

PRISCILLA MEURER

CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS ROCHOSOS DO NORTE DE SANTA CATARINA PARA FINS DE APLICAÇÃO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Joinville na Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Infraestrutura.

Joinville - SC

2015

CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS ROCHOSOS DO NORTE DE SANTA CATARINA PARA FINS DE APLICAÇÃO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

PRISCILLA MEURER

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Joinville na Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Infraestrutura.

Orientador: Prof. Dr. Breno Salgado Barra

Co-orientador: Prof. Dr. Marcelo Heidemann

Joinville - SC

2015

MEURER, Priscilla; MEURER, P.

Caracterização de Materiais Rochosos do Norte de Santa Catarina para fins de Aplicação em Obras de Pavimentação.
Joinville, 2015, volume único, 92 p.

Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Infraestrutura),
Curso de Graduação em Engenharia de Infraestrutura,
Centro de Joinville - Campus de Joinville
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Orientador: Prof. Dr. Breno Salgado Barra

Co-orientador: Marcelo Heidemann

Defesa: 02/12/2015

Palavras-chave: geologia, agregados, pavimentação.

CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS ROCHOSOS DO NORTE DE SANTA CATARINA PARA FINS DE APLICAÇÃO EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

Este trabalho foi julgado para a obtenção do título de graduado em Engenharia de Infraestrutura, e aprovado em sua forma final pela banca examinadora perante o curso de Engenharia de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Joinville.



Profª Valéria Benack

UFSC – Campus Joinville

Centro de Joinville

Coordenadora do Curso de Engenharia de Infraestrutura

Comissão Examinadora



Prof. Dr. Breno Salgado Barra

Orientador

UFSC – Campus Joinville

Centro de Joinville

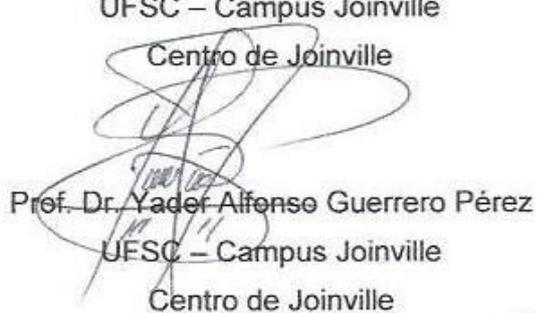


Prof. Marcelo Heidemann

Co-orientador

UFSC – Campus Joinville

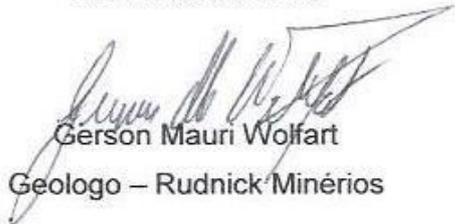
Centro de Joinville



Prof. Dr. Yader Alfonso Guerrero Pérez

UFSC – Campus Joinville

Centro de Joinville



Gerson Mauri Wolfart

Geólogo – Rudnick Minérios

Joinville, 02 de Dezembro de 2015

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida e por tornar possível a conclusão de mais essa etapa.

Aos meus pais Agostinho e Marli, agradeço por todas as oportunidades que me foram concedidas, pela educação, proteção e apoio incondicional. Vocês são meus maiores exemplos de honestidade, fé e perseverança, não existem palavras capazes de expressar o tamanho do meu amor e do orgulho por ser sua filha.

Aos meus irmãos Nelise e Adalberto por estarem sempre disponíveis para me ajudar ou, simplesmente, me ouvir e aconselhar. Especialmente, obrigada por me proporcionar tanta felicidade através de meus sobrinhos Maria Laura e Alison.

Ao meu noivo Ronan Vinícius, serei eternamente grata por sua compreensão, amor e apoio. Muito obrigada por estar ao meu lado em todos os momentos, pela alegria diante das minhas conquistas e por sempre me encorajar a seguir em busca dos meus sonhos. Eu te amo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Breno Salgado Barra, expresso a minha infinita gratidão por me proporcionar o crescimento pessoal e profissional através da ciência. Muito obrigada por toda atenção, confiança e carinho em mim depositados durante esses três anos de parceria. Não conseguiria alcançar os meus objetivos sem os seus ensinamentos.

A todos os professores do Centro de Joinville, obrigada por todos os ensinamentos teóricos e práticos transmitidos. Em especial ao Prof. Dr. Marcelo Heidemann, que contribui de maneira intensiva para os conhecimentos contidos nesse trabalho, sempre muito atencioso e disponível, apesar do curto período de convivência pude aprender muito em sua companhia. Ao Prof. Dr. Yader Alfonso Guerrero Pérez por todo o aprendizado e pela atenção aplicados a minha pesquisa.

Ao meu companheiro de laboratório Rodrigo, obrigada pela sua companhia, apoio e cumplicidade durante esse ano em que dividimos as atividades do laboratório.

Ao todos os meus colegas de curso, agradeço pela companhia do dia-dia, pelos períodos de troca de conhecimento e apoio diante das dificuldades. Em particular aos meus amigos Ana Paula e Julio, que estiveram ao meu lado para me apoiar e incentivar durante a execução dessa pesquisa.

As empresas Vogelsanger, Infracul, Rudnick e Fortunato, representadas por Xavier, Fábio, Gerson e Sergio respectivamente, por estarem disponíveis e colaborarem de maneira tão atenciosa em minha pesquisa. Muito obrigada por contribuírem de modo tão expressivo no fornecimento dos dados, isto proporcionou um valioso estímulo para o desenvolvimento das pesquisas relacionadas á pavimentação.

Ao Laboratório de Microscopia Ótica (LMO) da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Trindade, representados pelo Prof. Dr. Edison Ramos Tomazzoli a graduando Maick Oliveira, muito obrigada pelo auxílio nas análises das lâminas petrográfica.

A todos aqueles que me ajudaram e por ventura não foram aqui citados, peço desculpas pela omissão e expresso minha sincera gratidão.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIACÕES	i
LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE TABELAS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.2. OBJETIVO DA PESQUISA	2
1.2.1. Objetivo Geral	2
1.2.2. Objetivo Específico	2
1.3. PROCEDIMENTO PARA ALCANÇAR O OBJETIVO	2
1.4. DELIMITAÇÃO DO ESPAÇO DE PESQUISA	4
1.5. IMPORTÂNCIA DO TEMA: JUSTIFICATIVA	4
1.6. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	5
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA	6
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	6
2.2. ASPECTOS GEOLÓGICOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE JOINVILLE	8
3. OCORRÊNCIAS GEOLÓGICAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE JOINVILLE	12
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
3.2. MAPEAMENTO DAS PRINCIPAIS JAZIDAS FORNECEDORAS DE MATERIAIS ROCHOSOS	12
3.2.1. Localização das Jazidas	13
3.2.2. Mapeamento Geológico das Jazidas	18
3.3. HORIZONTES ESTIMADOS DE EXPLORAÇÃO	24

4.	PROCEDIMENTOS DE EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DOS	25
	MATERIAIS ROCHOSOS	
4.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	25
4.2.	PROCESSO DE EXTRAÇÃO	26
4.2.1.	Planos de Fogo	26
4.2.2.	Elementos para a Extração	27
4.3.	PROCESSO DE BENEFICIAMENTO	33
4.3.1.	Central de Britagem	34
4.3.2.	Tipos de Britadores	38
5.	MATERIAIS E MÉTODOS	42
5.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	42
5.2.	ANÁLISE PETROGRÁFICA	43
5.2.1.	Amostras e Execução	43
5.3.	DESGASTE POR ABRASÃO LOS ANGELES	46
5.3.1.	Amostras e Execução	47
5.4.	RESISTÊNCIA AO ATAQUE DE QUÍMICO (DURABILIDADE)	50
5.4.1.	Amostras e Execução	50
5.5.	ÍNDICE DE FORMA	53
5.5.1.	Amostras e Execução	54
5.6.	GRANULOMETRIA	55
5.6.1.	Amostras e Execução	56
5.7.	ADESIVIDADE AO LIGANTE BETUMINOSO	57
5.7.1.	Amostras e Execução	58
5.8.	MASSA ESPECÍFICA REAL E APARENTE	60
5.8.1.	Amostras e Execução	61
5.8.1.1.	Agregados Graúdos	61
5.8.1.2.	Agregados Miúdos	63
5.8.1.3.	Material Finamente Pulverizado	65
5.9.	MASSA UNITÁRIA	67
5.9.1.	Amostras e Execução	67

6.	RESULTADOS E ANÁLISES	69
6.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	69
6.2.	RESULTADOS DA ANÁLISE PETROGRÁFICA	69
6.3.	RESULTADOS DO DESGASTE POR ABRASÃO LOS ANGELES	74
6.4.	RESULTADOS DA RESISTÊNCIA AO ATAQUE DE QUÍMICO (DURABILIDADE)	75
6.5.	RESULTADOS DO ÍNDICE DE FORMA	77
6.6.	RESULTADOS DA GRANULOMETRIA	78
6.7.	RESULTADOS DA ADESIVIDADE AO LIGANTE BETUMINOSO	81
6.8.	RESULTADOS DE MASSA ESPECÍFICA REAL E APARENTE	83
6.9.	RESULTADOS DE MASSA UNITÁRIA	84
7.	CONCLUSÃO	86
7.1.	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	86
	REFERÊNCIAS	89

LISTA DE ABREVIações

- ANEPAC - Associação Nacional de Entidades Produtoras de Agregados para a Construção Civil.
- CNT - Confederação Nacional do Transporte
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- DMT - Densidade Máxima Teórica
- DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- LMO - Laboratório de Microscopia Ótica
- LTI - Laboratório de Técnicas de Infraestrutura

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	- Esquema de fluxograma para alcançar os objetivos da pesquisa.	3
Figura 2.1	- Províncias Estruturais Brasileiras.	7
Figura 2.2	- Arcabouço geológico no Estado de Santa Catarina.	8
Figura 2.3	- Mapa geológico do município de Joinville.	9
Figura 2.4	- Evolução geotectônica da região de Joinville; Itapoá, a leste, e Campo Alegre, a oeste.	10
Figura 2.5	- Localização dos principais ecossistemas do município de Joinville vistos numa imagem de satélite ETM.	11
Figura 3.1	- Localização da jazida Vogelsanger: (a) em relação a Joinville; (b) vista superior da jazida.	14
Figura 3.2	- Localização da jazida Rio Zoada : (a) em relação a Joinville; (b) vista superior da jazida.	15
Figura 3.3	- Localização da jazida da empresa Rudnick: (a) em relação a Joinville; (b) vista superior da jazida.	16
Figura 3.4	- Localização da jazida Sol Nascente: (a) em relação a Joinville; (b) vista superior da jazida.	17
Figura 3.5	- Localização das Jazidas em relação ao município de Joinville.	18
Figura 3.6	- Classificação Geológica da jazida Vogelsanger.	19
Figura 3.7	- Classificação Geológica da jazida Rio Zoada.	19
Figura 3.8	- Classificação Geológica da jazida Rudnick.	20
Figura 3.9	- Classificação Geológica da jazida Sol Nascente.	21
Figura 3.10	- Localização geológica das jazidas em relação ao município de Joinville.	22
Figura 3.11	- Mapa de Geodiversidade com a localização das jazidas.	23
Figura 4.1	- Perfuratriz da jazida Vogelsanger.	28
Figura 4.2	- Perfuratriz da jazida Rudnick	28
Figura 4.3	- Emulsão Encartuchada.	29
Figura 4.4	- Amostra de Emulsão Bombeável.	30
Figura 4.5	- Caminhão tanque para o transporte da Emulsão Bombeável.	31
Figura 4.6	- Posicionamento das linhas de fogo.	32
Figura 4.7	- Cordel detonante com a utilização de um retardo de 20 milissegundos.	32

Figura 4.8	- Central de Britagem da empresa Rudnick.	35
Figura 4.9	- Correias transportadoras da empresa Rudnick.	35
Figura 4.10	- Fluxograma do processo de britagem.	36
Figura 4.11	- Abastecimento do britador primário.	37
Figura 4.12	- Esquema de funcionamento do britador de mandíbula.	38
Figura 4.13	- Britador de mandíbula da empresa Rudnick	39
Figura 4.14	- Funcionamento do britador girosférico.	39
Figura 4.15	- Britador girosférico da empresa Fortunato.	40
Figura 4.16	- Esquema de funcionamento do britador de impacto vertical.	41
Figura 4.17	- Britador de impacto vertical da empresa Fortunato.	41
Figura 5.1	- Coleta das amostras nas Jazidas.	42
Figura 5.2	Processo de corte das amostras para análise petrográfica.	44
Figura 5.3	- Amostras para análise petrográfica.	45
Figura 5.4	- Lâminas delgadas: (a)	45
Figura 5.5	- Procedimento de análise das lâminas delgadas: (a) análise dos minerais existentes; (b) microscópio durante e contagem modal por volumetria.	46
Figura 5.6	- Representação da máquina Los Angeles.	47
Figura 5.7	- Amostra do ensaio de abrasão Los Angeles da jazida Rudnick: (a) fração 19,1 – 12,7 mm; (b) fração 12,7 – 9,5 mm.	48
Figura 5.8	- Máquina Los Angeles.	48
Figura 5.9	- Esferas de aço para ensaio Los Angeles.	49
Figura 5.10	- Amostra da jazida Rudnick no interior da máquina Los Angeles juntamente com a carga abrasiva.	49
Figura 5.11	- Amostra de durabilidade da jazida Rio Zoadá: (a) fração 19,1 – 12,7 mm; (b) fração 12,7 - 9,5mm.	51
Figura 5.12	- Cesta com a amostra de durabilidade da jazida Sol Nascente.	51
Figura 5.13	- Sulfato de sódio anidro.	52
Figura 5.14	- Solução de sulfato de sódio: (a) 1 litro de água e 500g de sulfato de sódio; (b) solução pronta.	52
Figura 5.15	- Ciclo de imersão e secagem da amostra da jazida Sol Nascente.	53
Figura 5.16	- Indicação da medição das arestas: (a) comprimento; (b) largura; (c) espessura.	54

Figura 5.17	- Partículas com formato aproximadamente lamelar (direita) e cúbico (esquerda): (a) fração 19,1 – 12,7; (b) fração 12,7 – 9,5 mm.	55
Figura 5.18	- Ilustração do Quarteamento de amostras para granulometria: (a) brita 1; (b) brita 0; (c) pedrisco; (d) pó de Pedra.	56
Figura 5.19	- Sequência de peneiras para a execução do ensaio: (a) 25,1 – 4,8 mm; (b) 2,2 – 0,075 mm.	57
Figura 5.20	- Amostra de adesividade ao ligante betuminoso da jazida Rio Zoadá.	58
Figura 5.21	- Medição do peso de ligante betuminoso.	59
Figura 5.22	- Amostra de adesividade ao ligante betuminoso: (a) processo de mistura; (b) amostra totalmente recoberta; (c) resfriamento das partículas.	59
Figura 5.23	- Amostras de adesividade ao ligante betuminoso: (a) amostras imersas; (b) amostras colocadas na estufa.	60
Figura 5.24	- Determinação dos pesos: (a) seco; (b) submerso; (c) superfície seca.	62
Figura 5.25	- Diferença visual entre: (a) superfície molhada; (b) superfície seca.	62
Figura 5.26	- Leitura de água antes do início do ensaio.	63
Figura 5.27	- Amostra para o ensaio de massa específica de agregado miúdo da jazida Rio Zoadá.	64
Figura 5.28	- Frasco Chapman: (a) antes da decantação; (b) depois da decantação.	64
Figura 5.29	- Amostra para o ensaio de massa específica para material finamente pulverizado da jazida Sol Nascente.	65
Figura 5.30	- Medida de água no gargalo do frasco Le Chatelier.	66
Figura 5.31	- Frasco Le Chatelier: (a) antes da decantação; (b) depois da decantação.	66
Figura 5.32	- Processo de execução do ensaio com pedrisco.	68
Figura 5.33	- Amostras ensaiadas para a determinação da massa unitária: (a) brita 1; (b) brita 0; (c) pedrisco; (d) pó de pedra.	68
Figura 6.1	- Imagens microscópicas do material da jazida Vogelsanger.	70
Figura 6.2	- Imagens microscópicas do material da jazida Rio Zoadá	71
Figura 6.3	- Imagens microscópicas do material da jazida Rudnick.	72
Figura 6.4	- Imagens microscópicas do material da jazida Sol Nascente	73

Figura 6.5	- Amostras do ensaio de desgaste por abrasão Los Angeles: (a) antes; (b) depois.	74
Figura 6.6	- Gráfico de granulometria de jazida Vogelsanger.	78
Figura 6.7	- Gráfico de granulometria de jazida Rio Zoadá.	79
Figura 6.8	- Gráfico de granulometria de jazida Rudnick.	79
Figura 6.9	- Gráfico de granulometria de jazida Sol Nascente.	80
Figura 6.10	- Amostras de adesividade após o descolamento da película betuminosa: (a) Vogelsanger; (b) Rio Zoadá; (c) Rudnick; (d) Sol Nascente.	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	- Classificação dos estágios de britagem.	36
Tabela 6.1	- Composição mineralógica.	70
Tabela 6.2	- Resultados do ensaio de desgaste por Abrasão Los Angeles.	74
Tabela 6.3	- Resultados do ensaio de durabilidade.	76
Tabela 6.4	- Resultados de índice de forma.	77
Tabela 6.5	- Resultados de massa específica Real e Aparente.	83
Tabela 6.6	- Resultados de massa unitária (densidade solta seca).	85
Tabela 7.1	- Resumos dos parâmetros de caracterização e seus limites de aceitação.	87

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho é a realização de um estudo das ocorrências geológicas do Norte do Estado de Santa Catarina, mais especificamente da Região Metropolitana de Joinville, para fins de aplicação como materiais agregados em serviços de pavimentação. Para tanto, foram exploradas as jazidas mais utilizadas da região supracitada, resultando um total de quatro logradouros. A motivação para realização desta pesquisa provém do crescente aumento do transporte de cargas pelo modal rodoviário, proporcionando a necessidade de projetos de infraestruturas adequadas ao suporte do tráfego cada vez mais intenso, e até mesmo além dos limites permitidos. Logo, os materiais selecionados para compor as estruturas de pavimento devem apresentar propriedades capazes de suprir estas solicitações. A metodologia adotada abrangeu diversas vertentes de atuação dos profissionais das áreas mineralógica e de Engenharia Civil, tais como: acompanhamento dos processos de extração e beneficiamento dos agregados; verificação da classificação geológica das ocorrências minerais; determinação laboratorial das características físicas e mecânicas dos materiais testados; os ensaios de caracterização realizados com as amostras coletadas, em laboratório, compreendem aqueles utilizados correntemente em serviços destinados à pavimentação de vias, abrangendo aspectos como: desgaste por abrasão, morfologia das partículas, resistência ao ataque por solução de Sulfato de Sódio e adesividade do agregado ao ligante betuminoso. Os resultados obtidos evidenciaram uma favorável formação geológica para a produção de agregados, assim como também uma adequada capacidade de produção das empresas atuantes na região de estudo. No que tange à composição mineralógica, ficou evidente que o elevado percentual de Quartzos nas amostras favoreceu o baixo desgaste por abrasão Los Angeles, bem como a presença dos minerais secundários Clorita e Sericita, quando presentes, proporcionou um aumento da perda por ataque químico.

Palavras-chave: geologia, agregados, pavimentação.

ABSTRACT

The main aim of this paper is to research geological occurrences from northern region of Santa Catarina State, comprising specifically the surrounding territory of Joinville, in order to use them as aggregate particles in pavement services. They were exploited the most important quarries located in the mentioned region, totaling four mineral sources. The motivation for carrying out this study concerns to the continuous growth of cargo transportation by roads, requiring infrastructure projects capable to resist the intense traffic loadings, sometimes comprising overweight by axle. Thus, the materials selected to design pavement structures must have suitable properties to face these actual problems observed in the field. The procedures followed to achieve the information needed comprised several civil engineering and mineralogical professional areas, such as: attendance of extracting and crushing processes of aggregates; compilation of petrographic analysis regarding mineralogical composition of original massive rocks; and determination of physical and mechanical characteristics of crushed rock particles. It is emphasized that all tests carried out during this research are currently used as laboratory technical procedures concerning pavement services, such as: loss of mass by abrasion Los Angeles, resistance to Sodium Sulfate Anhydrous solution attack, and aggregate-asphalt adhesion. The results obtained indicate the surrounding territory of Joinville as a potential source while supplier of mineral aggregates to be used in pavement services, provided majorly from gneissic massive rocks, which are submitted to several and continuous crushing processes to suit the final product to the standardized requirements, obtaining materials ready to be predicted in pavement structure designs. The results showed a favorable geological formation for the production of aggregates, as well as an adequate production capacity of companies operating in the study area . Regarding the mineralogical composition , it became clear that the high percentage of Quartz in the samples favored the low loss of mass by abrasion Los Angeles, and the presence of secondary minerals Chlorite and Sericite , when present, provided an increased loss by chemical attack.

Key-words: geology, aggregates, asphalt pavements.

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O avanço dos estudos em materiais aplicados à pavimentação tem sido de grande relevância, sempre visando o aperfeiçoamento dos componentes utilizados. Dentre todas as ciências envolvidas neste progresso a Geologia possui um papel fundamental, pois pode ser definida como a linha de estudo, cujo objeto principal é a Terra, e mais especificamente neste trabalho será utilizado à geologia física, sendo esta a responsável pela análise de todos os materiais encontrados na superfície ou interior da Terra, como ferramenta para um estudo das ocorrências geotécnicas. Em razão dos materiais rochosos serem matérias-primas naturais, ou seja, suas propriedades físicas e químicas sofrem uma significativa variação de acordo com sua localização (WINCADER e MONROE, 2009).

A crescente expansão do transporte realizado pelo modal rodoviário é evidente nos últimos anos. De acordo com CNT 2012, de todas as cargas movimentadas no Brasil 56% são transportadas por este modal. Sendo que a infraestrutura disponível é de aproximadamente 1,8 milhões de quilômetros de rodovias, que geralmente se encontram em condições inadequadas para proporcionar mobilidade e segurança aos usuários (BROCHADO, 2014).

Por consequência, tem-se amplificado as pesquisas relacionadas aos materiais empregados à pavimentação. Portanto a grande frequência de tráfego e o constante aumento da carga transportada, muitas vezes acima dos limites normatizados, tem proporcionado um esforço excessivo às infraestruturas rodoviárias e assim favorecido a redução da vida útil de serviço (BARTHOLOMEU e CAIXETA, 2008). A fim de conter o desgaste precoce nas obras de pavimentação, é imprescindível utilizar materiais de qualidades adequadas para assegurar resistência suficiente aos esforços solicitantes.

As misturas asfálticas possuem diversos componentes, entre eles os agregados são os responsáveis por fornecer estabilidade e coesão à estrutura. Diante disso, algumas normas foram desenvolvidas pelo DNIT (1994 a 1998), antigo DNER, a fim de regularizar ensaios capazes de mensurar os parâmetros para um comportamento adequado dos agregados a serem aplicados na pavimentação.

Estes ensaios foram executados a fim de comprovar a aplicação dos materiais rochosos provenientes da Região Metropolitana de Joinville como agregados para a pavimentação.

1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA

1.2.1. Objetivo Geral

Analisar os aspectos geológicos da região metropolitana de Joinville, composta pelos municípios de Joinville, Araquari, Barra Velha, Balneário Barra do Sul, Garuva, Itapoá, São Francisco do Sul e São João do Itaperiú (JUSBRASIL, 2010), estabelecendo uma correlação da composição mineralógica dos agregados com as diretrizes para fins de utilização como materiais de pavimentação.

1.2.2. Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral seja alcançado, os objetivos específicos são:

- Mapear as principais jazidas fornecedoras de materiais rochosos para a região metropolitana de Joinville;
- Averiguar os procedimentos de extração e beneficiamento utilizados nas jazidas em estudo, compreendendo os processos de detonação e britagem de maciços rochosos e tipos de funcionamento de britadores respectivamente;
- Avaliar a composição mineralógica das ocorrências rochosas da Região metropolitana de Joinville relacioná-los com as diretrizes para os materiais aplicados á pavimentação;

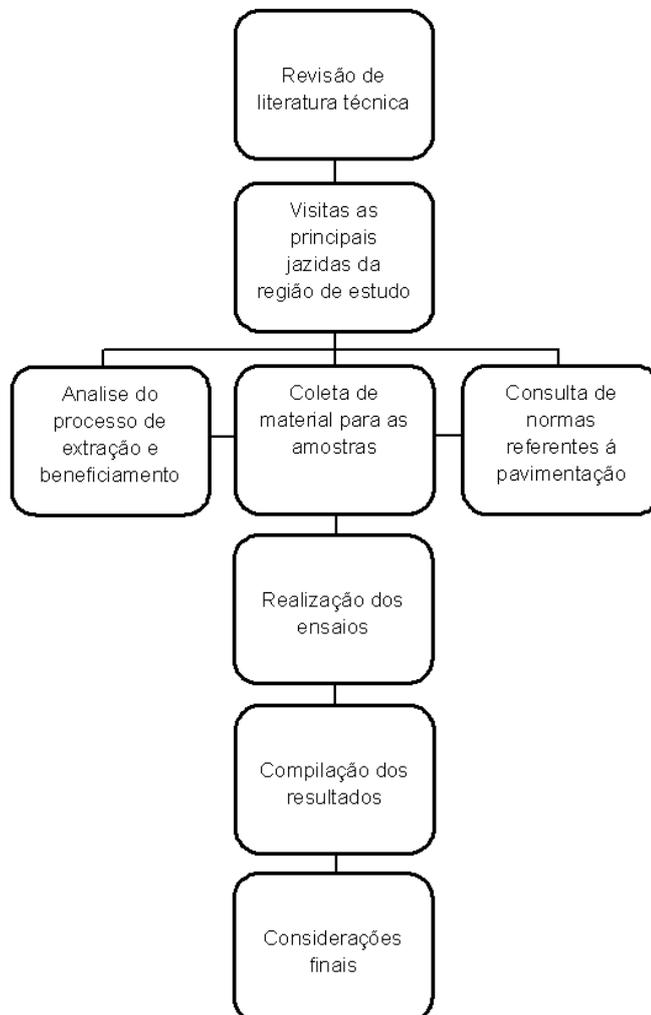
1.3. PROCEDIMENTOS PARA ALCANÇAR O OBJETIVO

Para o desenvolvimento deste trabalho faz-se necessário uma interação dos conhecimentos geológicos obtidos a partir de literaturas técnicas especializadas, ou seja, será realizada uma pesquisa bibliográfica. Entretanto, serão executados estudos de casos, através de visitas as principais jazidas atuantes no setor de

pesquisa para a obtenção de informações sobre extração e beneficiamento dos maciços rochosos. Também será desenvolvida uma pesquisa experimental com amostras coletadas nas jazidas de estudo, para a realização de ensaios laboratoriais a fim de caracterizar os agregados provenientes da região metropolitana de Joinville.

Após a execução dos ensaios os resultados serão comparados com o intuito de caracterizar os agregados como materiais utilizados para a pavimentação. Para alcançar os objetivos foi definido um conjunto de atividades, de acordo com a Figura 1.1.

Figura 1.1 - Esquema de fluxograma para alcançar os objetivos da pesquisa.



Fonte: Autor.

1.4. DELIMITAÇÃO DO ESPAÇO DE PESQUISA

Este trabalho será desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), mais especificamente no Centro de Joinville, sito ao Campus de Joinville, onde serão executadas as revisões literárias e a estruturação do mesmo. Consultas serão realizadas com profissionais que atuam diretamente com as principais jazidas da região metropolitana de Joinville, geralmente geólogos, e professores da UFSC do campus Joinville. Os ensaios serão executados no Laboratório de Técnicas de Infraestrutura (LTI), Campus de Joinville e no Laboratório de Microscopia Ótica, Campus Trindade em Florianópolis.

1.5. IMPORTÂNCIA DO TEMA: JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento deste estudo sobre os materiais rochosos provenientes da Região Metropolitana de Joinville e suas aplicações para a pavimentação tem como objetivo a caracterização dos agregados da região, possibilitando a averiguação de suas características para a aplicação em pavimentos asfálticos.

Esta caracterização possui significativa importância para obras de pavimento rodoviário, devido ao grande volume necessário de agregados. Desse modo são comumente utilizados os materiais rochosos disponíveis na região.

Até o presente momento não foram encontrados literaturas que apresentem uma caracterização dos materiais rochosos da região metropolitana de Joinville. Assim realiza-se a construção de uma literatura científica capaz de correlacionar à composição mineralógica com parâmetros necessários para a aplicação como materiais utilizados em serviços de pavimentação.

1.6. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A apresentação do trabalho esta assim organizada:

Capítulo 1: Introdução ao tema da pesquisa, integrando o leitor sobre os objetivos de exploração dos assuntos abordados e procedimentos utilizados.

Capítulo 2: Apresenta os aspectos geológicos do Estado de Santa Catarina, com ênfase na Região Metropolitana de Joinville.

Capítulo 3: Discorre sobre os aspectos geológicos, a localização das principais jazidas de abrangência da pesquisa e seus horizontes estimados de exploração.

Capítulo 4: Aborda os procedimentos de obtenção e aprimoramento de maciços rochosos oriundos de jazidas da Região Metropolitana de Joinville, abrangendo os processos de britagem, os princípios e tipos de britadores.

Capítulo 5: Descreve os materiais e métodos empregados para a execução dos ensaios: lâmina petrográfica, Los Angeles, durabilidade ao ataque de sulfato de magnésio, índice de forma, granulometria, adesividade ao ligante betuminoso e determinação da massa específica real e aparente, a fim de obter os parâmetros para a aplicação em pavimentos.

Capítulo 6: Apresenta os resultados e análises obtidas através da execução dos ensaios.

Capítulo 7: Expõe as conclusões e recomendações para as próximas pesquisas.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

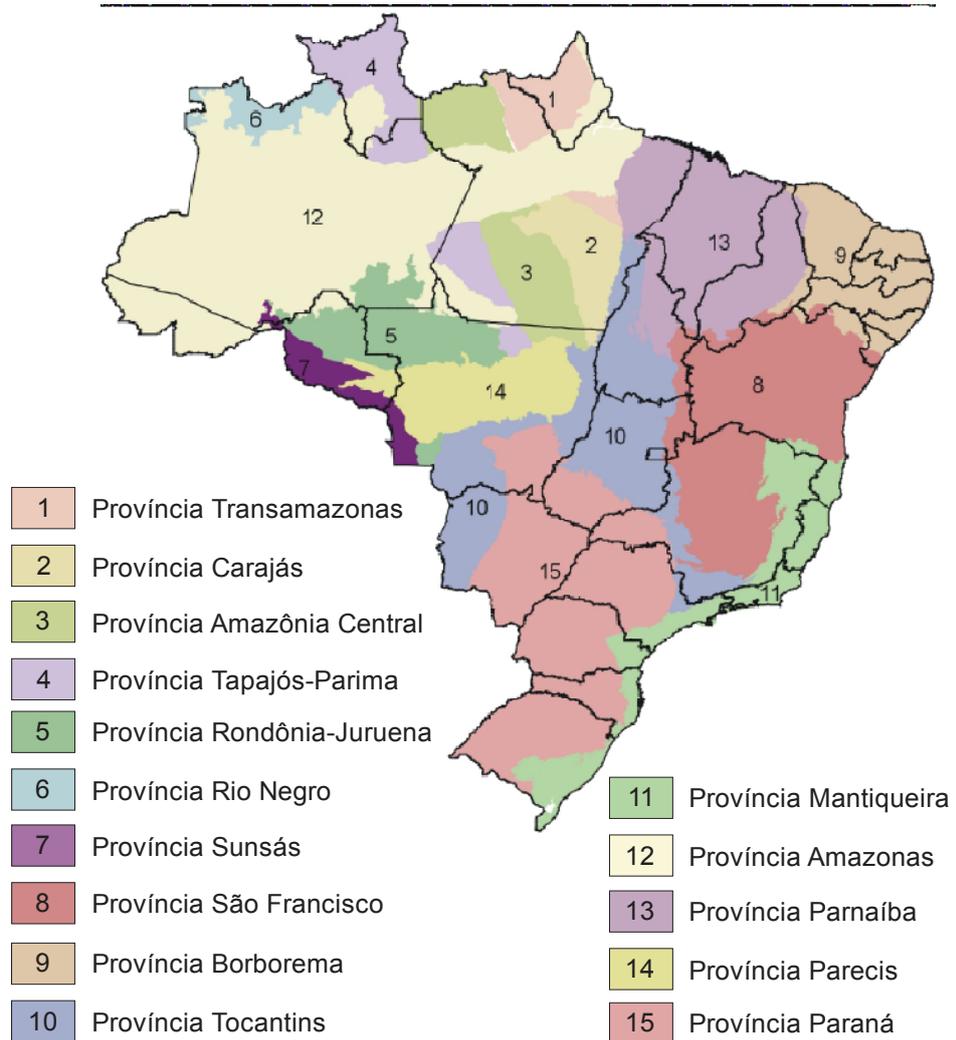
O território brasileiro encontra-se no centro da placa tectônica Sul-americana e possui um dos mais completos registros da evolução geológica da Terra, que ainda apresenta registros de mais de 3 bilhões de anos, no período Arqueano Inferior (CPRM, 2003a).

O conceito de Províncias Estruturais define regiões que apresentam feições estratigráficas, geomórficas, tectônicas, metamórficas e migmáticas diferenciadas, nas quais os limites destas regiões podem apresentar um caráter geológico bem definido, como, por exemplo, zonas de falhas ou limites erosionais, ou mal definido, como limites transicionais ou arbitrados por falta de conhecimento (CPRM, 2003a). Baseado neste conceito, o território brasileiro pode ser dividido em quinze províncias diferente, sendo essas apresentadas na Figura 2.1.

Conforme pode-se visualizar, toda a região Sul do país é formada basicamente por duas províncias: Província Paraná e a Província Mantiqueira. O Estado de Santa Catarina é composto predominantemente pela formação da Província Paraná, limitada de oeste até a região litorânea do Estado, onde se encontra a Província Mantiqueira. A região de estudo deste trabalho está localizada na região nordeste do estado, e por consequência esta se encontra na Província Mantiqueira.

A Província Mantiqueira originou-se através de colisões de placas tectônicas, e assim proporcionou o surgimento de dobramentos, cordilheiras e fossas. Essa se estende por aproximadamente 3.000 km ao longo da costa atlântica, iniciando em Montevideu, no Uruguai, até o sul do Estado da Bahia (CPRM, 2003a).

Figura 2.1 – Províncias estruturais brasileiras.



Fonte: CPRM (2003a), adaptado pelo autor.

A formação da Província Mantiqueira no Brasil foi dividida em três eventos distintos. O Sistema Orógeno Brasileiro I e III desenvolveram-se na região no Rio Grande do Sul e na região Sudeste e Nordeste do Brasil, respectivamente (DELGADO, 2003 *apud* HEIDEMANN, 2015).

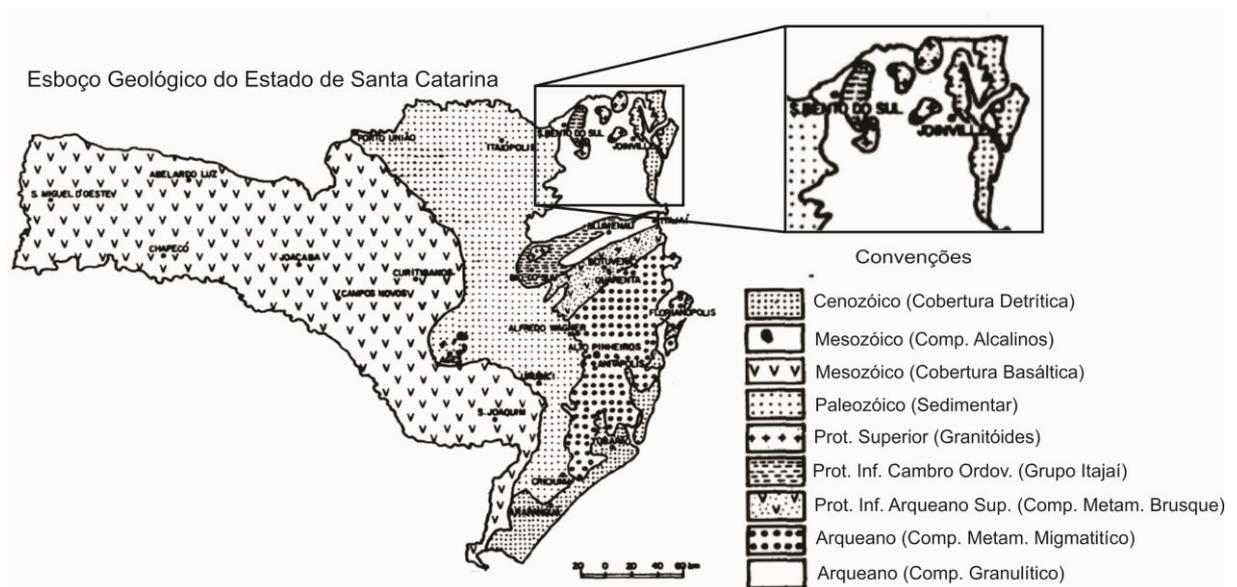
Já o Sistema Orógeno Brasileiro II originou as formações rochosas do leste do Estado de Santa Catarina, esse teve uma duração de cerca de 30 milhões de anos e está presente em aproximadamente 1.000 km ao longo da costa brasileira, originando os extensos batólitos existentes na região (DELGADO, 2003 *apud* HEIDEMANN, 2015).

2.2. ASPECTOS GEOLOGICOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE JOINVILLE

Segundo Hartmann (1979) *apud* Scheibe (1986), a região metropolitana de Joinville se localiza no Complexo Granulítico de Santa Catarina, sendo está designada como “[...] unidade geotectônica constituída por rochas metamórficas de alto grau, dos fácies anfibolitos em especial granulito, com idades radiométricas arqueanas[...].”.

A região de afloramento do Complexo Granulítico no Estado de Santa Catarina é de aproximadamente 8.500 km², sendo que ao sul é limitado pelo contorno do município de Blumenau e ao Norte este se desenvolve além da divisa do Estado do Paraná (SCHEIBE, 1986). A Figura 2.2 apresenta o mapa de Santa Catarina e sua divisão geologia.

Figura 2.2 – Arcabouço geológico no Estado de Santa Catarina.



Fonte: Scheibe (1986), adaptado pelo autor.

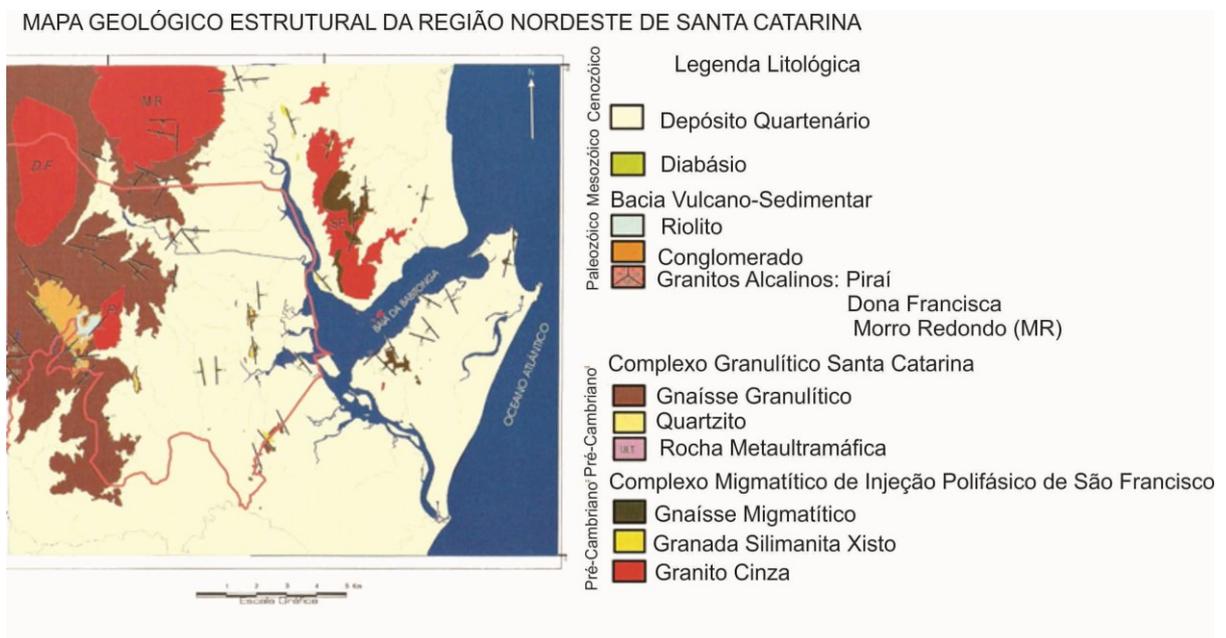
Sua litologia é diversificada, entretanto, tem-se a predominância de gnaisses quartzo-feldspáticos com teor baixo de minerais máficos, incluindo o hiperstênio que é o responsável por definir a fácies granulito. A coloração do material rochoso é normalmente cinza-esverdeada, porém encontram-se variações de preto a cinza claro. Este possui uma estrutura foliada e textura granulítica (SCHEIBE, 1986).

De acordo com Ternes *et al.* (2001), o embasamento geológico do município de Joinville foi formado há aproximadamente 2.700 milhões de anos, através da

cristalização de algumas rochas que hoje se localizam no Complexo Granulítico de Santa Catarina.

A configuração geológica de Joinville inicialmente foi formada a partir da deposição de algumas camadas de ferro junto com sedimentos arenosos, que então constituíram os pontos mais altos de Joinville, por exemplo, Guanabara e Boa Vista, que atualmente formam o alinhamento Norte Sul que pode ser visualizado na Figura 2.3 (TERNES *et al.*,2001).

Figura 2.3 - Mapa geológico do município de Joinville.



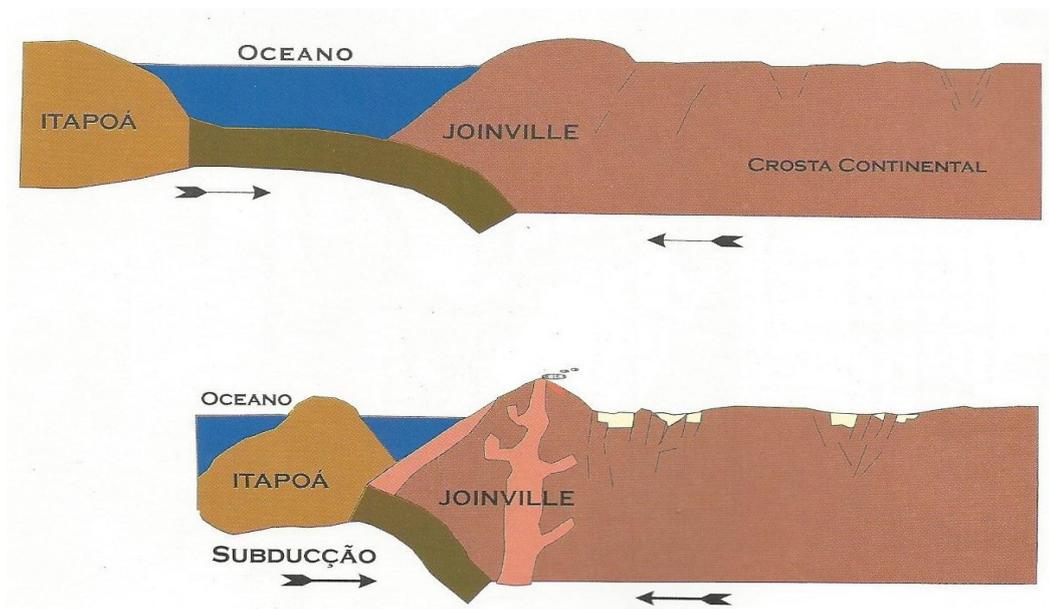
Fonte: Ternes *et al.* (2001), adaptado pelo autor.

Há cerca de 600 milhões de anos, ocorreu na região uma grande zona de junção resultante da colisão de dois microcontinentes, um que forma o município de Joinville e outro que atualmente engloba a região de Itapoá. A Figura 2.4 ilustra a colisão entre os microcontinentes (TERNES *et al.*,2001).

Concomitantemente a este evento geológico, ocorreu a fratura do macrocontinente de Joinville e possibilitou à formação de uma depressão, essa foi posteriormente coberta por sedimentos e hoje é denominada Bacia Sedimentar de Joinville. Outro evento simultâneo foi à intrusão de rochas ígneas graníticas que aconteceram na Serra do Mar (TERNES *et al.*,2001).

A partir disso, a região começou a se estabilizar geologicamente e, somente entre 200 a 300 milhões de anos atrás, sofreu a intrusão de diques de diabásio. Posteriormente, o sistema de falhamento presente na região permitiu o surgimento da Serra do Mar que, devido à ação do intemperismo sobre as rochas, formou o atual relevo da região (TERNES *et al.*, 2001).

Figura 2.4 - Evolução geotectônica da região de Joinville; Itapoá, a Leste, e Campo Alegre, a Oeste.



Fonte: Ternes *et al.* (2001).

O município de Joinville é formado por quatro ecossistemas: planalto, planícies costeiras, contra fortes da Serra do Mar e os manguezais que se desenvolvem junto à Baía da Babitonga. A Figura 2.5 apresenta a distribuição dos ecossistemas do município de Joinville (TERNES *et al.*, 2001).

Figura 2.5 - Localização dos principais ecossistemas do município de Joinville vistos numa imagem de satélite ETM.



Fonte: Ternes *et al.* (2001).

Na Figura 2.5 as regiões que possuem coloração verde representam a cobertura de florestas, agricultura e pastos. Já a coloração rosa retrata a urbanização, solos expostos e campos de altitude.

3. OCORRÊNCIAS GEOLÓGICAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE JOINVILLE

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As obras de infraestrutura rodoviária, normalmente, possuem elevada extensão e, por consequência, necessitam de um grande volume de material para a sua execução. Em pavimentos asfálticos, aproximadamente 95% do peso da mistura é proveniente dos materiais rochosos, nos quais esses são os responsáveis por fornecer uma estrutura sólida e resistir aos esforços (MARTINS, 2008).

O transporte do material, desde a jazida até a obra, é um dos principais custos durante a execução de um pavimento rodoviário, devido à quantia de material e o elevado peso específico que os agregados possuem (SERNA e REZENDE, 2009). Por consequência, é de fundamental importância a utilização dos materiais rochosos oriundos de regiões próximas ao local, onde se executará a obra. Entretanto, é indispensável que os agregados apresentem características adequadas para a aplicação em obras de pavimentação.

A região metropolitana de Joinville tem proximidade com alguns dos principais eixos de transporte da região Sul do Brasil, como, por exemplo, a BR – 101, que é responsável pela ligação entre Joinville e Curitiba, e a SC – 280, que possibilita o acesso ao porto de São Francisco do Sul. Desse modo, o desenvolvimento de obras de infraestrutura rodoviária torna-se constantemente necessário, seja ela por necessidade de expansão ou mesmo manutenção das vias já existentes. Assim, é oportuno o mapeamento de jazidas fornecedoras de agregados para que se possa aperfeiçoar a execução das obras com maior agilidade e menor custo.

3.2. MAPEAMENTO DAS PRINCIPAIS JAZIDAS FORNECEDORAS DE MATERIAIS ROCHOSOS

A região de estudo possui diversas empresas atuantes no setor de extração mineral, porém tem-se como objetivo direcionar a análise as jazidas mais representativas da região. Assim, foram selecionadas as quatro empresas detentoras de jazidas que possuem significativos horizontes estimados de

exploração, com o intuito de ampliar o tempo de validade deste trabalho, e boa capacidade de extração e beneficiamento dos agregados, para garantir o adequado fornecimento de materiais rochosos durante a execução das obras rodoviárias.

3.2.1. Localização das Jazidas

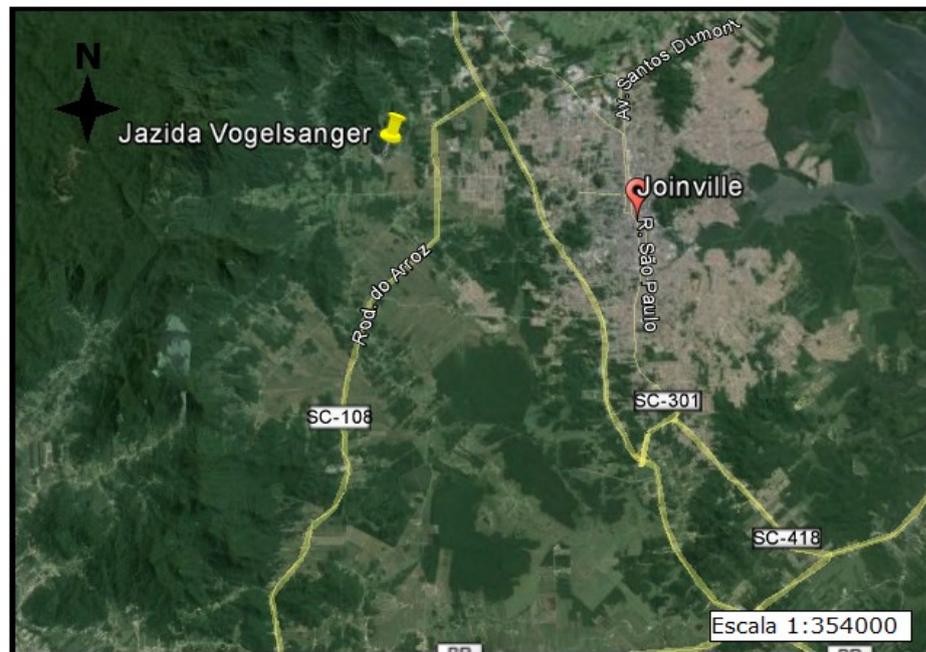
A primeira jazida selecionada é de propriedade da empresa Britagem Vogelsanger, fundada em 1957 por Arinor Vogelsanger. A jazida e a central de britagem estão localizadas na zona rural de Joinville, no bairro Vila Nova, na rua Estrada Geral do Piraí, nº 3300. A área da jazida é equivalente a 3 hectares e se encontra aproximadamente entre os paralelos 26° 16' 42.19" e 26° 16' 45.38" S (latitude) e os meridianos 48° 56' 29.76" e 48° 56' 40.53" W (longitude). (CPRM, 2003b) A Figura 3.1 ilustra a região de localização da jazida.

Outra jazida selecionada é a Rio Zoadá, de propriedade da empresa Infrasul, localizada no município de Joinville, Rodovia SC – 108 km 28. Possui uma área equivalente a 6 hectares e se localiza aproximadamente entre os paralelos 26° 23' 17.38" e 26° 23' 22.03" S (latitude) e os meridianos 48° 57' 28.03" e 48° 57' 22.09" W (longitude). (CPRM, 2003b) A empresa possui seu escritório localizado em Joinville na Rua Eugênio Moreira, nº 187. A Figura 3.2 apresenta a localização da jazida.

A jazida da empresa Rudnick, fundada em 1976, após uma diversificação de atividades, possui sua jazida e central de britagem também localizada em Joinville, na zona industrial, Rua Anaburgo, nº 5271. Sua localização é aproximadamente entre os paralelos 26° 14' 16.58" e 26° 14' 6.42" S (latitude) e entre os meridianos 48° 56' 9.60" e 48° 56' 18.10" W (longitude) (CPRM, 2003b). A Figura 3.3 apresenta a jazida da empresa Rudnick.

A jazida Sol Nascente, de propriedade da empresa Fortunato, fundada em 1971, localiza-se no município de Garuva, na SC – 416, próximo ao Km 10. A jazida encontra-se aproximadamente entre os paralelos 26° 04' 31.12" e 26° 04' 28.11" S (latitude) e entre os meridianos 48° 43' 15.90" e 48° 43' 19.62" W (longitude). (CPRM, 2003b) A Figura 3.4 ilustra a localização da jazida e central de britagem.

Figura 3.1 – Localização da jazida Vogelsanger: (a) em relação a Joinville;
(b) vista superior da jazida.



(a)



(b)

Fonte: CPRM (2003b), adaptado pelo autor.

Figura 3.2 – Localização da jazida Rio Zoada: (a) em relação a Joinville;
(b) vista superior da jazida.



(a)



(b)

Fonte: CPRM (2003b), adaptado pelo autor.

Figura 3.3 - Localização da jazida da empresa Rudnick: (a) em relação a Joinville;
(b) vista superior da jazida.



(a)



(b)

Fonte: CPRM (2003b), adaptado pelo autor.

Figura 3.4 - Localização da jazida Sol Nascente: (a) em relação a Joinville;
(b) vista superior da jazida.



(a)

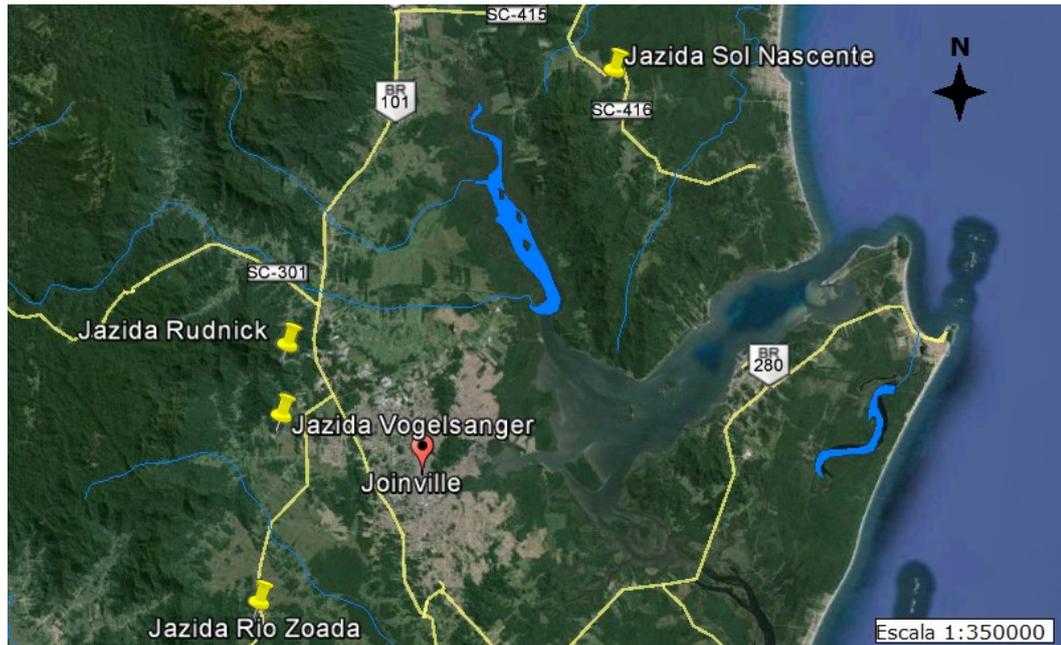


(b)

Fonte: CPRM (2003b), adaptado pelo autor.

De modo geral, as jazidas selecionadas para o estudo estão localizadas próximas ao município de Joinville, proporcionando um custo benefício adequado para a utilização dos agregados na região. A Figura 3.5 ilustra a localização das jazidas em relação ao município de Joinville.

Figura 3.5 – Localização das jazidas em relação ao município de Joinville.



Fonte: CPRM (2003b), adaptado pelo autor.

3.2.2. Mapeamento Geológico das Jazidas

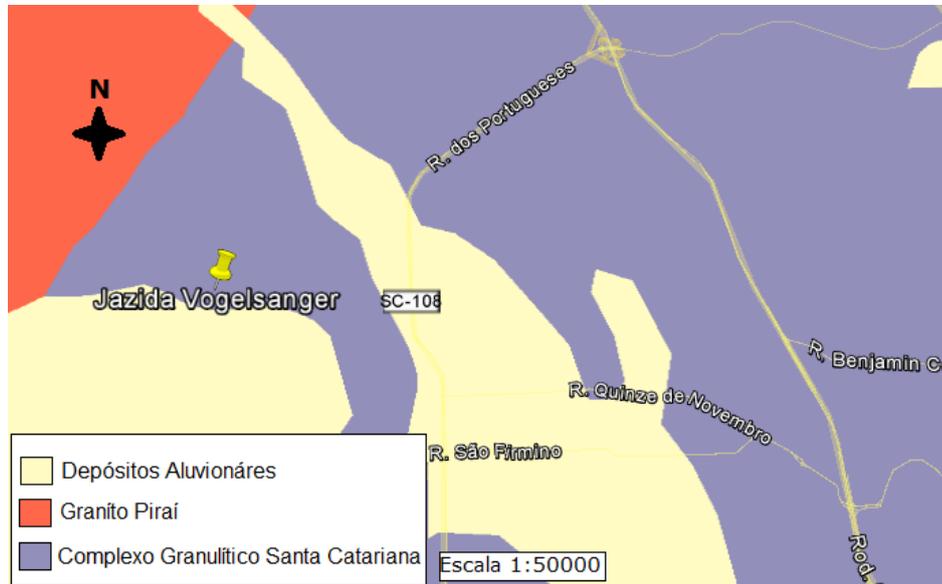
No âmbito geral a região metropolitana de Joinville está localizada no Complexo Granulítico de Santa Catarina, como já foi descrito no capítulo 2. Entretanto, ao analisar mais especificamente a localização das jazidas de estudo, encontram-se subdivisões que melhor caracterizam os materiais rochosos pertencentes a cada uma.

Durante o período de realização desse trabalho não foi possível obter a Carta Geológica SG 22-Z-B da região de Joinville, essa possui uma escala de 1:250000. Entretanto foi utilizado a Carta Geológica SG22, que engloba a região de Curitiba e está na escala de 1: 500000. Apesar da pequena escala proporcionar aproximações durante a localização das jazidas, esses erros não comprometem os resultados e objetivos desse trabalho.

As jazidas Rio Zoada e a Vogelsanger encontram-se sob a mesma unidade geológica, no Complexo Granulítico Santa Catarina (Figuras 3.6 e 3.7). Já a jazida Rudnick encontra-se em uma região de transição do Complexo Granulítico Santa Catarina e o Granito Piraí (Figura 3.8), assim deve-se averiguar melhor o seu

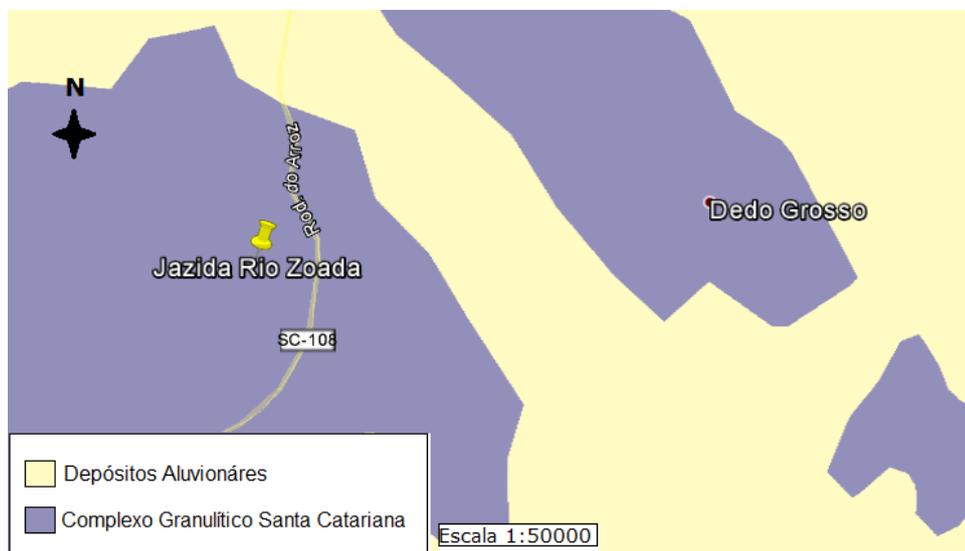
posicionamento, por consequência da pequena escala existem aproximações no banco de dados (Geobank) do CPRM.

Figura 3.6 – Classificação geológica da jazida Vogelsanger.



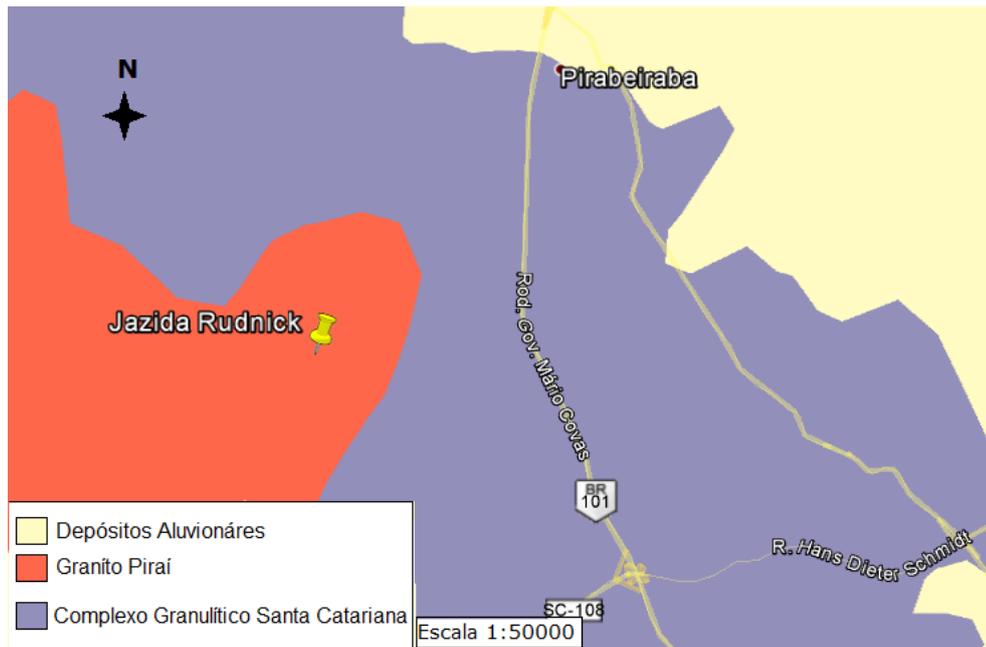
Fonte: CPRM (2003b), adaptado pelo autor.

Figura 3.7 - Classificação geológica da jazida Rio Zoada.



Fonte: CPRM (2003b), adaptado pelo autor.

Figura 3.8 - Classificação geológica da jazida Rudnick.



Fonte: CPRM (2003b), adaptado pelo autor. Escala 1:92000.

O Complexo Granulítico Santa Catarina formou-se entre 2.800 a 2.500 milhões de anos atrás, Era Neoarqueano, e é composto por ortognaisse granulítico com gnaisses diorítico, monzodiorítico, monzonítico, sienítico e kinzigítico (CPRM, 2003c).

Os litotipos predominantes neste complexo são os metamórficos, como gnaisses e granulitos, que possuem representatividade variando de 10 a 40%. Entretanto, são encontrados alguns litotipos oriundos de rochas ígneas, por exemplo, Piroxênio e Dunito, com representatividade máxima de 10%. O grau de metamorfismo presente possui fácies granulito e anfibolito, ambos com mais de dois milhões de anos em sua idade de metamorfismo (CPRM, 2003c).

O Granito Pirai possui uma formação um pouco mais recente, aproximadamente 600 milhões de anos, Era Neoproterozóico. Este é composto por granitos subalcalinos e alcalinos, feldspato alcalino, granito (sienogranito a sienito) e leucocrático. Constituído essencialmente por ortoclásio, quartzo e plagioclásio, com poucos máficos (biotita). Possuem granulação de média a grossa e coloração vermelha. O litotipo é o Álcali-feldspato granito, da classe ígnea e é o que possui maior representatividade, essa variando de 40 a 60% (CPRM, 2003d).

A jazida Sol Nascente é a que se encontra com maior distância em relação ao município de Joinville. Sua classificação é definida em outro grupo de granitos, esta encontra-se em área de ocorrência do Granito São Francisco do Sul. A Figura 3.9 ilustra a localização da jazida Sol Nascente.

Figura 3.9 - Classificação geológica da jazida Sol Nascente.



Fonte: CPRM (2003b), adaptado pelo autor.

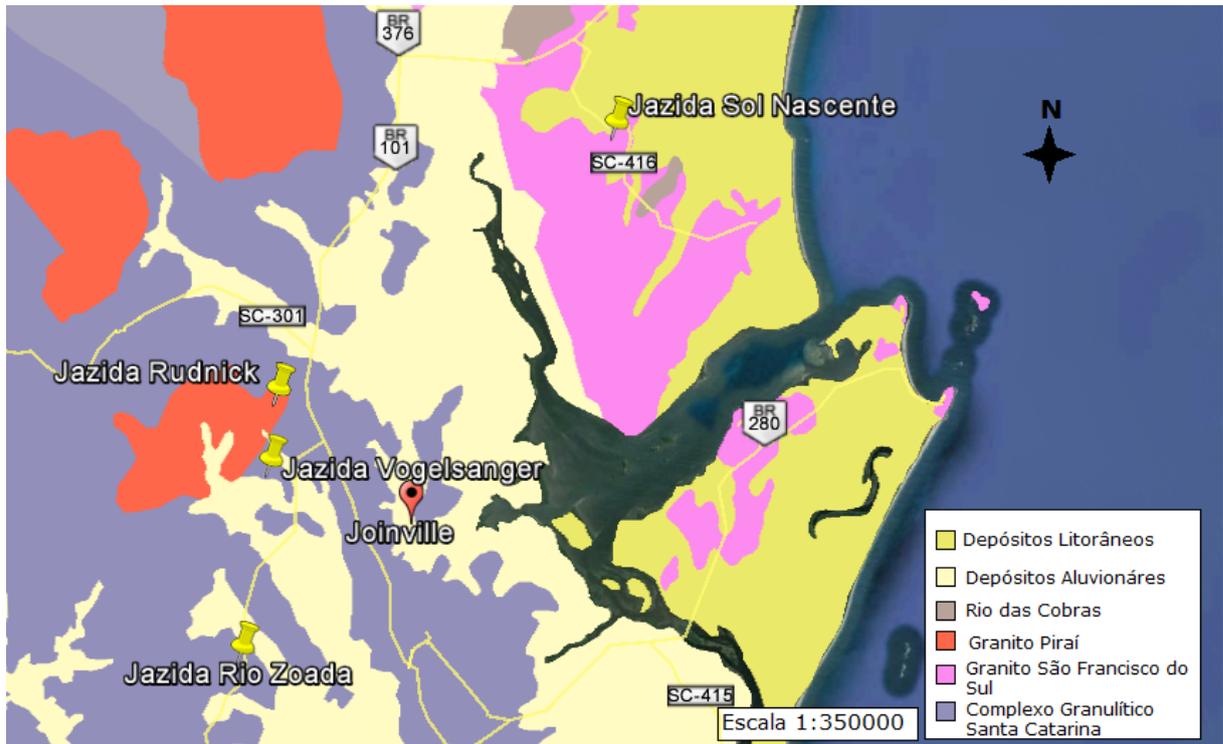
O Granito São Francisco do Sul formou-se há 2.300 milhões de anos, na Era Paleoproterozóica, e é constituído por biotita-hornblenda-gnaiss com bandamentos migmatítico e milonítico, com leitos mesocráticos tonalíticos, leucossomos graníticos e bandas e lentes anfibolíticas (CPRM, 2003e).

O litotipo existente que possui maior representatividade é a biotita-hornblenda-gnaiss, da classe metamórfica, porém podem-se encontrar outros como Migmatito e Anfibólito. Também apresenta os litotipos da classe ígnea como Diorito e Quartzito Diorito, porém com menor representatividade. (CPRM, 2003e)

Há uma incoerência em relação ao nome e ao litotipo existente neste complexo, logo deve-se averiguar com maiores detalhes a composição do material provenientes desta região.

A Figura 3.10 apresenta a localização geológica de todas as jazidas de estudo em relação ao município de Joinville.

Figura 3.10 – Localização geológica das jazidas em relação ao município de Joinville.

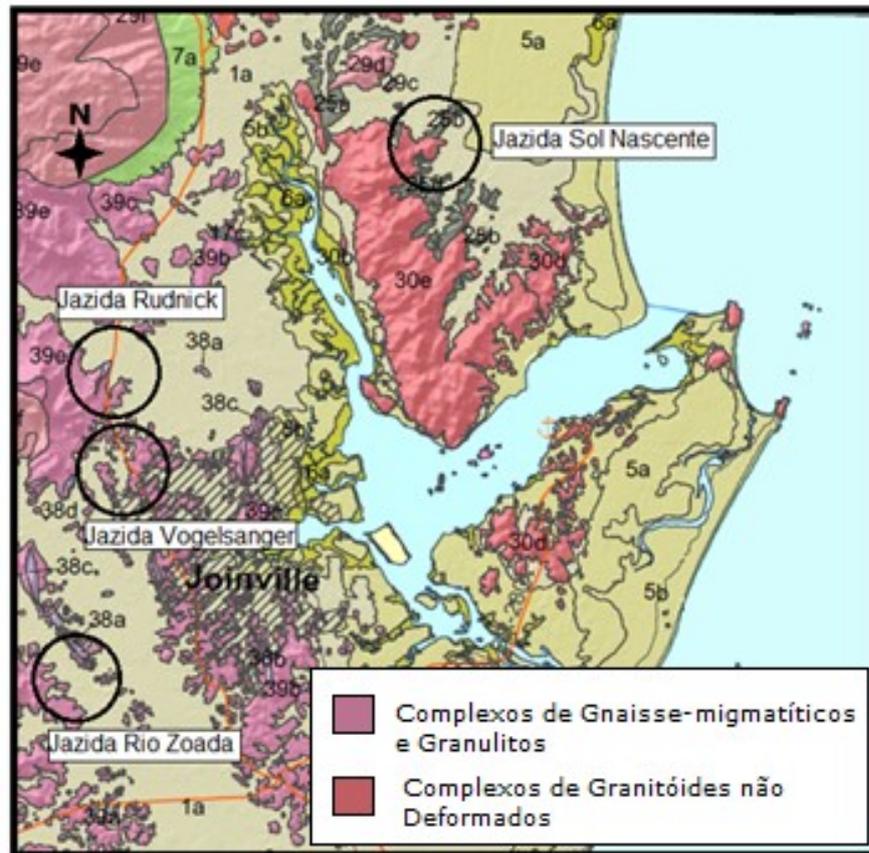


Fonte: CPRM (2003b), adaptado pelo autor.

O mapa de Geodiversidade do Estado de Santa Catarina apresenta algumas informações sobre a formação geológica, estas também são úteis ao mapeamento das jazidas de estudo. A partir de uma aproximação da localização das jazidas é possível definir o domínio geológico-ambiental e a unidade geológico-ambiental, e assim obter informações sobre suas adequabilidades. A Figura 3.11 ilustra a região de domínio de cada jazida no mapa de geodiversidade do estado.

A jazida Sol Nascente encontra-se no Complexo Granitoides não deformados, na unidade de Séries Graníticas Alcalinas – Domínio Montanhoso (30e). As rochas desse complexo têm textura homogênea com granulação média a grossa, e apresentam alta resistência ao intemperismo físico-químico, elevada capacidade de suporte e grande resistência ao corte e penetração. É necessário à utilização de explosivos para o desmonte dessas rochas. Todas as unidades que compõem esse complexo possuem grande potencial para rochas ornamentais, pedras de entalhe e britas (CPRM, 2010).

Figura 3.11 – Mapa de geodiversidade com a localização das jazidas.



Fonte: CPRM (2010), adaptado pelo autor.

As demais jazidas estão localizadas no Complexo Gnaiss-migmático e Granulitos, na unidade de Predomínio de Gnaisses Paraderivados, porém o domínio de cada jazida varia. Nas regiões selecionadas como possíveis localizações também existem alguns locais com afloramento da unidade de Predomínio de Gnaisses Ortoderivados, entretanto são regiões com pouca expressividade. A jazida Rudnick encontra-se no Domínio de Escarpas Serranas (39e). Já a jazida Vogelsanger está no Domínio de Morros e Serras Baixas (39c). A jazida Rio Zoada localiza-se no Domínio Colinas Amplas e Suaves (39a) (CPRM, 2010).

As rochas do Complexo Gnaiss-migmático e Granulito possuem alta resistência ao corte e penetração e nos terrenos do próximos a Joinville encontram-se corpos de quartzitos de grandes dimensões. Os materiais desse complexo são

amplamente utilizados como revestimento e até mesmo como saibro e areia para a construção civil (CPRM, 2010).

As informações obtidas com o mapa de Geodiversidade e do mapeamento do CPRM evidenciam um grande potencial de exploração de materiais rochosos nas localidades em que se encontram as jazidas de estudo. Entretanto somente os resultados dos ensaios laboratoriais comprovarão a adequabilidade para a aplicação em obras de pavimentação.

3.3. HORIZONTES ESTIMADOS DE EXPLORAÇÃO

O tempo de exploração de uma jazida, comumente apresentado em anos, é conhecido como o seu horizonte estimado de exploração. Desse modo, este parâmetro é obtido através de uma aproximação do volume total de material que a jazida possui e do volume de extração anual que é realizado.

A partir desse parâmetro pode-se justificar um adequado período de validade para a caracterização realizada neste estudo. Este também foi decisivo para a seleção das jazidas de estudo, pois estas devem apresentar uma capacidade de abastecer uma obra rodoviária.

Através de laudos e dados repassados por profissionais responsáveis pelas jazidas pode-se obter uma estimativa de cada jazida. A jazida Vogelsanger possui um horizonte estimado de 24 anos, a jazida Rio Zoadá de 23 anos, a jazida Rudnick apresenta aproximadamente 62 anos e a jazida Sol Nascente de 20 anos.

4. PROCEDIMENTOS DE EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DOS MATERIAIS ROCHOSOS.

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

“Agregado é um termo genérico para areias, pedregulhos e rochas minerais em seu estado natural ou britadas em seu estado processado” (BERNUCCI *et al*, 2006; pág. 115). A partir da definição de agregados podem-se apresentar os conceitos sobre a origem e formação das rochas. Essas são agregados naturais compostos por dois ou mais minerais e possuem estruturas e composições variadas. Existem duas classes principais de rochas definidas a partir do seu processo de formação (CAPUTO, 1966).

As rochas ígneas, também conhecidas como magmáticas, são originadas através do resfriamento do magma existente do núcleo do globo terrestre. Quando este processo acontece lentamente é denominado intrusivo, no qual o resfriamento se desenvolve no interior da crosta terrestre. Entretanto, quando o magma é expulso e resfriado na superfície, esse processo ocorre de maneira rápida e é chamado de extrusivo. A composição desse tipo de rocha varia de acordo com os componentes do magma, mas de modo geral são rochas com composição mineralógica bastante definida, cristalinas e com elevada resistência mecânica (CAPUTO, 1966).

As rochas sedimentares são estruturas formadas a partir da deposição de materiais oriundos do processo de intemperismo de solos ou rochas, estas sofrem um fenômeno denominado de diagênese, no qual ocorrem a compactação e cimentação dos grãos. Outro grupo de rochas são as metamórficas, essas são originadas através da transformação de rochas sedimentares ou ígneas em um processo denominado metamorfismo. (CAPUTO, 1966).

O intemperismo atuante nas rochas pode proporcionar o desprendimento de blocos, e esses fragmentos podem possuir diferentes tamanhos e formatos, porém este processo é natural e demorado (PRESS *et al*. 2006). Segundo dados da ANEPAC de 2010, a região sul é a terceira maior consumidora de brita no Brasil com aproximadamente 101 milhões de toneladas. Desse modo, é notória a necessidade

de produzir agregados artificiais em virtude da grande demanda para obras de construção civil.

Os tópicos a seguir abordarão de modo geral os métodos de extração e beneficiamento para a produção de agregados e nas jazidas de estudo.

4.2. PROCESSOS DE EXTRAÇÃO

A elevada resistência dos materiais rochosos requer que sejam aplicados alguns procedimentos específicos para a realização de sua extração. Na produção de britas é utilizado o método de lavra a céu aberto, que constitui-se da extração do material sem alterações químicas em seus componentes, e mais especificamente para a produção deste material as jazidas são denominadas pedreiras (HENNIES *et al.* 2005)

O processo de extração é iniciado pela retirada de possíveis camadas de solo ou cobertura vegetal, até que o material rochoso seja exposto. Assim evita-se a contaminação durante a extração e facilita-se a execução das próximas etapas. (COUTINHO, 2013)

Para o desmonte dos maciços rochosos são utilizados explosivos, e este processo se desenvolve em bancadas, que possuem alturas entre 9 a 25 metros, que são formadas através da retirada do material que, preferencialmente, ocorre em formato de fatias (QUARESMA, 2009); (RICARDO e CATALINI, 2007). A seguir serão apresentados os conceitos de plano de fogo e os elementos necessários na extração dos materiais rochosos.

4.2.1. Planos de Fogo

O PLANO DE FOGO é, por definição, o conjunto de normas e procedimentos técnicos necessários para realizar uma detonação com uso de explosivos. Entende-se por **detonação** ou **explosão** ao mecanismo que, num curto espaço de tempo, libera grande quantidade de energia, produzindo violenta expansão de gases, culminados com emissão de ondas de altas velocidades. Por tais características tais materiais são tratados e considerados como Produtos Controlados. (DUARTE, 2013; pág. 3).

O plano de fogo é realizado a fim de planejar e detalhar a o processo de desmonte das bancadas, com o intuito de fragmentar o material rochoso e assim possibilitar o carregamento, transporte e britagem. A sua classificação é dividida em primária quando o objetivo é realizar a fragmentação de um maciço rochoso, ou secundária quando são empregados explosivos para desagregar matacões ou blocos rochosos soltos (DUARTE, 2013; RICARDO e CATALINI, 2007).

Esse é composto por diversos elementos entre eles: o diâmetro das perfurações que serão executadas, a altura da bancada, o afastamento (distância entre as linhas de perfurações), o espaçamento e profundidade das perfurações, a carga de explosivos a ser utilizada, o volume a ser desmontado, a sequência de acionamento e seus respectivos retardos (RICARDO e CATALINI, 2007).

O desenvolvimento da estratégia utilizada para o desmonte de rochas e todo o dimensionamento da razão de carga a ser aplicada deve ser realizado por um profissional habilitado e certificado para esta função, por exemplo, um engenheiro de minas (DUARTE, 2013).

4.2.2. Elementos para a extração

A execução adequada do plano de fogo é fundamental para o sucesso da operação de desmonte. Desse modo, a partir da localização dos pontos de explosivos devem-se realizar as perfurações seguindo as especificações pré-definidas. Em consequência da elevada resistência ao corte e penetração dos materiais rochosos é necessário à utilização de equipamentos adequados para a realização dessas perfurações, no qual os diâmetros variam de 33 mm a 100 mm (RICARDO e CATALINI, 2007).

De acordo com HERRMANN (1972), o processo de perfurar rochas iniciou a partir da aplicação de golpes com uma barra de ferro, e realizar giros entre dois golpes sucessivos. As modernas perfuratrizes de rocha desenvolveram-se a partir dessa tecnologia. Essas podem ser classificadas em: percussivas, rotativas, percussivo-rotativas e de furo (RICARDO e CATALINI, 2007). Todas as jazidas visitadas para a execução desse trabalho utilizavam perfuratrizes rotativas. As

Figuras 4.1 e 4.2 apresentam as perfuratrizes das jazidas Vogelsanger e Rudnick respectivamente.

Figura 4.1 – Perfuratriz da jazida Vogelsanger.



Fonte: Autor.

Figura 4.2 – Perfuratriz da jazida Rudnick.



Fonte: MEURER (2014).

Ao término do processo de perfuração, inicia-se execução da malha responsável por interligar os pontos de fogo e sucessivamente se faz o carregamento com os explosivos. Esses podem possuir composições diferenciadas de acordo com as necessidades de projeto (CUNHA, 2013).

Durante o desenvolvimento do estudo de caso nas pedreiras foi possível acompanhar o processo de detonação do maciço rochosos na empresa Vogelsanger Britagem. Nas demais empresas foram obtidas informações sobre este mesmo procedimento. Assim constatou-se uma similaridade entre as metodologias empregadas, no qual são utilizados dois tipos de explosivos: emulsão bombeável e emulsão encartuchada.

A emulsão bombeável é um tipo de explosivo que visa facilitar o carregamento dos furos, pois devido a sua consistência permite uma adequada aplicação em variadas inclinações e níveis hidrostáticos (RICARDO e CATALINI, 2007). A emulsão encartuchada (Figura 4.3) é comumente conhecida como banana, e proporciona uma explosão com menor propagação e maior força (BRITANITE, 2012).

Figura 4.3 – Emulsão encartuchada.



Fonte: MEURER (2014).

Já quando a emulsão é aplicada de modo bombeável proporciona uma excelente acomodação à perfuração e ocasiona uma composição mais homogênea.

Estas podem ser utilizadas em perfurações com elevada presença de água, já que sua massa específica é maior, e por ação da gravidade proporciona a expulsão da mesma (RICARDO e CATALINI, 2007). Esse tipo de material é um método mais seguro, pois somente torna-se explosivo durante a mistura para a injeção nos furos. Também são coletadas amostras regulares para a verificação da homogeneidade da mistura que está sendo aplicada (Figura 4.4). Os explosivos bombeáveis têm ganhado maior evidência no mercado em razão da elevada praticidade de aplicação e otimização do ciclo de carregamento (BRITANITE, 2012). A Figura 4.5 ilustra o caminhão tanque responsável pelo transporte da emulsão bombeável.

Figura 4.4 – Amostra de emulsão bombeável.



Fonte: MEURER (2014).

Figura 4.5 – Caminhão tanque para o transporte da emulsão bombeável.



Fonte: MEURER (2014).

Juntamente com os explosivos é indispensável à utilização de acessórios de denotação, pois estes são os responsáveis por interligar e propagar o acionamento nas perfurações.

Os cordéis detonantes são aparentemente similares a cabos elétricos, porém estes são constituídos de um núcleo altamente explosivo, o tetranitrato de pentaeritritol (PETN), e possuem um revestimento definido através da sua aplicação (RICARDO e CATALINI, 2007).

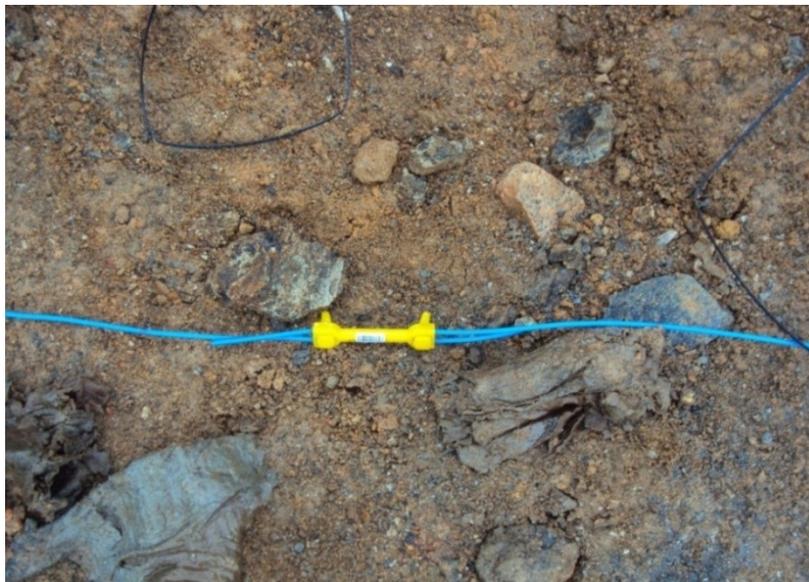
Simultaneamente ao cordel detonante são posicionadas as espoletas, que são cápsulas de alumínio que possuem um material muito sensível à chama e proporcionam o acionamento aos furos. Os retardos são peças confeccionadas em material plástico, e possuem a função de atrasar o acionamento das perfurações. Estes são utilizados para proporcionar uma explosão mais controlada e evitar o lançamento de grandes blocos de rochas, a diferenciação do tempo de retardo é indicada por cores e variam de 5 a 300 milissegundos. (BRITANITE, 2012). As Figuras 4.6 e 4.7 apresentam a malha de acionamento e a utilização de retardos respectivamente.

Figura 4.6 – Posicionamento das linhas de fogo.



Fonte: MEURER (2014).

Figura 4.7 – Cordel detonante com a utilização de um retardo de 20 milissegundos.



Fonte: MEURER (2014).

O acionamento do processo de detonação pode ser executado manualmente, no qual são utilizados cordéis diferenciados podendo possuir espoletas ou retardos,

ou através de acionamento eletrônico, no qual se fornece uma comunicação entre os detonadores e o equipamento de disparo. Os acionamentos eletrônicos proporcionam maior segurança e conforto ao processo, além de propiciar uma programação de tempo de retardo. (BRITANITE, 2012).

Por fim é importante ressaltar que a utilização de explosivos é controlada pelo Exército Brasileiro, e a permissão para a realização da denotação deve ser solicitada com antecedência. Também é necessário fornecer a população do entorno a informação dos dias e horários que serão realizados os procedimentos. É normatizado que antes de iniciar o acionamento, deve-se realizar a total evacuação da área e avisos sonoros através do uso de sirenes (DNPM, 2002).

4.3. PROCESSO DE BENEFICIAMENTO

O procedimento de extração é o responsável pela primeira fragmentação da rocha sã, entretanto as dimensões obtidas são inviáveis para a comercialização e aplicação em obras de engenharia, desse modo é necessária uma nova etapa que seja capaz de reduzir o tamanho e classificar esses agregados (LUZ *et al.*, 2004).

De acordo com BERNUCCI *et al.* (2006), os agregados podem ser classificados em três seguimentos diferentes:

- Natureza: nessa classificação os agregados são diferenciados a partir do material que o compõem, como por exemplo, britas e areias são classificados como naturais. Já os artificiais são resíduos industriais como escórias de alto-forno, e os reciclados são oriundos do reuso de materiais diversos.
- Distribuição dos grãos: a classificação acontece através da granulometria, estas são subdivididas em graduação densa ou bem-graduada (com distribuição contínua das frações), graduação aberta (com insuficiência de material fino para preencher os vazios), graduação uniforme (apresenta a maioria partículas com as mesmas dimensões) e graduação descontínua (apresentam pequena percentagem de agregados com tamanhos intermediários).

- Tamanho: os agregados são classificados de acordo com suas dimensões, isso ocorre através da passagem ou não em peneiras de diferentes aberturas. Os agregados graúdos possuem dimensões maiores que 2,0 mm. Já os agregados miúdos são compostos pelo material menores de 2,0 mm e maiores que 0,075 mm. E os materiais de enchimento são os materiais que possuem 65% das partículas menores que 0,075.

O beneficiamento dos materiais rochoso é realizado a partir de centrais de britagem, essas objetivam produzir agregados com formas e tamanhos desejáveis. A fragmentação da rocha também propicia a eliminação de planos de fraqueza existentes no maciço, pois são regiões mais favoráveis para a desagregação (BERNUCCI *et al.* 2006).

A seguir serão apresentados procedimentos realizados durante a britagem dos materiais e quais os equipamentos utilizados nas jazidas de estudo.

4.3.1. Central de Britagem

Para uma adequada execução do processo de britagem é fundamental a realização de uma planta de britagem, essa é responsável por definir o posicionamento e a distribuição das etapas a serem executadas. Entretanto essa planta de britagem (Figura 4.8) não segue um circuito padrão, pois é desenvolvida de acordo com as necessidades da empresa e em alguns casos pode ser composta por elementos móveis (LUZ *et al.*, 2004)

As centrais de britagem são equipadas com os britadores, que são equipamentos responsáveis por fragmentar os agregados e serão descritos no próximo tópico, as correias transportadoras e as peneiras vibratórias. As peneiras são responsáveis por classificar os materiais oriundos dos britadores através da sua abertura de malha. Assim os materiais são devidamente separados por suas dimensões e então são encaminhados através das correias transportadoras aos próximos britadores ou as leiras de armazenamento (BEM, 2006); (ALMEIDA e LUZ, 2009). A Figura 4.9 ilustra as correias transportadoras.

Figura 4.8 – Central de britagem da empresa Rudnick.



Fonte: MEURER (2014).

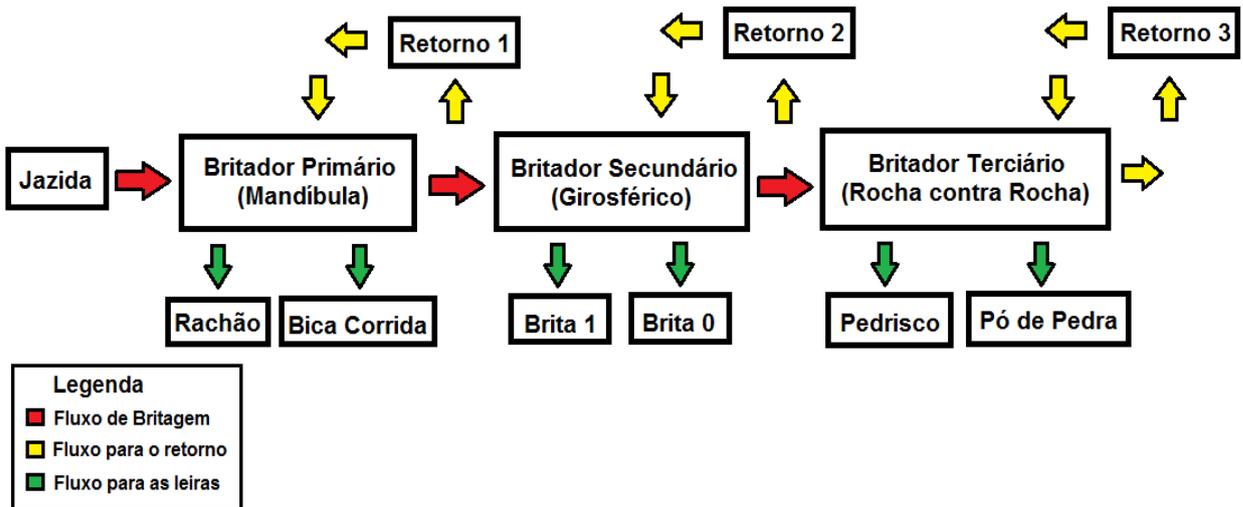
Figura 4.9 – Correias transportadoras da empresa Rudnick.



Fonte: MEURER (2014).

A Figura 4.10 apresenta um fluxograma de britagem generalizado, entretanto cada planta de britagem possui particularidades como, por exemplo, as frações produzidas. Porém, de modo geral, este pode ser assumido como fluxo padrão para os materiais rochosos.

Figura 4.10 – Fluxograma do processo de britagem.



Fonte: Autor.

Durante o processo de beneficiamento existem diferentes estágios de britagem, estes são classificados através das dimensões dos materiais a serem fragmentados. A Tabela 4.1 ilustra essa classificação.

Tabela 4.1 – Classificação dos estágios de britagem.

Estágio de Britagem	Tamanho Máximo de Alimentação (mm)	Tamanho Máximo de Produção (mm)
Britagem Primária	1000	100,0
Britagem Secundária	100	10,0
Britagem Terciária	10	1,0
Britagem Quaternária	5	0,8

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

A britagem primária é o procedimento inicial do beneficiamento para a produção de agregados. O material de alimentação desse processo é diretamente proveniente do desmonte do maciço rochoso e o abastecimento do britador é realizado através dos caminhões basculantes. A redução de dimensão nesse

processo é de 8" (200mm) para 1" (25,4mm). Os britadores empregados nessa etapa possuem grandes dimensões e elevada capacidade, normalmente são utilizados os seguintes tipos: britador de mandíbula, britador girosférico, britador de impacto e o britador de rolos dentados. (LUZ *et al.*, 2004); (BERNUCCI *et al.*, 2006). A Figura 4.11 apresenta o abastecimento de um britador primário.

Figura 4.11 – Abastecimento do britador primário.



Fonte: MEURER (2014).

O próximo procedimento é a britagem secundária, esta é realizada para produzir agregados com dimensões menores que as obtidas com a britagem primária, logo o britador secundário é alimentado pelo material passante na peneira de 1"(25,4 mm). As dimensões dos agregados obtidos nesse processo são variáveis e dependem do plano de britagem da empresa. Os britadores mais comuns são: giratório secundário, mandíbula secundária, martelo e rolos. Os britadores secundários apresentam dimensões menores que as empregadas na britagem primária (LUZ *et al.*, 2004)

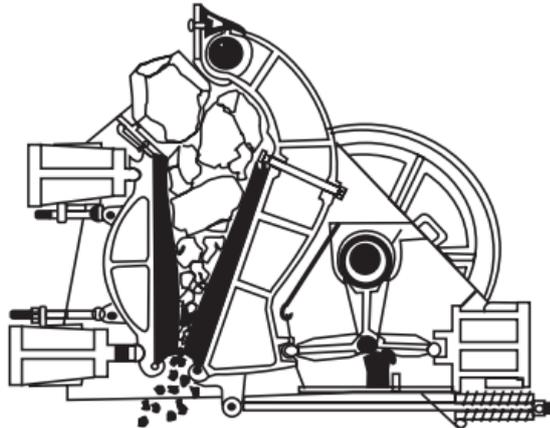
A britagem terciária é normalmente o último estágio de beneficiamento dos agregados, porém quando se necessita de uma maior redução da dimensão das partículas pode-se acrescentar uma britagem quaternária ou retornar o material ao britador terciário e rebitá-lo. Os britadores terciários mais utilizados são os cônicos, também conhecidos como britador rocha contra rocha, esses são equipamentos que exigem maior controle da operação devido às pequenas dimensões dos agregados (LUZ *et al.*, 2004)

4.3.2. Tipos de Britadores

Neste tópico serão descritos os tipos de britadores utilizados nas jazidas de estudo, sendo que estes também são os mais representativos em cada estágio de britagem. Todas as jazidas visitadas possuíam apenas até a etapa de britagem terciária e utilizavam britadores com o mesmo mecanismo para os três processos de beneficiamento.

O britador primário comumente utilizado é o composto por mandíbulas, esse possui uma grande eficiência em fragmentar blocos de grandes dimensões e de elevada resistência. O seu mecanismo de funcionamento consiste em uma mandíbula móvel que é interligada a um eixo excêntrico, assim proporcionam movimentos de afastamento e aproximação em relação à outra mandíbula que é fixa. Durante esse processo o material é descarregado e passa entre essas mandíbulas, e por ação do impacto é fragmentado (LUZ *et al.*, 2004). A Figura 4.12 ilustra o funcionamento de um britador mandíbula. Já a Figura 4.13 é uma imagem do britador de mandíbula de empresa Rudnick.

Figura 4.12 – Esquema de funcionamento do britador de mandíbula.



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2006).

Figura 4.13 – Britador de mandíbula da empresa Rudnick: (a) vista superior; (b) vista frontal.



Fonte: Autor.

O britador girosférico é o normalmente utilizado no estágio de britagem secundária. Esse tem um formato cônico que oscila em uma cuba cônica maior, e a partir do mecanismo de giro do elemento central proporciona a expulsão do material através da força centrípeta. Desse modo os agregados chocam com as paredes do cone e fragmentam-se (FIGUEIRA, ALMEIDA E LUZ, 2004). A Figura 4.14 ilustra o funcionamento do britador girosférico e a Figura 4.15 apresenta o britador girosférico da empresa Fortunato.

Figura 4.14 – Funcionamento do britador girosférico.



Fonte: GUPTA e YAN (2008) *apud* TEIXEIRA (2013).

Figura 4.15 – Britador girosférico da empresa Fortunato.

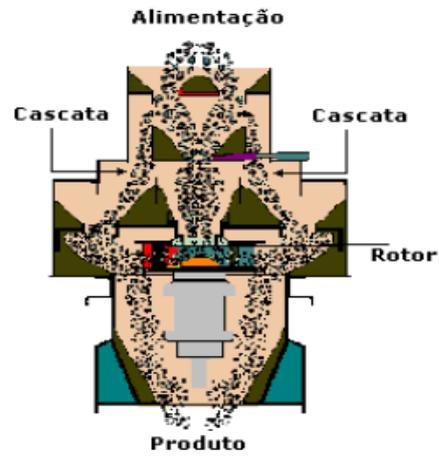


Fonte: Autor.

O britador de impacto vertical ou também conhecido como rocha contra rocha é o principal britador utilizado para a britagem terciária. O processo de fragmentação deste britador é composto por impacto, abrasão e atrito. Uma fração do material é direcionada para o centro de um rotor que, devido à alta velocidade de giro, expulsa o material em direção as paredes. A outra fração do material é direcionada e desce próximo as paredes do britador, desse modo as partículas colidem e assim proporcionam a fragmentação do material (LUZ *et al.*, 2004)

A queda do material em forma de cascata proporciona uma redução do consumo de energia e manutenção dos equipamentos, já que a dissipação de impacto ocorre entre os grãos. Além de este mecanismo ser altamente eficiente para a produção de partículas cúbicas (LUZ *et al.*, 2004). A Figura 4.16 ilustra o esquema de funcionamento do britador de impacto vertical e a Figura 4.17 apresenta o britador terciário da empresa Fortunato.

Figura 4.16 – Esquema de funcionamento do britador de impacto vertical.



Fonte: LUZ *et al.* 2004.

Figura 4.17 – Britador de impacto vertical da empresa Fortunato.



Fonte: Autor.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo serão apresentados todos os ensaios executados para a caracterização dos materiais rochosos. Estes foram desenvolvidos com o intuito de obter parâmetros, físicos ou químicos, que determinam a utilização dos agregados em obras de pavimentação (BERNUCCI *et al.*, 2006).

De acordo com Robert *et al.* (1996), é indispensável a utilização de agregados com propriedades adequadas para aplicação em pavimentos asfálticos. As propriedades físicas são determinantes para o comportamento mecânico dos agregados, por exemplos: a resistência, a massa específica e porosidade. Já as propriedades físico-químicas, como a adesividade ao ligante betuminoso, também são fundamentais para garantir o bom desempenho durante a vida útil de serviço.

A seguir estão descritos os principais ensaios de caracterização dos materiais rochosos e a importância dos parâmetros para aplicação. Para a execução desses ensaios foram coletadas amostras em todas as quatro jazidas de estudo como pode ser visualizado na Figura 5.1

Figura 5.1 – Coleta de amostras nas Jazidas: (a) Vogelsanger; (b) Rio Zoada; (c) Rudnick; (d) Sol Nascente.



5.2. ANÁLISE PETROGRÁFICA

Os materiais pétreos são estruturas que apresentam em sua composição diferentes minerais, portanto as suas características físicas e químicas são influenciadas de acordo com os minerais existentes em sua composição, isso ocorre devido ao a sua formação, como já foi descrito no capítulo 4. Desse modo, a realização da análise petrográfica fornece um indicativo da composição mineralógica, e assim pode-se justificar o comportamento dos agregados quando submetidos a determinadas ações. Por exemplo, alguns minerais apresentam-se mais ou menos resistentes ao polimento quando utilizados em pavimentação (BERNUCCI *et al.*, 2006).

De acordo com Bernucci *et al.* (2006), a descrição microscópica é um estudo relevante para a prática da pavimentação, uma vez que a quantia e qualidade de informações obtidas é significativa para a determinação de parâmetros de resistência e entrosamento dos mesmos. Um exemplo é a presença de quartzo e feldspato, esses minerais são comumente encontrados em rochas ígneas como o granito e gnaisses, que indicam a elevada resistência ao polimento.

5.2.1. Amostras e Execução

A seleção da amostra para a realização da análise petrográfica deve garantir uma boa representatividade do maciço, já que o material como um todo pode possuir heterogeneidade em sua composição. Portanto, os resultados expressam uma tendência da composição dos materiais rochosos atualmente explorados, e não deve ser estendida para todo o afloramento (DNER – ME 006/94).

A descrição macroscópica da amostra é realizada visualmente e compreende características gerais como: coloração, textura, estrutura, grau de alteração e a forma dos grãos (a textura macroscópica será mais detalhada no tópico 5.5). Já a descrição microscópica é verificada através de lâminas delgadas, e indica características como: composição mineralógica, granulação, modos de ocorrências, minerais secundários, estágio de alteração dos minerais primários, os tipos de microfissuras existentes e a quantidade de poros ou vazios da amostra (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Para a coleta das amostras, foram selecionados blocos rochosos, oriundo do britador primário, que apresentavam uma descrição macroscópica representativa do material que compõem a rocha sã, ou seja, foram descartadas amostras com visíveis descontinuidades ou intrusões de minerais com coloração diferenciada. Essas amostras foram cortadas em uma marmoraria para o possível envio para a execução das lâminas delgadas. A Figura 5.2 ilustra o processo de corte das amostras.

Figura 5.2 – Processo de Corte das Amostras para Análise Petrográfica.



Fonte: Autor.

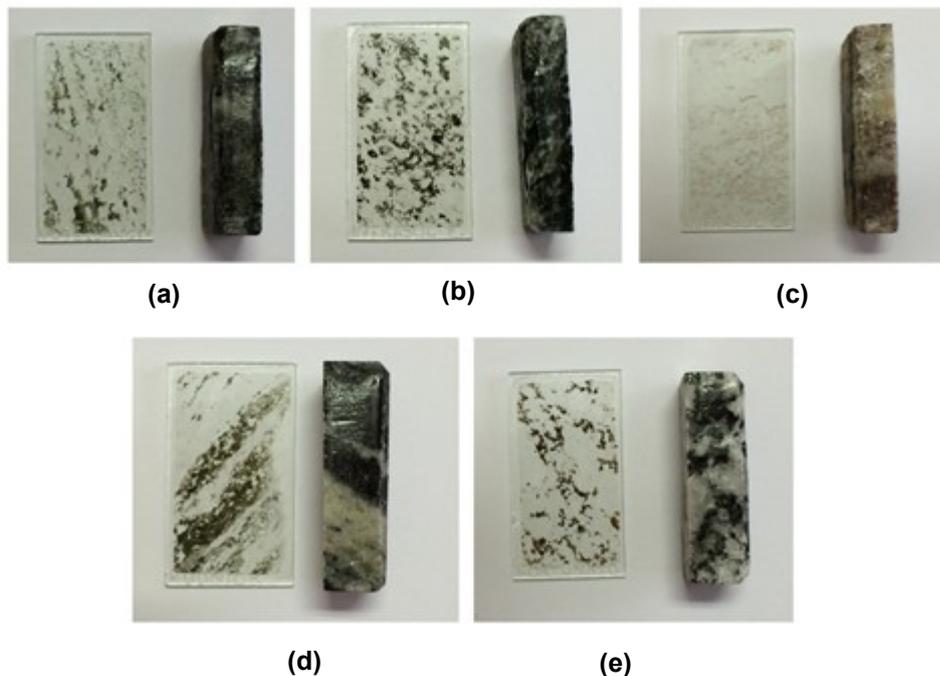
As lâminas delgadas para a execução dos ensaios foram preparadas no Instituto de Geociências da UFRGS. Foram confeccionadas cinco lâminas devido à jazida Rio Zoada apresentar heterogeneidade significativa na sua frente de exploração. Desse modo, optou-se por analisar duas amostras dessa jazida. A Figura 5.3 apresenta as amostras após o corte, já a Figura 5.4 ilustra as lâminas delgadas.

Figura 5.3 – Amostras para Análise Petrográfica.



Fonte: Autor.

Figura 5.4 – Lâminas Delgadas e os testemunhos da rocha: (a) Vogelsanger; (b) Rio Zoadá Escura; (c) Rio Zoadá Clara; (d) Rudnick; (e) Sol Nascente.



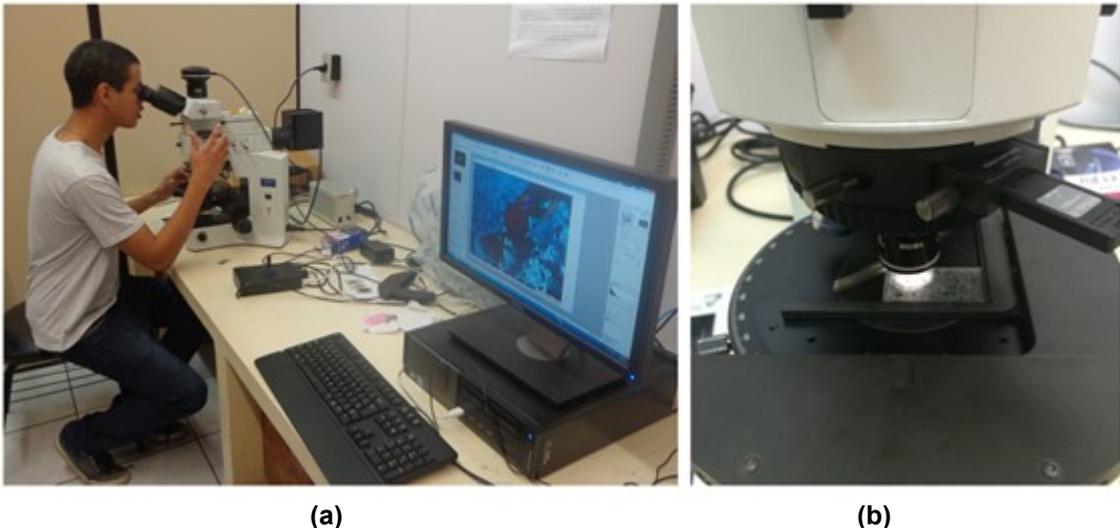
Fonte: Autor.

A análise e descrições das lâminas delgadas foram feitas no Instituto de Geociências da UFSC (Campus Trindade), no laboratório de microscopia ótica, e foram realizadas pelo laboratorista responsável juntamente com auxílio dos professores. Nas análises efetuou-se contagem modal, esta é uma estimativa da composição percentual aproximada de cada fase (mineral) presente na rocha, isto foi feito com o auxílio de um contador móvel acoplado ao microscópio. É importante

ressaltar que a precisão dos resultados depende diretamente do número de pontos tomados.

Nesta pesquisa a execução do ensaio de lâmina petrográfica tem como objetivo apenas relacionar a composição mineralógica com os resultados obtidos durante os ensaios de caracterização do material rochoso para aplicação em pavimentação, logo esse estudo não será direcionado para as análises geológicas da rocha e sim as suas principais características para a aplicação na engenharia civil. A Figura 5.5 ilustra o equipamento para análise das lâminas delgadas.

Figura 5.5 – Procedimento de Análise das Lâminas Delgadas: (a) análise dos minerais existentes; (b) microscópio durante e contagem modal por volumetria.



Fonte: Autor.

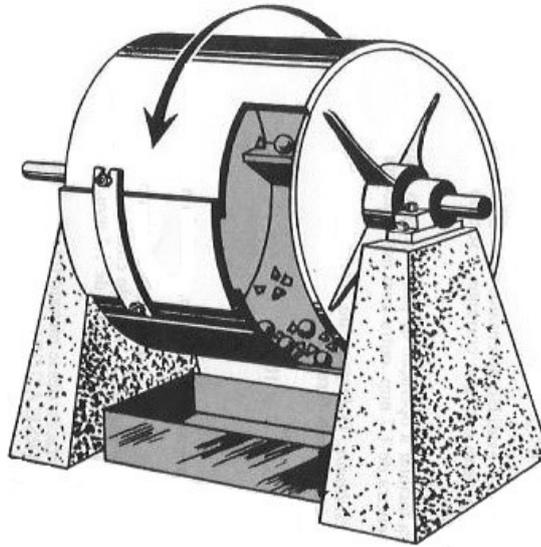
5.3. DESGASTE POR ABRASÃO LOS ANGELES

A resistência à abrasão é uma característica fundamental nos agregados aplicados a pavimentação, pois esse tipo de desgaste ocorre desde o processo de manuseio ou execução das estruturas até durante a solicitação do tráfego. Logo é de grande importância que os materiais rochosos utilizados possuam habilidade de resistir a ações de atrito ou impacto (BERNUCCI *et al.*, 2006).

O ensaio de desgaste por abrasão Los Angeles é normatizado pela DNER – ME 035/98 que define as características da amostra e o procedimento de execução. Assim é obtida a percentagem de degradação do agregado quando submetido a

revoluções no interior da máquina Los Angeles (Figura 5.6), juntamente com uma carga abrasiva pré-determinada.

Figura 5.6 – Representação da máquina Los Angeles.



Fonte: FRAENKEL (1980).

Segundo Baptista (1976), este ensaio é responsável por proporcionar uma estimativa da qualidade do material pétreo e seu possível comportamento ao desgaste por atrito interno durante o processo de compactação da mistura ou a vida útil de serviço do pavimento.

A ação dos esforços de abrasão nas camadas próximas a superfície, como revestimento, são mais significantes que nas demais camadas. Logo uma resistência ao desgaste alto é indicado por uma baixa percentagem de abrasão Los Angeles. Normalmente adota-se como limite valores entre 40 a 55 % de abrasão Los Angeles em camadas de base ou revestimento (BERNUCCI *et al.*, 2006). Já a norma DNIT 031/2006 define o limite como igual ou inferior a 50%.

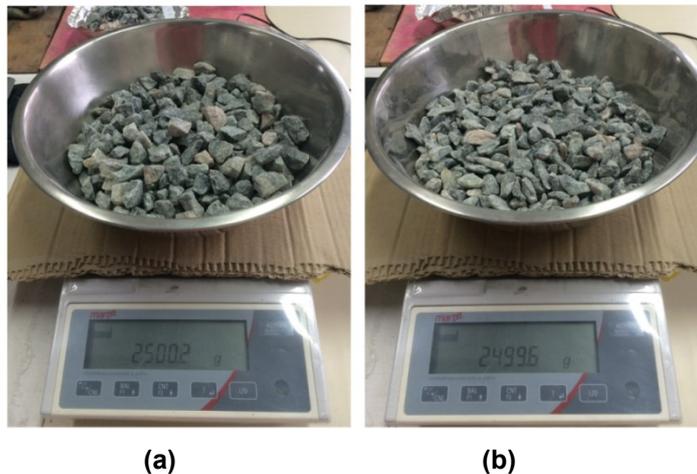
5.3.1. Amostras e Execução

Para a execução do ensaio de desgaste por abrasão Los Angeles deve-se inicialmente definir a granulometria que será ensaiada. Essas podem ser classificadas de A á G, devido às frações que serão ensaiadas. A massa total da

amostra pode ser 10 kg ou 5 kg, isso é definido através da fração de agregado a ser utilizada. (DNER 035/98).

Para a caracterização dos agregados durante a realização desse trabalho, optou-se por utilizar a granulometria B para compor a amostra, já que está é a fração mais representativa para a aplicação em pavimentos. Então a massa total da amostra foi 5000 ± 1 g, composta por $2500 \pm 0,5$ g na fração 19,1 – 12,7 mm e $2500 \pm 0,5$ g na fração 12,7 – 9,5 mm. A Figura 5.7 ilustra uma das amostras ensaiadas.

Figura 5.7 – Amostra do ensaio de abrasão Los Angeles da jazida Rudnick: (a) fração 19,1 – 12,7 mm; (b) fração 12,7 – 9,5 mm.



Fonte: Autor.

O material da amostra foi colocado na máquina Los Angeles (Figura 5.8) juntamente com a carga abrasiva, e então foram realizadas 500 rotações.

Figura 5.8 – Máquina Los Angeles.



Fonte: Autor.

A carga abrasiva aplicada também é definida através da granulometria escolhida. Esta é composta por esferas de aço com aproximadamente 47,6 mm de diâmetro e peso variando de 390 a 445 g. É necessária a verificação periódica da superfície e peso das esferas de carga abrasiva, em razão de possíveis desgastes (FRAENKEL, 1980). Para a classificação B é utilizado uma carga abrasiva com 11 esferas, que estão apresentadas na Figura 5.9. A Figura 5.10 apresenta o material juntamente com a carga abrasiva.

Figura 5.9 – Esferas de aço para ensaio Los Angeles.



Fonte: Autor.

Figura 5.10 – Amostra da jazida Rudnick no interior da máquina Los Angeles juntamente com a carga abrasiva.



Fonte: Autor.

5.4. RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO (DURABILIDADE)

O ensaio de resistência ao ataque químico é comumente conhecido como durabilidade ou sanidade, este é um ensaio normatizado pela DNER-ME 089/94 que define a preparação da amostra e o processo de execução.

A durabilidade do material rochoso é obtida através da redução de peso ocasionada pela ação do ataque químico de uma solução de sódio ou magnésio. A amostra é submetida a ciclos alternados em imersão na solução e secagem na estufa, para reproduzir, de modo acelerado, as condições de exposição ao intemperismo a que pavimentos são sujeitos (BAPTISTA, 1976).

A resistência dos agregados pode ser afetada quando este é submetido a severas condições ambientais. Por consequência, alguns materiais rochosos que inicialmente apresentam elevada resistência podem sofrer desintegração química durante a vida útil de serviço (BERNUCCI *et al.*, 2006).

5.4.1. Amostras e Execução

O peso total da amostra para o ensaio de resistência ao ataque de químico é definido de acordo com fração da granulométrica que será ensaiada. Este ensaio pode ser executado para agregados contidos na fração 9,5 a 0,3 mm ou pros agregados retidos na peneira de malha 4,8 mm (DNER – ME 089/94).

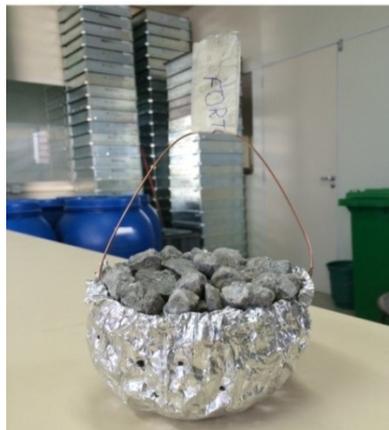
Para a execução desse ensaio foi utilizado às frações de 19,1 a 9,5 mm, pois estas são as mais representativas para a aplicação em pavimentos, e o peso total dessa classificação é de 1000 ± 1 g, sendo composto por 67% na fração de 19,1 - 12,7 e 33% na fração 12,7 - 9,5. A Figura 5.11 ilustra uma das amostras ensaiadas. Para melhor acomodação da amostra durante a execução dos ciclos, foram confeccionados cestas em alumínio (Figura 5.12).

Figura 5.11 – Amostra de durabilidade da jazida Rio Zoada: (a) fração 19,1 – 12,7 mm; (b) fração 12,7 - 9,5 mm.



Fonte: Autor.

Figura 5.12 – Cesta com a amostra de durabilidade da jazida Sol Nascente.



Fonte: Autor.

O preparo da solução deve ser realizado com 48 horas de antecedência, e esta pode ser composta por sulfato de sódio ou magnésio. Segundo Batista (1976), os resultados obtidos com o emprego de soluções com sódio ou magnésio podem apresentar pequenas variações, logo é importante realizar a especificação de qual foi a solução utilizada.

A solução utilizada nesse trabalho foi composta por sulfato de sódio anidro (Figura 5.13), no qual foi realizada a solubilização de aproximadamente 500 g em 1 litro de água (Figura 5.14). Durante o preparo a solução deve ser agitada

frequentemente para garantir uma melhor solubilidade e também a presença de cristais (DNER – ME 089/94).

Figura 5.13 – Sulfato de sódio anidro.



Fonte: Autor.

Figura – 5.14 – Solução de sulfato de sódio: (a) 1 litro de água e 500g de sulfato de sódio; (b) Solução pronta.



(a)

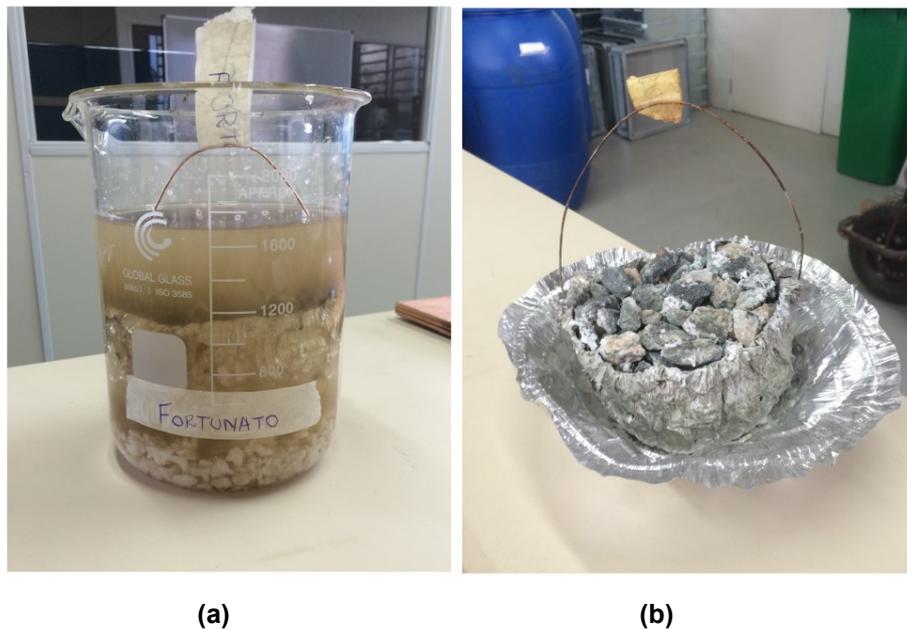
(b)

Fonte: Autor.

São necessários cinco ciclos completos para a execução do ensaio. Cada ciclo é composto por um período de imersão na solução entre 16 a 18 horas em aproximadamente 21°C e por um período de secagem em estufa em temperatura de

105 a 110°C, após a secagem a amostra deve ser resfriada até a temperatura ambiente. A Figura 5.15 ilustra o ciclo de imersão e secagem da amostra (FRAENKEL, 1980).

Figura 5.15 – Ciclo: (a) imersão; (b) secagem da amostra da Jazida Sol Nascente.



Fonte: Autor.

5.5. ÍNDICE DE FORMA

A forma das partículas é um parâmetro físico fundamental para a estabilidade das misturas asfálticas, pois esta tem influência direta na trabalhabilidade, resistência ao cisalhamento e também altera a energia de compactação necessária para atingir uma determinada massa específica (BERNUCCI *et al.*, 2006).

O ensaio de índice de forma é normatizado pelo ABNT NBR 6954/1989, essa define composição da amostra e o procedimento de execução. O índice da forma das partículas representa a variação dos eixos multidirecionais que compõem cada partícula.

Os agregados britados, de modo geral, assumem dois tipos de formatos: os lamelares ou cúbicos. Quando estes apresentam arestas com dimensões próximas,

este é classificado como cúbico. Já os agregados lamelares possuem uma das suas arestas proporcionalmente maior (BAPTISTA 1976).

O melhor intertravamento dos grãos é obtido quando se tem partículas com formato mais cúbico, com superfícies bem irregulares e subangulares, pois a angularidade entre as formas evitam o surgimento de planos preferenciais de fraquezas (BERNUCCI *et al.*, 2006).

5.5.1. Amostras e Execução

A seleção da amostra é realizada através da faixa granulométrica mais representativa, que para a aplicação em pavimentos se enquadra entre 19,1 e 9,5 mm. Desse modo é composta uma amostra com 100 partículas selecionadas aleatoriamente, para que represente as características dos agregados (ABNT NBR 6954/1989).

São realizadas medições das três arestas de cada partícula, estas são definidas como: comprimento (a), largura (b) e espessura (c). (Figura 5.16) Então são relacionados os valores: largura com comprimento e espessura com largura. A partir da média dessas duas relações obtêm-se índices que classificam os agregados em: cúbica, alongada, lamelar e alongada-lamelar (BERNUCCI *et al.*, 2006). A Figura 5.17 apresenta partículas com formatos lamelares e cúbicos nas duas frações ensaiadas.

Figura 5.16 - Indicação da medição das arestas: (a) comprimento; (b) largura; (c) espessura.

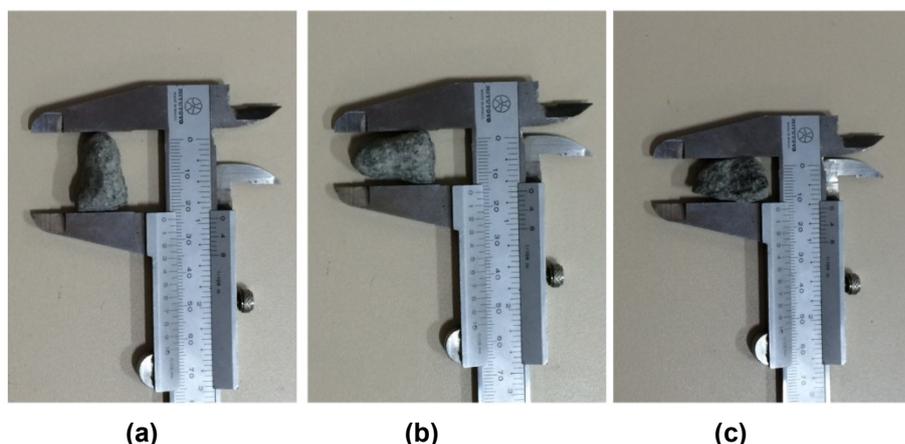


Figura 5.17 – Partículas com formato aproximadamente lamelar (direita) e cúbico (esquerda): (a) fração 19,1 – 12,7 mm; (b) fração 12,7 – 9,5 mm.



Fonte: Autor.

5.6. GRANULOMETRIA

O ensaio de granulometria em agregados é normatizado pelo DNER – ME 083/98, este define a máxima dimensão dos agregados e a sua distribuição granulométrica.

A análise granulométrica de um agregado é indispensável para a aplicação em estruturas de pavimentação, pois a espessura mínima de execução de uma camada de mistura asfáltica é o limitante para o tamanho máximo do agregado que pode ser utilizado (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Segundo BAPTISTA (1976), a granulometria dos agregados é classificada em três graduações:

- **Graduação Densa:** As partículas são bem distribuídas, desde os agregados graúdos até o material fino, e possui índice de vazios menor que 30% além de apresentam a sua máxima massa específica. Essa normalmente é classificada como densa quando possui 5 a 15 % de finos e agregados com tamanho máximo das partículas acima $\frac{3}{4}$ ".
- **Graduação Aberta:** É a graduação que não possui uma percentagem de material fino necessária. Normalmente o índice de vazios é superior a 30%.
- **Graduação Uniforme:** São materiais com uma graduação muito aberta, pois a fração predominante é de agregados com a mesma dimensão.

A adequada distribuição granulométrica assegura a estabilidade na camada do pavimento, pois os vazios deixados pelos agregados graúdos são totalmente

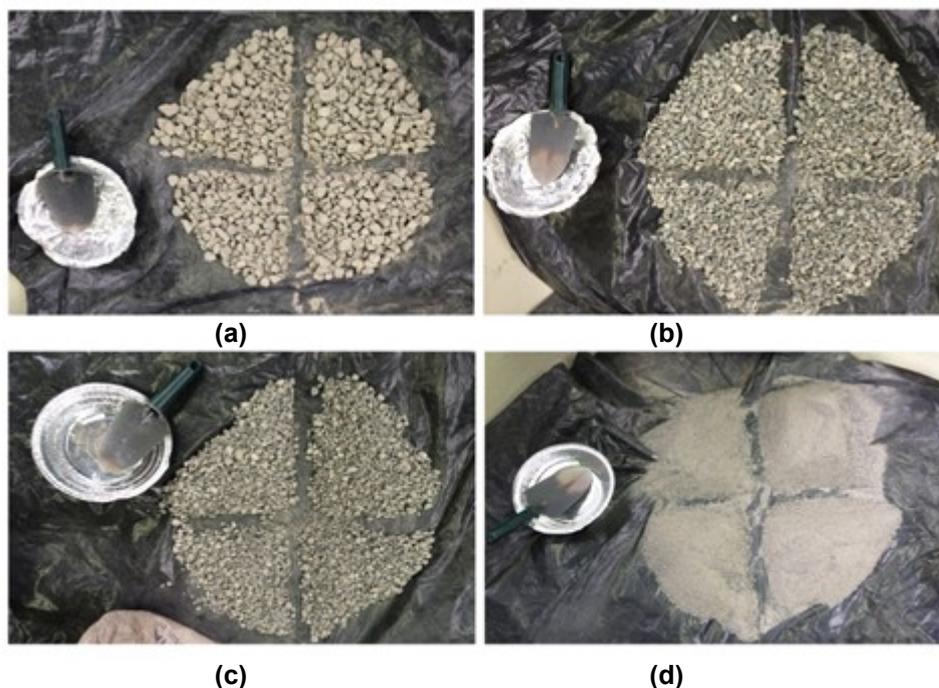
preenchidos pelos agregados de menores dimensões. Desse modo o ensaio de granulometria é indispensável para o cálculo da curva granulométrica que compõe o esqueleto mineral de uma mistura asfáltica. (BERNUCCI *et al.*, 2006).

5.6.1. Amostras e Execução

De acordo com a DNER – ME 083/98, a composição das amostras, em laboratório, para o ensaio de granulometria deve ser executada através do quarteamento da amostra.

Esse processo tem como objetivo assegurar a representatividade da amostra, e é executado através da divisão, em quatro partes iguais, de uma amostra previamente homogeneizada. Após são selecionadas duas frações para a execução do ensaio e as outras são descartadas (BAPTISTA, 1976); (DNER – PRO 199/96). A Figura 5.18 ilustra o quarteamento nas diferentes frações ensaiadas.

Figura 5.18 – Ilustração do quarteamento de amostras para granulometria: (a) brita 1; (b) brita 0; (c) pedrisco; (d) pó de pedra.

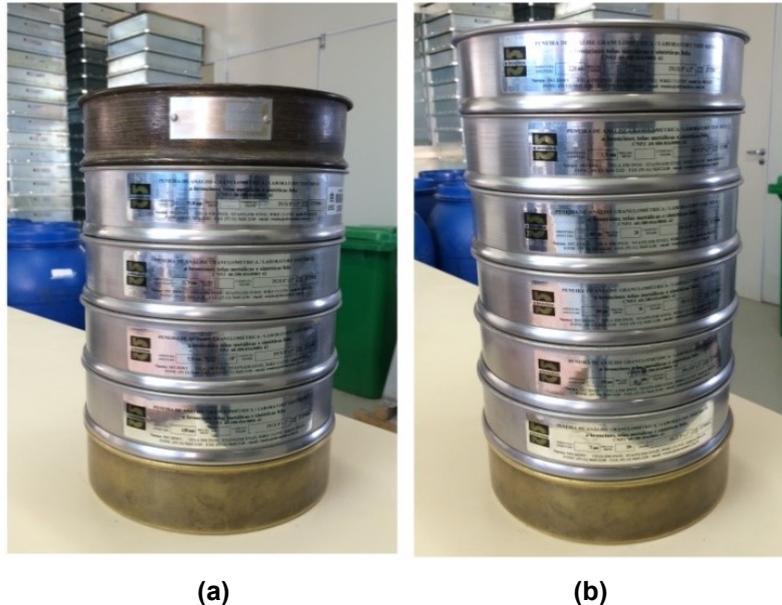


Fonte: Autor.

A execução do ensaio de granulometria consiste em passar o material por uma sequência de peneiras pré-estabelecidas, e obter a porcentagem de material

retido em cada uma das peneiras (DNER – ME 083/98). A Figura 5.19 apresenta a sequência de peneiras utilizadas na execução do ensaio.

Figura 5.19 – Sequência de peneiras para a execução do ensaio: (a) 25,1 – 4,8 mm; (b) 2,2 – 0,075 mm.



Fonte: Autor.

5.7. ADESIVIDADE AO LIGANTE BETUMINOSO

De acordo com Baptista (1976), adesividade pode ser definida como a maior ou menor resistência ao descolamento da película de ligante asfáltico que se forma em torno dos agregados. O ensaio de adesividade ao ligante betuminoso é normatizado pela DNER – ME 078/94, que define o procedimento de composição da amostra e processo de execução.

A aderência da película betuminosa ao agregado, quando este é submetido à ação da água, é um parâmetro determinante para a sua aplicação em estruturas de pavimentos. O material rochoso denominado hidrófilo é aquele que apresenta uma baixa adesividade, já os hidrofóbicos possuem alta adesividade em presença de água (BAPTISTA 1976).

Segundo Bernucci *et al.* (2006), materiais com predominância de quartzo ou sílicas e alguns granitos necessitam de atenção quanto a adesividade aos ligantes betuminoso, devido ao fato de apresentarem caráter eletronegativo.

5.6.1. Amostras e Execução

A norma DNER – ME 078/94 define que a amostra deve ser composta por aproximadamente 500 g, do material contido entre as malhas 19,1 e 12,7 mm, pré-aquecido á aproximadamente 100 °C. A Figura 5.20 ilustra a amostra selecionada para a execução do ensaio.

Figura 5.20 – Amostra de adesividade ao ligante betuminoso da jazida Rio Zoada.



Fonte: Autor.

A quantidade de ligante betuminoso e a temperatura necessária para o pré-aquecimento são definidos pela norma de acordo com o a composição do mesmo. Para a execução desse ensaio foi utilizado ligante asfáltico CAP 50/70, da refinaria Repar, pré-aquecido a 120 °C e com peso de aproximadamente 17,5 g (BAPTISTA, 1976). A Figura 5.21 apresenta a medição do peso de ligante utilizado.

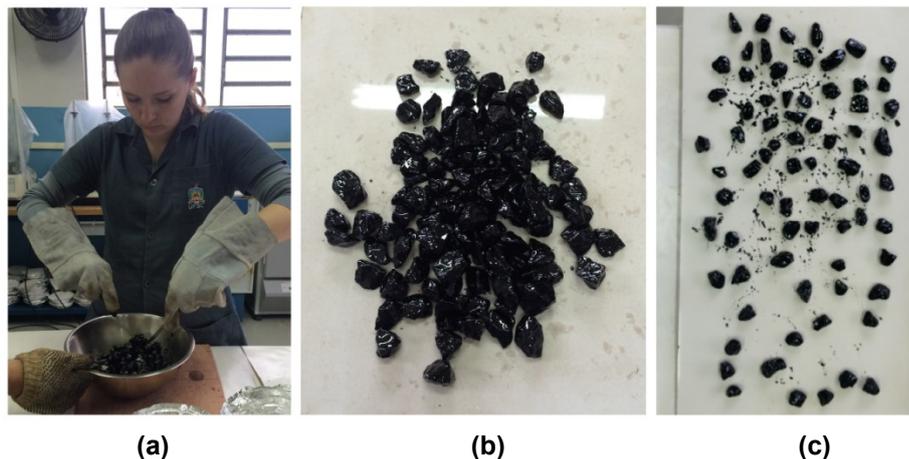
Figura 5.21 – Medição do peso de ligante betuminoso.



Fonte: Autor.

Em seguida é realizada a mistura do agregado ao ligante betuminoso até que haja o total recobrimento do material rochoso. Então as partículas são espalhadas sobre uma superfície lisa de porcelana para o resfriamento (DNER – ME 078/94). A Figura 5.22 apresenta o processo de mistura e resfriamento das partículas.

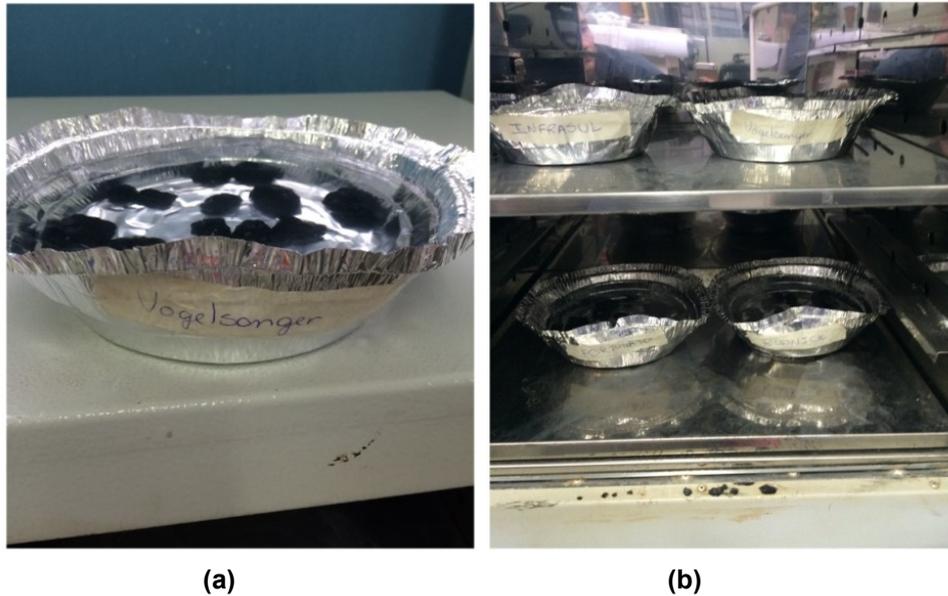
Figura 5.22 – Amostra de adesividade ao ligante betuminoso: (a) processo de mistura; (b) amostra totalmente recoberta; (c) resfriamento das partículas.



Fonte: Autor.

Após a realização de uma prévia seleção, as amostras totalmente recobertas pela película betuminosa são submersas e levadas à estufa a 40 °C por um período de 72 horas. E posteriormente foi avaliado a adesividade entre agregado e ligante betuminoso. A Figura 5.23 apresenta as amostras durante o período de imersão.

Figura 5.23 – Amostras de adesividade ao ligante betuminoso: (a) amostras imersas; (b) amostras colocadas na estufa.



Fonte: Autor.

5.8. MASSA ESPECÍFICA REAL E APARENTE

O peso específico real dos materiais é um parâmetro físico fundamental para a obtenção da massa específica máxima teórica da mistura asfáltica (DMT), que normalmente é calculada a partir de uma ponderação das massas específicas reais das diversas frações que compõem a mistura (VASCONCELOS *et al.*, 2003). Já a massa específica aparente é utilizada para o cálculo do teor de vazios da mistura, assim são definidos os parâmetros para a dosagem Marshall de misturas asfálticas (BERNUCCI *et al.*, 2006).

A DMT é utilizada para a obtenção do: percentual de vazios da mistura asfáltica compactada, absorção de ligante pelos agregados, teor de asfalto efetivo das misturas asfálticas e na indicação de valores alvos para a compactação em compactadores giratórios (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Segundo Baptista (1976), a massa específica aparente é aquela que inclui todos os vazios permeáveis e impermeáveis e exclui os vazios entre os grãos. E a

massa específica real é aquela que exclui os vazios permeáveis e os vazios entre os grãos e inclui os vazios impermeáveis.

De acordo com Fraenkel (1980), a massa específica aparente é a relação entre o peso do material incluindo todos os vazios dos grãos e o peso de igual volume de água destilada à temperatura ambiente. Já a massa específica real é a relação entre o peso de material e peso de igual volume de água destilada à temperatura ambiente.

O processo de obtenção das massas específicas é diferenciado de acordo com o tamanho dos grãos, ou seja, o peso específico em agregados graúdos é normatizado pelo DNER – ME 081/98, em agregados miúdos é normatizado pelo DNER – ME 194/98 e em material finamente pulverizado é normatizado pelo DNER – ME 085/94.

5.8.1. Amostras e Execução

A composição das amostras para a execução dos ensaios de massa específica, em agregados graúdos e miúdos, deve ser executada através do quarteamento da amostra, como já apresentado no tópico 5.6.1. Entretanto o processo de quarteamento é realizado com o material retido na peneira 4,8 mm para os agregados graúdos, e o material passante na 4,8 mm e retido na 0,075 mm para os agregados miúdos (DNER – ME 081/98); (DNER – ME 194/98). Já a amostra de material finamente pulverizado é definida pelo peneiramento (DNER – ME 085/94).

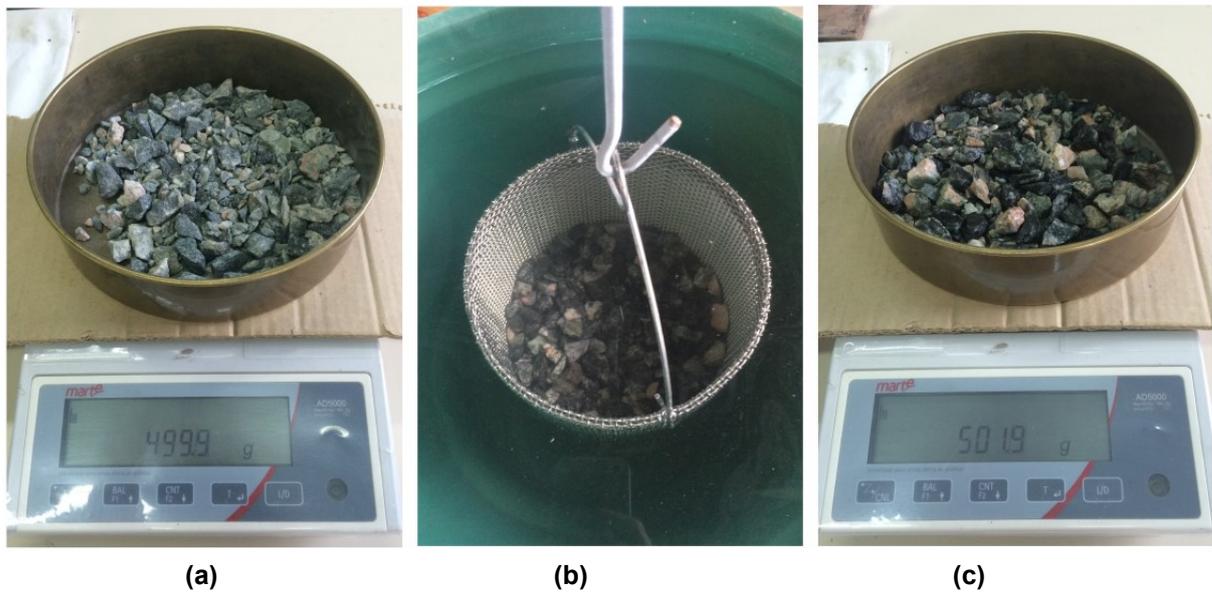
5.8.1.1. Agregados Graúdos

O ensaio massa específica em agregados graúdos determina a massa específica real, a massa específica aparente e a absorção dos agregados. A massa mínima para a execução do ensaio é definida a partir da máxima dimensão dos agregados (FRAENKEL, 1980).

Entretanto para facilitar a execução do ensaio e garantir uma boa reprodutibilidade foram utilizadas duas amostras com aproximadamente 500 g, e executaram-se duas determinações para cada amostra.

A execução do ensaio consiste em realizar a medição do peso da amostra seca, o peso da amostra submersa e o peso da amostra com a condição saturada superfície seca. (DNER – ME 081/98). A Figura 5.24 apresenta a determinação do peso seco, peso submerso e peso em condição saturada e superfície seca. Já a Figura 5.25 ilustra a diferença entre a superfície molhada do agregado e a superfície seca.

Figura 5.24 – Determinação dos pesos: (a) seco; (b) submerso; (c) superfície seca.



Fonte: Autor

Figura 5.25 – Diferença visual entre: (a) superfície molhada; (b) superfície saturada seca.



Fonte: Autor.

5.8.1.2. Agregado Miúdo

O ensaio de massa específica do agregado miúdo é comumente conhecido como Chapman, devido ao frasco no qual se executa o ensaio. Este ensaio tem como objetivo determinar a massa específica real através da variação da leitura de água no gargalo do frasco Chapman (DNER – ME 194/98).

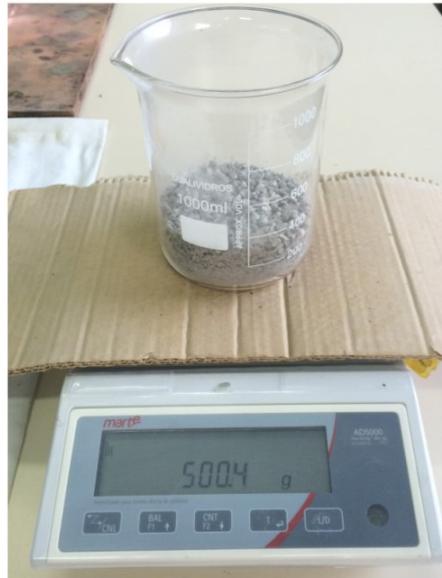
A amostra utilizada é de aproximadamente 500 g de material passante na peneira 4,8 mm e retido na peneira 0,075 mm. Para a execução do ensaio deve-se adicionar 200 ml de água destilada (Figura 5.26), então o material é colocado no frasco, e agitado para a retirada de bolhas de ar (DNER – ME 194/98). A Figura 5.27 Apresenta a amostra do ensaio de massa específica de agregados miúdos.

Figura 5.26 – Leitura de água antes do início do ensaio.



Fonte: Autor

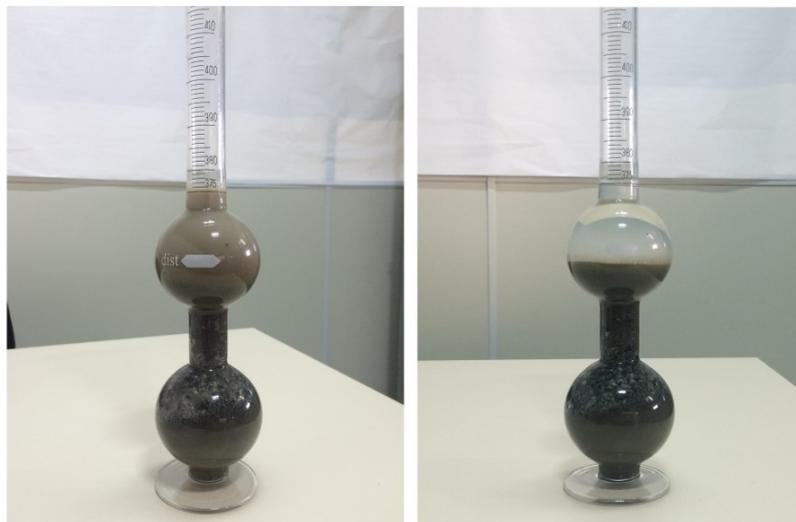
Figura 5.27 – Amostra para o Ensaio de massa específica de Agregado Miúdo da Jazida Rio Zoada.



Fonte: Autor.

O material foi deixado em repouso por um tempo superior a 4 horas para garantir que todas as bolhas fossem eliminadas e que ocorre a decantação do material suspenso. É importante citar que a leitura deve ser executada pela parte inferior do menisco capilar. A Figura 5.28 apresenta a frasco Chapman antes e depois do tempo de decantação.

Figura 5.28 – Frasco Chapman: (a) antes da decantação; (b) depois da decantação.



(a)

(b)

Fonte: Autor.

5.8.1.3. Material Finamente Pulverizado

O ensaio de massa específica em materiais finamente pulverizado é executado através do frasco Le Chatelier, e por isso é geralmente identificado por esse nome. O ensaio consiste na determinação da massa específica real dos materiais como cimento Portland, solos finos e materiais de enchimento (fillers) (DNER – ME 085/94).

A amostra para a execução desse ensaio é obtida a partir do material passante na peneira 0,075 mm, no qual a norma define que seja utilizada uma massa de 60 g de material (DNER – ME 085/94). A Figura 5.29 apresenta a amostra para a execução do ensaio de massa específica do material finamente pulverizado.

Figura 5.29 – Amostra para o ensaio de massa específica para material finamente pulverizado da jazida Sol Nascente.



Fonte: Autor.

Inicia-se a execução do ensaio adicionando água destilada entre as marcações de 0 e 1 ml no gargalo do frasco Le Chatelier (Figura 5.30), então anota-se esse valor que será descontado na leitura final do ensaio. Após colocar o material no frasco, deve-se realizar movimentos giratórios para eliminar a existência de bolhas de ar (DNER – ME 085/94). A amostra foi deixada em repouso por um

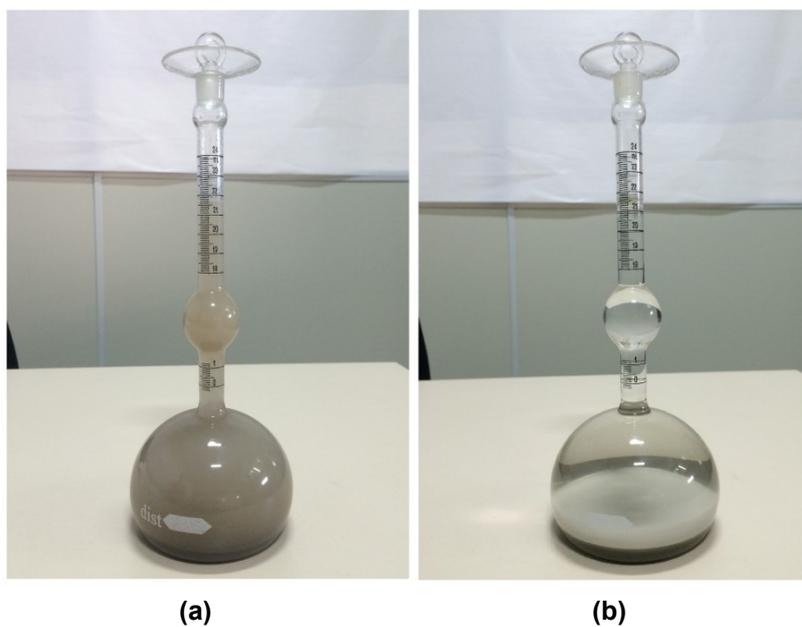
período superior a 12 horas, para assegurar a total decantação da amostra. A Figura 5.31 apresenta o frasco Le Chatelier antes e depois da decantação da amostra.

Figura 5.30 – Medida de água no gargalo do frasco Le Chatelier.



Fonte: Autor.

Figura 5.31 – Frasco Le Chatelier: (a) antes da decantação; (b) depois da decantação.



Fonte: Autor.

5.9. MASSA UNITÁRIA

O ensaio para determinação da massa unitária dos agregados no estado solto e seco é normatizado pelo DNER – ME 152/95, essa define a massa unitária como a razão entre a massa do material rochoso sem compactação depositado em um recipiente e o volume desse recipiente.

O ensaio de massa unitária é realizado com o intuito de obter a massa específica dos agregados quando submetido a uma queda pré-determinada, sem a interferência da compactação. Este parâmetro é, geralmente, utilizado na estimativa de volumes transportados, ou seja, o material rochoso acomoda-se na caçamba do caminhão basculante sem o auxílio de compactação (DNER – ME 152/95).

5.9.1. Amostras e Execução

Para a seleção da amostra foi utilizado o método do quarteamento manual para garantir uma boa representatividade da amostra, este método já foi descrito no tópico 5.6.1. Posteriormente as amostras foram deixadas por 24 horas em estufa á aproximadamente 100°C, para garantir que amostra estivesse completamente seca.

Foram selecionados dois recipientes com volumes conhecidos, um com capacidade maior para a realização do ensaio com a brita 1 e brita 0, e outro com capacidade menor para o pedrisco e o pó de pedra.

A altura de queda é padronizada entre 10 a 12 cm do topo do recipiente, e o material deve ser lançado com o auxílio de uma concha. Em agregados miúdos deve ser feito o rasamento da superfície com uma régua, já para os agregados graúdos deve-se realizar a regularização da superfície para compensar as saliências e reentrâncias (DNER – ME 152/95). A Figura 5.32 ilustra o processo de execução do ensaio.

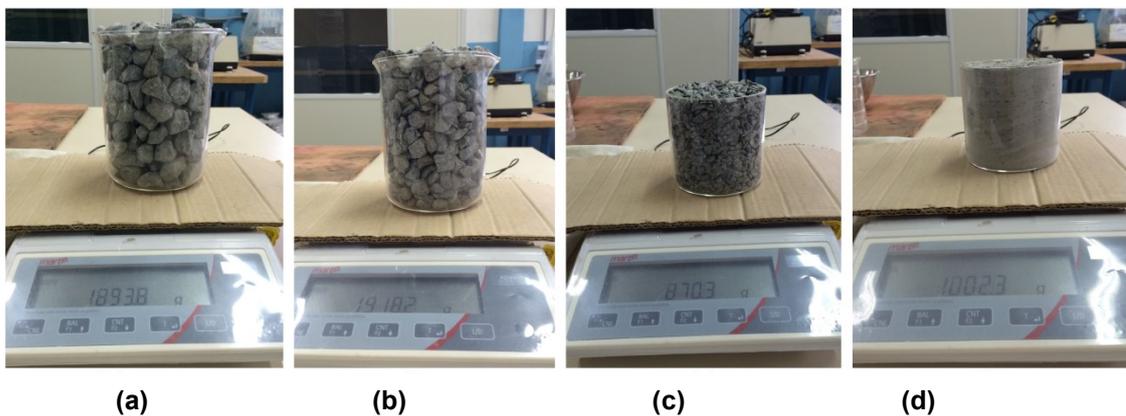
Figura 5.32 – Processo de execução do ensaio com pedrisco.



Fonte: Autor.

Após são anotados os pesos do material, e a partir do volume do recipiente se obtém a massa unitária. Foram executadas quatro repetições do ensaio para garantir uma boa reprodutibilidade dos resultados. A Figura 5.33 apresenta a verificação do peso dos diferentes materiais ensaiados.

Figura 5.33 – Amostras ensaiadas para a determinação da massa unitária: (a) brita 1; (b) brita 0; (c) pedrisco; (d) pó de pedra.



Fonte: Autor.

6. RESULTADOS

6.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste capítulo serão apresentados todos os parâmetros obtidos durante a execução dos ensaios de caracterização dos materiais rochosos das quatro jazidas de estudo. Os tópicos a seguir dividem os resultados de acordo com cada ensaio realizada, desse modo podem ser comparados os valores obtidos e classificá-los de acordo com os limites de aplicação para a pavimentação.

6.2. RESULTADOS DA ANÁLISE PETROGRÁFICA

As análises das lâminas petrográficas foram executadas no laboratório de microscopia ótica da UFSC, Campus Trindade, e englobaram a descrição macro e microscópica dos minerais existentes, a classificação petrográfica da rocha e a contagem modal por volumetria. A Tabela 6.1 apresenta os minerais que compõem as amostras obtidas através da contagem modal com 200 pontos.

A amostra da jazida Vogelsanger foi classificada como Anfibólito-biotita Tonalito, pois apresentou elevada percentagem de plagioclásio e poucos feldspatos alcalinos. Também foi definido que a amostra possuía coloração cinza, com textura variando de média á grossa, estrutura foliada, coesa e sem grau de alteração intempérica. Identificou-se que o plagioclásio possui hábito ripiforme, e frequentemente encontra-se alterado devido ao processo de sericitização.

Durante a classificação dessa amostra não se descartou a hipótese da amostra ser classificada como gnaiss, porém devido a sua composição e organização macroscópica dos minerais levou a ser classificada como de Tonalito. Foi identificada uma grande presença de clorita (10%), essa normalmente orientada em aglomerados associados ao anfibólito e biotita por ser um produto da alteração desses minerais. Também deve ser ressaltada a elevada presença de Sericita (10%), essa é um mineral secundário formado através do intemperização do plagioclásio.

A Figura 6.1 apresenta fotomicrografias da amostra: (a) indicando aspectos gerais da rocha, os minerais verdes são clorita e o anfibólito, os castanhos é a biotita,

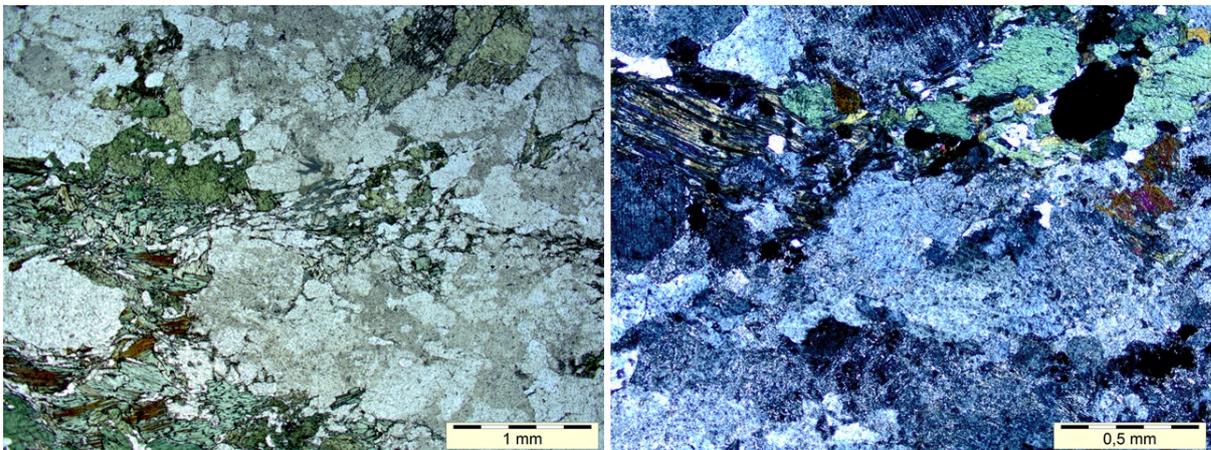
os incolores quartzo e plagioclásio; (b) mesma anterior, porém com nicóis cruzados, na parte inferior é possível ver plagioclásios sofrendo processos de sericitização.

Tabela 6.1 – Composição mineralógica.

Minerais	Vogelsanger	Rio Zoada (Escura)	Rio Zoada (Clara)	Rudnick	Sol Nascente
Quartzo	25%	16%	45%	36%	20%
Plagioclásio	37%	42%	13%	29%	15%
Ortoclásio	<1%	2%	-	-	40%
Anfibólito	8%	27%	-	22%	-
Granada	-	-	38%	-	-
Piroxênio	-	3%	-	7%	-
Biotita	9%	7%	-	4%	20%
Muscovita	-	-	-	-	2%
Clorita	10%	-	-	-	-
Sericita	10%	-	3%	-	-
Apatita	-	-	-	-	1%
Zircão	-	-	<1%	-	<1%
Opacos	1%	3%	1%	2%	<1%
Classificação	Anfibólito-biotita Tonalito	Biotita- Anfibólito Tonalito	Rocha Calciosilicatica	Metatonalito	Biotita Sieno- Granito

Fonte: Autor.

Figura 6.1 – Imagens microscópicas do material da jazida Vogelsanger.



(a)

(b)

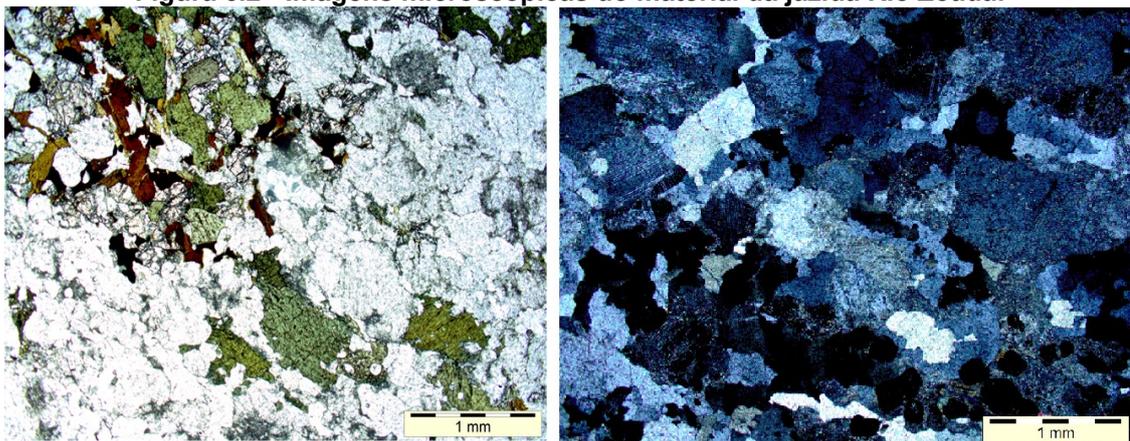
Fonte: Autor.

A jazida Rio Zoada possuía algumas intrusões em seu maciço. Sendo assim, foram analisadas duas amostras, porém a mais representativa tem coloração mais escura. A amostra mais representativa foi classificada como Biotita-Anfibólito Tonalito, com coloração cinza, granulação variando de média á grossa, estrutura maciça, coesa e sem grau de alteração intempérica. Constatou-se que o Plagioclásio existente é comumente alterado pelos processos de seritização, e que a Biotita está associada ao Anfibólito e esta encontra-se cloritizada.

Já a amostra da intrusão foi classificada Rocha Calciosilicatica, com coloração cinza avermelhado, com granulação variando de fina à média. Possui estrutura bandada e coesa. Esta amostra não possui grande representatividade ao estudo, apenas foi verificado que possui elevada percentagem de Granada, esse é um mineral secundário, desse modo é um material em elevado estado de alteração.

A Figura 6.2 apresenta fotomicrografias da amostra: (a) a amostra mais representativa, apresentando sob "luz natural", Anfibólios em verde, Biotitas em castanhos e os Piroxênios são levemente rosados. Os incolores são Quartzo e Feldspato, o aspecto "sujo" dos incolores se da pela alteração da Sericita; (b) a amostra menos representativa, exibindo seritização do Plagioclásio, essa alteração foi verificada preferencialmente nos extremos da lâmina.

Figura 6.2 - Imagens microscópicas do material da jazida Rio Zoada.



(a)

(b)

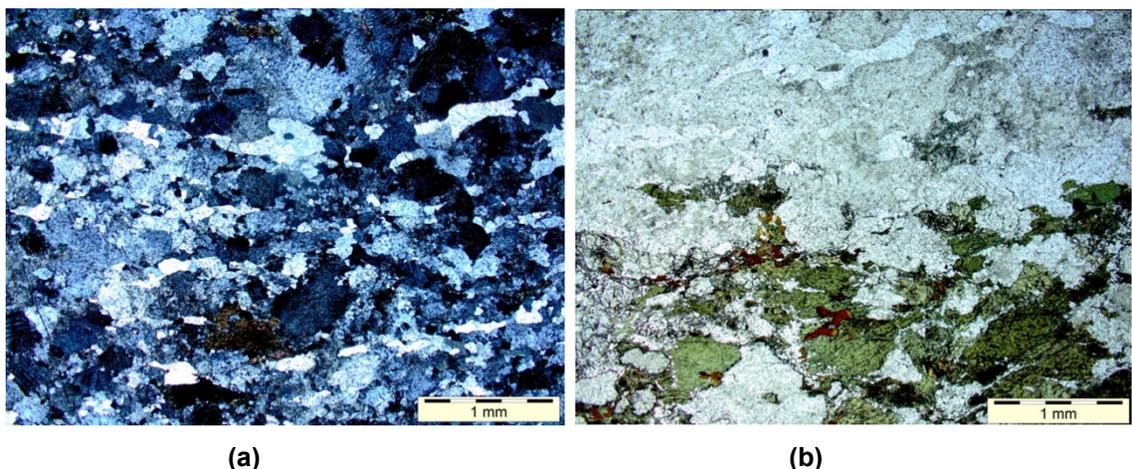
Fonte: Autor.

A amostra da jazida Rudnick foi classificada como Metatonalito, com coloração cinza. Possui granulação variando de fina á média, estrutura foliada, e textura nematoblastica, coesa e sem grau de alteração intempérica. Nesta lâmina contatou-se que o Plagioclásio juntamente com o Quartzo encontra-se na parte félsica da rocha, já o Anfibólito e Piroxênio na parte máfica formando bandas pelo estiramento dos minerais.

A jazida Rudnick , de acordo com a carta SG22 de Curitiba, fornecida pelo CPRM, está localizada em um ponto de transição entre o Granito Piraí e o Complexo Granulítico Santa Catarina. Assim pelas análises foi definido que sua localização refere-se ao Complexo Granulítico Santa Catarina devido a sua descrição macroscópica e composição mineralógica. O material da Rudnick poderia ser classificado como gnaiss devido a sua estrutura bandada, porém em sua mineralogia não apresenta uma significativa percentagem de Feldspato Alcalino, e também possui elevada presença de Anfibólito.

A Figura 6.3 apresenta fotomicrografias da amostra: (a) mostrando a parte clara da rocha, composta essencialmente por Quartzo e Plagioclásio, esporadicamente encontram-se biotitas dispersas; (b) na porção máfica os Anfibólitos apresentam coloração verde e Piroxênios em amarelo claro.

Figura 6.3 - Imagens microscópicas do material da jazida Rudnick.



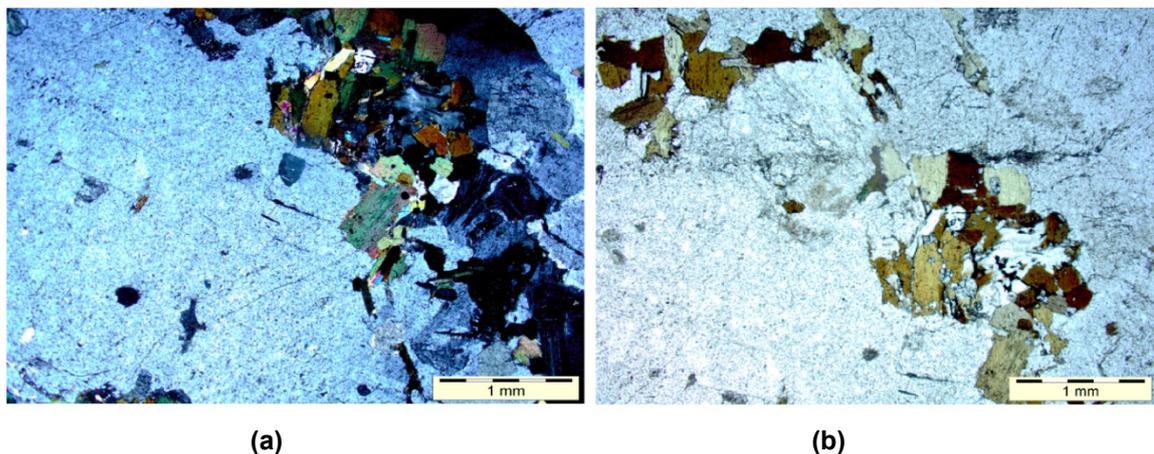
Fonte: Autor.

A jazida Sol Nascente foi classificada através da análise modal de Streckeisen (1967), como Biotita Sieno-Granito, com coloração cinza, granulação

variando de média á grossa, com estrutura maciça, textura porfirítica, coesa e sem grau de alteração intempérica. Sua composição mineralógica apresenta uma elevada presença de Biotita e ausência de minerais secundários. Segundo o mapeamento do CPRM, apresentado no capítulo 3, essa jazida localiza-se na unidade geológica Granito São Francisco do Sul e através da análise em lâmina petrográfica pode-se confirmar esta informação, tendo sido classificada como granito.

A Figura 6.4 apresenta fotomicrografias da amostra: (a) ilustrando um fenocristal de Ortoclásio em matriz composta por Biotita, Quartzo e Plagioclásio, assim caracterizando a textura porfirítica; (b) apresentando aglomerados de Biotita.

Figura 6.4 - Imagens microscópicas do material da jazida Sol Nascente.



Fonte: Autor.

É conveniente ressaltar que a proximidade entre as jazidas Vogelsanger e Rudnick proporciona uma possível semelhança em sua classificação e não se descarta a possibilidade de essas serem gnaisses. Entretanto pela composição mineralógica analisada através das lâminas essas foram classificadas como Tonalitos. Já a jazida Rio Zoada tem aspectos mais indicativos de granitoides, porém todas as três jazidas estão localizadas no Complexo Granulítico Santa Catarina.

Os resultados apresentados neste trabalho são referentes á amostras ensaiadas, logo não se pode estender essa composição mineralógica a todo o maciço, pois os materiais naturais normalmente apresentam heterogeneidade em sua composição. No entanto, as composições mineralógicas obtidas podem fornecer

indicativos a serem correlacionados ao comportamento físico e químico averiguado nos ensaios de desgaste por abrasão Los Angeles, durabilidade ao ataque químico e adesividade ao ligante betuminoso.

6.3. RESULTADOS DO DESGASTE POR ABRASÃO LOS ANGELES

Para a obtenção dos resultados de desgaste por abrasão Los Angeles são considerados os agregados retidos nas peneiras 12,7 mm, 9,5 mm e 1,7 mm. A Figura 6.5 apresenta o material rochoso antes e depois do ensaio.

Figura 6.5 – Amostras do ensaio de desgaste por abrasão Los Angeles: (a) antes; (b) depois.



Fonte: Autor.

Assim através de uma relação entre a massa inicial e a massa final é obtido o índice de desgaste por abrasão Los Angeles. Os resultados deste ensaio são apresentados na Tabela 6.2

Tabela 6.2 – Resultado do ensaio de desgaste por abrasão Los Angeles.

Jazida	2015 (Autor)	2015 (MEURER, 2015)
	Desgaste por Abrasão Los Angeles (%)	Desgaste por Abrasão Los Angeles (%)
Vogelsanger	12,54	13,70
Rio Zoadá	13,85	13,70
Rudnick	13,92	14,20
Sol Nascente	20,76	21,00

Todas as jazidas de estudo apresentam resultados adequados para a aplicação em obras de pavimentação, pois de acordo com Bernucci *et al.* (2006), os limites aceitáveis estão entre 40 e 55% .

A jazida Sol Nascente possui o maior índice de desgaste, isto pode ser relacionado à grande presença de Biotita (20%) em sua composição mineralógica, pois esta é um mineral que possui baixa dureza, aproximadamente 3, e devido a sua forma lamelar possui maior facilidade de desagregação quando submetida a choque mecânico. Também pode-se atribuir o seu elevado desgaste a pequena presença de Quartzo, pois este possui aproximadamente 7 na escala Mohs (OLIVEIRA *et al.*, 2002); (MACHADO, Sd); (PUC – CAMPINAS, 2012).

A variação dos valores obtidos entre as demais jazidas é pequena, devido ao fato de estarem localizadas em regiões com formações geológicas similares. Desse modo geral, todas apresentaram uma boa quantidade de Quartzo e esse possui elevada dureza (OLIVEIRA *et al.*, 2002).

Realizando um comparativo entre os valores obtidos em uma pesquisa anterior e os valores atuais, não existe uma grande variação nos resultados, logo pode-se considerar que existe uma pouca variação desta propriedade mecânica em todo o maciço.

6.4. RESULTADOS DA RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO (DURABILIDADE)

Após cinco ciclos de ensaio, a percentagem de perda do material devido ao ataque químico é obtida através da relação entre os pesos antes e posterior ao ensaio retidos acima da peneira 9,5mm. A Tabela 6.3 apresenta os resultados obtidos no ensaio de durabilidade.

Segundo Bernucci *et al.* (2006), para a utilização como material para pavimentação é definido um limite de 12% de perda por ataque químico. Desse modo todas as jazidas de estudo se enquadram na faixa de perda aceitáveis.

Tabela 6.3 – Resultados do ensaio de durabilidade.

Jazida	2015 (Autor)		2015 (MEURER, 2015)	
	Perda (%)	Análise Qualitativa	Perda (%)	Análise Qualitativa
Vogelsanger	1,95	Houve quebra em partículas lamelares	7,11	Houve quebra em partículas lamelares
Rio Zoada	0,93	Não houve quebra	2,3	Não houve quebra
Rudnick	0,84	Não houve quebra	2,71	Não houve quebra
Sol Nascente	0,62	Não houve quebra	1,65	Não houve quebra

Fonte: Autor; MEURER, 2015.

A jazida Vogelsanger apresentou o maior índice de perda, isso pode ser relacionado com a grande presença de Clorita (10%) em sua composição, que é um mineral secundário que pode advir de alterações da Biotita. No qual a Biotita é um mineral com formato lamelar e possui características de expansividade, assim quando submetida à presença da água durante os períodos de imersão, esta tem favorecido o desgaste químico. Também a elevada presença de Sericita (10%) evidencia a ação do intemperismo nos Plagioclásios existentes, o que contribui ainda mais para o desgaste através da solução de sulfato de sódio. Isso pode ser confirmado devido à fragilidade do material após o ensaio de sanidade, sendo que está foi a única jazida que apresentou quebra das partículas quando essas submetidas a pressão dos dedos (OLIVEIRA *et al.*, 2002).

O pequeno desgaste sofrido pelo material da jazida Sol Nascente pode ser atribuído à presença de poucos minerais secundários em sua composição. A Biotita presente no material mostra-se mais preservada e conseqüentemente o material rochoso é menos suscetível aos ciclos e imersão e secagem. Também pela elevada presença de Ortoclásios que possui melhor resistência ao intemperismo que os Plagioclásios, o que propiciou uma menor perda por ataque químico durante a realização do ensaio (OLIVEIRA *et al.*, 2002; MACHADO, Sd).

Comparando os resultados na pesquisa anterior e os atuais, é evidente uma significativa redução na perda por ataque químico, isso é possivelmente explicado através do posicionamento da frente de lavra. Em razão de que quanto mais se avança em uma mesma direção de extração tem-se normalmente um material mais próximo ao núcleo são do maciço, desse modo o mesmo apresenta melhor organização cristalina e menor exposição ao intemperismo.

Também deve-se considerar que o maciço rochoso é uma material heterogêneo, desse modo, não pode-se afirmar que os valores obtidos no ensaio sejam aplicados a todo o maciço, pois a presença de diferentes minerais na composição da amostra pode alterar os valores de durabilidade.

6.5. RESULTADOS DO ÍNDICE DE FORMA

Os resultados obtidos no ensaio de índice de forma são uma análise geral dos formatos produzido durante o processo de britagem. Logo este ensaio fornece uma relação entre os eixos multidirecionais dos agregados e então analisar a média das 100 partículas selecionadas e o desvio padrão obtido. A Tabela 6.4 apresenta os resultados de índice de forma das jazidas de estudo.

Tabela 6.4 – Resultados de índice de forma.

Jazidas	Vogelsanger		Rio Zoada		Rudnick		Sol Nascente	
	Média	D. Padrão	Média	D. Padrão	Média	D. Padrão	Média	D. Padrão
Granulometria (mm)								
19,1 - 12,7	0,71	0,15	0,71	0,15	0,69	0,18	1,00	0,18
12,7 - 9,50	0,66	0,35	0,70	0,35	0,70	0,17	1,04	0,21
Média	0,68	0,25	0,70	0,25	0,70	0,18	1,02	0,20

Fonte: MEURER, (2015).

A forma dos agregados pode variar de cúbica a lamelar, sendo que seus índices de forma variam entre 1 e 0,5 respectivamente (ABNT NBR 6954/1989). Para a aplicação em pavimentação os agregados com morfologias mais cúbicas apresentam melhor intertravamento nas mistura, entretanto também deve-se analisar a relação de entre os índices de forma das frações utilizadas, ou seja, é preferível a utilização de frações com formatos similares (BERNUCCI *et al.*, 2006).

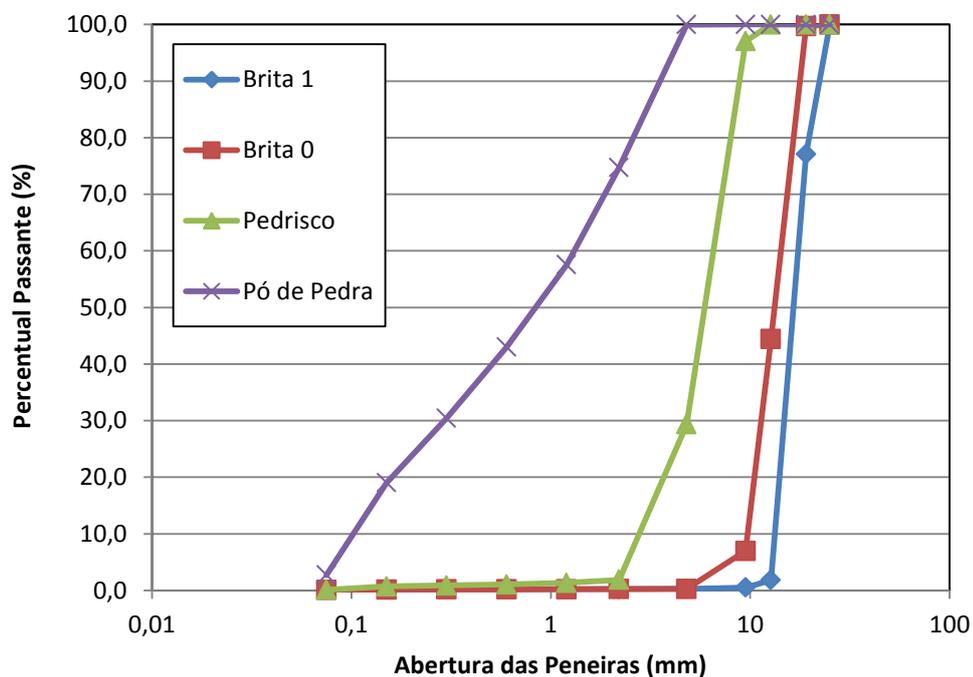
Os resultados evidenciam que todas as jazidas apresentam bons procedimentos de britagem, uma vez que os valores obtidos não apresentam grande discrepância. No entanto o melhor desempenho é observado na jazida Sol Nascente já que as médias obtidas são as mais próximas ao formato cúbico e também desvios

padrão baixos. No entanto para se obter uma melhor cubicidade dos agregados produzidos, pode-se adotar maiores ângulos de abertura da mandíbula do britador primário ou a britagem de menores quantidades no britador terciário para que seja mais efetiva o choque entre as partículas e por consequência essas se fragmentem em seus eixos de menor espessura.

6.6. RESULTADOS DA GRANULOMETRIA

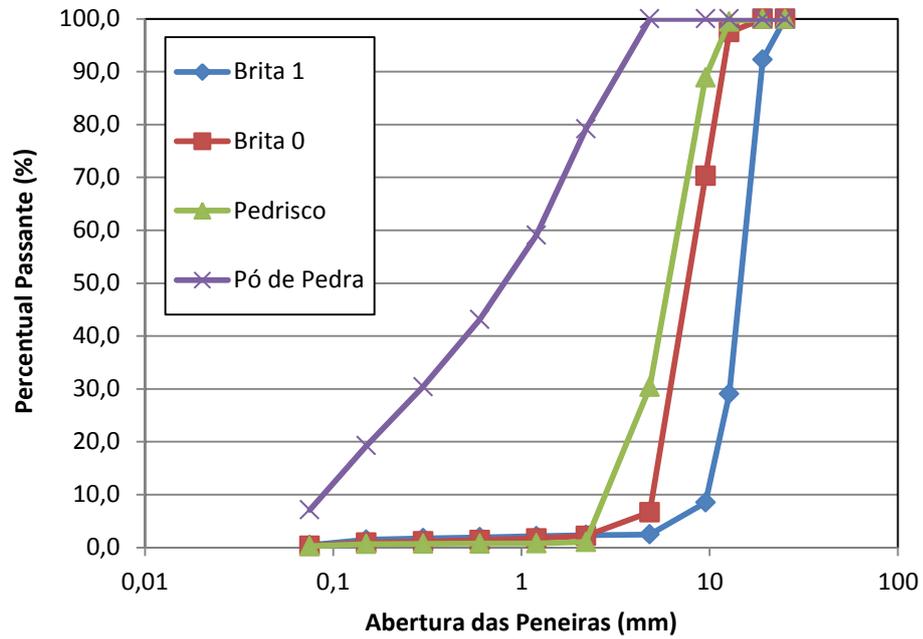
A partir do ensaio de granulometria foram obtidos os gráficos de granulometria das diferentes frações comercializadas nas jazidas de estudo. Esse ensaio foi realizado a partir das frações fornecidas pelas jazidas, em virtude disso não serão apresentados os resultados de granulometria das jazidas Rudnick e Sol Nascente. As Figuras 6.6 a 6.9 apresentam os gráficos de granulometria.

Figura 6.6 – Gráfico de granulometria de jazida Vogelsanger.



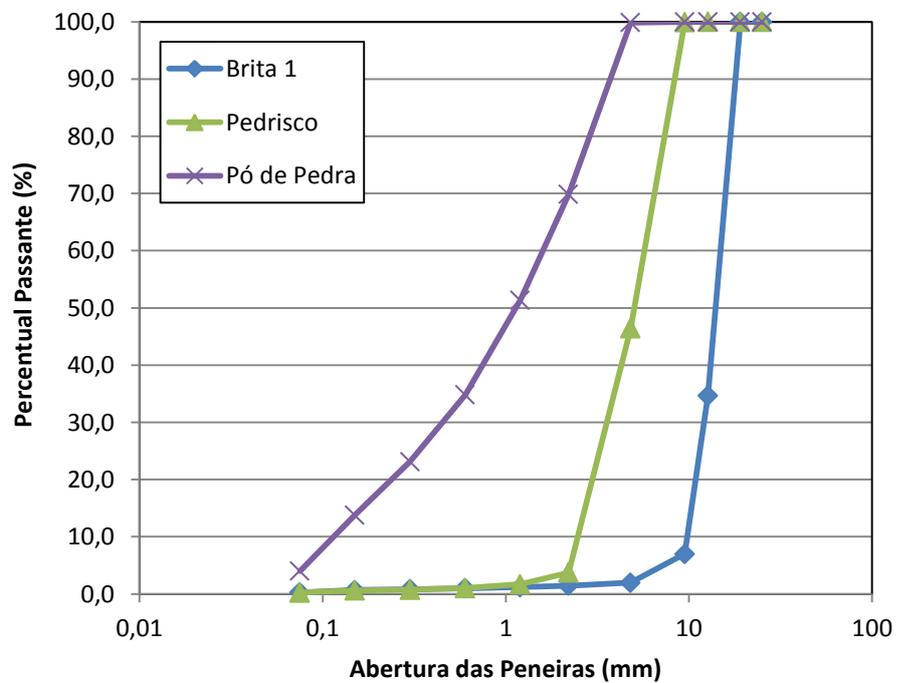
Fonte: Autor.

Figura 6.7 – Gráfico de granulometria de jazida Rio Zoada.



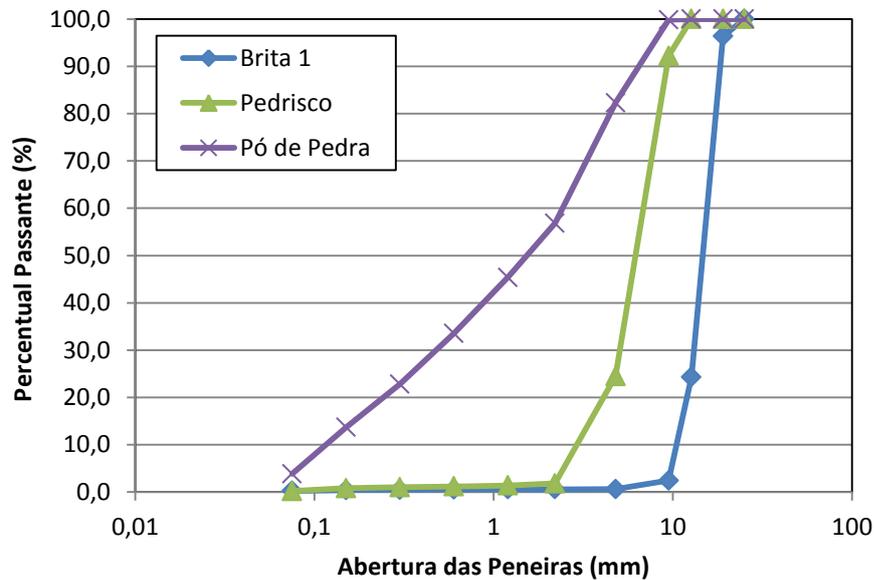
Fonte: Autor.

Figura 6.8 – Gráfico de granulometria de jazida Rudnick.



Fonte: Autor.

Figura 6.9 – Gráfico de granulometria de jazida Sol Nascente.



Fonte: Autor.

Ao analisar o comportamento das curvas granulométricas de brita 1 em todas as jazidas foi identificada uma distribuição granulométrica tendente a uniforme, nas quais mais de 60% da amostra ficou retida na peneira com a malha de 12,7 mm. Este comportamento é evidenciado pela elevada inclinação das curvas. Entretanto o percentual de finos é bem reduzido, logo essa curva também é classificada como aberta.

De acordo com a DNER – ME 083/98 o diâmetro máximo dos agregados é definido como a peneira que possui percentual retido superior a 5%. Desse modo, pode-se constatar que as jazidas Vogelsanger e Rio Zoada possuem o diâmetro máximo, dessa fração, como 19,1 mm. Já as jazidas Rudnick e Sol Nascente apresentam diâmetro máximo como 12,7 mm. Essa variação pode ser relacionada a necessidades comerciais de cada empresa, que através do ajuste do ângulo de abertura da mandíbula do britador primário proporciona a produção de partículas de menores dimensões. Quanto maior o ângulo de abertura menor serão as partículas produzidas.

As granulometrias da brita 0 e do pedrisco também são classificados como uniformes e abertas, devido a estas possuírem um comportamento similar as curvas de brita 1. Entretanto é identificado que o material possui distribuição um pouco mais

continua e dimensões menores. Os diâmetros máximos obtidos para a fração de pedrisco foi de 4,8 mm para as jazidas Vogelsanger e Rudnick e 9,5 para as jazidas Rio Zoada e Sol Nascente. Já na fração de brita 0 os diâmetros máximos nas duas jazidas foram de 12,7 mm.

As curvas granulométricas de pó de pedra apresentam uma distribuição mais próxima da classificação densa ou bem graduada, ou seja, os vazios entre as partículas maiores são gradualmente preenchidos pelas partículas com menores dimensões. O diâmetro máximo dessa fração foi identificado como sendo da ordem de 2,2 mm para as jazidas Vogelsanger, Rio Zoada e Rudnick. Apenas a jazida Sol Nascente apresentou o diâmetro máximo com 4,8 mm.

Através da averiguação das granulometrias de todas as frações comercializadas pode-se identificar que as curvas apresentam classificações similares, entretanto é evidente a existência de heterogeneidade nas suas composições, o que proporciona em uma grande incerteza durante a composição da curva granulométrica de mistura asfáltica pelo método de tentativas.

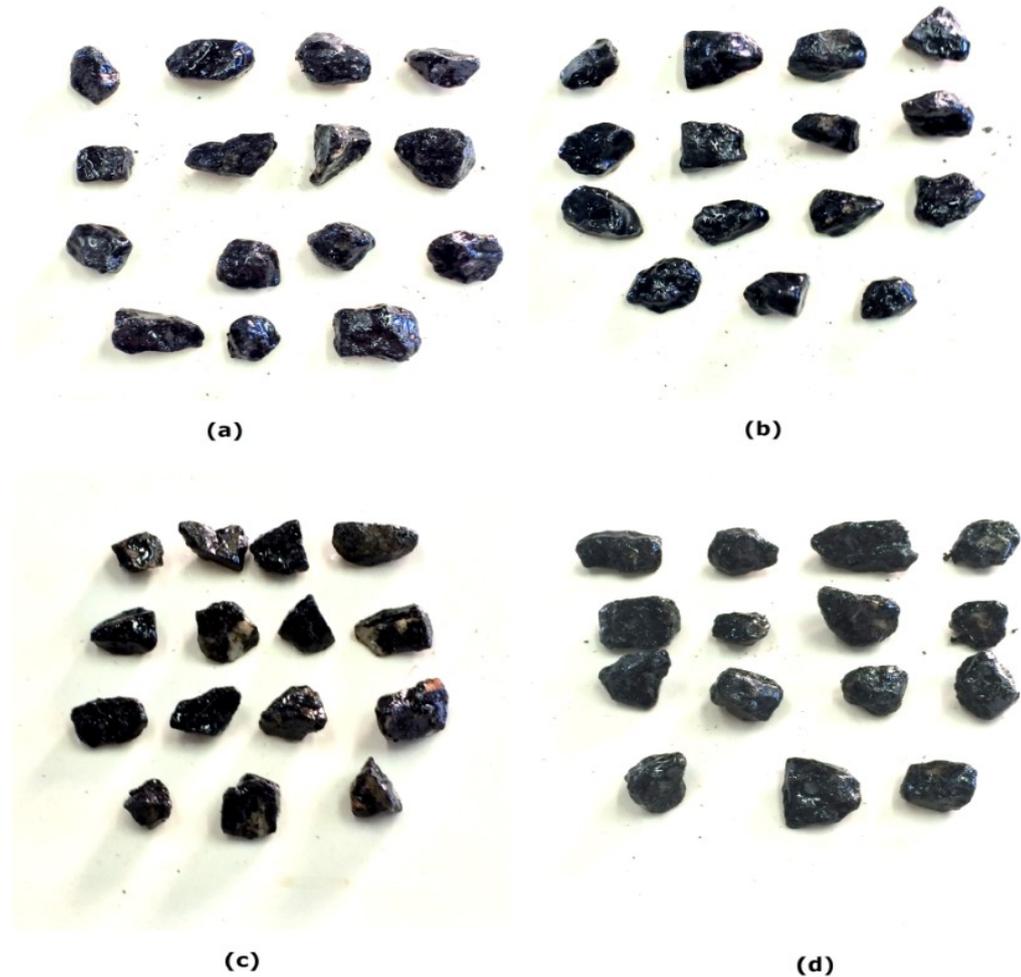
6.7. RESULTADOS DA ADESIVIDADE AO LIGANTE BETUMINOSO

O ensaio de adesividade proporcionou um resultado insatisfatório, ou seja, houve o descolamento da película betuminosa nas amostras de todas as jazidas de estudo. A Figura 6.10 ilustra as amostras após o descolamento da película.

Desse modo foi necessário à realização do ensaio com a adição de dope, esse é um aditivo químico que favorece a aderência entre a película e o agregado, foram utilizadas 0,5 % Betudope TB100 da Ipiranga Asfalto.

Após a utilização do dope foi obtido um resultado satisfatório, não havendo descolamento da película betuminosa em nenhuma partícula do agregado. Esse comportamento já era esperado, devido à eletronegatividade das rochas graníticas e gnáissicas, em razão de existirem citações de diversos autores, como Bernucci *et al.* (2006) e Baptista, (1976), que obtiveram as mesmas conclusões.

Figura 6.10 – Amostras de adesividade após o descolamento da película betuminosa: (a) Vogelsanger; (b) Rio Zoada; (c) Rudnick; (d) Sol Nascente.



Fonte: Autor.

O ensaio de lâmina petrográfica corroborou para a verificação da causa da má adesividade dos granitos e gnaisses ao ligante asfáltico. Isto ocorre devido a estas rochas possuírem percentual apreciável de Quartzo, conforme apresentado na Tabela 6.1, que provém da cristalização do Dióxido de Silício (SiO_2) sendo um composto químico formado sobretudo por cargas elétricas negativas (PUC – CAMPINAS, 2012).

Segundo Teixeira *et al.* (2000), as rochas formadas a partir de magma granítico possuem em média até 72,08 % de SiO_2 . No entanto esses valores variam bastante, assim para verificar a real percentagem de SiO_2 deve ser realizado o

ensaio de fluorescência de Raio-X. Esta análise pode ser contemplada em pesquisas futuras e relacionada com os resultados deste trabalho.

Em razão dos ligantes asfálticos apresentarem grande percentagem de Carbono em sua composição, possuem também carga elétrica negativa, propiciando má adesividade do sistema agregado-betume. Entretanto, a aplicação de um aditivo melhorador de adesividade altera a carga elétrica do ligante betuminoso, acarretando a formação de um dipolo que favorece a adesividade, e conseqüentemente obtém-se uma boa atração elétrica entre os componentes (PUC – CAMPINAS, 2012).

6.8. RESULTADOS DE MASSA ESPECÍFICA REAL E APARENTE

As massas específicas são propriedades específicas de cada material, e por serem os agregados materiais naturais, este parâmetro pode variar de acordo com a composição mineralógica. Os valores de massas específicas reais e aparentes determinados neste estudo estão apresentados na Tabela 6.5

Tabela 6.5 – Resultados de massa específica real e aparente.

Massa Específica						
Jazida	Amostra	Aparente	Real	Absorção	Chapman	Le Chatelier
Vogelsanger	1	2,808	2,838	0,38	2,817	2,857
	2	2,809	2,849	0,50	2,808	2,830
	Média	2,808	2,844	0,44	2,812	2,844
Rio Zoada	1	2,777	2,803	0,34	2,835	2,871
	2	2,777	2,805	0,36	2,841	2,885
	Média	2,777	2,804	0,35	2,838	2,878
Rudnick	1	2,715	2,747	0,42	2,720	2,765
	2	2,685	2,714	0,40	2,718	2,752
	Média	2,700	2,731	0,41	2,719	2,759
Sol Nascente	1	2,718	2,759	0,54	2,777	2,790
	2	2,713	2,757	0,58	2,771	2,804
	Média	2,716	2,758	0,56	2,774	2,797

Fonte: Autor.

Pode-se averiguar de os valores de massas específicas não possuem grandes discrepâncias entre as jazidas de estudo, visto que se encontram praticamente sobre as mesmas unidades geológicas, como já foi apresentado no Capítulo 3.

Também é importante constatar que a massa específica dos materiais sofre um acréscimo em relação à diminuição do tamanho da partícula, ou seja, quanto menores são as partículas da amostra (material mais fino) maior será o valor de sua massa específica. Exceto na jazida Vogelsanger e Rudnick que apresentaram uma massa específica real a partir do frasco Chapman menor ou muito próxima dos valores que a massa específica real do material graúdo. Isto pode ser relacionado à granulometria dos materiais, pois estas duas jazidas possuem maior percentagem de material concentrado nas peneiras 2,2 e 1,2 mm, enquanto as jazidas Rio Zoada e Fortunato possuem seu percentual de material mais bem distribuído entre as frações mais finas.

6.9. RESULTADOS DE MASSA UNITÁRIA

A massa unitária de uma fração de agregados é uma estimativa do comportamento de acomodação das partículas sem a ação de compactação. Logo este parâmetro é predominantemente influenciado pela forma dos agregados. A Tabela 6.6 apresenta os dados obtidos durante a execução do ensaio de massa unitária.

A relação entre a massa unitária e o tamanho das partículas é inversamente proporcional, ou seja, quanto maior o tamanho das partículas maior será os vazios existentes entre os agregados e por consequência menor será a densidade solta seca.

Tabela 6.6 – Resultados de massa unitária (Densidade Solta Seca).

Massa Unitária		
Jazida	Amostra	Média
Vogelsanger	Brita 1	1,444
	Brita0	1,452
	Pedrisco	1,562
	Pó de Pedra	1,800
Rio Zoadá	Brita 1	1,510
	Brita 0	1,514
	Pedrisco	1,650
	Pó de Pedra	1,814
Rudnick	Brita 1	1,510
	Pedrisco	1,654
	Pó de Pedra	1,827
Sol Nascente	Brita 1	1,465
	Pedrisco	1,608
	Pó de Pedra	1,753

Fonte: Autor.

Desse modo a composição granulométrica e o formato das partículas também influenciam nos valores obtidos, devido ao fato de o preenchimento gradual dos vazios proporcionar um material mais denso. Esse parâmetro é muito utilizado para a estimativa do comportamento do material a ser carregado em caminhões basculante. Assim é possível a estimativa do volume transportado apenas relacionando o peso da carga com a massa unitária do agregado.

7. CONCLUSÃO

7.1. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Ao término deste trabalho pode-se concluir que a região de estudo possui uma formação geológica favorável para a produção de agregados pétreos para a pavimentação. Também apresenta empresas com capacidade adequada para suprir as demandas de produção mineral para abastecer as obras de desenvolvimento rodoviário em seu entorno.

Todas as quatro jazidas estudadas possuem materiais com parâmetros físicos enquadrados nos limites normativos para a aplicação em pavimentação, ou seja, desgaste por abrasão Los Angeles inferior a 50% e durabilidade menor que 12%. Este comportamento já era esperado devido às cartas geológicas da região evidenciaram que a formação é predominantemente composta por granitos e gnaisses, os quais possuem elevada resistência mecânica e boa resistência ao intemperismo. Estes fatores foram confirmados a partir da descrição mineralógica obtida no ensaio de lâmina petrográfica.

Também foi confirmada a deficiência de adesividade ao ligante betuminoso com rochas graníticas e gnáissicas, confirmando a tendência de má atração elétrica com a matriz convencional de ligantes betuminosos, devido ao fato de serem rochas com elevado percentual de Dióxido de Silício (SiO_2), detentor de carga elétrica predominantemente negativa. Entretanto, é comum a utilização de melhorador de adesividade (dope) para fornecer uma adesividade satisfatória em condições cotidianas de campo.

Os resultados de índice de forma indicaram que existem bons processos de britagem na região e que, de modo geral, os materiais fornecidos apresentam formas similares entre as frações analisadas. No entanto, alguns ajustes podem ser realizados para proporcionar materiais com formato mais subangular, como por exemplo, a utilização de processos de rebritagem secundária e terciária para favorecer a quebra de partículas mais lamelares ou a adequação do ângulo de abertura do britador primário.

Os demais parâmetros analisados neste estudo não apresentam caráter avaliativo para a aplicação em pavimentação e sim características auxiliares para a

realização da dosagem de misturas asfálticas, por exemplo, a curva granulométrica para compor o esqueleto mineral da mistura e as densidades reais para o cálculo da DMT. Também auxiliam no cálculo dos custos de transporte como a massa unitária solta seca. Logo, não se tem valores que limitam sua aplicação, sendo apenas informações que contribuem para a caracterização os agregados.

A Tabela 7.1 apresenta um resumo dos principais diretrizes de caracterização para a aplicação em obras de pavimentação e seus respectivos limites de aceitação.

Tabela 7.1 – Resumos dos parâmetros de caracterização e seus limites de aceitação.

Parâmetros	Limite	Vogelsanger	Rio Zoada	Rudnick	Sol Nascente
Desgaste por abrasão Los Angeles	< 50% ***	12,54*	13,85*	13,92*	20,76*
Resistência ao ataque químico	< 12% ***	1,95*	0,93*	0,84*	0,62*
Adesividade ao ligante betuminoso	Satisfatório***	Apresentou resultado insatisfatório de adesividade. Entretanto com a utilização de 0,5% de melhorador de adesividade (Dope) foi obtido um resultado satisfatório			
Índice de forma	Desejável próximo a 1***	Média: 0,68**	Média: 0,70**	Média: 0,70**	Média: 1,02**
		D. Padrão: 0,25**	D. Padrão: 0,25**	D. Padrão: 0,18**	D. Padrão: 0,20**

Fonte: *Autor; **MEURER (2015); ***DNIT 031/2006.

A caracterização executada nesse estudo teve como objetivo averiguar as ocorrências rochosas e não estabelecer classificatoriamente qual jazida é mais qualificada para utilização em serviços de pavimentação. Diante de todos os resultados obtidos, é evidente que as empresas atuantes no setor de produção de agregados para a pavimentação na região metropolitana de Joinville são detentoras de jazidas com elevada capacidade de fornecimento de materiais pétreos de boa qualidade.

Desse modo, são recomendados para futuras pesquisas as seguintes abordagens:

- Analisar o comportamento mecânico dos materiais rochosos, da região de estudo, em misturas asfálticas. Assim, seria possível complementar os

estudos de caracterização apresentados neste trabalho, e tentar estabelecer relações entre os parâmetros de qualificação e dosagem do esqueleto mineral e o comportamento à deformação e à fadiga das misturas asfálticas formuladas;

- Executar estudos relacionados à fluorescência de Raio-X, a fim de verificar o percentual acurado de Dióxido de Silício (SiO_2) das ocorrências estudadas;
- Realizar análises com microscopia de varredura, para ampliação dos estudos referentes à macro e microtextura das partículas de agregados produzidas nos processos de britagem.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 6954, (1989). **Lastro Padrão – Determinação da Forma do Material**.
- ALMEIDA, de M. L. S.; LUZ, da B. A., (2009). **Manual de Agregados para a Construção Civil**. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral / MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. Rio de Janeiro – BR. Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/files/docs/livros/2009/Manual%20de%20Agregados%20-1a%20Edicao\(Adao%20e%20Salvador\).pdf](http://www.cetem.gov.br/files/docs/livros/2009/Manual%20de%20Agregados%20-1a%20Edicao(Adao%20e%20Salvador).pdf)> . Acesso em: 2 de Jun. de 2015
- ANEPAC – Associação Nacional de Entidades de Produtores de Agregados para a Construção Civil. (2010). **Informe Estatístico**. Disponível em: <<http://anepac.org.br/wp/mercado/informe-estatistico/>>. Acesso em: 11 de Ago. de 2015.
- AWDZIEJ, J.; PORCHER, C. A.; SILVA, L. C. da; **Mapa geológico do estado de Santa Catarina**. Florianópolis: DNPM/CRM-SECTME/SC, 1986. Mapa color. 90 cm x 120 cm. Escala 1:500.000
- BAPTISTA, C.N.; (1976). **Pavimentação**. Editado por Globo. 2º Edição. Porto Alegre – RS.
- BARTHOLOMEU, B. D.; CAIXETA, F.V.J.; (2008). **Impactos Econômicos e Ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras: um estudo de caso**. Revista de Economia e Sociologia Rural. Vol 46. Nº 3. Brasília – DF. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032008000300006>> . Acesso em: 25 de Maide 2015.
- BEM, S.S. do, (2006). **Instalações de Britagem, Condições de Trabalho e de Processo: Uma abordagem de Saúde e Segurança**. Dissertação de mestrado apresentada a Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/8595>>. Acesso em: 24 de Ago. de 2015
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. da; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B.; (2006). **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenharia**. Petrobras. Rio de Janeiro
- BROCHADO, L. M.M.; (2014). **Estudo da Viabilidade do Asfalto Pré-misturado a Frio Rodovias de Médio e Baixo Tráfego**. Monografia apresentada ao Centro Universitário de Brasília (UnICEUB). Disponível em: <http://repositorio.uniceub.br/bitstream/235/6383/1/20968850.pdf> >. Acesso em: 25 de Maio de 2015.
- BRITANITE, (2012). **Guia de Utilização de Produtos**. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/101332053/BRITANITE-PRODUTOS>> . Acesso em: 18 de ago. de 2015.
- CAPUTO, H. P., (1966). **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**. Volume II. Editado por Ao Livro Técnico S.A. Rio de Janeiro.
- CNT – Confederação Nacional de Transportes, (2012). **Pesquisas**. Disponível em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/edicoes.aspx?origem=1>>. Acesso em: 25 de Set. de 2015.
- COUTINHO, M. de M., (2013). **Uso de Medidas Biológicas na Mitigação dos Impactos Ambientais da Mineração de Brita no Estado de RJ**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Monografia Apresentada no curso de Engenharia Florestal. Seropédica. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/if/lmbh/pdf/mono_disset_tese/mono_disset_tese65.pdf>. Acesso em: 11 de Ago. de 2015.

- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, (2003a). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=790&sid=9>>. Acesso em: 2 de Jun. de 2015
- _____, (2003b). **Geobank – Download**. SG. 22 – Curitiba. Disponível em: <<http://geobank.sa.cprm.gov.br>>. Acesso em: 2 de Jun. de 2015.
- _____, (2003c). **Geobank – Litoestratigrafia (Complexo Granulítico de Santa Catarina)**. Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/pls/publico/litoestratigrafia.litoestratigrafia.CADASTRO?p_COD_UNIDADE_ESTRAT=1808&p_webmap=N>. Acesso em: 2 de Jun. de 2015
- _____, (2003). **Geobank – Litoestratigrafia (Granito Pirai)**. Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/pls/publico/litoestratigrafia.litoestratigrafia.cadastro?p_COD_UNIDADE_ESTRAT=2679&p_webmap=N> Acesso em: 2 de Jun. de 2015.
- _____, (2003). **Geobank – Litoestratigrafia (Granito São Francisco do Sul)**. Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/pls/publico/litoestratigrafia.litoestratigrafia.cadastro?p_COD_UNIDADE_ESTRAT=2884&p_webmap=N> . Acesso em: 2 de Jun. de 2015
- _____, (2010). **Mapa de Geodiversidade do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis – SC. Escala 1:500.000.
- CUNHA, L.E.O., (2013). **Estudo de Plano de Fogo para Otimização dos Custos de Transporte e Britagem**. Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF. Juiz de Fora. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/engenhariacivil/files/2012/10/Trabalho-Final-de-Curso.pdf>>. Acesso em: 24 de Ago. de 2015.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, (1994a). DNER- ME 006/94. **Materiais Rochosos usados em Rodovias – Análise Petrográfica**.
- _____, (1994b). DNER- ME 079/94. **Agregados – Adesividade ao Ligante Betuminoso**.
- _____, (1994c). DNER- ME 086/94. **Agregados – Determinação do Índice de Forma**
- _____, (1994d). DNER- ME 089/94. **Agregados – Avaliação da Durabilidade pelo emprego de soluções de Sulfato de Sódio ou de Magnésio**.
- _____, (1995a). DNER- ME 084/95. **Agregado Miúdo – Determinação de Densidade Real**.
- _____, (1995b). DNER- ME 085/95. **Material Finamente Pulverizado – Determinação da Massa Específica Real**.
- _____, (1995c). DNER- ME 152/95. **Agregados – Determinação da Massa Unitária**.
- _____, (1996a). DNER- ME 199/96. **Redução de amostras de campo de agregados para ensaio de laboratório**.
- _____, (1998a). DNER- ME 035/98. **Agregados – Determinação de Abrasão “Los Angeles”**.
- _____, (1998b). DNER- ME 081/98. **Agregados – Determinação da Absorção e da Densidade de Agregado Graúdo**.
- _____, (1998c). DNER- ME 083/98. **Agregados – Análise Granulométrica**.

- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2006). DNIT 031/2006 – ES. **Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificações de Serviço.**
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. (2002). **Normas Regulamentadoras de Mineração – Operações com Explosivos e Acessórios.** Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/101332053/BRITANITE-PRODUTOS>>. Acesso em: 18 de ago. de 2015.
- DUARTE, G. W., (2013). **Plano de Fogo.** Cachoeira de Itapemirim – ES. Disponível em: <<http://sindirochas.com/wp-content/uploads/2013/10/plano-de-fogo.pdf>> Acesso em: 18 de ago. de 2015.
- FRAENKEL, B.B.; (1980). **Engenharia Rodoviária.** Editado por Guanabara Dois S. A. . Rio de Janeiro – RJ.
- HEIDEMANN, M. (2015). **Estudo dos solos de uma encosta instável em São José – SC: Intemperismo e comportamento geotécnico.** Tese de doutorado apresentada á Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- HENNIES, W. T.; STELLIN J. A.; LAUAND, C. T.; CORTÉS, G. R., (2005). **Pedras e Pedreiras: Fundamentos.** Editado por Brasil Mineral (São Paulo), São Paulo.
- HERRMANN, C., (1972). **Manual de Perfuração de Rocha.** Editado por Polígono. São Paulo.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, (Sd). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/principal.shtm>> . Acesso em: 2 de Jun. de 2015
- JUSBRASIL, (2010). **Santa Catarina terá oito regiões metropolitanas.** Disponível em: <<http://al-sc.jusbrasil.com.br/noticias/2039276/santa-catarina-tera-oito-regioes-metropolitanas>>. Acesso em: 25 de Maio de 2015.
- LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M., (2004). **Tratamento de Minérios.** Capítulo 4 – Cominuição. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2004-182-00.pdf>>. Acesso em: 24 de Ago. de 2015.
- MACHADO, F.B., (sd). **Banco de Dados – Museu “ Heinz Ebert”.** Universidade Estadual Paulista – São Paulo – S.P. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/index.html>> . Acesso em: 2 de Nov. de 2015.
- MARTINS, S. M. M. C., (2008). **Utilização de Rejeito Oriundo do Corte de Rochas Ornamentais como Agregado Mineral em Pavimentação Asfáltica.** UERJ – Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_XVI_jic_2008/Catarina%20Magnani%20Moreira%20Saint%20Martin.pdf> . Acesso em: 2 de Jun. de 2015.
- MEURER, P., (2014). **Aspectos Geológicos do Estado de Santa Catarina e suas Aplicabilidades no Estudo dos Materiais utilizados na Pavimentação.** Projeto de Extensão. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Joinville. Joinville – SC.
- MEURER, P., (2015). **Caracterização de Materiais Rochosos do Norte do Estado de Santa Catarina para fins de aplicação em Obras de Pavimentação.** Artigo publicado no 44^a RAPv (Reunião Anual de Pavimentação) / 18^o ENACOR (Encontro Nacional de Conservação Rodoviária), Foz do Iguaçu.
- OLIVEIRA, C. de; ARAÚJO, A. P.; MAZUR, N. (2002). **Fundamentos da Ciência do Solo - Roteiro de Aulas.** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Instituto de Agronomia –

- Departamento de Solos. Seropédica – RJ. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/ia/ds/IA321.pdf>>. Acesso em: 01 de Nov. de 2015.
- PRESS, F.; SILVER, R., GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H., (2006). **Para Entender a Terra**. Editado por Bookman. 4ª Edição. Rio Grande do Sul.
- PUC – CAMPINAS, (2012). **Mineralogia – Material de Apoio**. Pontífica Universidade Católica de Campinas.
- QUARESMA, L. F., (2009). **Agregado para a Construção Civil**. Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia. Ministério de Minas e Energia –MME. Disponível: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P22_RT30_Perfil_de_brita_para_construcao_civil.pdf/01c75ac7-ecd2-4d85-a127-3ecddecb2a31>. Acesso em: 11 de Ago. de 2015.
- RICARDO, H. de S.; CATALINI, G., (2007). **Manual Prático de Escavação – Terraplenagem e Escavação de Rocha**. Editado por Pini Ltda. 3ª Edição. São Paulo – SP.
- ROBERT, F.L.; KANDHAL, P.S.; BROWN, E. R.; LEE, D-Y.; KENNEDY, T. W., (1996). **Hot mix asphalt materials, mixture desing and constructions**. 2 ed. Lanham, Maryland: Napa Research and Education Fundation.
- SCHEIBE, L. F. (1986). **A Geologia de Santa Catarina – Sinopse Provisória**. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Departamento de Geociências. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/viewFile/12542/11811>> . Acesso em: 2 de Jun. de 2015
- SERNA, L. de A. H.; REZENDE, M. M., (2009). **Agregados para a Construção Civil**. ANEPAC- Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a Construção Civil. Disponível em: <<http://anepac.org.br/wp/wp-content/uploads/2011/07/DNPM2009.pdf>>. Acesso em: 2 de Jun. de 2015.
- STRECKEISEN, A. L., (1967). **Classification and nomenclature of igneous rocks**. Final report of an inquiry. Neues Jahrbuch fur Mineralogie, Abhandlungen.
- TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F., (2000). **Decifrando a Terra**. Editado por Oficina de Textos. São Paulo.
- TEIXEIRA, H.G., (2013). **Desenvolvimento de um Sistema para Dimensionamento, Análise e Otimização de Circuitos de Preparação de Minérios**. Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG . Belo Horizonte. Disponível em: < <http://www.ppgem.eng.ufmg.br/defesas/2104M.PDF>> . Acesso em: 25 de Ago. de 2015.
- TERNES, A.; NEVES, A.; STARLING, D.; NASCIMENTO,J.; LOPES, M.; THOMAZI, M.; GONÇALVES, M.; SGANZERLA, N.; BRANDES, O.; THIAGO, R.; ROESLER, R.; SNIETIKOVSKI, S.; OLIVEIRA, T.; SCHUBER, W.; ANDERLE, W. (2001). **Joinville 150 Anos**. Editado por Instituto Joinville 150 Anos. Joinville, Santa Catarina.
- VASCONCELOS, K. L.; SOARES, J. B.; LEITE, M. L., (2003). **Efeito da Densidade Máxima Teórica na Dosagem e no Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas tipo CBUQ**. Artigo publicado na revista Transportes. Dezembro de 2003.
- WINCADER, R.; MONROE, J.S., (2009). **Fundamentos da Geologia**. Editora Cengage Learning. São Paulo. 1º Edição.