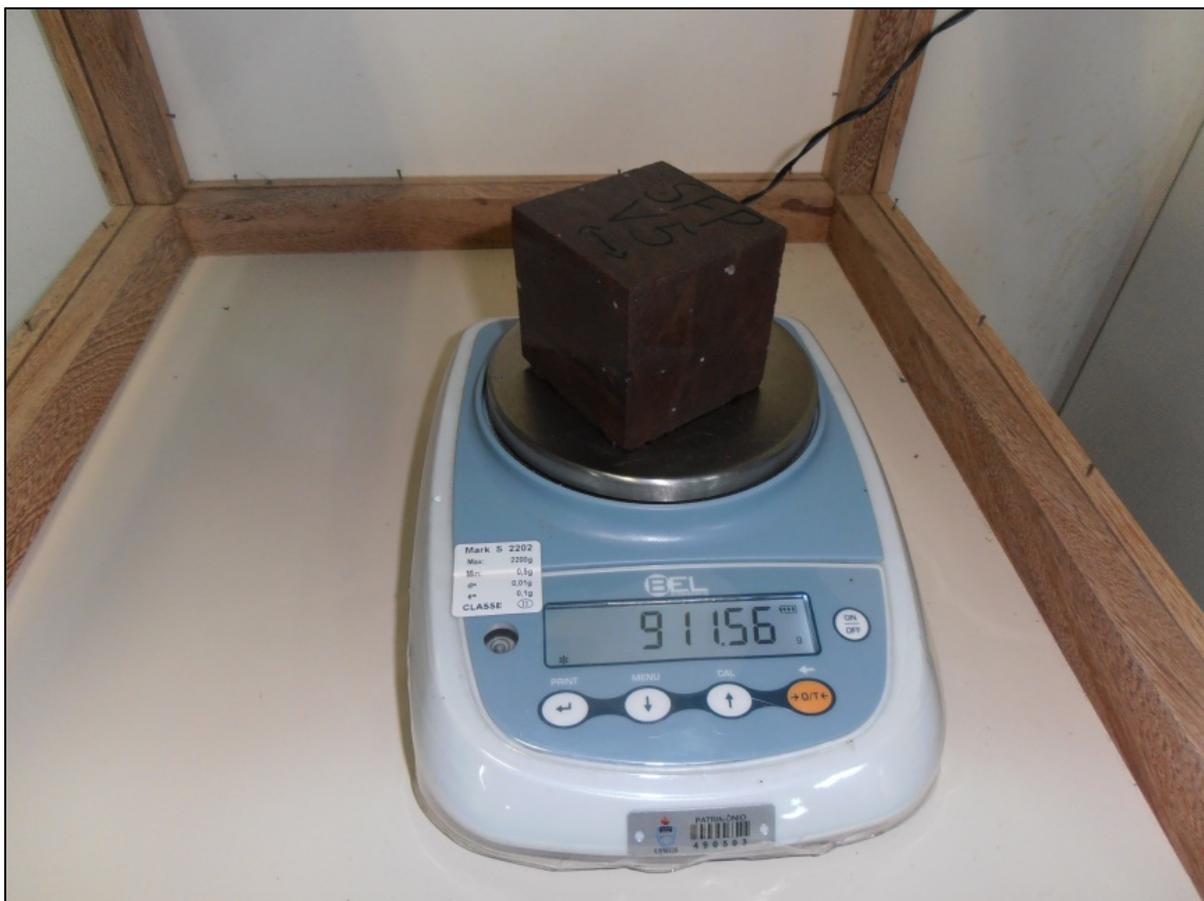


Figura 14 - Balança BEL 2Kg durante a pesagem de um corpo-de-prova após a saturação.
Fonte: Freitas (2015).

Através do ensaio de determinação de índices físicos foi possível precisar os seguintes parâmetros: massa específica aparente seca, massa específica aparente saturada, absorção de água aparente e porosidade aparente.

4.4.3 Determinação da velocidade sônica

As determinações das velocidades de propagação de ondas P foram realizadas nos mesmos corpos-de-prova utilizados nos ensaios de determinação dos índices físicos. As medições de tempo de percurso da onda P foram feitas com equipamento PUNDIT LAB (*Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester*), equipado com transdutores de frequência de pulso de 54 kHz (Figura 15).



Figura 15 - PUNDIT LAB utilizado para a medição do tempo de propagação da velocidade sônica.
Fonte: Freitas (2015).

Este ensaio visa detectar de forma indireta a presença de descontinuidades internas na rocha (fraturas, vesículas, etc.). Segundo Gonzatti *et al.* (2009) “Esse parâmetro é correlacionável com a massa específica aparente e também com parâmetros mecânicos, como o módulo de deformabilidade e a resistência à compressão uniaxial, entre outros” (p. 9). Este ensaio é um dos poucos que de maneira não destrutiva permite a obtenção de dados de características de alteração e coesão de rocha. (Torquato, Bessa e Fernandes, 2002).

4.4.4 Ensaio de Resistência à Flexão – Método dos Três Pontos

A ruptura foi realizada em um sistema de carga SHIMADZU UH-F2000KNI, com rótula integrada e capacidade de carga de 2MN, juntamente com um controlador de força SHIMADZU UH-I. A taxa de carregamento utilizada foi de um milímetro/minuto. Todos os ensaios foram realizados sobre os corpos-de-prova na condição de umidade natural.

Os corpos-de-prova atenderam ao tamanho especificado na norma ABNT NBR 15845 (2010) com dimensões aproximadas de: trinta milímetros de espessura e noventa milímetros de largura para as amostras de basalto, e oitenta e cinco milímetros para as de dacito comprimento de duzentos milímetros. Os corpos-de-prova sofreram carregamento progressivo no rolete central até atingir o ponto de ruptura. Os resultados do ensaio de resistência à flexão são apresentados abaixo. O vão entre os apoios inferiores foi de cento e noventa milímetros para todas as amostras e entre cada apoio inferior e o superior de noventa e cinco para todas as amostras. A tabela com todos os dados do ensaio pode ser consultada no Apêndice V.

Cabe ressaltar que as faces dos corpos-de-prova não sofreram acabamento final o que pode afetar os resultados negativamente. Os corpos-de-prova não foram devidamente polidos e suas faces não sofreram medições de paralelismo finais como indica a norma devido à falta de condições e recursos para realizar devido acabamento. Também cabe ressaltar que os cutelos utilizados para a ruptura (figura 16) eram fixos. A norma ABNT indica que sejam utilizados um cutelo superior móvel e um inferior móvel e outro fixo para a realização do ensaio. Tais dificuldades enfrentadas podem diminuir o valor real de resistência da rocha uma vez que ela possa sofrer mais carga em uma parte da amostra que outra, mas não podem agir para mascarar ou aumentar os resultados.



Figura 16 - Amostra de basalto preparado para o ensaio de resistência à flexão em três pontos com os três cutelos.

Fonte: Freitas (2015).

4.4.5 Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial

Os ensaios foram realizados nos laboratório do LEME-UFRGS durante o dia 28 de julho de 2015. A ruptura foi realizada em um sistema de carga SHIMADZU UH-F2000KNI com capacidade de carga de 2MN juntamente com um controlador de força SHIMADZU UH-I. A taxa de carregamento utilizada foi de um milímetro/minuto. Todos os ensaios foram realizados sobre os corpos-de-prova na condição de umidade natural.

Assim como no ensaio de resistência a flexão em três pontos, os corpos-de-prova não sofreram acabamento final em suas faces e não foi realizada medidas de paralelismo entre as faces. Os corpos-de-prova eram de formato cúbico com dimensões de arestas de (70 ± 2) e (75 ± 2) conforme norma ABNT NBR 15845(2010). Dados completos do ensaio podem ser consultados no Apêndice IV.

Durante este ensaio o corpo-de-prova é pressionado até atingir o rompimento por compressão (Figura 17). Este ensaio permite definir a resistência

limite à qual a rocha pode ser submetida em situações compressivas, como por exemplo, quando utilizada como pilar de sustentação.



Figura 17 - Corpo-de-prova de dactil preparado para ser ensaiado.
Fonte: Freitas (2015).

Após o ensaio pode ser verificado o rompimento dos corpos-de-prova em formato de cunha (Figura 18) com ângulo aproximado de 60° com a sua base o que indica que o corpo-de-prova não sofreu compressão desigual e nem ocorreu rompimento em uma fratura já existente na rocha.



Figura 18 - Corpo-de-prova de dacito após rompimento, em forma de cunha.
Fonte: Freitas (2015).

4.4.6 Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro

Durante este ensaio foram ensaiadas cinco amostras de basalto e dez amostras de dacito totalizando dez amostras. Os ensaios foram realizados no laboratório da Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC) no dia 24/09/2015.

As amostras foram medidas utilizando paquímetro Pantec com precisão de centésimo de milímetro. As dimensões das chapas eram de aproximadamente vinte centímetros de comprimento e vinte centímetros de largura (Figura 19). A espessura recomendável segundo o anexo H da norma ABNT NBR 15845 (2010) é a espessura de uso, porém, como o material ainda está em fase de pesquisa, a espessura escolhida foi na faixa de 30 milímetros. Também foram marcadas duas linhas diagonais às arestas para controle de choque do corpo duro exatamente no

centro da amostra. Todas as amostras sofreram acabamento final em suas faces e passaram por medidas de paralelismo em faces opostas.



Figura 19 - Amostra de dacito após marcação do centro corpo-de-prova.
Fonte: Freitas (2015).

Durante o ensaio o corpo-de-prova é assentado e centralizado (Figura 20) em um colchão de areia com a face de controle voltada para parte superior. Em seguida uma esfera de aço de 6 centímetros de diâmetro e 1 quilograma de massa é alçada a altura inicial de vinte centímetros (distância entre a face do corpo-de-prova e o centro da esfera) e abandonada em queda livre com o auxílio de um imã acionado por um interruptor. A partir deste intervalo inicial a esfera é erguida em intervalos crescentes de cinco centímetros até que ocorra o rompimento do corpo-de-prova.



Figura 20 - Funcionário da CIENTEC realizando as medidas para centralizar o corpo-de-prova no colchão de areia.

Fonte: Freitas (2015).

Durante a realização do ensaio foi possível analisar duas diferenças entre os ensaios dos corpos-de-prova basálticos e dacíticos. No momento do impacto do corpo-de-prova dacítico o som emitido era agudo e “seco” quando comparado com o som emitido pelos basálticos. Também se notou grande diferença na face de rompimento, as amostras dacíticas apresentaram face de rompimento planar e contínua enquanto a face das amostras basálticas é irregular e com grande rugosidade (Figura 21).

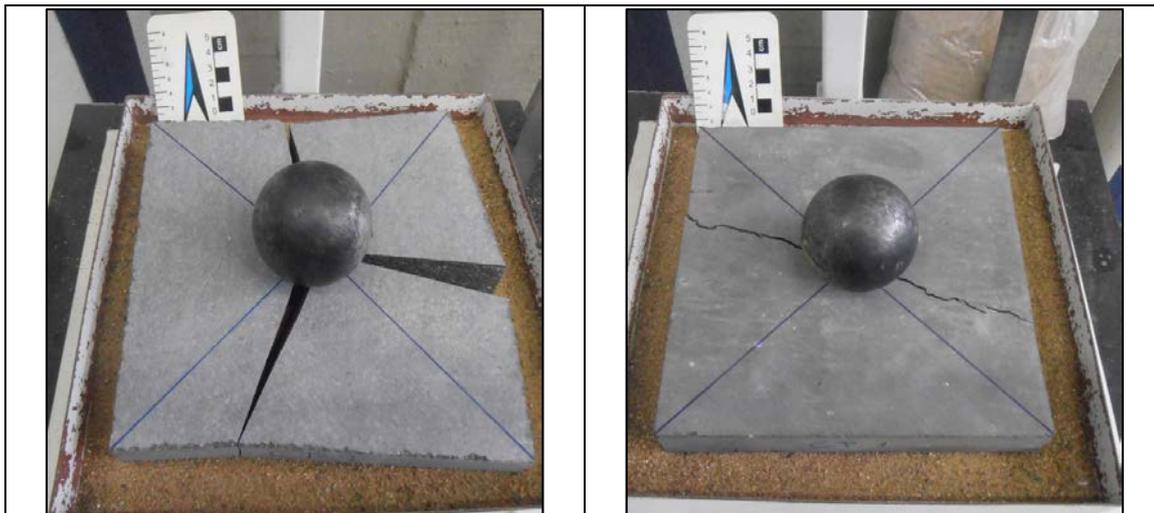


Figura 21 - Amostra de dacito após rompimento, com face planar (esquerda) e amostra de basalto após rompimento, com face irregular (direita).

Fonte: Freitas (2015).

4.4.7 Determinação do Desgaste por Abrasão Amsler

Durante este ensaio foram ensaiadas duas amostras de basalto e duas amostras de dacito. Os ensaios foram realizados no laboratório da Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC) no dia 24/09/2015.

As dimensões dos corpos-de-prova foram medidas utilizando paquímetro Starret com precisão de centésimo de milímetro enquanto o desgaste sofrido pelas amostras foi medido utilizando relógio comparador com precisão de milésimo de milímetro (Figura 22).



Figura 22 - Relógio comparador com precisão de milésimo de milímetro utilizado para medir desgaste por abrasão amsler dos corpos-de-prova ensaiados.
Fonte: Freitas (2015).

O ensaio foi realizado baseado na Norma Brasileira ABNT NBR 12042 (2012). Após medição inicial de espessura, as rochas são submetidas a ciclos abrasivos onde são comprimidas contra uma chapa de aço onde é inserida Areia Normal Brasileira conforme NBR 7214 em vazão constante (Figura 23). São realizados dois ciclos de 250 em uma chapa de aço de dois metros de circunferência totalizando 1000 metros de abrasão. São realizadas medidas de desgaste após 500 metros (1º ciclo) e após 1000 metros (2º ciclo).



Figura 23 - Equipamento utilizado para realizar desgaste por abrasão amsler. Corpos-de-prova são comprimidos contra chapa de aço rotatória onde é inserida areia a partir dos dois funis superiores.
Fonte:Freitas(2015).

4.5 Cubagem

A escolha da área a ser cubada foi baseada em fatores geomorfológicos, devido à presença de material para amostragem e à sua localização afastada da sede da fazenda (Figura 24) (Tabela 1). Foi utilizado um levantamento topográfico com curvas de nível de metro a metro e foi escolhida uma profundidade máxima de vinte e cinco metros com relação ao ponto mais elevado da topografia do polígono. As sondagens realizadas não foram utilizadas na cubagem devido à falta de informação de sua localização.

Tabela 1 - Sistemas de coordenadas do polígono utilizado na cubagem da jazida em SIRGAS 2000 e WGS 1984 - UTM 22S.

Ponto	SIRGAS 2000 - graus decimais		WGS 1984 - UTM 22S	
	Lat	Long	Lat	Long
1	-29,322989	-50,66986	6756183,88	532055,212
2	-29,322983	-50,667528	6756183,88	532281,696
3	-29,326912	-50,667515	6755748,54	532281,696
4	-29,326918	-50,669848	6755748,54	532055,212

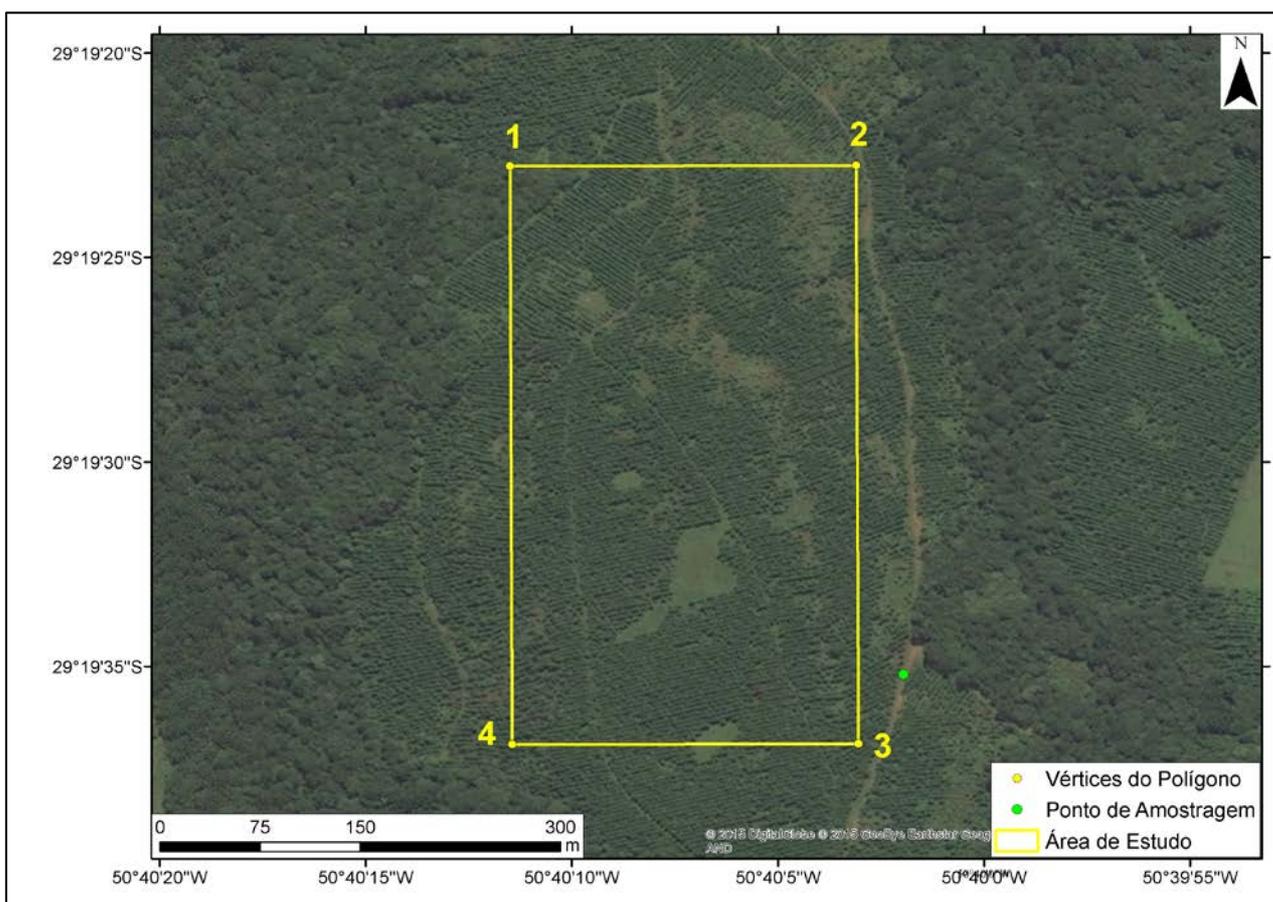


Figura 24 - Polígono com vértices numerados e localização do ponto de amostragem. Imagem de satélite: Bing Maps.
Fonte: Freitas (2015).

Como já mencionado, existem diversos métodos utilizados para o cálculo de volume de minério. “Na apresentação do relatório de pesquisa, o cálculo de cubagem desses corpos rochosos pode ser apresentado sob a forma manual, com tabelas e perfis ou sob a forma computadorizada, com o auxílio de softwares especializados, tendo-se o cuidado de verificar a compatibilidade das medidas com o sistema internacional de unidades.” Matta, Vêras e Correia, (2006), pp11.

Para se realizar o cálculo com maior precisão foi utilizado o software ArcScene® do pacote ArcGis® e a ferramenta “*Polygon Volume*”. Primeiramente foi gerado um modelo de elevação digital do terreno (MED) (Figura 8) e um modelo *raster* (Figura 9) com base nos dados do levantamento topográfico. A área foi escolhida devido a sua forma dômica onde existe uma diferença de nível de vinte e cinco metros entre a base (bordas) e o topo (centro). Esta morfologia favorece a abertura da frente de lavra em bancadas de cinco ou dez metros conforme plano de lavra futuro a ser desenvolvido.

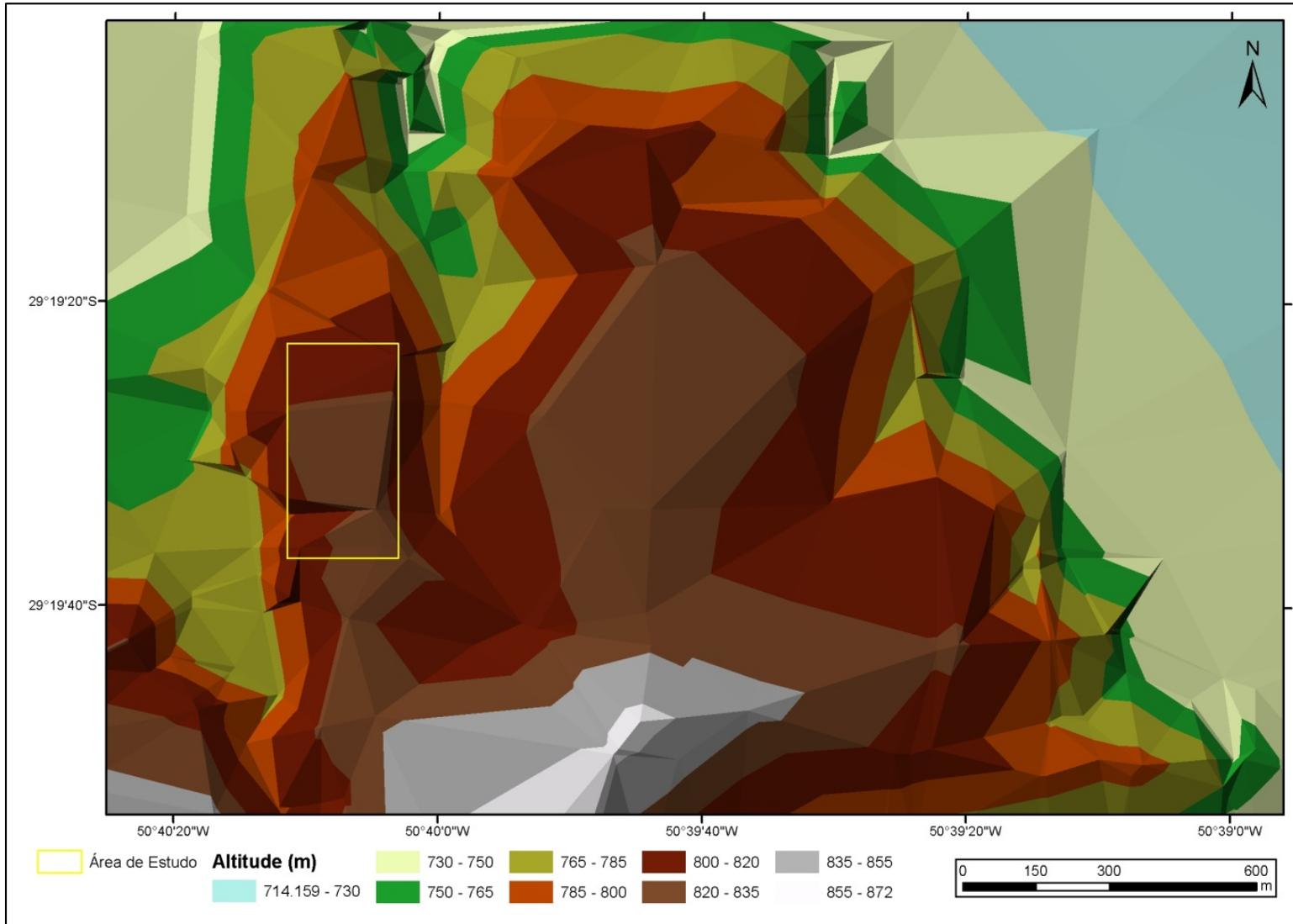


Figura 25 - Modelo de elevação digital do terreno gerado a partir de levantamento topográfico com divisões de altitude de aproximadamente 20 metros na região de estudo. Datum: WGS 1984 22S. Fonte: Freitas (2015).

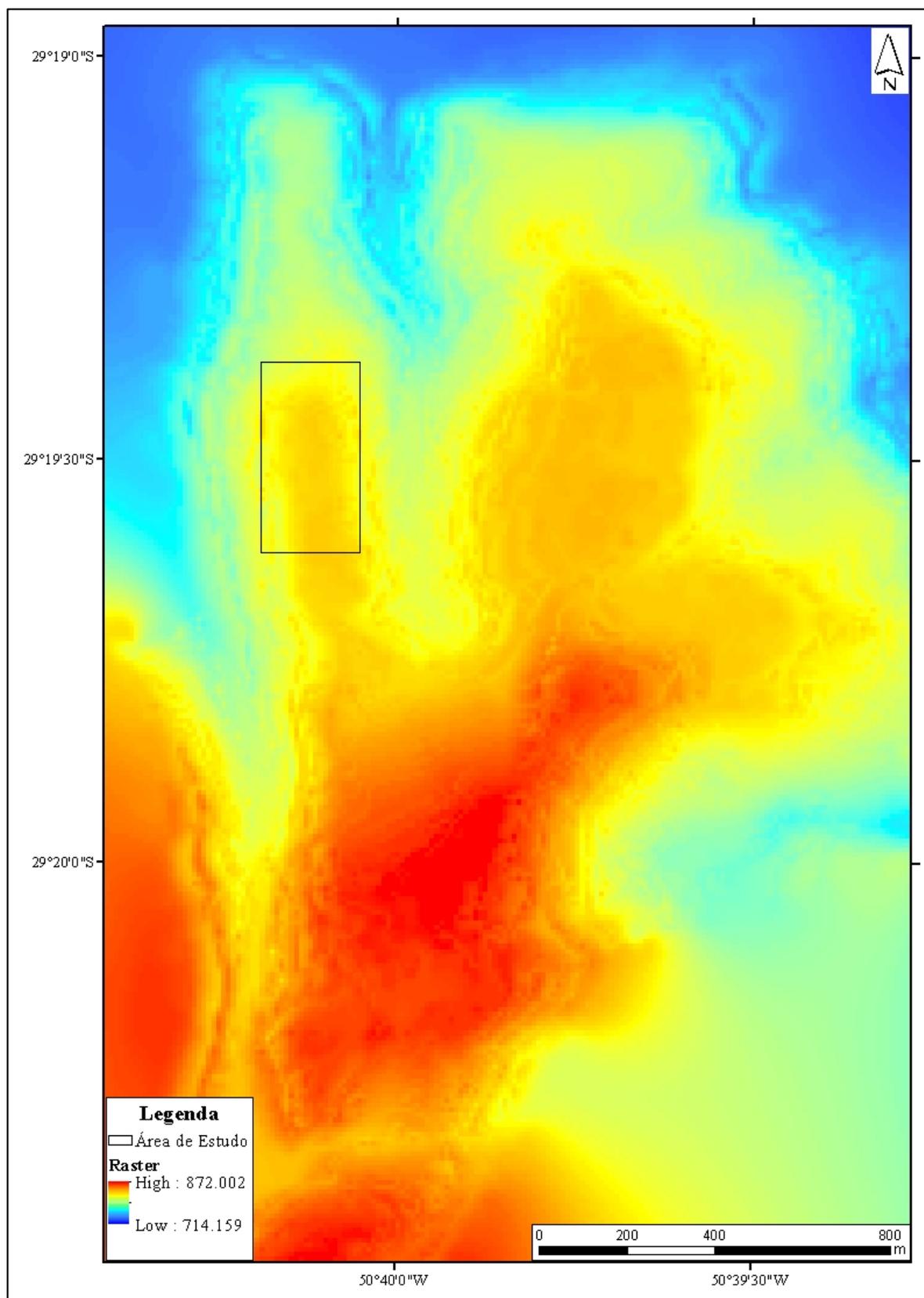


Figura 26 - Modelo *raster* gerado a partir de levantamento topográfico demonstrando variações de altitude na região de estudo. Datum: WGS 1984 22S. Fonte: Freitas (2015).

Para que não ocorressem erros no cálculo de volume a partir da utilização do software foi utilizado um *datum* WGS 1984 UTM, pois é necessária a utilização de medidas métricas para o cálculo correto de medidas e volumes utilizando a ferramenta “Polygon Volume” (Volume do Polígono). É necessário ressaltar que o volume de rocha calculado foi considerado reserva indicada e não reserva medida.

5.RESULTADOS

Neste capítulo os resultados dos ensaios tecnológicos são discutidos em comparação com a especificação nacional e internacional, bem como os valores são comparados com valores de outras rochas ensaiadas semelhantes. Também são analisados os resultados da cubagem da jazida.

5.1 Ensaio Tecnológicos

Os resultados (Tabela 2) se encontram na tabela abaixo com comparações às especificações técnicas da ABNT (ABNT NBR 15844, 2010) e ASTM (ASTM C 615, 2011). Nota-se que os valores mínimos recomendados não são atendidos pelo basalto nos ensaios de absorção de água, porosidade aparente e desgaste por abrasão amsler. Estes valores acima do recomendado justificam-se devido à maior quantidade de fissuras e amígdalas na rocha basáltica. Porém estes resultados não impossibilitam a utilização da rocha basáltica para fins ornamentais. Segundo classificação de Chiodi Filho&Rodrigues (2009) rochas com absorção de água menor que um por cento podem ser utilizadas em revestimento vertical em paredes internas com molhagem eventual.(p.80).

Tabela 2 Resultados de ensaios tecnológicos comparados as especificações da ABNT e ASTM.

Modalidade de Ensaio	Basalto	Dacito	ASTM C 615 (Granitos)	ABNT NBR 15844 (Rochas Silicáticas)
Massa específica aparente (g/cm ³)	2.75	2.58	≥2,56	≥2,55
Absorção de água (%)	0.63	0.22	≤0,4	≤0,4
Porosidade aparente (%)	1.73	0.58	não especificado	≤1
Velocidade de propagação de ondas (km/s)	5.37	5.36	não especificado	≥4
Resistência à flexão (módulo de ruptura) - método 3 pontos (MPa)	16.58	33.58	≥10,34	≥10
Resistência à compressão uniaxial (Mpa)	245.67	217.73	>131	>100
Resistência ao impacto por corpo duro (cm)	50	62	>30	-
Desgaste por abrasão amsler (mm/1000m)	1.325	0.6875		<1

Nota-se também que a rocha basáltica, apesar de possuir menor resistência à flexão, possui maior resistência à compressão. Isso pode ser explicado devido à sua granulometria mais fina que a do dacito e ao seu maior valor de massa específica. Porém, nos ensaios de resistência à flexão e ao impacto de corpo duro, a rocha dacítica apresenta qualidade muito superior à rocha basáltica.

Durante a realização deste trabalho também foram ensaiadas outras rochas de composição semelhante, onde foram realizados ensaios de: índices físicos (massa específica, porosidade aparente e absorção de água aparente), determinação da velocidade sônica e velocidade de propagação de ondas. Os relatórios de ensaio destas rochas se encontram no Anexo I e II. Como estas rochas não foram analisadas em lâmina petrográfica foi utilizado nome genérico de Riólito e Dacito com base na análise macroscópica. A rocha denominada Riólito é

proveniente da região de São José dos Ausentes, enquanto a rocha denominada Dacito – Basalto São Cristovão é proveniente da região de Paraí, onde já é explorada comercialmente e passa por beneficiamento na empresa Basalto São Cristovão.

Comparando-se os resultados obtidos com estas duas rochas, o Basalto Cinza Pampas, Granito Preto São Gabriel, Granito Ouro Negro e o padrão de basaltos/diabásios do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) pode-se analisar de forma mais precisa os resultados obtidos. É possível observar as semelhanças entre o dacito estudado com o dacito Basalto São Cristovão e o Basalto Cinza Pampas visto que são rochas de composições muito semelhantes provenientes de derrames ácidos da Formação Serra Geral do Rio Grande do Sul.

O Basalto Cinza Pampas foi estudado por Gonzatti *et al* (2009), e é proveniente de derrames muito semelhantes ao derrame dacítico da região de estudo, “rocha vulcânica ácida de composição riolítica a riodacítica em derrames de espessura entre 40 a 120 metros na porção superior da Formação Serra Geral” Gonzatti *et al* (2009).

O Granito Preto São Gabriel e o Granito Ouro Negro foram comparados com as rochas estudadas devido à sua composição básica. O Granito Preto São Gabriel apresenta mineralogia com presença de plagioclásio, hiperstênio, biotita, hornblenda e quartzo. Já o Granito Ouro Negro possui plagioclásio, ortopiroxênio, magnetita, hornblenda e biotita. Estes dois gabros possuem massa específica aparente muito semelhante às rochas estudadas e algumas semelhanças que podem ser observadas no Gráfico 1.

É possível observar correlação entre os resultados de porosidade aparente e absorção de água. Também se pode observar correlação entre os resultados de resistência à flexão e ao impacto de corpo duro, visto que durante os dois ensaios a rocha é submetida a esforços que tendem a flexionar a rocha, um de forma progressiva (resistência à flexão) e o outro de forma instantânea (impacto de corpo duro).

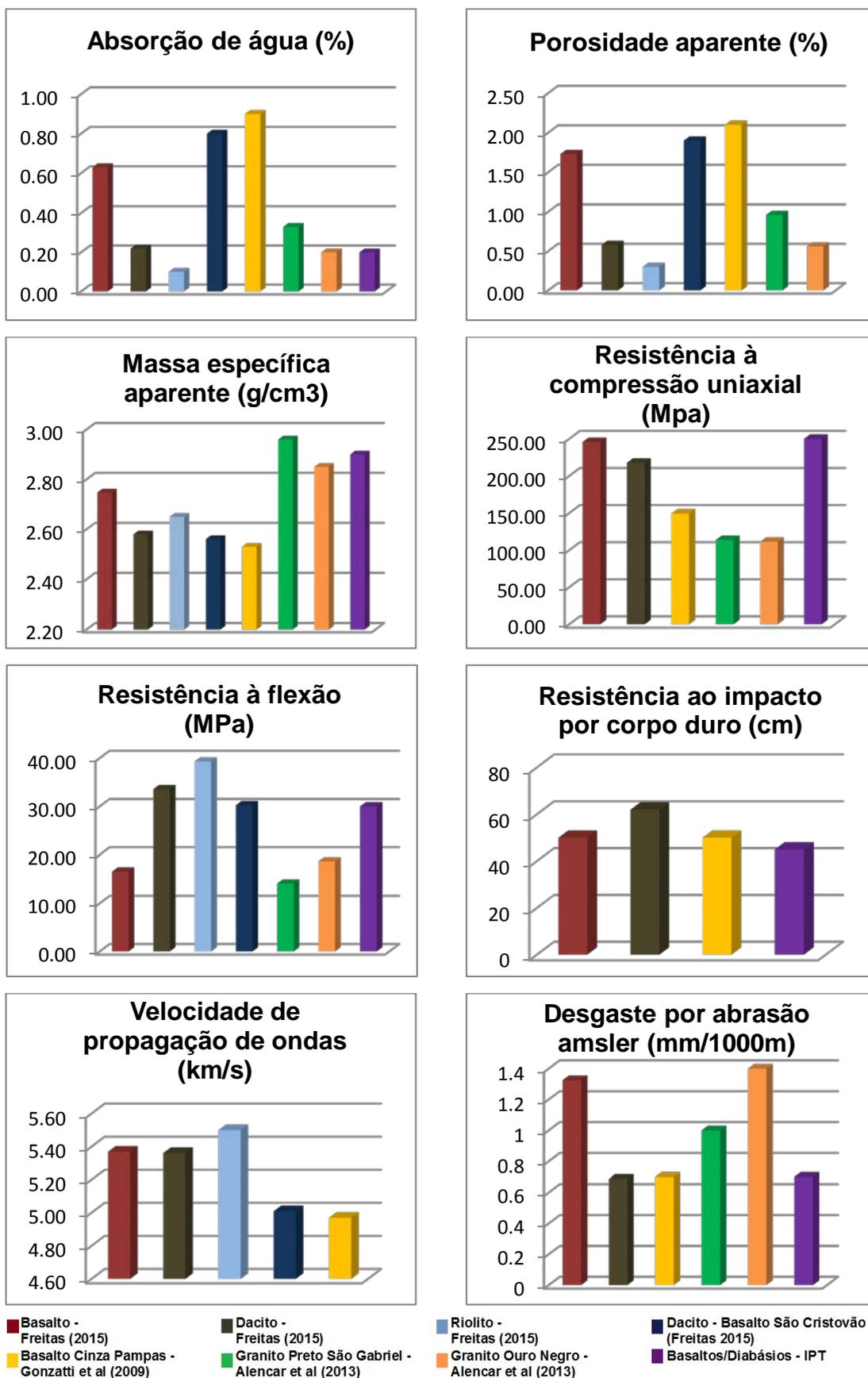


Gráfico 1 Comparação de resultados de ensaios tecnológicos com outras rochas de gênese ou composição semelhante.

5.2. Cubagem da Jazida

Para se medir o número de metros cúbicos da jazida estimada foi utilizado um polígono de área 100.136,29 metros quadrados, uma área em torno de 100 hectares. Este polígono foi posicionado na cota de oitocentos metros e o volume acima deste plano até a superfície do terreno foi o resultado total obtido, que foi de 1.873.583 metros cúbicos. Como valor de segurança foi utilizado o valor de cinco metros de decapagem a partir do nível do solo, considerando nesta zona a presença de solo e rocha alterada. Com isto foi retirado o valor de 389.546 metros cúbicos resultando em um total de 1.484.037 metros cúbicos de jazida estimada.

Como não foi possível definir qual das duas litologias presentes se encontram na região onde foi realizada a cubagem, foi utilizada uma massa específica média entre as duas litologias para cálculo de tonelagem. Desta maneira adotou-se massa específica de 2,66 g/cm³ que multiplicada pelo volume resulta em 3.497.538 toneladas de jazida estimada.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstra que as duas litologias presentes apresentam boa qualidade para serem utilizadas como rocha ornamental. Sondagens adicionais na região de estudo são necessárias para definir a sanidade da estrutura do maciço e se existe a possibilidade de retirada de grandes blocos.

Estudos posteriores podem avaliar a viabilidade do licenciamento ambiental da jazida a ser explorada. Estudos de mata nativa e presença ou ausência de nascentes e banhados são necessários para viabilizar o empreendimento no âmbito ambiental.

Visto que o contexto atual da economia e mineração brasileira vive um momento de retração, a viabilidade da extração do minério pode estar comprometida em um futuro próximo. Este trabalho serve como uma base para estudos futuros de rochas semelhantes na região dos Campos de Cima da Serra e na região serrana do Rio Grande Sul.

7.REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 15845:2010. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2010.*Rochas para revestimento - Métodos de ensaio*, 32 p.
- ABNT NBR 15844:2010. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2010.*Rochas para revestimento – Requisitos para granitos*, 2 p.
- ASTM C 615 – *Standard Specification for Granite Dimension Stone*, American Society for Testing and Materials - International, Wes Conshohocken, PA, 2011.
- Becerra, J.E.B,Costa,A.G., 2007. GEONOMOS 15(2): Pp 33-42.
- Bellieni G., Piccirillo E.M., Comin-Chiaramonti P., Melfi A.J., Roit P. 1988. *Mineral chemistry of continental stratoid volcanics and related intrusives from the Paraná Basin (Brasil)*. In: Piccirillo E.M., Melfi A.J. (eds) *The mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects*. São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico, 600p.
- Chiodi Filho C., Rodrigues E.P.(2009). *Guia de Aplicação de Rochas em Revestimentos*. Abirochas.
- Coffin M.F. & Eldholm O. 1994. Large Igneous Provinces: crustal structure, dimensions and external consequences. *Rev. Geophysic.*, 32 Pp:1-36.
- Designation C 615-03. Annual Book of ASTM Standards – Section Four Construction. Volume 04.07- Building Seals and Sealants; Fire Standards; Dimensions Stone. Pp 48-49.

- Frascá, M.H.B.O. *Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais e de Revestimentos: Estudo por Meio de Ensaios e Análises e das Patologias Associadas ao Uso*. In: III SRONE – 2002 – Recife-PE/Brasil. Pp 1-11.
- Gonzatti C., Philipp R. P., Agostini I.M., Zorzi L., Nobre J.L., Remus M. V. D.(2009). Características Tecnológicas de Rochas Ornamentais do Estado do Rio Grande do Sul. CIENTEC-Fundação de Ciência e Tecnologia.
- Henry C.D., Wolff J.A. 1992. Distinguishing strongly rheomorphic tuffs from extensive silicic lavas. *Bull. Volcanol.* **54**:171 -186.
- Milner S.C., Duncan A.R., Ewart A. 1992. Quartz latite rheoignimbrite flows of the Etendeka Formation, north-western Namibia. *Bull. Volcanol.* **54**: 200-219.
- MEC, Ministério da Educação – Secretária de Educação Profissional e Tecnológica, *Rochas Ornamentais*, Brasília, Novembro de 2007. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf3/publica_setec_rochas.pdf> Acesso em: 25 de Novembro. 2014.
- Nardy A. J. R., Machado F. B., Oliveira M. A. F., 2008. *As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas*, Revista Brasileira de Geociências, 38(1), pp 178-195.
- Petrini R., Civetta L., Iacumin P., Longinelli A., Belliene G., Comin-Chiaramonti P, Ernesto N., Marques L.S., Melfi A., Pacca I., Piccirillo E.M. 1989. High temperature flood silicic lavas from the Parana Basin (Brasil). *New Mex. Bur. Mines Min. Res. Bull.* 131:p.213.
- Torquato J. R., Bessa M. F., Fernandes H. M.. 2002. Uso do *PUNDIT* na determinação de anomalias ultra-sônicas em blocos rochosos. In: III SRONE – 2002 – Recife-PE/Brasil. Anais do III Congresso de Rochas Ornamentais, pp. 23-26.

- Roisenberg A. 1989. *Petrologia e geoquímica do vulcanismo ácido mesozóico da Província Meridional da Bacia do Paraná*. Inst. de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Tese de Doutorado, 285p.
- Sales F. A. C. B., Morais J. O. (2003). Proposta Metodológica de Pesquisa para Rochas Ornamentais. In: IV SRONE-2003-Fortaleza CE-Brasil. pp.2-12.
- Umann L. V., Delima E. F., Sommer C. A., Liz J. D., 2001. *Vulcanismo Ácido da Região de Cambará do Sul; RS: Litoquímica e Discussão Sobre a Origem dos Depósitos*, Revista Brasileira de Geociências 31(3), pp 357-364.
- Whittingham A.M. 1989. *Geological features and geochemistry of the acidic units of the Serra Geral Formation, south Brazil*. IAVCEI abstracts: Santa Fé, New Mexico. pp.293.

8. APÊNDICES

Apêndice I. Tabela de Ensaio de Determinação de Índices Físicos – Basalto

Apêndice II. Tabela de Ensaio de Determinação de Índices Físicos – Dacito

Apêndice III. Tabela de Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro

Apêndice IV. Tabela de Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial

Apêndice V. Tabela de Ensaio de Resistência a Flexão em Três Pontos

Apêndice VI. Tabela de Ensaio de Resistência ao Desgaste Amsler

Apêndice VII. Tabela de Ensaio de Determinação de Velocidade Sônica

Apêndice 1 - Tabela de Ensaio de Determinação de Índices Físicos – Basalto

Cp N°	Massa seca (A) (g)	Massa saturada (B) (g)	Massa imersa (C) (g)	B-A	B-C Volume (cm³)	Massa específica aparente seca (g/cm³)	Massa específica aparente saturada (g/cm³)	Absorção de água aparente (%)	Porosidade Aparente (%)
1	903,84	909,92	580,71	6,08	329,21	2,75	2,76	0,67	1,85
2	907,18	913,34	582,31	6,16	331,03	2,74	2,76	0,68	1,86
3	922,98	928,24	594,25	5,26	333,99	2,76	2,78	0,57	1,57
4	900,84	906,95	578,55	6,11	328,40	2,74	2,76	0,68	1,86
5	906,26	911,57	582,56	5,31	329,01	2,75	2,77	0,59	1,61
6	904,26	910,11	578,97	5,85	331,14	2,73	2,75	0,65	1,77
7	911,56	917,40	586,41	5,84	330,99	2,75	2,77	0,64	1,76
8	917,94	923,32	588,78	5,38	334,54	2,74	2,76	0,59	1,61
9	915,15	920,96	589,52	5,81	331,44	2,76	2,78	0,63	1,75
10	918,40	923,95	588,95	5,55	335,00	2,74	2,76	0,60	1,66
Média Aritimética						2,75	2,77	0,63	1,73
Desvio Padrão (s)						0,01	0,01	0,03	0,09
Coefficiente de variação (d)						0,30	0,29	5,50	5,42

Apêndice 2 - Tabela de Ensaio de Determinação de Índices Físicos – Dacito

Cp N°	Massa seca (A) (g)	Massa saturada (B) (g)	Massa imersa (C) (g)	B-A	B-C Volume (cm³)	Massa específica aparente seca (g/cm³)	Massa específica aparente saturada (g/cm³)	Absorção de água aparente (%)	Porosidade Aparente (%)
1	847,87	849,74	520,59	1,87	329,15	2,58	2,58	0,22	0,57
2	864,45	866,51	532,00	2,06	334,51	2,58	2,59	0,24	0,62
3	844,08	846,01	518,45	1,93	327,56	2,58	2,58	0,23	0,59
4	872,02	874,00	536,82	1,98	337,18	2,59	2,59	0,23	0,59
5	868,79	870,76	533,71	1,97	337,05	2,58	2,58	0,23	0,58
6	865,32	867,28	533,44	1,96	333,84	2,59	2,60	0,23	0,59
7	877,18	879,17	540,57	1,99	338,60	2,59	2,60	0,23	0,59
8	852,71	854,70	523,89	1,99	330,81	2,58	2,58	0,23	0,60
9	829,45	831,19	510,33	1,74	320,86	2,59	2,59	0,21	0,54
10	863,54	865,33	531,46	1,79	333,87	2,59	2,59	0,21	0,54
Média Aritimética						2,58	2,59	0,22	0,58
Desvio Padrão (s)						0,00	0,00	0,01	0,02
Coefficiente de variação (d)						0,19	0,19	3,20	3,22

Apêndice 3 - Tabela de Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro

Basalto						
Número do corpo-de-prova	Dimensões			Altura de queda em que ocorreu:		
	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Fissuramento (cm)	Lascamento (cm)	Ruptura (cm)
1	199,72	199,45	32,2	-	45	50
2	199,94	199,61	62,5	-	-	50
3	200,18	199,79	31	-	50	55
4	199,74	199,4	33,25	40	-	45
5	200,33	199,76	30,8	-	45	50
					Média	50

Dacito						
Número do corpo-de-prova	Dimensões			Altura de queda em que ocorreu:		
	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Fissuramento (cm)	Lascamento (cm)	Ruptura (cm)
1	201,2	200,7	31,5	-	-	65
2	200,66	200,26	30,37	-	-	60
3	200,49	200,29	29,48	-	-	50
4	201,08	200,71	36,31	-	-	80
5	201,03	200,33	30,11	-	-	55
					Média	62

Apêndice 4 - Tabela de Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial

Dacito						
Cp	Largura (mm)	Profundidade (mm)	Altura (mm)	Carga de Ruptura (kN)	Área do plano de carregamento (m²)	Resistência à compressão uniaxial (Mpa)
SFP C2	69,41	68,71	69,90	1254	0,005	262,94
SFP C3	68,08	69,03	69,37	917	0,005	195,06
SFP C6	69,22	68,59	70,10	853	0,005	179,66
SFP C7	69,11	69,58	70,05	1156	0,005	240,40
					Média Aritimética	217,73
					Desvio Padrão	32,15
					Coefficiente de Variação	0,15
Basalto						
SFP V3	69,22	69,49	69,28	1354	0,005	281,49
SFP V5	68,74	69,06	69,11	1165	0,005	245,41
SFP V6	68,58	69,02	69,41	692	0,005	146,20
SFP V7	69,29	69,05	69,10	1331	0,005	278,19
SFP V8	68,88	69,48	69,47	1326	0,005	277,07
					Média Aritimética	245,67
Taxa de carregamento: 1mm/minuto					Desvio Padrão	39,90
					Coefficiente de Variação	0,16

Apêndice 5 - Tabela de Ensaio de Resistência a Flexão em Três Pontos

Basalto							
Cp	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espesura (mm)	Vão livre entre os apoios inferiores (mm)	Distância entre cada apoio superior e inferior (mm)	Carga de Ruptura (kN)	Resistência à flexão em 3 pontos (Mpa)
SFP VF1	199	91,75	33,14	190	95	4	11,3134
SFP VF3	203	91,56	33,03	190	95	5,86	16,7194
SFP VF4	199	91,53	32,77	190	95	6,6	19,1369
SFP VF5	195	91,64	30,58	190	95	5,76	19,1561
					Média Aritimética		16,5815
					Desvio Padrão		3,693714699
					Coefficiente de Variação		0,222761798
Dacito							
SFP CF1	200,05	89,61	29,47	190	95	6,94	25,4149
SFP CF2	200,3	84,46	31,65	190	95	10,14	34,1574
SFP CF3	200	89,54	30,63	190	95	10,98	37,2508
SFP CF4	200,1	89,43	29,55	190	95	9,9	36,1312
SFP CF5	198,5	89,35	36,46	190	95	14,56	34,9364
					Média Aritimética		33,5781
					Desvio Padrão		4,712386029
					Coefficiente de Variação		0,140340949

Apêndice 6 - Tabela de Ensaio de Resistência ao Desgaste Amsler

Basalto									
Percurso - 500m - Carga 6,6 kg									
Corpo-de-prova 1		Leituras (mm)			Corpo-de-prova 2		Leituras (mm)		
		inicial	final	diferença			inicial	final	diferença
Pontos de Leitura	1	5	4,39	0,61	Pontos de Leitura	1	4,98	4,33	0,65
	2	4,99	4,5	0,49		2	4,99	4,57	0,42
	3	4,98	4,48	0,5		3	4,99	4,55	0,44
	4	4,99	4,37	0,62		4	4,99	4,31	0,68
			média	0,56				média	0,55

Média dos corpos-de-prova (500m):	0,55
--	-------------

Percurso - 1000m - Carga: 6,6 kg									
Corpo-de-prova 1		Leituras (mm)			Corpo-de-prova 2		Leituras (mm)		
		inicial	final	diferença			inicial	final	diferença
Pontos de Leitura	1	5	3,69	1,31	Pontos de Leitura	1	4,98	3,71	1,27
	2	4,99	3,64	1,35		2	4,99	3,8	1,19
	3	4,98	3,62	1,36		3	4,99	3,61	1,38
	4	4,99	3,68	1,31		4	4,99	3,56	1,43
			média	1,33				média	1,32

Média dos corpos-de-prova (1000m):	1,33
---	-------------

Dacito									
Percurso - 500m - Carga 6,6 kg									
Corpo-de-prova 1		Leituras (mm)			Corpo-de-prova 2		Leituras (mm)		
		inicial	final	diferença			inicial	final	diferença
Pontos de Leitura	1	5	4,71	0,29	Pontos de Leitura	1	5	4,74	0,26
	2	5,01	4,74	0,27		2	5,02	4,75	0,27
	3	5,01	4,69	0,32		3	5,01	4,78	0,23
	4	5	4,69	0,31		4	5	4,79	0,21
			média	0,30				média	0,24

Média dos corpos-de-prova (500m):	0,27
--	-------------

Percurso - 1000m - Carga: 6,6 kg									
Corpo-de-prova 1		Leituras (mm)			Corpo-de-prova 2		Leituras (mm)		
		inicial	final	diferença			inicial	final	diferença
Pontos de Leitura	1	5	4,23	0,77	Pontos de Leitura	1	5	4,41	0,59
	2	5,01	4,27	0,74		2	5,02	4,39	0,63
	3	5,01	4,26	0,75		3	5,01	4,4	0,61
	4	5	4,19	0,81		4	5	4,4	0,6
			média	0,77				média	0,61

Média dos corpos-de-prova (1000m):	0,69
---	-------------

Apêndice 7 - Tabela de Ensaio de Determinação de Velocidade Sônica

Dacito			
CP	Comprimento (mm)	Tempo de Percurso - T - (ms)	Vp (km/s)
1	69,45	12,9	5,384
2	69,45	12,9	5,384
3	67,97	12,9	5,269
4	69,03	12,9	5,351
5	69,65	13,4	5,198
6	69,4	12,9	5,380
7	69,2	12,9	5,364
8	69,5	12,9	5,388
9	69	12,9	5,349
10	68,8	12,4	5,548
		Média Aritimética	5,361
		Desvio Padrão	0,056
		Coefficiente de Variação (%)	0,010

Basalto			
CP	Comprimento (mm)	Tempo de Percurso - T - (ms)	Vp (km/s)
1	68,8	13,4	5,13
2	69,08	12,9	5,36
3	69	12,4	5,56
4	69	12,9	5,35
5	68,5	12,3	5,57
6	68,42	12,9	5,30
7	69,05	12,9	5,35
8	68,95	12,9	5,34
9	69,27	12,9	5,37
10	69,05	12,9	5,35
		Média Aritimética	5,370
		Desvio Padrão	0,079
		Coefficiente de Variação (%)	0,015

9. ANEXOS

Anexo I. Relatório de Ensaio - BSC-1/2015

Anexo II. Relatório de Ensaio - RFK01/2015

Anexo I. Relatório de Ensaios - BSC-1/2015



RELATÓRIO DE ENSAIOS - BSC-1/2015

Ref.: Acordo de cooperação para execução de projeto de conclusão de curso do aluno de graduação em Geologia Marvin Witt Rodrigues de Freitas.

EMPRESA:

Basalto São Cristóvão Ltda.
CNPJ 89.791.891/0001-55
Rodovia RST 324, km 28/29
95360-000 - Parai - RS

NATUREZA DO TRABALHO:

Ensaio de caracterização de rocha ornamental para uso na construção civil, em amostra procedente da Pedreira Paludo, localizada no município de Garibaldi-RS.

PERÍODO DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS:

05 a 20 de março de 2015.

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Prof. Clovis Gonzatti

Eng. De Minas - CREA 66726-D

Departamento de Mineralogia e Petrologia

Porto Alegre, 25 de março de 2015.

ÍNDICE

1. APRESENTAÇÃO.....	3
2. MÉTODOS DE ENSAIOS.....	3
3. DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA MACROSCÓPICA	3
4. EXECUÇÃO DOS ENSAIOS	4
4.1 Determinação dos Índices Físicos	4
4.2 Determinação da Velocidade Sônica	5
4.3 Ensaio de Resistência à Flexão - Método 3 Pontos.....	6
5. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	7

1. APRESENTAÇÃO

Este relatório contempla os trabalhos realizados para a caracterização física e mecânica de uma amostra de rocha vulcânica procedente da Pedreira Paludo, localizada no município de Garibaldi-RS.

A amostra utilizada nos ensaios foi fornecida pela empresa na forma geométrica de ensaio e identificada como BSC-1. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Geologia de Engenharia, do Departamento de Mineralogia e Petrologia, na UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a coordenação e responsabilidade técnica do Prof. Eng. de Minas Clovis Gonzatti.

Todas as atividades contaram com a participação ativa do aluno de graduação em Geologia, Marvin Witt Rodrigues de Freitas, como parte do seu projeto de conclusão de curso.

A descrição dos estudos realizados, os métodos de ensaio empregados, os resultados obtidos e a análise e interpretação dos resultados são apresentados nos itens a seguir.

2. MÉTODOS DE ENSAIOS

As diferentes modalidades de ensaios foram realizadas de acordo com procedimentos normatizados pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas e ASTM - American Society for Testing and Materials, conforme segue:

- análise petrográfica macroscópica segundo a ABNT 15845-Anexo A/2010;
- densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água segundo ABNT 15845-Anexo B (2010);
- velocidade de propagação de ondas segundo a ASTM D 2845/1995;
- flexão por carregamento - método 3 pontos segundo ABNT 15845-Anexo F/2010;
- análise dos resultados com base nos requisitos da ASTM C 615/2009 e ABNT NBR 15844/2010.

3. DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA MACROSCÓPICA

Cor: Amostra seca = cinza claro.

Amostra úmida = cinza claro.

Estrutura: maciça.

Textura: afanítica.

Teste para ácido clorídrico: não reativo.

Alteração: rocha sã.

Classificação provável: dacito.

Propriedades físico-mecânicas: rocha muito coerente.

A Foto 1 mostra as características de cor e textura da rocha fornecida para ensaio.



Foto 1 - Características de cor e textura da rocha da rocha utilizada nos ensaios.

4. EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

4.1 Determinação dos Índices Físicos

Quadro 1 - Resultados das determinações dos índices físicos na amostra BSC-1.

Corpo de Prova	Massa Seca do Corpo-de-Prova (g)	Densidade Aparente (kg/m ³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção de Água (%)
1	850,82	2543	1,7	0,7
2	849,55	2554	2,0	0,8
3	844,62	2555	2,1	0,8
4	848,50	2562	1,8	0,7
5	855,41	2561	1,8	0,7
6	849,58	2559	1,8	0,7
7	853,94	2554	2,0	0,8
8	853,07	2546	1,8	0,7
9	845,71	2555	2,3	0,9
10	848,64	2561	1,9	0,7
Média Aritmética		2556	1,9	0,8
Desvio Padrão		6,2	0,2	0,1
Coefficiente de Variação (%)		0,2	9,2	9,2

Coefficiente de Variação = Desvio Padrão/Média.

4.2 Determinação da Velocidade Sônica

As determinações da velocidade de propagação da onda P foram realizadas nos mesmos corpos de prova utilizados nos ensaios de flexão. As medições do tempo de percurso da onda P foram feitas com equipamento PUNDIT LAB (Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester), equipado com transdutores de frequência de pulso de 54kHz, conforme mostra a Foto 2. Os resultados são apresentados no Quadro 2

Quadro 2 - Resultados das determinações da velocidade de propagação da onda P na amostra BSC-1.

Corpo de Prova	Vp (km/s)
1	4,95
2	5,08
3	5,01
4	5,08
5	4,95
Média Aritmética	5,01
Desvio Padrão	0,06
Coefficiente de Variação (%)	1,3

Coefficiente de Variação = Desvio Padrão/Média.



Foto 2 - Ensaio para a determinação da velocidade de propagação da onda P.

4.3 Ensaio de Resistência à Flexão - Método 3 Pontos

A ruptura dos corpos-de-prova foi realizada num sistema de carga Shimadzu, com capacidade de carga de 2MN. A taxa de carregamento foi de aproximadamente 4,5kN/minuto. Todos os ensaios foram realizados sobre os corpos de prova na condição de umidade natural.

Os resultados de resistência à flexão são apresentados no Quadro 3, juntamente com as características geométricas e físicas dos corpos-de-prova. A Foto 3 mostra corpo de prova no sistema de carga e após a ruptura.

Quadro 3 - Resultados dos ensaios de flexão - método 3 pontos na amostra BSC-1.

Corpo-de-Prova	Dimensões do Corpo-de-Prova			$\sigma_{f \text{ natural}}$ (MPa)
	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	
1	200,0	100,5	68,5	32,8
2	200,0	100,0	68,3	30,3
3	200,0	100,0	68,5	33,4
4	200,0	100,0	68,0	23,9
5	200,0	100,0	68,0	32,1
Média Aritmética				30,51
Desvio Padrão				3,90
Coefficiente de Variação (%)				12,8

Coefficiente de Variação = Desvio Padrão/Média.

$\sigma_{f \text{ natural}}$ = resistência à flexão pelo método 3 pontos com a rocha na condição de umidade natural.



a)

b)

Foto 3 - Detalhe de corpo de prova (a) antes da ruptura e (b) após a ruptura à flexão pelo método de três pontos.

5. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A análise petrográfica macroscópica da amostra estudada não evidencia a presença de minerais, nem estruturas, que possam comprometer a qualidade do material. Uma observação mais detalhada requer a análise microscópica.

Os resultados quantitativos em todas as modalidades de ensaio mostraram baixa variabilidade, considerando materiais rochosos em geral. Esse aspecto evidencia uma rocha bastante homogênea, tanto do ponto de vista físico como mecânico. Uma síntese dos resultados obtidos na amostra BSC-1 são apresentados no Quadro 4. Para efeitos de comparação, são apresentados, também, os limites estabelecidos pela especificação ASTM C 615 para rochas graníticas e os requisitos para rochas magmáticas recomendados pela ABNT NBR 15844.

Os resultados relativos à absorção de água e porosidade são os únicos do conjunto de parâmetros avaliados que ultrapassam os limites estabelecidos pelas especificações. Esse aspecto recomenda cuidados especiais caso o material venha a ser utilizado em ambientes úmidos e em climas com ciclos frequentes de temperaturas acima e abaixo de zero. A utilização dessa rocha em ambientes externos em clima úmido sugere estudos específicos para avaliar o comportamento estético no longo prazo, como perda de brilho na face polida, por exemplo.

Do ponto de vista mecânico, as características da amostra estudada, traduzidas diretamente pela resistência à flexão e indiretamente pela velocidade sônica, recomendam o seu uso nas mais diversas aplicações como rocha ornamental em ambientes internos e externos, observadas as limitações mencionadas anteriormente. A compatibilização das solicitações impostas à rocha com a resistência oferecida pela mesma, além de estudos de resistência à compressão e ao atrito, são aspectos que não devem ser ignorados no projeto.

QUADRO 4 - Valores limites especificados pela ASTM para rochas graníticas e pela ABNT para rochas ornamentais silicáticas magmáticas, juntamente com valores médios obtidos para os parâmetros estudados da amostra BSC-1.

Modalidade de Ensaio	Requisitos Segundo ASTM C 615	Requisitos Segundo ABNT NBR 15844	Resultados Amostra BSC-1
Densidade aparente seca (g/cm ³)	≥ 2560	≥ 2550	2556
Absorção de água (%)	≤ 0,4	≤ 0,4	0,8
Porosidade aparente (%)	NE	≤ 1	1,9
Velocidade sônica (km/s)	NE	NE	5,01
Dilatação térmica linear (10 ⁻³ mm/m °C)	NE	≤ 8	ND
Desgaste por abrasão Amsler (mm)	NE	≤ 1	ND
Resistência ao tráfego de pedestre (Ha)	≥ 25	NE	ND
Resistência à compressão uniaxial (MPa)	≥ 131	≥ 100	ND
Resistência à flexão - método 4 pontos (MPa)	≥ 10,34	≥ 10	30,51
Resistência ao impacto de corpo duro (cm)	NE	≥ 30	ND

NE = não especificado; ND - não determinado.

Anexo II. Relatório de Ensaio - RFK01/2015



RELATÓRIO DE ENSAIOS - RFK 01/2015

Ref.: Acordo de cooperação para execução de projeto de conclusão de curso do aluno de graduação em Geologia Marvin Witt Rodrigues de Freitas.

EMPRESA:

RFK20 Pesquisa, Exploração e Comercialização de Recursos Hidro-Minerais LTDA.
Rua Leopoldo Rosenfeld, 1054 - Sala 2
95670-000 - Gramado - RS

NATUREZA DO TRABALHO:

Ensaio de caracterização de rocha ornamental para uso na construção civil, em amostras procedentes de área de pesquisa geológica localizada em São José dos Ausentes-RS - Processo **DNPM 810.233/2011.**

PERÍODO DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS:

Entre fevereiro e março de 2015.

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Prof. Clovis Gonzatti

Eng. De Minas - CREA 66726-D

Departamento de Mineralogia e Petrologia

Porto Alegre, 25 de março de 2015.

ÍNDICE

1. APRESENTAÇÃO	3
2. MÉTODOS DE ENSAIOS	3
3. DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA MACROSCÓPICA	3
4. EXECUÇÃO DOS ENSAIOS	4
4.1 Determinação dos Índices Físicos.....	4
4.2 Determinação da Velocidade Sônica.....	5
4.3 Ensaio de Resistência à Flexão - Método 3 Pontos	6

1. APRESENTAÇÃO

Este relatório contempla os trabalhos realizados para a caracterização física e mecânica de uma amostra de rocha vulcânica presente na área de pesquisa mineral no município de **São José dos Ausentes-RS, referente ao processo DNPM 810.233/2011**, identificada como RFK 20.

A amostra utilizada nos ensaios foi entregue pela empresa na forma geométrica de ensaio. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Geologia de Engenharia, do Departamento de Mineralogia e Petrologia, na UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a coordenação e responsabilidade técnica do Prof. Eng. de Minas Clovis Gonzatti.

Todas as atividades contaram com a participação ativa do aluno de graduação em Geologia, Marvin Witt Rodrigues de Freitas, como parte do seu projeto de conclusão de curso.

A descrição do material ensaiado, os métodos de ensaio utilizados e os resultados obtidos são apresentados nos itens a seguir.

2. MÉTODOS DE ENSAIOS

As diferentes modalidades de ensaios foram realizadas de acordo com procedimentos normatizados pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas e ASTM - American Society for Testing and Materials, conforme segue:

- análise petrográfica macroscópica segundo a ABNT 15845-Anexo A/2010;
- densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água segundo ABNT 15845-Anexo B (2010);
- velocidade de propagação de ondas segundo a ASTM D 2845/1995;
- flexão por carregamento - método 3 pontos segundo ABNT 15845-Anexo F/2010.

3. DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA MACROSCÓPICA

Cor: Amostra seca = cinza avermelhada.

Amostra úmida = cinza avermelhada.

Estrutura: maciça.

Textura: afanítica.

Teste para ácido clorídrico: não reativo.

Alteração: rocha sã.

Classificação provável: riolito.

Propriedades físico-mecânicas: rocha muito coerente.

A Foto 1 mostra as características de cor e textura da rocha fornecida para ensaio.



Foto 1 - Características de cor e textura da rocha utilizada nos ensaios.

4. EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

4.1 Determinação dos Índices Físicos

Quadro 1 - Resultados das determinações dos índices físicos na amostra RFK 20.

Corpo de Prova	Massa Seca do Corpo-de-Prova (g)	Densidade Aparente (kg/m ³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção de Água (%)
1	383,38	2572 [#]	1,9 [#]	0,7 [#]
2	419,46	2657	0,2	0,1
3	382,52	2648	0,3	0,1
4	486,68	2638	0,4	0,2
5	405,43	2646	0,3	0,1
6	387,65	2641	0,4	0,1
7	430,74	2677	0,2	0,1
8	414,96	2663	0,2	0,1
9	417,78	2646	0,3	0,1
Média Aritmética		2652	0,3	0,1
Desvio Padrão		29,4	0,1	0,0
Coefficiente de Variação (%)		1,1	24,1	24,5

[#] Valor desprezado para efeitos de cálculo dos parâmetros estatísticos.

Coefficiente de Variação = Desvio Padrão/Média.

4.2 Determinação da Velocidade Sônica

As determinações da velocidade de propagação da onda P foram realizadas nos mesmos corpos de prova utilizados nos ensaios de flexão e parte daqueles utilizados nos ensaios para a determinação dos índices físicos. As medições do tempo de percurso da onda P foram feitas com equipamento PUNDIT LAB (Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester), equipado com transdutores de frequência de pulso de 54kHz, conforme mostra a Foto 1. Os resultados são apresentados no Quadro 2

Quadro 2 - Resultados das determinações da velocidade de propagação da onda P na amostra RFK 20.

Corpo de Prova	Vp (km/s)
1	5,4
2	5,4
3	5,6
4	5,4
5	5,3
6	5,6
7	5,3
8	5,6
9	5,6
10	5,5
11	5,4
12	5,4
Média Aritmética	5,5
Desvio Padrão	0,1
Coefficiente de Variação (%)	1,9

Coefficiente de Variação = Desvio Padrão/Média.



Foto 1 - Ensaio para a determinação da velocidade de propagação da onda P.

4.3 Ensaio de Resistência à Flexão - Método 3 Pontos

A ruptura dos corpos-de-prova foi realizada num sistema de carga Shimadzu, com capacidade de carga de 2MN. A taxa de carregamento foi de aproximadamente 4,5kN/minuto. Todos os ensaios foram realizados sobre os corpos de prova na condição de umidade natural.

Os resultados de resistência à flexão são apresentados no Quadro 3, juntamente com as características geométricas dos corpos-de-prova. A Foto 2 mostra o corpo de prova no sistema de carga durante a ruptura.

Quadro 3 - Resultados dos ensaios de flexão - método 3 pontos na amostra RFK 20.

Corpo-de-Prova	Dimensões do Corpo-de-Prova			$\sigma_{f \text{ natural}}$ (MPa)
	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	
1	199,4	96,1	55,2	37,2
2	200,5	97,0	56,2	42,5
3	200,7	97,4	55,9	38,2
Média Aritmética				39,31
Desvio Padrão				2,85
Coefficiente de variação (%)				7,2

Coefficiente de Variação = Desvio Padrão/Média.

$\sigma_{f \text{ natural}}$ = resistência à flexão pelo método 3 pontos com a rocha na condição de umidade natural.

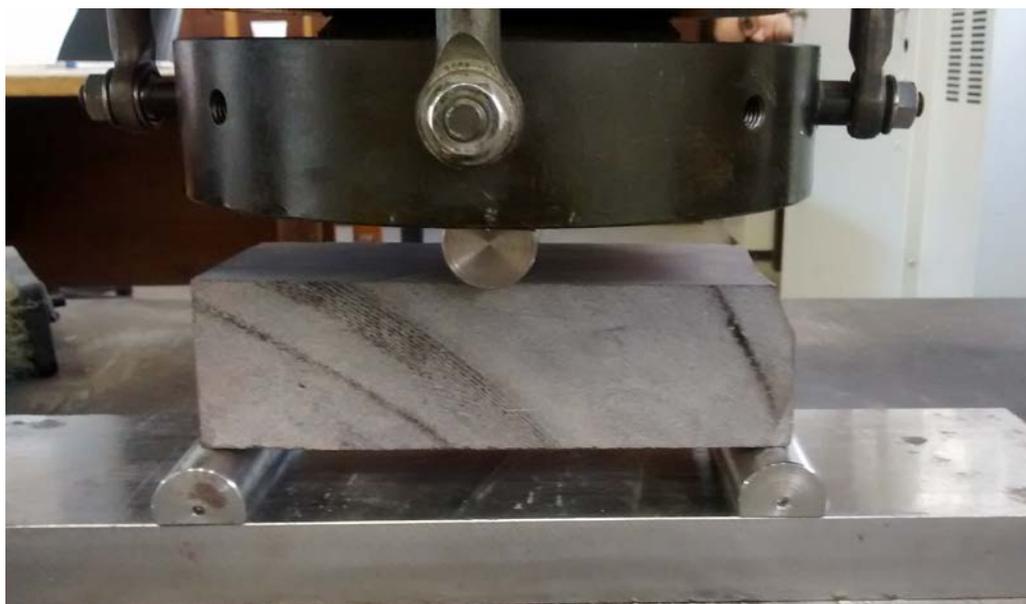


Foto 2 - Detalhe de corpo de prova durante a ruptura à flexão pelo método de três pontos.