

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO GRANITO DA REGIÃO DE
MOURA DO MUNICÍPIO DE BARCELOS COMO AGREGADO
GRAÚDO EM CONCRETO.

Rogério Salles Perdiz

MANAUS
2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ROGÉRIO SALLES PERDIZ

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO GRANITO DA REGIÃO DE MOURA
DO MUNICÍPIO DE BARCELOS COMO AGREGADO GRAÚDO EM
CONCRETO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração de Materiais e Componentes de Construção, na linha de pesquisa Materiais Regionais e Não Convencionais Aplicados a Estruturas e Pavimentos.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos

MANAUS
2009

Ficha Catalográfica
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Perdiz, Rogério Salles

S168a Avaliação da utilização do granito da região de Moura do município de Barcelos como agregado graúdo em concreto / Rogério Salles Perdiz. - Manaus: UFAM, 2009.
128 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Amazonas, 2009.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos

1. Agregado graúdo 2. Pedra britada de granito 3 Granito de Moura I. Vasconcelos, Raimundo Pereira de II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

CDU 624.131.21(811.3)(043.3)

ROGÉRIO SALLES PERDIZ

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO GRANITO DA REGIÃO DE MOURA,
DO MUNICÍPIO DE BARCELOS COMO AGREGADO GRAÚDO EM
CONCRETO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração de Materiais e Componentes de Construção, na linha de pesquisa Materiais Regionais e Não Convencionais Aplicados a Estruturas e Pavimentos.

Manaus, em 13 de fevereiro de 2009.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Raimundo Kennedy Vieira
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Titular Paulo Roberto do Lago Helene
Universidade de São Paulo

*A minha esposa, meus filhos e
minha tia mãe pelo amor,
dedicação e incentivo.*

AGRADECIMENTOS

Participar de um Mestrado em Engenharia Civil foi algo sempre desejado. Quando surgiu o curso em Manaus, não tive dúvidas em me candidatar no processo seletivo, mesmo ciente dos sacrifícios em conciliar a pós-graduação, o trabalho profissional, a família e atividades voluntárias. Por tudo isso, tenho muito a agradecer.

A Deus por nos proporcionar a vida e a força necessária para trilhar os caminhos.

A UFAM, a Faculdade de Tecnologia e aos professores do Mestrado que viabilizaram a implantação do primeiro Mestrado em Engenharia Civil do Amazonas.

Ao Prof. Dr. Raimundo Vasconcelos pela dedicação, equilíbrio e primazia na coordenação do Mestrado, possibilitando sua consolidação e aprimoramento. E sendo também o Orientador, por sua sempre disponibilidade em atender e elucidar as questões.

Ao Prof. Raimundo Kennedy pelo incentivo, pelas observações sempre pertinentes sobre a pesquisa.

Ao Prof. Ruy Sá pelos esclarecimentos e debates sobre a pesquisa.

Aos técnicos do laboratório Jorge e Nilson pelo apoio na realização dos ensaios.

A técnica administrativa Ivana sempre solícita em todas as questões.

Aos colegas de trabalho da CPRM pelo apoio e orientações geológicas, em especial ao Daniel Nava, Conceição Coelho, Augusto César e Arlindo Júnior.

Aos colegas discentes do Mestrado pelo companheirismo, apoio e pelas horas adicionais de estudo, em especial ao Edisley, Aleixo, Arlene, Edvar e Renato.

É muito melhor arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfos e glórias, mesmo expondo-se a derrotas, do que formar filas com os pobres de espírito que nem gozam muito, nem sofrem muito, porque vivem nesta penumbra cinzenta, que não conheceu vitória nem derrota.

Theodore Roosevelt

RESUMO

A utilização de pedra britada de granito, como agregado graúdo no concreto, apresenta-se como alternativa para diminuição do impacto ambiental causado pela exploração dos atuais agregados – seixo e arenito, empregados no maior pólo consumidor do Amazonas, a cidade de Manaus. Atualmente esta demanda é de aproximadamente 1.500.000 m³ de agregados graúdos por ano, sendo estes, devido a restrições impostas por órgãos ambientais, explorados em áreas cada vez mais distantes de Manaus, o que conseqüentemente tem tornado o produto cada vez mais caro. Por outro lado, a região de Moura, do município de Barcelos/AM, cuja formação geológica é constituída por rochas ígneas, possui extensa ocorrência granítica. Dessa forma, para analisar a viabilidade técnica do emprego dessa rocha como agregado foi realizada a caracterização petrográfica, física e química, bem como avaliado o potencial da reação álcali-agregado. Para os concretos produzidos, foram avaliadas as resistências à compressão axial, à tração por compressão diametral e à tração na flexão. As metodologias tanto para fabricação, dos concretos, quanto para determinação de suas propriedades foram realizadas de acordo com as normas da ABNT. A análise da caracterização tecnológica permite aferir que este agregado possui os requisitos normalizados para o uso em concretos, e as resistências obtidas para as dosagens utilizadas foram superiores as resistências características estabelecidas. Concluiu-se que o concreto com agregado graúdo de granito é tecnicamente viável, e seu uso pode trazer para a comunidade local benefícios com o desenvolvimento sustentável da região.

Palavras chave: pedra britada de granito, agregado graúdo, granito de Moura, concreto.

ABSTRACT

The use of crushed granite stone, as coarse aggregate in concrete, is seen as alternative for reducing the environmental impact caused by the exploitation of current households - pebble and sandstone, employees in the largest consumer pole of Amazonas, the city of Manaus. Currently this demand is approximately 1,500,000 m³ of coarse aggregate per year, which are due to restrictions imposed by environmental agencies, explored in areas more distant from Manaus, which consequently has made the product more expensive. Moreover, the region of Moura, in the town of Barcelos/AM, whose geological formation is made up of igneous rocks, granite has extensive occurrence. Thus, to examine the technical feasibility of employment of rock as aggregate was done to characterize petrography, physics and chemistry, and assessed the potential reaction of alkali-aggregate. For the concrete produced, were evaluated for resistance to axial compression, the compression of traction and traction in diametrical bending. The methodologies for both manufacture of concrete and for determination of its properties were carried out in accordance with the standards of ABNT. The analysis of characterization technology that allows gauge cluster has the standard requirements for use in concrete and the resistance obtained for the doses used, were higher than the resistance characteristics established. It was concluded that the granite coarse-aggregate concrete is technically feasible, and its use can bring benefits to the local community with sustainable development in the region.

Key words: granite crushed rock, coarse aggregate, Moura granite, concrete

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem de satélite identificando a região de Moura e Manaus	21
Figura 2 – Entidades tectônicas da Amazônia	23
Figura 3 – Províncias geocronológicas e domínios tectono-estratigráficos	24
Figura 4 – Imagem de satélite do limite interestadual, localizando a região de Moura	25
Figura 5 – Imagem <i>Landsat Geocover</i> identificando os afloramentos	26
Figura 6 – Desmonte por explosão	32
Figura 7 – Desmonte secundário	33
Figura 8 – Britador primário	34
Figura 9 – Britador secundário	34
Figura 10 – Britador terciário	35
Figura 11 – Deque de peneiras	35
Figura 12 – Balsa transportadora de brita proveniente de Moura	36
Figura 13 – Balsa transportadora de brita sediada no porto da CEASA	37
Figura 14 – Diagrama ilustrativo das inter-relações entre agregado e concreto	45
Figura 15 – Pedra britada de granito	72
Figura 16 – Britador de mandíbula AMEF	73
Figura 17 – Pulverizador <i>Braun Pulverizer Type UA-53</i>	73
Figura 18 – Amostra de pedra britada pulverizada	74
Figura 19 – Agitador de peneiras Bertel	74
Figura 20 – Fragmentos colados nas lâminas	76
Figura 21 – Desbaste dos fragmentos de pedra britada	77
Figura 22 – Polimento dos fragmentos de pedra britada	77

Figura 23 – Constituintes medidos do concreto	82
Figura 24 – Mistura em betoneira estacionária	82
Figura 25 – Determinação da diferença entre a altura do molde e altura média da amostra ...	83
Figura 26 – Concreto para moldagem dos corpos-de-prova	84
Figura 27 – Corpos-de-prova sendo moldados	85
Figura 28 – Corpos-de-prova na câmara úmida	85
Figura 29 – Ensaio de resistência à compressão axial	86
Figura 30 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral	87
Figura 31 – Ensaio de resistência à tração na flexão	88
Figura 32 – Curvas granulométricas das areias B, C e D	92
Figura 33 – Curvas granulométricas dos seixos A e B	94
Figura 34 – Curvas granulométricas dos granitos	96
Figura 35 – Curvas granulométricas do seixo e granito empregados nas dosagens	97
Figura 36 – Textura granular anedral em granito. Aumento 10x	103
Figura 37 – Cristal de microclínio com bordas recristalizadas. Aumento 10x	103
Figura 38 – Redução de alcalinidade x quantidade de sílica dissolvida	106
Figura 39 – Evolução das expansões com o tempo de cura agressiva	107
Figura 40 – Gráfico comparativo das resistências à compressão axial	114
Figura 41 – Gráfico comparativo das resistências à tração por compressão diametral	115
Figura 42 – Gráfico comparativo das resistências à tração na flexão	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ensaio de caracterização e respectivas normas	38
Tabela 2 – Análise química do cimento CII-Z-32	59
Tabela 3 – Análise física do cimento CII-Z-32	60
Tabela 4 – Ensaio tecnológico realizado	63
Tabela 5 – Composição dos materiais para ensaio de barras de argamassa	80
Tabela 6 – Resultados das propriedades das areias	90
Tabela 7 – Composição granulométrica das areias	91
Tabela 8 – Resultados das propriedades dos seixos	93
Tabela 9 – Composições granulométricas dos seixos	93
Tabela 10 – Resultados das propriedades dos granitos	94
Tabela 11 – Composições granulométricas dos granitos	96
Tabela 12 – Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis	98
Tabela 13 – Composição química (elementos maiores – óxidos)	98
Tabela 14 – Composição química (elementos menores – traços)	99
Tabela 15 – Composição química (elementos terras-raras)	100
Tabela 16 – Síntese das características da rocha	104
Tabela 17 – Resultados do ensaio de reatividade potencial pelo método químico	105
Tabela 18 – Variação dimensional das barras de argamassa em solução alcalina	106
Tabela 19 – Composição dos traços de concreto após dosagem experimental	109
Tabela 20 – Consistência dos concretos produzidos	110
Tabela 21 – Compressão axial, consumos de cimento e densidades dos concretos	112
Tabela 22 – Média das resistências à compressão axial	113

Tabela 23 – Média das resistências à tração por compressão axial	115
Tabela 24 – Média das resistências à tração na flexão	116

LISTA DE SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CAD	Concreto de alto desempenho
CAR	Concreto de alta resistência
CF	Constituição Federal
CEASA	Central de Abastecimento do Amazonas
COMARA	Comissão de Aeroportos da Região Amazônica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Economia e Estatística
ICP-ES	<i>Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometer</i>
ICP-MS	<i>Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer</i>
LA	Licenciamento Ambiental
MMA	Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal
NBR	Norma Brasileira Registrada
PIM	Pólo Industrial de Manaus

PRAD	Plano de Recuperação de Área Degradada
RAA	Reação álcali-agregado
RAS	Reação álcali-sílica
RASS	Reação álcali-silicato
RAC	Reação álcali-carbonato
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
UFAM	Universidade Federal do Amazonas

LISTA DE SÍMBOLOS

HP	<i>Horse power</i>
W	<i>West</i>
NW-SE	Noroeste-sudeste
Ma	<i>Mega age</i>
Ga	<i>Giga age</i>
Dmáx	Dimensão máxima do agregado
Mf	Módulo de finura do agregado
Ft,d	Resistência à tração por compressão diametral em megapascal
F	Carga de ruptura em Newton
Π	Número PI (3,1416)
d	Diâmetro médio do corpo-de-prova
l	Comprimento médio do corpo-de-prova
fctM	Resistência à tração na flexão em megapascal
p	Carga de ruptura em Newton
l	Distância entre cutelos de suporte em milímetros
b	Largura média do corpo-de-prova na seção de ruptura em milímetros
d	Altura média do corpo-de-prova na seção de ruptura em milímetros
fck	Resistência característica à compressão em megapascal
fcj	Resistência média à compressão, prevista para a idade de j dias em megapascal
Sd	Desvio-padrão da dosagem em megapascal
A/C	Fator água cimento

M	Parcela dos agregados (graúdo e miúdo)
P	Parcela do agregado graúdo
A	Parcela do agregado miúdo
δ_g	Massa unitária em estado solto do agregado graúdo em kg/dm^3
δ_a	Massa unitária em estado solto do agregado miúdo em kg/dm^3

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	19
Contextualização e justificativa do estudo	19
Objetivo geral	22
Objetivos específicos	22
CAPÍTULO 1 – AGREGADOS: ASPECTOS RELACIONADOS	23
1.1 Geologia	23
1.2 Rochas	26
1.3 Definições e classificações dos agregados	29
1.4 Produção dos agregados	31
1.4.1 Produção de agregado graúdo na região de Moura.....	36
1.5 Caracterização tecnológica de agregados	37
1.5.1 Propriedades importantes na produção de concreto	39
1.5.2 Reatividade	42
1.6 Concreto	43
1.6.1 Inter-relação entre as propriedades	45
1.6.2 Reações deletérias	48
1.7 Legislação	51
1.7.1 Legislação mineral	52
1.7.2 Legislação ambiental	54
CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS	58
2.1 Delineamento da pesquisa	58
2.2 Amostragem	58
2.3 Materiais	58
2.3.1 Cimento Portland	59
2.3.2 Agregado miúdo	60
2.3.3 Agregado graúdo	60
2.3.4 Água	61

2.4 Métodos	61
2.4.1 Ensaio tecnológicos	62
2.4.1.1 Massas unitária e específica	63
2.4.1.2 Absorção d'água	64
2.4.1.3 Sais, cloretos e sulfatos solúveis	65
2.4.1.4 Impurezas orgânicas das areias	67
2.4.1.5 Composição granulométrica	68
2.4.1.6 Material pulverulento	69
2.4.1.7 Argila em torrões e materiais friáveis	70
2.4.1.8 Abrasão <i>Los Angeles</i>	71
2.4.1.9 Índice de forma	71
2.4.1.10 Elementos maiores, elementos menores e terras-raras	72
2.4.2 Reatividade potencial	75
2.4.2.1 Apreciação petrográfica	76
2.4.2.2 Método químico	78
2.4.2.3 Método das barras de argamassa	79
2.4.3 Dosagem experimental	80
2.4.4 Ensaio no concreto fresco	83
2.4.4.1 Consistência pelo abatimento do tronco de cone	83
2.4.4.2 Moldagem e cura dos corpos-de-prova	84
2.4.5 Ensaio no concreto endurecido	86
2.4.5.1 Compressão axial	86
2.4.5.2 Tração por compressão diametral	87
2.4.5.3 Tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos	87
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E ANÁLISES	89
3.1 Operacionalização das variáveis	89
3.2 Análise dos dados	89
3.3 Caracterização tecnológica	89
3.3.1 Agregado miúdo	90
3.3.2 Agregado graúdo	92
3.3.2.1 Seixo	92
3.3.2.2 Pedra britada de granito	94
3.3.3 Avaliação da composição química do granito	97

3.4 Reatividade álcali-agregado	101
3.4.1 Apreciação petrográfica	101
3.4.2 Ensaio específicos de desempenho	105
3.5 Cálculos das dosagens experimentais	108
3.6 Propriedades do concreto fresco	110
3.7 Propriedades do concreto endurecido	111
3.7.1 Resistência à compressão axial	112
3.7.2 Resistência à tração por compressão diametral	114
3.7.3 Resistência à tração na flexão	116
CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	118
4.1 Conclusões	118
4.2 Sugestões para futuras pesquisas	120
4.3 Transferência ao meio técnico	120
REFERÊNCIAS	122
GLOSSÁRIO	127
ANEXOS	128

INTRODUÇÃO

Contextualização e justificativa do estudo

Nas últimas décadas, um forte crescimento econômico vem sendo registrado no Estado do Amazonas, de forma concentrada na capital, principalmente em função das atividades da Zona Franca de Manaus, atualmente denominado Pólo Industrial de Manaus (PIM), apresentando uma elevada taxa de crescimento urbano.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007) somente a cidade de Manaus concentra mais de 50% da população estadual e 80% do Produto Interno Bruto (PIB) do Amazonas, referente ao ano de 2005, isto representa uma significativa demanda por infra-estrutura básica, como saneamento, transporte, moradia, energia, dentre outros. Esses elementos afetam diretamente a indústria da construção civil, que também demanda por materiais oriundos de recursos minerais.

Inicialmente, durante as décadas de 70 e 80, os recursos minerais, de uso como agregados para concreto, existentes na região metropolitana de Manaus, foram amplamente explorados devido à facilidade de acesso e transporte, como por exemplo, o arenito Manaus. Na década de 90 com a conscientização ambiental e a instituição de leis específicas, a exploração destas áreas foi proibida por se constituírem Unidades Ambientais com alto potencial turístico e ecológico. A partir de 1999, houve uma intensificação dos trabalhos de regularização e fiscalização das atividades de exploração de minerais aplicados à construção civil executadas de forma irregular (GOUVÊA, 2001).

Ainda hoje há ocorrências de exploração clandestina nos locais em que a fiscalização não se faz presente, limitada, muitas vezes, em função de seu contingente e recursos orçamentários disponíveis, assim como pelas dimensões continentais do estado do Amazonas.

O principal agregado graúdo disponível no comércio da cidade de Manaus é o seixo rolado e em menor escala o arenito Manaus. A brita de granito também é comercializada, mas em quantidade menor ainda.

Pelo Anuário Mineral Brasileiro do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2006), a produção beneficiada, referente ao ano de 2005, de rochas britadas e cascalho totalizou 1.218.946 m³ no Estado do Amazonas, sem levar em consideração as quantidades não declaradas pelos produtores, ou então, não fiscalizadas. O agregado mais utilizado é o seixo rolado, presente em 90% dos concretos fabricados em Manaus, seja em função do menor preço ou da sua maior disponibilidade.

As principais extrações de seixos estão localizadas nos rios Aripuanã, Japurá, Uatumã, Negro e Nhamundá. Na lavra é utilizada draga de sucção de 6 a 12 polegadas de diâmetro, movida com motores de 125 HP a 315 HP, sendo que nos rios Nhamundá e Uatumã ainda se utilizam mergulhadores. O transporte é feito por balsas com capacidade de 400 a 1.400 m³, sendo as distâncias de transporte até o porto de Manaus da ordem de 700 km para o rio Aripuanã, 1200 km para o rio Japurá, 450 km para o rio Uatumã e 300 km para o rio Negro (GOUVÊA, 2001).

A extração do seixo em leitos de rios provoca uma remodelagem do perfil longitudinal e transversal da calha, o que modifica o escoamento das águas. Normalmente observa-se um rebaixamento dos níveis de água do rio e das linhas freáticas dos aquíferos. Tais atividades podem também provocar erosão regressiva, processos de colmatagem e assoreamento, além de comprometer a estabilidade de obras à montante (GOUVÊA, 2001).

No município de Barcelos, na região denominada Moura, coordenadas aproximadas de 2°54' de latitude S e 60°33' de longitude W, com distância fluvial aproximada, através do Rio Negro, de 270 km do porto de Manaus (Figura 1), ocorre uma extensa formação geológica de rochas graníticas (granitos e gnaisses).

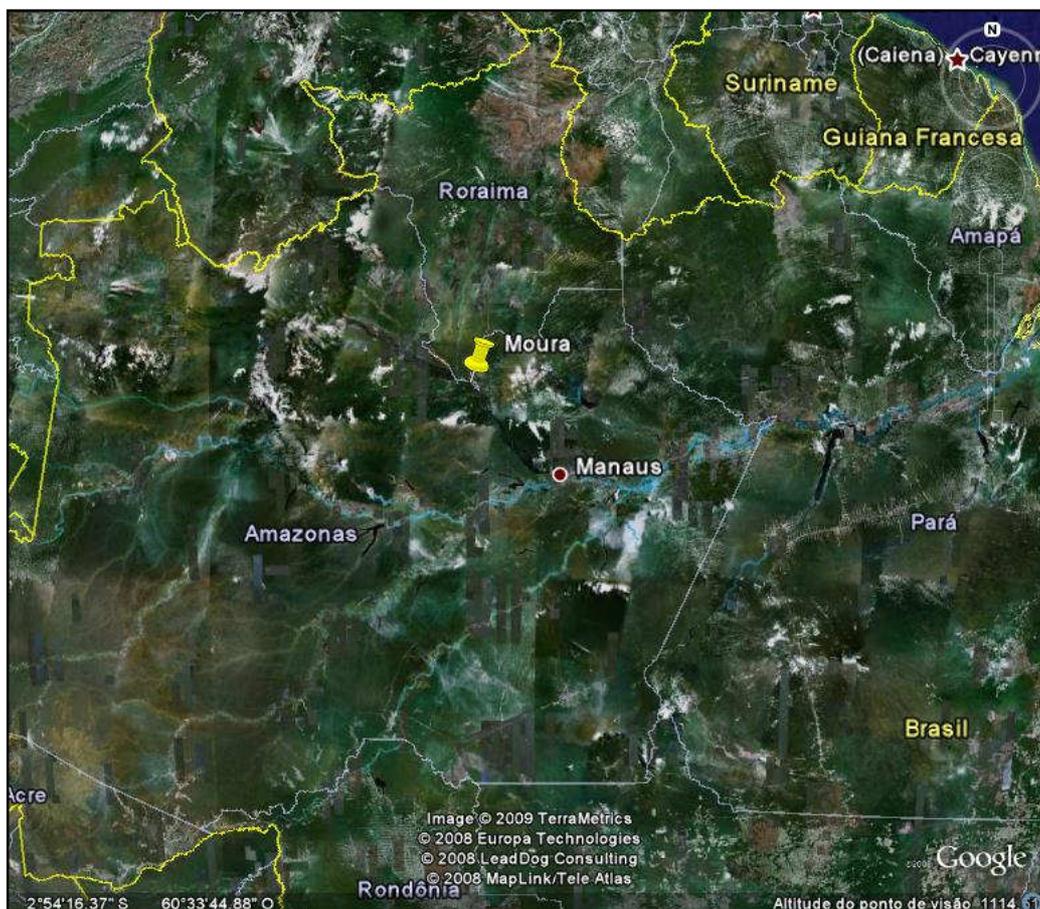


Figura 1 – Imagem de satélite identificando a região de Moura e Manaus.

FONTE: Google Maps, 2008.

Historicamente a comunidade local, e mais recentemente empresas, fazem a extração dessas rochas graníticas, em pequena escala. Entretanto, não foram encontrados registros de estudos de aplicação desse agregado graúdo em concretos de cimento Portland, e nem tampouco a sua caracterização tecnológica de acordo com os critérios normalizados.

Considerando esse cenário descrito, faz-se necessário a pesquisa por agregados alternativos, técnicos e economicamente viáveis para o suprimento das necessidades atuais e futuras da cidade de Manaus e demais municípios amazônicos. Dessa forma, questionam-se quais seriam os resultados da aplicação do granito do município de Barcelos, no Amazonas, especificamente da região de Moura, considerando as propriedades do concreto, como a trabalhabilidade, a consistência, a coesão e as resistências.

Objetivo geral

Estudar as propriedades tecnológicas da pedra britada de granito, oriunda da região de Moura, através dos análise de sua composição química, mineralógica, petrográfica e pelas propriedades físicas e físico-químicas no que se refere a sua aplicação em concreto.

Objetivos específicos

1. Caracterizar e analisar a pedra britada de granito da região de Moura, como agregado graúdo para uso em concreto;
2. Avaliar as propriedades químicas e físico-químicas da pedra britada de granito quando empregada em concreto de cimento Portland;
3. Estudar as propriedades mecânicas dos concretos produzidos com o agregado graúdo de pedra britada de granito, com relação a resistência à compressão, à tração e à flexão.

CAPÍTULO 1 – ORIGEM E PRODUÇÃO DO AGREGADO

Neste Capítulo dissertaremos sobre a origem e formação geológica da rocha em estudo, definições e conceitos normativos e aspectos operacionais para a produção da pedra britada. Destaca-se que a Seção 1.1 traz uma descrição da formação geológica do estado do Amazonas, conforme a publicação Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), edição 2006.

1.1 Geologia

O estado do Amazonas é caracterizado por uma extensa cobertura sedimentar fanerozóica, distribuída nas bacias Acre, Solimões, Amazonas e Alto Tapajós, que se depositou sobre um substrato rochoso pré-cambriano onde predominam rochas de natureza ígnea, metamórfica e sedimentar. A maior entidade tectônica está representada pelo Cráton Amazônico e corresponde a duas principais áreas pré-cambrianas: o Escudo das Guianas ao norte da bacia amazônica e o Escudo Brasil – Central a sul daquela bacia (Figura 2).

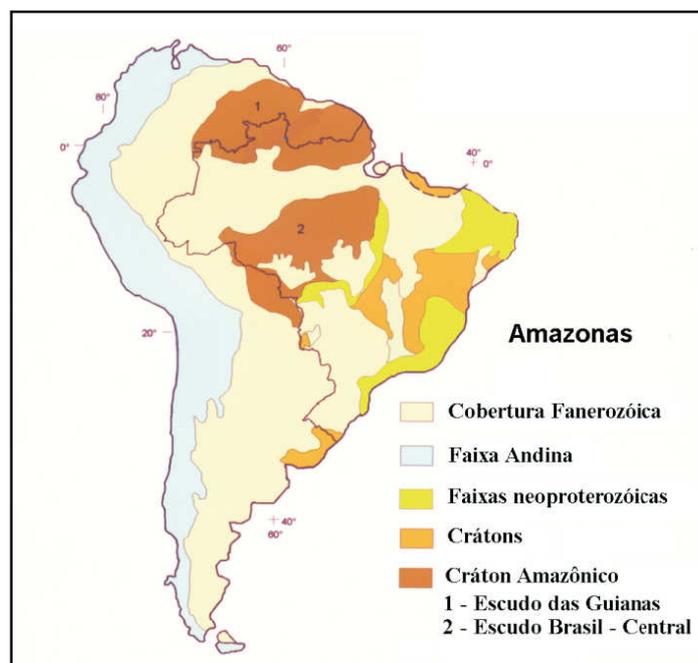


Figura 2 – Entidades tectônicas da Amazônia.
FONTE: CPRM, 2006.

As rochas pré-cambrianas têm sido estudadas, agrupadas e compartimentadas em domínios tectono-estratigráficos e províncias geocronológicas, cujas relações ainda não são muito bem compreendidas. Várias províncias geocronológicas têm sido propostas para o Cráton Amazônico, as quais são modificadas gradualmente de concepção ou de abrangência, a partir da aquisição de maior número de dados geocronológicos e emprego de novos métodos de investigação. Os domínios tectono-estratigráficos constituem uma contribuição ao entendimento do arranjo entre as unidades estratigráficas que formam as maiores entidades tectônicas e o principal padrão estrutural que as articulam.

A Figura 3 ilustra as principais províncias geocronológicas e domínios tectono-estratigráficos do Cráton Amazônico.

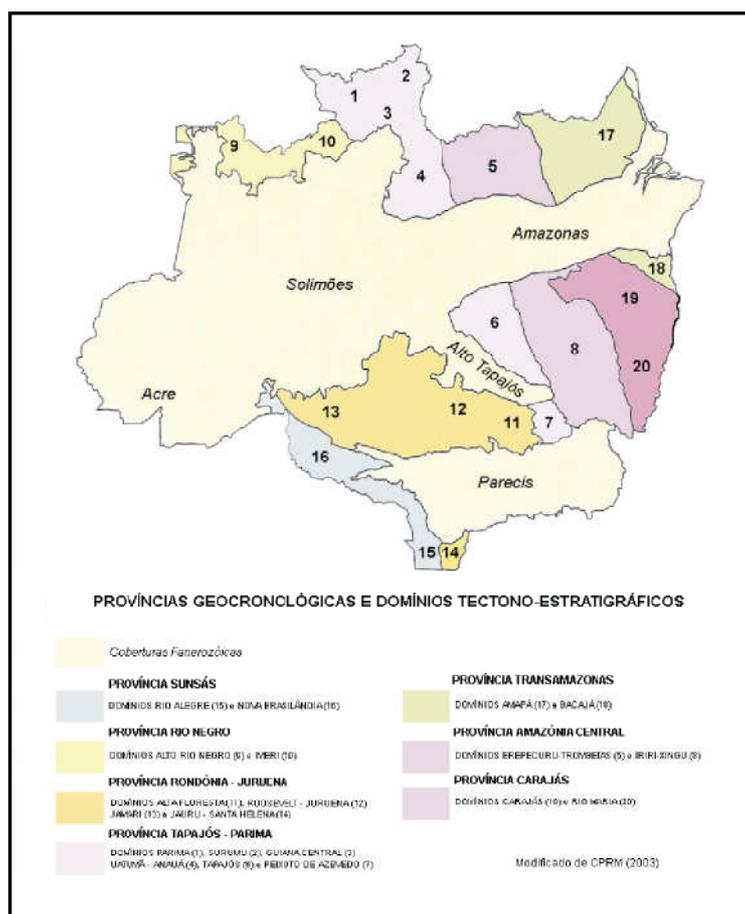


Figura 3 – Províncias geocronológicas e domínios tectono-estratigráficos.
FONTE: CPRM, 2006.

A região de Moura está localizada na província Tapajós – Parima, domínio Uatumã – Anauá, onde ocorrem formações de rochas gnaisses e granitos, inseridos no contexto geológico do Complexo Jauaperi, a sudoeste deste domínio.

A província Tapajós – Parima compreende uma faixa orogênica (metamorfismo e deformação) com direção NW-SE que bordejia a leste a Província Amazônia Central e a oeste a Província Imeri. Os terrenos granito-gnaissicos a localmente migmatíticos do Complexo Jauaperi, ao norte da Bacia do Amazonas e complexo Cuiú-Cuiú a sul da bacia, registram idades em torno de 2,00 *Giga age* (Ga) e assinalam respectivamente a articulação e história orogênica do domínio Tapajós e Anauá – Jatapu do interior da província.

O complexo Jauaperi abrange áreas ao norte e sul do limite interestadual entre Roraima e Amazonas. A Figura 4 identifica parte do município de Barcelos, no Amazonas, e a divisa com Roraima, no centro da imagem se identifica o distrito de Moura, a margem direita do rio Negro.



Figura 4 – Imagem de satélite do limite interestadual, localizando a região de Moura.
FONTE: Google Maps, 2008.

Os rios Jauaperi, Alalaú e Pardo constituem as principais bacias de ocorrências, além de *inselbergs* que despontam na planície cenozóica, na proximidade do rio Preto, afluente do rio Jufari e expressiva área na região de Moura, margem direita do rio Negro. A unidade reúne ortognaisses, migmatitos, metagranitos e granitos, além de diques de anfibolito e bolsões de *charnockitóides*. A Figura 5 ilustra a mesma região da Figura 4, tendo sido a imagem de satélite tratada geologicamente para identificação dos afloramentos das rochas, em tom róseo.

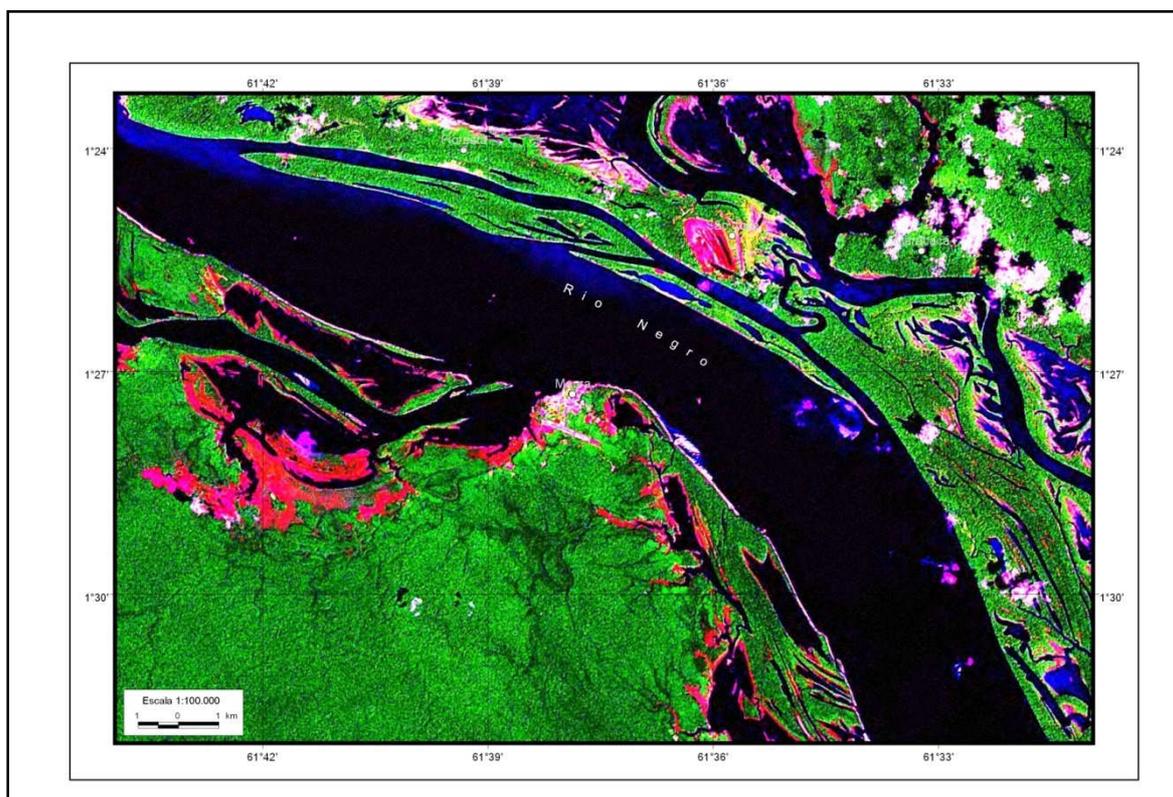


Figura 5 – Imagem Landsat Geocover identificando os afloramentos.
FONTE: CPRM, 2006.

1.2 Rochas

As rochas constituem, desde os primórdios da humanidade, os elementos em que as obras de engenharia são construídas e os materiais utilizados na sua construção. Por suas características e pela grande diversidade de padrões cromáticos e estruturais, as rochas são utilizadas até hoje na construção civil, seja em sua forma natural (pedra britada, lajotas,

paralelepípedos, alvenaria), beneficiada (placas para revestimento de pisos, paredes e fachadas; chapas para tampo de pias e balcões), industrializada (cimento) ou, ainda, como elementos ornamentais (arte estatutária e funerária) (ISAIA, 2007).

Para a utilização adequada das rochas na construção civil, é importante o conhecimento desses materiais, o que são, do que e como se constituem e, principalmente, como isto influencia nas suas propriedades físicas e mecânicas.

Segundo Isaia (2007) rocha é definida como um corpo sólido natural, resultante de um processo geológico determinado, formado por agregados de um ou mais minerais, arranjados segundo condições de temperatura e pressão existentes durante sua formação. Também, podem ser corpos de material mineral não cristalino, como o vidro vulcânico (obsidiana) e materiais sólidos orgânicos, como o carvão.

As rochas compõem três grandes grupos, cada qual contemplando uma imensa variedade de tipos passíveis de uso na construção civil, o que reforça a necessidade do conhecimento de suas características e propriedades, principalmente quanto aos seguintes aspectos: composição mineralógica, estrutura, textura e granulometria. Esses grupos de rocha são: ígneas ou magmáticas, sedimentares e metamórficas.

As rochas ígneas são constituídas da agregação de minerais originados da consolidação, por resfriamento, de material rochoso que se encontrava no estado líquido, por efeito de fusão a altíssima temperatura. Esse líquido, quando se encontra nos níveis profundos onde se origina, denomina-se magma. Quando o magma extravasa na crosta na forma de lava, no transcorrer de erupções vulcânicas, formam-se rochas denominadas vulcânicas ou extrusivas, caso contrário, a consolidação do magma no interior da crosta gera rochas denominadas intrusivas. Quando formadas em grande profundidade, denominam-se plutônicas. As formadas em níveis intermediários na crosta são denominadas subvulcânicas ou hipoabissais (FRAZÃO, 2007).

As rochas ígneas podem ser classificadas, conforme o seu teor de sílica, em:

- Ácidas (>65%);
- Intermediárias (65 a 52%);
- Básicas (52 a 45%);
- Ultrabásicas (<45%).

Nos tipos ácidos, o silício está presente tanto na forma de óxido (sílica), como na de silicato. O óxido aparece como quartzo. A presença de quartzo confere maior dureza à rocha, resultando numa maior resistência ao desgaste e em maior consumo da ferramenta de corte e desgaste de mandíbulas de britadores para sua produção (FRAZÃO, 2007).

Os exemplos típicos de rochas ácidas plutônicas são os:

- Granitos;
- Sienitos (rochas intermediárias hipoabissais);
- Basaltos (rochas básicas extrusivas), diabásios (rochas básicas hipoabissais);
- Piroxenitos (ultrabásicas plutônicas).

As rochas sedimentares são chamadas de clásticas ou detríticas quando provêm de fragmentos (sedimentos) de rochas preexistentes, as quais se depositam em um dado ambiente e são consolidados por pressão de sobrecarga (das camadas superiores) e/ou por cimentação, que consiste no conjunto de processos químicos e físicos sofridos pelos sedimentos desde a sua decomposição até a sua consolidação. As rochas sedimentares clásticas são, em geral, menos resistentes que as rochas ígneas. Os exemplos mais comuns são os arenitos, os siltitos e os argilitos (FRAZÃO, 2007).

Outros tipos de rochas sedimentares são as químicas, as quais são formadas a partir de íons dissolvidos na água que se combinam e se precipitam em forma de substâncias, em geral, cristalinas. Exemplos deste tipo de rocha são os calcários sedimentares, os quais são

constituídos, em geral, de carbonatos de cálcio (calcita), podendo conter diferentes teores de carbonato de cálcio e magnésio (dolomita) e argila (FRAZÃO, 2007).

As rochas metamórficas originam-se de rochas preexistentes por modificações nas associações mineralógicas, na textura e na estrutura. As modificações ocorrem no estado sólido e delas resultam: recristalização de minerais preexistentes (ainda estáveis sob as novas condições) e formação de textura e estruturas típicas dos processos metamórficos. Os principais agentes do metamorfismo são a temperatura, a pressão (hidrostática e dirigida) e a ação de fluidos. Como exemplos de rocha metamórfica, têm-se filitos, ardósias, xistos, anfibolitos, mármore, gnaisses e quartzitos (FRAZÃO, 2007).

Os principais minerais constituintes das rochas em geral são os quartzos, feldspatos, micas, piroxênios, anfibolitos, feldspatóides, olivina, calcita, dolomita e argilominerías. A maioria deles é mineral essencial, ou seja, aqueles cuja natureza e cujo teor permitem classificar as rochas; alguns são varietais e servem para diferenciar rochas de um mesmo grupo; outros são secundários, formados a partir da alteração de minerais preexistentes.

1.3 Definições e classificações dos agregados

Agregados são materiais geralmente inertes com dimensões e propriedades adequadas para preparação de argamassas e concretos, utilização como lastros ferroviários, enrocamentos e filtros. Podem ser pétreos e utilizados como encontrados na natureza (agregados naturais) ou resultarem de fragmentação mecânica de rochas (pedra britada e pó de pedra). Também são obtidos a partir de subprodutos ou resíduos de processos industriais, (agregados artificiais), de atividades minerárias e da construção civil (agregados reciclados) (TANNÚS; CARMO, 2007).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), devido a uma melhor compreensão do papel desempenhado pelos agregados na determinação de muitas propriedades importantes do

concreto, a visão tradicional do agregado como um material inerte vem sendo seriamente questionada. As características relevantes do agregado para a composição do concreto incluem: porosidade, composição ou distribuição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial, resistência à compressão, módulo de elasticidade e tipo de substâncias deletérias presentes. Essas características resultam da composição mineralógica da rocha fonte, das condições de exposição a que a rocha foi submetida antes de produzir o agregado e do tipo de equipamentos utilizado para a produção do agregado.

De acordo com a NBR 7225 – Materiais de pedra e agregados naturais, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), agregado é definido como material natural de propriedades adequadas ou obtido por fragmentação artificial de pedra, de dimensão nominal máxima de 100 mm e de dimensão nominal mínima igual ou inferior a 0,075 mm. Além disso, esta norma faz a seguinte distinção:

- Agregado graúdo – definido com pedra britada ou brita ou pedregulho (muito grosso, grosso ou médio), tendo dimensões nominais entre 100 mm e 4,8 mm;
- Agregado miúdo – definido como pedregulho fino, pedrisco grosso, médio e fino, areia grossa, média e fina, de dimensões nominais entre 4,8 mm e 0,075 mm.

Diversos autores, dentre eles, Basílio (1995), Frazão (2007) e, mais recentemente, Mehta e Monteiro (2008), classificam os agregados quanto a sua densidade, em:

- Pesado (barita, magnetita, escória), com massa unitária superior a 2.080 kg/m^3 ;
- Normal (pedra britada, areia natural e de britagem, pedregulho, cascalho), com massa unitária estabelecida entre 2.080 kg/m^3 e 1.120 kg/m^3 ;
- Leve (argila expandida e vermiculita), com massa unitária inferior a 1.120 kg/m^3 .

Frazão (2007) classifica ainda os agregados, conforme o modo de obtenção, em:

- Naturais (cascalho e areia natural);
- Artificiais (pedra britada e areia de britagem).

Como agregados artificiais podemos também citar os produzidos por processos industriais ou laboratoriais, como por exemplo, a argila expandida, a argila calcinada, os reciclados de diversas fontes, dentre outros.

1.4 Produção dos agregados

A produção de agregados para a construção civil envolve diversos fatores: tipo de uso da pedra; características da jazida; tipos de equipamento; e as propriedades da rocha. Esses fatores, dentre outros, são em geral interdependentes e definem o tipo de trabalho a ser adotado para cada caso.

A definição do processo de produção passa previamente por uma fase de análise técnico-econômica do empreendimento, a qual leva em conta o capital a ser investido, a organização do trabalho e o método de lavra.

Segundo Frazão (2007) os principais pontos a serem observados na escolha do local para pedreira são:

- Situação – fatores que envolvem a localização geográfica; a existência de acessos; a distância entre os pólos produtor e consumidor; a existência de habitações vizinhas; a disponibilidade de pessoal técnico e braçal na região; o custo da mão-de-obra; o vulto dos trabalhos de preparação da praça de serviço; e a disponibilidade de água e energia elétrica;
- Características da lavra – fatores que envolvem o volume de material estéril que eventualmente recubra o maciço; a quantidade de rocha explorável e a modalidade de estruturação do maciço rochoso;

- Características do material – fatores que envolvem a natureza da rocha, o seu estado de alteração, sua estrutura e textura, a presença de minerais prejudiciais e as propriedades tecnológicas;
- Utilização – fatores que envolvem os tipos de uso do material e a previsão de demanda da obra ou da região.

A lavra é, geralmente, feita a céu aberto. Essa forma é a mais vantajosa para a maioria dos materiais por ser mais econômica, mais segura, menos insalubre, mais rápida e mais eficiente. A exploração subterrânea só é vantajosa para materiais nobres, de alto valor no mercado. A lavra pode ser do tipo de desmonte em massa, para produção de pedra britada, ou desmonte regular, para produção de blocos dos quais são extraídas chapas para revestimento e pedras de calçamento (FRAZÃO, 2007).

A lavra pode ser executada por diversos métodos, como desmonte a frio (sem explosivos), a fogo (com dinamite), com fogacho (com pólvora preta) e misto (frio e com fogacho).

A Figura 6 ilustra o desmonte em massa feita por explosão com dinamite, o qual é o mais comumente adotado para a produção de pedra britada.



Figura 6 – Desmonte por explosão.
FONTE: CETEC, 2006.

Em seguida, procedem-se os desmontes mecânicos, devido à sua alta produção e à maior regularidade de dimensões dos fragmentos produzidos. Recomenda-se o uso de britadores, o qual deve ser escolhido conforme as características físicas e mecânicas da rocha, da capacidade de produção (qualitativa e quantitativa), na facilidade de funcionamento e de manutenção e na funcionalidade de montagem, desmontagem e substituição de peças.

Os britadores mais comuns são os de mandíbula, de movimento alternativo (de simples efeito e de duplo efeito). Outros tipos de britadores apresentam movimento contínuo (giratórios ou de rolos).

A Figura 7 ilustra um processo de desmonte secundário por equipamento mecânico.



Figura 7 – Desmonte secundário.
FONTE: CETEC, 2006.

Segundo Frazão (2007) para a produção da pedra britada, alguns fatores devem ser atendidos previamente, tais como:

- Escolha e compra de equipamentos: que envolve preços, condições de venda, garantia do fabricante, prazo e condições de entrega, assistência técnica e mecânica, e disponibilidade de peças de reposição etc.;
- Criação da infra-estrutura: que envolve o estabelecimento de caminhos de serviço, preparação da praça de serviço, construção de edificações (escritórios, almoxarifado, alojamentos, paióis para explosivos e para as espoletas);

- Instalação do sistema de produção: que envolve a montagem dos britadores, do sistema de transporte do material fragmentado para os britadores, e deste para o sistema classificador, e dos silos para a armazenagem de pedra britada.

A Figura 8 ilustra o início do processo de britagem, através do britador primário.



Figura 8 – Britador primário.
FONTE: CETEC, 2006.

A Figura 9 ilustra o britador secundário, utilizado para a redução das dimensões das rochas.



Figura 9 – Britador secundário.
FONTE: CETEC, 2006.

No processo de britagem, ainda existem os britadores terciários (Figura 10) e quartenários. Estes equipamentos são utilizados conforme a necessidade de produção das dimensões especificadas.



Figura 10 – Britador terciário.
FONTE: CETEC, 2006.

Concluído o processo de britagem, as pedras britadas passam por um sistema de peneiras para a classificação comercial do material produzido (Figura 11).



Figura 11 – Deque de peneiras.
FONTE: CETEC, 2006.

1.4.1 Produção de agregado graúdo na região de Moura

De acordo com as informações levantadas no mercado de Manaus e nos órgãos de controle, a região de Moura, durante um longo período, teve uma exploração artesanal de pedreiras pelos habitantes das comunidades adjacentes, principalmente do distrito de Moura. Posteriormente se estabeleceu na região a empresa Ita Mineração, que explora e produz a pedra britada no local e transporta para Manaus em balsas; além da empresa Capital, que explora e transporta os blocos para britagem em Manaus; e da Comissão de Aeroportos da Região Amazônica (COMARA), vinculada ao Comando-Geral de Operações Aéreas, que utiliza a pedra britada nas pistas de pouso e decolagem de aeronaves.

A Figura 12 ilustra o transporte por balsa de pedra britada de granito proveniente de Moura, subindo o rio Solimões para atendimento da sede municipal de Coari.



Figura 12 – Balsa transportadora de brita proveniente de Moura.
FONTE: CPRM, 2006.

A Figura 13 identifica o atracamento de balsa proveniente de Moura, carregada com 600 m³ de pedra britada de granito, da empresa Ita Mineração, no porto da Central de Abastecimento do Amazonas (CEASA) para descarregamento e distribuição no mercado de Manaus. O tempo de deslocamento fluvial entre Moura e Manaus é de dois dias, descendo o rio Negro.



Figura 13 – Balsa transportadora de brita sediada no porto da CEASA.
FONTE: CPRM, 2006.

1.5 Caracterização tecnológica de agregados

Os agregados devem passar por uma caracterização tecnológica antes de serem utilizados na construção, a qual é executada por procedimentos padronizados e de acordo com as normas vigentes da ABNT, ou em alguns casos específicos as da ASTM.

A caracterização tecnológica de agregados para uso como material de construção permite conhecer as propriedades das rochas isoladamente ou em conjunto e de forma direta ou indireta, que são mais relevantes para o referido fim. Esse conhecimento é fundamental para que os profissionais técnicos possam especificar e aplicar corretamente esses materiais, de forma que se possa projetar com a segurança que os resultados previstos serão alcançados, em função das propriedades estudadas e do comportamento desses componentes.

Os agregados apresentam grande diversidade de propriedades, sendo algumas mais ou menos relevantes, conforme o uso a ser feito. Essas propriedades podem ser classificadas em: geológicas (petrográficas e físico-químicas), físicas e mecânicas.

- Geológicas (petrográficas e físico-químicas) – estão presentes na natureza dos agregados e no seu modo de ocorrência. A natureza da rocha se mostra na composição mineralógica, textura e estrutura, bem como no grau e tipo de

alteração mineralógica. Decorrem destas as propriedades de alterabilidade, reatividade química, propriedades térmicas, formato das partículas e impurezas associadas;

- Físicas – são influenciadas pelas propriedades geológicas e correspondem à densidade, massa específica, porosidade, capacidade de absorção d'água, massa unitária, granulometria, adesividade, dentre outras;
- Mecânicas – também são influenciadas pelas propriedades geológicas e correspondem à resistência ao impacto, esmagamento e abrasão.

Para cada tipo de aplicação dos agregados, é necessário o conhecimento do conjunto de suas propriedades, de forma a atender a funções específicas destes componentes.

Neste estudo, a aplicação da pedra britada de granito, como componente do concreto, destina-se a concreto hidráulico, estrutural ou não. Dessa forma, os ensaios de caracterização tecnológica selecionados foram aqueles que forneceriam informações sobre as propriedades necessárias a ser avaliadas como componente isolado e em interação com os demais componentes do concreto.

A Tabela 1 relaciona os principais ensaios para a caracterização tecnológica de agregados para concreto, com as respectivas normas.

Ensaio	Normas ABNT/ASTM
Massa unitária de agregados em estado solto	NBR 7251
Massa específica de agregado miúdo - frasco Chapman	NBR NM 52
Massa específica e absorção de agregado graúdo	NBR NM 53
Sais, cloretos e sulfatos solúveis	NBR 9917
Impurezas orgânicas das areias	NBR NM 49
Composição granulométrica dos agregados	NBR NM 248
Teor de material pulverulento	NBR NM 46
Teor de argila em torrões e materiais friáveis	NBR 7218
Abrasão "Los Angeles"	NBR NM 51
Índice de forma de agregado graúdo pelo método do paquímetro	NBR 7809
Apreciação petrográfica de materiais naturais	NBR 7389
Elementos maiores, elementos menores e terra-raras	ICP-ES, ICP-MS
Reatividade potencial álcali-agregado - método químico	NBR 9774
Reatividade álcali-agregado - método acelerado	ASTM C 1260

Tabela 1 – Ensaio de caracterização e respectivas normas.

1.5.1 Propriedades importantes na produção de concreto

Em geral, as propriedades do agregado afetam não apenas as características de dosagem do concreto, mas também o comportamento do concreto nos estados fresco e endurecido. Devido à considerável sobreposição dos dois aspectos, é mais adequado dividir o estudo das propriedades do agregado em três categorias com base nos fatores microestruturais e fatores relacionados ao seu processamento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Tais características são:

- Características dependentes da porosidade – massa específica, absorção de água, resistência, dureza, módulo de elasticidade e sanidade;
- Características dependentes das condições prévias de exposição e fatores relacionados ao processo de fabricação – tamanho, forma e textura das partículas;
- Características dependentes da composição química e mineralógica: resistência, dureza, módulo de elasticidade e substâncias deletérias presentes.

A massa unitária de agregado em estado solto é um parâmetro próprio para relacionar massa em volume ou vice-versa, utilizado para o proporcionamento dos agregados em volume durante a preparação do concreto.

A massa específica de agregado é um parâmetro fundamental na dosagem do concreto e na avaliação da massa que o mesmo confere a uma estrutura. Reflete também o estado de sanidade do material, pois rochas alteradas tendem a apresentar massa específica menor que no estado sã (estado em que a rocha apresenta preservada sua integridade física e a cor e o brilho de seus minerais essenciais).

A absorção de água é traduzida pelo aumento da massa do agregado, devido ao preenchimento dos seus poros por líquido. É um parâmetro importante na dosagem do

concreto. Agregados com alto percentual de absorção influenciam no teor de água necessário para o estabelecimento de um traço de concreto de cimento Portland.

A ocorrência de sais, cloretos e sulfatos solúveis nos agregados, em níveis superiores a determinados índices normatizados inviabilizam sua aplicação em concretos, pois promovem mudanças na pega e no endurecimento da pasta, além de provocar a deterioração do concreto. A deterioração se dá por desagregação devido a reações indesejáveis com o cimento e por ataque às armaduras ou ferragens do concreto.

A granulometria visa classificar as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada tamanho, pois essa relação influenciará diretamente no grau de compactação dos agregados, resultando em maior ou menor índice de vazios. Para que haja uma maior economia do aglomerante (cimento), deve-se buscar um menor índice de vazios, o que tornará a massa de concreto menos permeável. Esses fatores também são influenciados pela forma dos fragmentos e pela rugosidade da superfície destes.

Além da obtenção da curva granulométrica, o ensaio de granulometria permite obter a determinação da dimensão máxima do agregado e do módulo de finura, constituindo importantes parâmetros para a elaboração da dosagem do concreto, assim como para o controle dos lotes recebidos na obra.

A qualidade de um agregado com relação à contaminação com partículas muito finas, que prejudicam a aderência entre a pasta de cimento e o agregado, pode ser avaliada pela quantidade de material pulverulento. A presença de materiais pulverulentos aumenta o consumo de água devido à grande superfície específica, acarretando a diminuição da resistência de concretos e argamassas. Do mesmo modo, a contaminação com grãos pouco resistentes, como argila em torrões e materiais friáveis, trarão prejuízos à resistência do concreto e à sua aparência.

A resistência do agregado graúdo ao desgaste e ao impacto, pode ser determinada através do ensaio de abrasão *Los Angeles*, o qual adota um percentual máximo de resíduo a ser atingido para permitir seu uso em concreto.

O ensaio do índice de forma permite avaliar a qualidade de um agregado graúdo em relação à forma dos grãos, sendo considerada a cúbica como ótima para agregados britados, como mencionado anteriormente, esses agregados são obtidos por processos de fragmentação mecânica de rochas e o material resultante tem formas e tamanhos variados, pois a estrutura da rocha, além das condições de britagem, exerce significativa influência na forma dos fragmentos.

A apreciação petrográfica visa conhecer as características das rochas, por meio de técnicas que permitem identificar os seguintes itens: composição mineralógica (minerais essenciais, acessórios e secundários e suas quantidades); textura (forma e arranjo dos minerais); estado de alteração dos minerais (sãs ou alterados e, se alterados, o tipo de alteração); estrutura (arranjo macroscópico); grau e tipo de microfissuração (intercristalina ou intracristalina, fissuras abertas ou preenchidas).

A determinação dos elementos químicos permite avaliar a composição química do agregado, identificando a presença dos elementos maiores (óxidos – SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , MnO , TiO_2 , P_2O_5 , Cr_2O_3) com limite de detecção maior ou igual a 0,05 %, dos elementos menores (traços – Be, Co, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, W, Zr, Y, Ba, Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Cd, Bi, Ag, Au, Hg, Ti, Sb, Se) com limite de detecção menor ou igual a 0,01 ppm, elementos terras-raras (traços – La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) com limite de detecção menor ou igual a 0,01 ppm. Verifica-se também a absorção atômica do elemento FeO, com limite de detecção igual ou menor que 0,05 %.

1.5.2 Reatividade

Alguns minerais de uma rocha podem reagir com certas substâncias do meio que os envolve, quando isso ocorre fica caracterizada a propriedade de reatividade.

Mineral é uma substância sólida natural, inorgânica e homogênea, que possui composição química definida e estrutura cristalina característica. Os minerais formam-se, na natureza, por cristalização a partir de líquidos magmáticos ou soluções termais, pela recristalização em estado sólido, ou, ainda, como produto de reações químicas entre sólidos e líquidos (ISAIA, 2007).

Os constituintes mineralógicos normalmente presentes nas rochas naturais são: minerais de sílica (quartzo, tridimita, opala), silicatos (feldspatos, ferromagnesianos, argilominerais), minerais carbonáticos (calcita, dolomita) e sulfetos e sulfatos (pirita, gipsita, anidrita).

A análise dos ensaios de apreciação petrográfica, determinação dos elementos químicos e da reatividade potencial álcali-agregado (método químico e método das barras de argamassa) fornece os elementos necessários para determinação da potencialidade da ocorrência de reação deletéria. Essa análise identifica a presença de minerais nocivos nos agregados que possam vir a interagir com fatores climáticos ou com substâncias presentes no meio onde a rocha será aplicada.

O método químico permite avaliar a reatividade potencial álcali-sílica de um agregado através da relação entre a concentração de sílica dissolvida e a redução da alcalinidade. Segundo diversos pesquisadores, o aspecto positivo deste ensaio é a sua agilidade, mas podendo falhar especialmente em se tratando de análise de agregados lentamente reativos (HELENE, et al., 2007).

O método das barras de argamassa é indicado para avaliar a reatividade de agregados frente a uma solução alcalina de hidróxido de sódio, através da monitorização das expansões

dimensionais de barras de argamassa, utilizando-se no ensaio um cimento comprovadamente não inibidor da reação álcali-agregado, referência da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), cuja expansibilidade em autoclave não exceda a 0,2 %.

A expansão média aos 14 dias de cura em solução alcalina é tomada como valor de referência para a estimativa da reatividade potencial do agregado com os álcalis. Expansões superiores a 0,20 % aos 14 dias indicam que o agregado é reativo e que entre 0,10 % e 0,20 % o agregado é potencialmente reativo, necessitando de ensaios complementares para decisão quanto a seu uso. Expansões abaixo de 0,10 % indicam que o agregado é inócuo.

A reação álcali-agregado será mais detalhada na Seção 1.6.2 e os ensaios de reatividade no Capítulo 2.

1.6 Concreto

As propriedades do concreto (hidráulico ou betuminoso) dependem da massa específica aparente, da porosidade, da composição granulométrica, da forma e da textura dos agregados. A composição mineralógica dos agregados, bem como sua porosidade, afeta a resistência, a compressibilidade e a sanidade dos concretos endurecidos. O consumo de cimento Portland ou de ligante betuminoso é altamente dependente da superfície específica e da porosidade dos grãos de agregados (ISAIA, 2007).

Para se obter concreto com determinadas características de desempenho, uma criteriosa seleção dos materiais componentes é o primeiro passo. O passo seguinte é um processo chamado dosagem do concreto, que significa encontrar a combinação correta dos componentes, de forma que se obtenha um produto que atenda a certos requisitos pré-determinados. Convencionalmente, os dois requisitos mais importantes são a trabalhabilidade do concreto no estado fresco e a resistência do concreto no estado endurecido em uma idade específica (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A trabalhabilidade é a propriedade que determina a facilidade com que uma mistura de concreto pode ser lançada, compactada e acabada. A durabilidade é outra importante propriedade, mas geralmente se considera que, sob condições normais de exposição, a durabilidade será satisfatória se a mistura de concreto desenvolver a resistência necessária (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A consistência, em linhas gerais, é uma medida da umidade da mistura de concreto, a qual é comumente avaliada em termos de abatimento, isto é, quanto mais úmida a mistura, maior o abatimento. É determinada pelo ensaio de abatimento do tronco de cone, realizado no concreto fresco, o qual permite verificar a uniformidade e a adequação ao uso previsto, em relação à consistência da massa, considerando a interação de seus constituintes.

O ensaio de moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto cilíndrico e prismático tem o objetivo de padronizar os procedimentos de confecção, armazenagem no processo de cura e preparativos para os ensaios destrutivos de avaliação das resistências. A inobservância dessas recomendações se traduz em resultados discrepantes entre corpos-de-prova de uma mesma amostra, invalidando o lote.

Através do ensaio de resistência à compressão axial, realizado no concreto endurecido em idades específicas, determina-se a propriedade mais avaliada do concreto, em função da simplicidade e precisão do ensaio, além de que em geral o concreto está submetido a esforços que transmitem tensões de compressão.

Uma das formas de avaliar a resistência do concreto à tração é através do ensaio por compressão diametral, o qual permite determinar essa resistência, baseando-se no princípio de que um cilindro, carregado diametralmente, recebe tensões de tração, além das de compressão, sendo a resistência à tração do concreto numericamente bem inferior que a de compressão, ele rompe por tração.

Por outro lado, o ensaio de resistência à tração na flexão permite verificar a resistência à tração, quando da aplicação de uma carga, através da flexão de um prisma de concreto.

Com relação ao uso do cimento, a sua composição química e mineral, o tamanho do grão e a distribuição granulométrica são fatores importantes a serem considerados no momento da seleção do mesmo, pois repercutem na resistência inicial e final da argamassa ou concreto. Quanto mais fino o cimento, mais rápida será sua reação de hidratação e maior sua reatividade. A trabalhabilidade e a quantidade de água são alteradas pelo teor de aluminato tricálcio e pela distribuição granulométrica. Tais características não serão analisadas mais detalhadamente por não fazer parte do escopo do presente trabalho.

1.6.1 Inter-relação entre as propriedades

Pela Figura 14, que ilustra as várias inter-relações entre agregado e concreto, fica claro que as características do agregado que são importantes para as propriedades do concreto, tanto no estado fresco como no estado endurecido, decorrem da microestrutura da rocha matriz, condições prévias de exposição e fatores relacionados ao processo de fabricação do agregado.

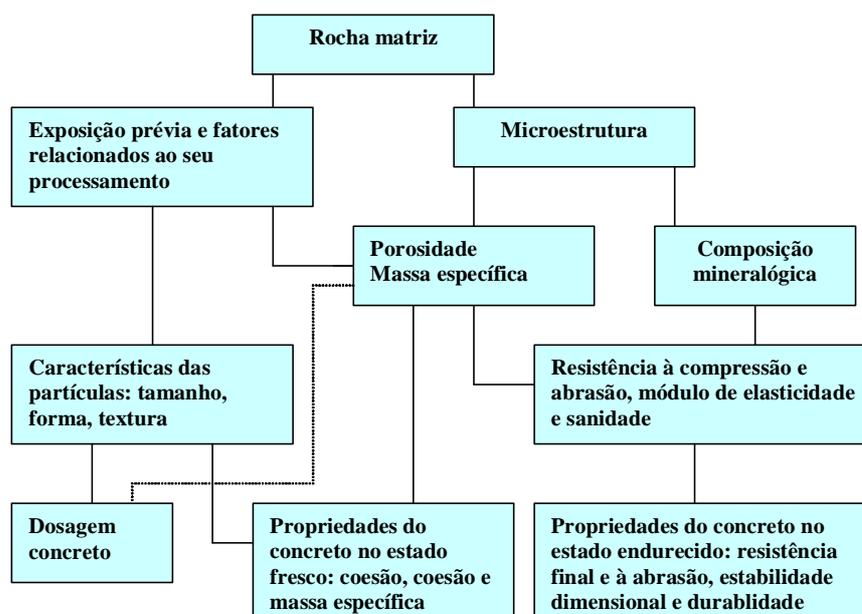


Figura 14 – Diagrama ilustrativo das inter-relações entre agregado e concreto.
 FONTE: Mehta; Monteiro, 2008. Adaptado.

Para a dosagem do concreto, é necessário que se conheça o espaço ocupado pelas partículas do agregado, incluindo os poros existentes dentro das partículas, ou seja, a massa específica. Da mesma forma, precisa-se determinar a massa unitária, em função de não ser possível empacotar as partículas do agregado, juntas, de forma a não deixar espaços vazios entre elas. Assim, o termo massa unitária é utilizado uma vez que o volume é ocupado tanto pelos agregados quanto pelos vazios.

Os dados relativos à capacidade de absorção, absorção efetiva e umidade superficial são invariavelmente necessários para corrigir as proporções de água e de agregado em misturas de concreto produzidas com materiais estocados. A capacidade de absorção de um agregado pode ser usada como medida aproximada de sua porosidade e resistência.

A resistência à compressão, a resistência à abrasão e o módulo de elasticidade do agregado são propriedades inter-relacionadas que são muito influenciadas pela porosidade. Agregados de origem natural comumente utilizados para a produção de concreto de densidade normal geralmente são densos e resistentes; portanto, raramente são fator limitante da resistência e das propriedades elásticas do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Os limites granulométricos e a dimensão máxima do agregado influenciam diretamente a trabalhabilidade e o custo do concreto. Agregados de granulometria contínua, ou seja, que não apresentam grande deficiência ou excesso de qualquer dimensão de partícula produzem as misturas de concreto mais trabalháveis e econômicas.

Em geral, quanto maior a dimensão máxima do agregado, menor será a área superficial por unidade de volume que deve ser coberta pela pasta de cimento para uma dada relação água/cimento. Considerando que o preço do cimento é muito superior ao preço do agregado, qualquer ação que economize cimento sem reduzir a resistência e a trabalhabilidade do concreto pode resultar em um significativo benefício econômico.

E, ainda, com relação à dimensão máxima do agregado, aspectos práticos devem ser observados, como a relação com a dimensão mais estreita da forma na qual o agregado será colocado, menor que um quinto, e com a distância máxima livre entre as barras da armadura, menor que três quartos. Como as partículas grandes tendem a produzir mais microfissuras na zona de transição na interface entre o agregado graúdo e a pasta de cimento, para misturas de concreto de alta resistência, a dimensão máxima do agregado geralmente fica limitada a 19 mm (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A forma e a textura superficial das partículas do agregado influenciam mais as propriedades do concreto no estado fresco do que as no estado endurecido. Comparadas às partículas lisas e arredondadas, as partículas de textura áspera, angulosas e alongadas necessitam de mais pasta de cimento para produzir misturas de concreto trabalháveis e, portanto, o custo aumenta.

A forma se refere às características geométricas como arredondada, angulosa, alongada, ou achatada. Rochas britadas apresentam vértices e arestas bem definidos e produzem partículas equidimensionais, sendo denominadas de angulosas.

A classificação da textura superficial, definida pelo grau com que a superfície do agregado é lisa ou áspera, baseia-se numa avaliação visual. A textura superficial depende da dureza, tamanho do grão, porosidade da rocha matriz e sua conseqüente exposição a forças de atrito. Rochas britadas como granito, basalto e calcário apresentam textura áspera (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

As substâncias deletérias (torrões de argila, partículas friáveis, material pulverulento, impurezas orgânicas etc.) podem afetar adversamente a trabalhabilidade, a pega, o endurecimento e as características de durabilidade do concreto.

1.6.2 Reações deletérias

Podem ocorrer diversos tipos de reações entre o agregado e o cimento, sendo umas benéficas e outras deletérias. Dentre as reações deletérias se destaca a reação álcali-agregado (RAA), que é lenta e ocorre entre os álcalis do cimento e alguns minerais reativos dos agregados resultando um gel expansivo que, dispendo-se em vazios do concreto e na interface pasta-agregado, pode promover fissurações generalizadas, com conseqüente comprometimento da qualidade da estrutura.

Segundo Helene et al (2007) a hidratação do cimento Portland resulta em uma solução contendo hidróxidos de cálcio, potássio (K) e sódio (Na), estes dois últimos conhecidos como álcalis, presentes nos poros da pasta endurecida. Após a saturação da solução dos poros com água, a maior parte dos hidróxidos metálicos (hidróxidos de sódio e potássio) fica solubilizado dentro do poro. A sílica reativa presente na superfície de alguns agregados reage com os íons OH^- em alta concentração na solução do poro, resultando na formação de compostos com volume superior ao somatório do volume dos reagentes que lhe deram origem. O resultado é o surgimento de tensões na superfície dos agregados que, quando superam a resistência à tração do concreto, resultam no surgimento de fissuras.

Segundo Valduga (2002) a velocidade de desenvolvimento e magnitude das deformações vão depender de um grande número de fatores, primeiramente a natureza e a quantidade disponível de agregados reativos, níveis de álcalis no cimento, temperatura ambiente, disponibilidade de umidade e de eventuais restrições físicas à expansão, que podem ser internas e externas.

De acordo com Cichinelli (2007), o Comitê de Especialistas do IBRACON para Reações Expansivas em Estruturas de Concreto, no 2º semestre de 2005, relatou que tem sido comumente dividida a RAA em três tipos:

- Reação álcali-sílica (RAS) – é a principal e mais recorrente no Brasil e acontece quando os vários tipos de sílica reativa presentes nos agregados reagem com os íons hidroxila existentes nos poros do concreto. A sílica reage com os álcalis sódio e potássio formando um gel sílico-alcálico, altamente instável, que começa a absorver água e a se expandir, ocupando um volume maior que os materiais que originaram a reação;
- Reação álcali-silicato (RASS) – é o tipo de RAA mais encontrado em barragens construídas no Brasil e em blocos de fundação na região da Grande Recife. Consiste na reação entre álcalis disponíveis e alguns tipos de silicatos eventualmente presentes em certas rochas sedimentares, rochas metamórficas e ígneas. É uma reação que está basicamente relacionada à presença de quartzo tensionado, quartzo microcristalino a criptocristalino e minerais expansivos do grupo dos filossilicatos;
- Reação álcali-carbonato (RAC) – é a mais rara de todas e acontece quando certos calcários dolomíticos são usados como agregado em concreto e são atacados pelos álcalis do cimento, originando uma reação denominada desdolomitização. Trata-se de uma reação bem complexa, cujas conseqüências são bem mais graves, mas ainda existem várias divergências sobre o provável mecanismo da reação.

Existem muitos métodos de ensaio visando à detecção da presença da RAA, tanto em campo como em laboratório. No entanto, como a recuperação ou reforço de uma estrutura deteriorada pela RAA é muito dispendiosa e difícil, e sendo o processo de deterioração contínuo, é de consenso técnico e científico que o melhor remédio para esta manifestação patológica é a prevenção. Existem alguns métodos que podem detectar previamente a potencialidade da reatividade de agregados frente aos hidróxidos de sódio ou de potássio

presentes na pasta de cimento hidratada (HELENE, et al., 2007). Os principais são os seguintes:

- Apreciação petrográfica de materiais naturais, NBR 7389;
- Método químico, NBR 9774;
- Método acelerado das barras de argamassa, ASTM C-1260;
- Método de prismas de concreto, ASTM 1293.
- Método acelerado de prismas de concreto.

A ocorrência da RAA requer a atuação conjunta de água, do agregado reativo e dos álcalis (sódio e/ou potássio) do cimento, sua prevenção pode ser feita a partir da eliminação de um dos fatores, ou seja, a partir do emprego de agregados inertes ou de cimento com baixos teores de álcalis, ou ainda, por meio de uso de adições que inibam o processo expansivo. Dentre estas, destacam-se, as escórias de alto forno e as pozolonas, encontradas principalmente nos cimentos de alto-fornos e pozolânicos, respectivamente, com materiais mais eficientes no combate à reação álcali-agregado.

A contribuição para a prevenção da RAA se inicia com uma análise, desde a fase de elaboração dos projetos, com o objetivo de identificar o tipo da obra, sua condição de implantação, as condições de exposição da estrutura, as dimensões da estrutura, dentre outras. Dessa análise, poderão ser indicadas as situações onde requer atenção para a potencialidade da reação.

A primeira constatação da ocorrência da RAA é atribuída a Thomas Edison Stanton, em um trabalho publicado em novembro de 1940 pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE). Historicamente conhecido como um fenômeno de ocorrência rara e de lento desenvolvimento, a reação álcali-agregado no Brasil foi, durante décadas, objeto de estudos específicos para a construção de obras hidráulicas. A constatação da RAA em obras de edifícios foi verificada pela primeira vez na cidade de Recife/PE, devido ao interesse gerado

na inspeção das fundações de diversos edifícios habitacionais após a queda do Areia Branca em outubro de 2004 (BATTAGIN, et al., 2008).

Em função da ocorrência desses casos, em 2005 o Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados da ABNT determinou o início dos estudos para a elaboração de uma nova norma brasileira para a prevenção da reação álcali agregado. Uma Comissão de Estudos foi formada por especialistas, produtores, pesquisadores e consumidores. Após dois anos de intensos trabalhos foi publicada a norma NBR 15577 Agregados – Reatividade álcali-agregado, composta por seis partes, que se inter-relacionam e complementam.

Essa norma vem de encontro aos mais atuais conceitos mundiais sobre o tema, estabelecendo as diretrizes para a prevenção de comprometimento precoce da vida útil de elementos e estruturas de concreto, considerando um elenco de informações que permite a melhor decisão para cada obra (BATTAGIN, et al., 2008).

A norma NBR 15577 passou a vigorar a partir de 14 de maio de 2008, sendo que no presente trabalho, os estudos e ensaios de laboratório sobre reatividade foram realizados até janeiro de 2008, ou seja, sob vigência das normas técnicas anteriores.

1.7 Legislação

O homem, desde seu aparecimento no planeta, sempre dependeu dos bens minerais para sua sobrevivência e evolução. No mundo moderno utilizamos quantidades significativas de insumos provenientes do reino mineral. Com relação ao setor de agregados para construção civil, cumpre destacar sua importância para a sociedade. A produção mundial anual de concreto é de 6,5 bilhões de toneladas. O concreto é o segundo produto mais consumido do mundo, só perdendo para a água. Esta demanda é condicionada para o fluxo de investimentos em obras de: a) infra-estrutura econômica regional; b) infra-estrutura urbana e metropolitana (HERRMANN, 2007).

Esse contexto mundial não se difere do contexto regional atual, como explicitado anteriormente na Introdução deste trabalho. As atividades econômicas no Amazonas, e principalmente a indústria da construção civil têm demandado volumes, cada vez maiores, de bens minerais.

Em função desses aspectos e por interferir no ambiente natural, a mineração é a atividade econômica mais controlada pelo ordenamento jurídico, inclusive na própria Constituição Federal. A preocupação com a proteção ambiental é uma vertente cada vez mais presente na sociedade, onde o desenvolvimento da consciência ambiental tem como objetivo a salvaguarda do patrimônio ambiental brasileiro para as futuras gerações.

1.7.1 Legislação mineral

O sistema mineral possui alguns princípios que determinam todas as relações pessoais e institucionais subseqüentes, sendo os principais:

- Função social da propriedade mineral – art. 47 do Código de Mineração (Decreto-Lei nº 227, de 28/02/1967); art. 225 da Constituição Federal (CF);
- Dualidade imobiliária – art. 176 *caput* da CF e art. 1.230 do Código Civil Brasileiro. Reafirma a separação da propriedade mineral (pertence à União) da superficial (pertence ao superficiário), com destaque para a prevalência da União em relação a esta, em função da atividade mineral ser considerada como de interesse nacional;
- Supremacia do interesse público sobre o privado – art. 176, § 1º da CF que determina que “A pesquisa e a lavra de recursos minerais e o aproveitamento dos potenciais a que se refere o caput deste artigo só poderão ser efetuados mediante autorização e concessão da União, no interesse nacional (...);”

- Recuperação da área degradada – art. 225, § 2º da CF que estabelece “Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com a solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”;
- Prioridade – art. 16 do Código de Mineração, assim transcrito “Constitui direito de prioridade a precedência de entrada no DNPM do requerimento de autorização de pesquisa em área considerada livre, ou de concessão de lavra de jazida declarada em disponibilidade, designando-se por “prioritário” o respectivo requerente”;

O Código de Mineração indica os regimes exploratórios das substâncias minerais, estabelecendo os requisitos e condições para a obtenção dos títulos minerários, por meio de um procedimento administrativo adequado. Os regimes são os seguintes: autorização de pesquisa; concessão de lavra; licenciamento; permissão de lavra garimpeira; registro de extração; monopólio e os regimes especiais. Para o aproveitamento de agregados para construção civil, há o regime denominado de extração mineral, instituído pela Lei nº 9.287, de 28 de agosto de 1999, regulamentada pelo Decreto 3.358, de 2 de fevereiro de 2000, pela MME 23/2000, pelo art. 5º da Instrução Normativa do DNPM e pela Portaria DNPM 268/05.

Recentemente, o Ministério de Minas e Energia publicou a Portaria nº 222, de 20 de junho de 2008, que “Institui o Plano Nacional de Agregados Minerais para Construção Civil – PNACC, e dá outras providências”, com o objetivo de garantir o suprimento adequado de insumos minerais vitais ao crescimento econômico e a melhoria da qualidade de vida da população brasileira.

O DNPM, autarquia federal vinculada ao Ministério de Minas e Energia, é o órgão responsável em promover o planejamento e o fomento da exploração mineral e do aproveitamento dos recursos minerais, e assegurar, controlar e fiscalizar o exercício das

atividades de mineração em todo o território nacional. Em sua página na internet (www.dnpm.gov.br), disponibiliza todas as informações necessárias (sistemas, serviços, estatísticas, legislação, taxas, manuais, economia mineral etc.) aos interessados em produzir e explorar bens minerais.

1.7.2 Legislação ambiental

A execução da política ambiental brasileira é feita nas esferas federal, estadual e municipal, em função da dimensão continental do país e das regionalidades.

A coordenação e formulação da Política Nacional do Meio Ambiente são de responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA). A ele se vincula o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão deliberativo e consultivo de política ambiental. É de competência do CONAMA o estabelecimento das normas, padrões e critérios para o licenciamento ambiental a ser concedido e controlado pelos órgãos ambientais estaduais e municipais competentes, integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), e pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em caráter supletivo. O IBAMA, autarquia sob jurisdição do MMA, é órgão responsável pela execução da Política Nacional do Meio Ambiente a nível federal (SALVADOR; MIRANDA, 2008).

De acordo com o DNPM (2002) em decorrência dos dispositivos constitucionais, o exercício da atividade mineradora no país está condicionado a três instrumentos específicos de controle do Poder Público, no que tange aos riscos potenciais de danos ao meio ambiente resultante da lavra: o Estudo Prévio de Impacto Ambiental (EIA), o Licenciamento Ambiental (LA) e o Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD).

O EIA, que precede o licenciamento ambiental de qualquer atividade de aproveitamento de recursos minerais e dele se distingue, tem sua definição, normas e critérios

básicos, e diretrizes de implementação estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 001/86 (com base na Lei n° 6.938/81), alterada e complementada pelas resoluções n° 009/90 e n° 010/90, do mesmo Conselho. A exigência do EIA aplica-se aos empreendimentos mineiros de toda e qualquer substância mineral, com exceção daquelas de emprego imediato na construção civil (Classe II do Código de Mineração).

O EIA, a ser elaborado obrigatoriamente por técnicos habilitados, deve estar consubstanciado no Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), o qual é submetido ao órgão de meio ambiente competente, integrante do SISNAMA, para análise e aprovação. Nesta fase, o RIMA deve ser tornado público, para que a coletividade ou qualquer outro interessado tenha acesso ao projeto e a seus eventuais impactos ambientais e possa conhecê-los e discuti-los livremente, inclusive em audiência pública. A aprovação do EIA/RIMA é o requisito básico para que a empresa de mineração possa pleitear o Licenciamento Ambiental (SALVADOR; MIRANDA, 2008).

A obtenção do LA é obrigatória para a localização, instalação ou ampliação e operação de qualquer atividade de mineração objeto do regime de concessão de lavra ou licenciamento. Este licenciamento está regulado no Decreto n° 99.274/90, que dá competência aos órgãos estaduais de meio ambiente para expedição e controle das licenças ambientais como:

- Licença Prévia (LP) – a qual é pertinente à fase preliminar do planejamento do empreendimento de mineração e contém os requisitos básicos a serem atendidos nas fases de localização, instalação e operação, observados os planos municipais, estaduais ou federais de uso de solo;
- Licença de Instalação (LI) – autoriza o início da implantação do empreendimento mineiro, de acordo com as especificações constantes do Plano de Controle Ambiental aprovado.

- Licença de Operação (LO) – autoriza, após as verificações necessárias, o início da atividade licenciada e o funcionamento de seus equipamentos e instalações de controle de poluição, de acordo com o previsto nas Licenças Prévia e de Instalação.

Devem ser observados as normas, os critérios e os padrões fixados nas diretrizes gerais para licenciamento ambiental emitidas pelo CONAMA. Além destes, devem também ser observados os critérios e padrões estabelecidos pelo órgão estadual de meio ambiente, na esfera de sua competência e na área de sua jurisdição, desde que em consonância com os do nível federal (SALVADOR; MIRANDA, 2008).

De acordo com o Decreto nº 97.632/89, os empreendimentos de mineração estão obrigados, quando da apresentação do EIA/RIMA, a submeter o PRAD à aprovação do órgão estadual de meio ambiente competente. Este plano contempla a solução técnica adequada, visualizada pela empresa de mineração, à reabilitação do solo degradado resultante da atividade de extração, para uso futuro. O PRAD aprovado pode ser revisto ou alterado posteriormente, com a concordância do órgão ambiental competente, com vistas a incorporar inovações tecnológicas ou alternativas mais adequadas em razão do desenvolvimento dos trabalhos de lavra. Em casos de empreendimentos de mineração com significativo impacto ambiental de âmbito nacional ou regional, a competência para efetuar o licenciamento ambiental é do IBAMA (SALVADOR; MIRANDA, 2008).

As normas ISO 14001 e a ISO 14004, apesar de não constituírem o arcabouço da legislação mineral, e sim instrumentos normalizadores de procedimentos, definem Aspecto Ambiental como "um elemento da atividade, produto e serviço de uma organização que pode interagir com o meio ambiente de forma benéfica ou adversa". O conceito de Impacto Ambiental, conforme estas mesmas normas, "é qualquer modificação do meio ambiente,

benéfica ou adversa, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização".

É nesse contexto que surge o conceito do "Desenvolvimento Sustentável". Comumente reproduzido no discurso atual, o desenvolvimento sustentável pode ser entendido, no caso das atividades de mineração, como sendo a necessidade de se estabelecer uma linha de conduta que possibilite às empresas conduzir suas atividades, indispensáveis ao bem-estar da sociedade, de maneira mais eficiente e ambientalmente responsável. Significa garantir que os impactos inerentes da mineração, em qualquer de suas fases (implantação, operação e fechamento), sejam eles positivos ou negativos, produzam efeitos assimiláveis pelo ambiente. Buscar o desenvolvimento sustentável representa, certamente, uma das maiores preocupações dos setores produtivos atualmente, independente do ramo de atividades (SALVADOR; MIRANDA, 2008).

CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

Neste Capítulo foi identificado o tipo da pesquisa, os critérios de amostragem dos materiais utilizados e produzidos e suas respectivas características, assim como descrito os métodos utilizados.

2.1 Delineamento da pesquisa

Caracterizada como experimental, a pesquisa tem como objeto de estudo a pedra britada de granito da região de Moura, município de Barcelos no Amazonas, com a finalidade de avaliar sua aplicação na produção de concretos.

As variáveis e as formas de controle foram definidas de acordo com as normas técnicas da ABNT, tendo sido os resultados comparados com os do concreto com agregado convencionalmente empregado na cidade de Manaus – seixo rolado.

2.2 Amostragem

Os procedimentos de coleta e amostragem dos materiais para a execução dos ensaios tecnológicos foram realizados de acordo com as normas técnicas da ABNT – NBR NM 26 e NBR NM 27.

2.3 Materiais

Em função dos objetivos da pesquisa, foram relacionados os componentes utilizados na produção dos concretos: cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água. As amostras de pedra britada de granito para a pesquisa foram adquiridas da empresa Ita Mineração Ltda., que possui jazida de produção na região de Moura. Além disso, as amostras de areias e cimento empregados na pesquisa foram adquiridas no comércio local de Manaus.

2.3.1 Cimento Portland

O cimento utilizado para os ensaios foi o CPII-Z-32 da Nassau, produzido pela empresa Itautinga Agro Industrial S/A. Deve-se destacar que o cimento Portland é um aglomerante hidráulico cujo processo de fabricação consiste no aquecimento em altas temperaturas das matérias-primas, calcário e argila, originando o clínquer. O clínquer passa por uma moagem, sendo adicionada em torno de 5 % de gipsita ao produto final para impedir a pega instantânea. Portanto, o cimento Portland é composto principalmente de cálcio e sílica, havendo outros minerais em proporções bem menores.

Pelo Certificado de Análises n° 318/07 (Anexo A), emitido pela Itautinga Agro Industrial S/A, os resultados das análises química (Tabela 2) e física (Tabela 3) atendem aos critérios exigidos pela Norma Brasileira NBR 11.578.

Análise química		Teor %
Perda ao fogo	P.F.	4,51
Dióxido de silício	SiO ₂	23,10
Óxido de alumínio	Al ₂ O ₃	5,96
Óxido de ferro	Fe ₂ O ₃	3,15
Óxido de cálcio	CaO	57,44
Óxido de magnésio	MgO	1,99
Anidrido sulfúrico	SO ₃	2,82
Óxido de sódio	Na ₂ O	0,08
Óxido de potássio	K ₂ O	0,29
Equivalente alcalino	0,658 x % K ₂ O + % Na ₂ O	0,27
Resíduo insolúvel	R.I.	8,91
Óxido cálcio livre	CaO.1	1,63
Dióxido de carbono	CO ₂	4,03

Tabela 2 – Análise química do cimento CPII-Z-32.

FONTE: Itautinga Agro Industrial S/A.

A análise da composição química do cimento identificou seus componentes álcalis (óxido de sódio e óxido de potássio), elementos estes que são avaliados para a determinação da potencialidade de interagir com os minerais reativos presentes nos agregados.

Deve-se ressaltar que o cimento CPII-Z-32, detentor de expressiva fatia do mercado consumidor de Manaus, por ser um cimento Portland composto com a adição de pozolana,

apresenta um baixo teor alcalino, caracterizando um cimento praticamente inerte para a reação álcali-agregado.

Análise física		Resultados
Finura # 0,075 mm (%)		1,60
Finura # 0,044 mm (%)		10,10
Blaine (cm ² /g)		4.750,00
Massa específica (g/cm ³)		3,05
Água para consistência normal (%)		26,90
Expansibilidade (mm)	Quente	0,50
	Início	115,00
Tempo de pega (min)	Fim	116,00
	1 dia	15,10
Resistência à compressão por idade (MPa)	3 dias	25,90
	7 dias	31,00
	28 dias	40,30

Tabela 3 – Análise física do cimento CII-Z-32.

FONTE: Itautinga Agro Industrial S/A.

2.3.2 Agregado miúdo

Areia. Com o objetivo de utilizar uma areia característica da região, de acordo com os parâmetros normativos para utilização em concreto, foram ensaiadas diversas amostras de origens diferentes, em função dos resultados iniciais dos ensaios de caracterização.

Inicialmente foram adquiridos 1,0 m³ de areia no comércio de Manaus, sendo esta amostra denominada de areia A. Posteriormente, foi utilizada a areia disponível no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), denominada de areia B. Em seguida foram adquiridos 2,00 m³ de areia lavada em rio, no comércio local, denominada de areia C. Por último foram adquiridos 1,0 m³ de areia na Ita Mineração, comercialmente denominada de “areião”, sendo identificada de areia D.

2.3.3 Agregado graúdo

Seixo. Inicialmente foram adquiridos 100 kg de seixo no comércio de Manaus, denominado de seixo A. Após a primeira série de dosagens de concreto utilizando o seixo A,

foi utilizado o material disponível no laboratório de materiais de construção da UFAM, denominado de seixo B.

Pedra britada de granito. Inicialmente foram adquiridos 1,0 m³ de pedra britada de granito, classificada comercialmente como brita 1, da Ita Mineração, denominado granito 1-A. Após a primeira série de dosagens de concreto utilizando o granito 1-A, foram adquiridas novas amostras de pedra britada de granito, classificadas comercialmente como brita 0, brita 1 e brita 2, denominadas respectivamente, granito 0-B, granito 1-B, granito 2-B.

Nos estudos iniciais, ainda quando do cumprimento da disciplina Laboratório de Materiais de Construção, realizamos ensaios tecnológicos pilotos e de treinamento com as amostras de granitos 0-B e 1-A. Posteriormente, após o planejamento da pesquisa e identificação de todos os ensaios e repetições que seriam necessários para o estudo de caracterização e dosagens de concreto, escolhemos a amostra do granito 1-B, por apresentar semelhanças na curva granulométrica com o agregado convencional – seixo.

2.3.4 Água

Foi utilizada a água proveniente dos poços e reservatórios da UFAM, que atendeu as características recomendadas pela NBR 6118.

2.4 Métodos

Em função dos objetivos propostos, foram identificados os caminhos necessários para o desenvolvimento da pesquisa, identificando as necessidades e disponibilidades operacionais locais. Procedimentos considerados importantes para o cumprimento dos objetivos, mas não disponíveis em Manaus, foram realizados nos centros técnicos de referência nacional e internacional.

2.4.1 Ensaio tecnológicos

Foram realizados os ensaios tecnológicos para caracterização dos agregados, estudos de dosagem e ensaios com os concretos produzidos nos estados fresco e endurecido.

Os ensaios de análise de rocha para determinação da composição química dos elementos maiores, elementos menores e elementos terras-raras foram realizados pela *Acme Analytical Laboratories Ltda.*, em Vancouver no Canadá, através da análise da amostra previamente preparada no laboratório da CPRM, em Manaus/AM. Os procedimentos executados pelos técnicos da CPRM foram acompanhados diretamente pelo pesquisador, que providenciou o envio da amostra para o escritório de representação da *Acme Analytical Laboratories Ltda.* no Brasil.

Os ensaios de reatividade álcali-agregado pelo método das barras de argamassas, reatividade potencial pelo método químico, apreciação petrográfica de materiais naturais, determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis foram realizados no laboratório da ABCP, em São Paulo/São Paulo. Ressalta-se que, este pesquisador esteve pessoalmente na ABCP para entrega da amostra e discussão com os técnicos responsáveis pelas execuções dos ensaios dos respectivos métodos e procedimentos laboratoriais.

A apreciação petrográfica de materiais naturais também foi realizada pela CPRM, em Manaus/Amazonas, tendo sido acompanhado por este pesquisador os procedimentos para preparação das lâminas delgadas e análise das lâminas pelo técnico geólogo responsável.

Os demais ensaios foram realizados no laboratório de materiais da Faculdade de Tecnologia da UFAM, sob a execução direta deste pesquisador e com a orientação dos técnicos de laboratório da Instituição para manuseio dos equipamentos e ferramentas.

A Tabela 4 relaciona os ensaios de caracterização tecnológica dos agregados, o método de dosagem do concreto e os ensaios de realizados no concreto no estado fresco e endurecido.

Ensaio	Normas ABNT/ASTM
Massa unitária de agregados em estado solto	NBR 7251
Massa específica de agregado miúdo - frasco Chapman	NBR NM 52
Massa específica e absorção de agregado graúdo	NBR NM 53
Sais, cloretos e sulfatos solúveis	NBR 9917
Impurezas orgânicas das areias	NBR NM 49
Composição granulométrica dos agregados	NBR NM 248
Teor de material pulverulento	NBR NM 46
Teor de argila em torrões e materiais friáveis	NBR 7218
Abrasão "Los Angeles"	NBR NM 51
Índice de forma de agregado graúdo pelo método do paquímetro	NBR 7809
Apreciação petrográfica de materiais naturais	NBR 7389
Elementos maiores, elementos menores e terra-raras	ICP-ES, ICP-MS
Reatividade potencial álcali-agregado - método químico	NBR 9774
Reatividade álcali-agregado - método acelerado	ASTM C 1260
Dosagem experimental de concreto	Método Ary Torres
Moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto cilíndricos e prismáticos	NBR 5738
Consistência pelo abatimento do tronco de cone	NBR NM 67
Resistência à compressão axial	NBR 5739
Resistência à tração por compressão diametral	NBR 7222
Resistência à tração na flexão	NBR 12142

Tabela 4 – Ensaio tecnológicos realizados.

2.4.1.1 Massas unitária e específica

O ensaio de massa unitária de agregados em estado solto foi realizado de acordo com a NBR 7251, tanto para o agregado miúdo (areia), quanto para o agregado graúdo (pedra britada e seixo) diferenciando apenas no volume do recipiente ($V_r = 15 \text{ dm}^3$ ou 20 dm^3), em função da dimensão máxima do agregado. As amostras foram secas, previamente, ao ar e lançadas de uma altura de 10 a 12 cm no recipiente, preenchendo totalmente. Feito o rasamento do recipiente com uma régua, determinou-se a massa do agregado (M_a). A massa unitária do agregado foi calculada pela Expressão (1).

$$M_u = \frac{M_a}{V_r}, \text{ (kg/dm}^3\text{)} \quad (1)$$

Sendo observado que a máxima variação permitida entre os resultados de cinco determinações é de $0,02 \text{ kg/dm}^3$.

A massa específica do agregado miúdo foi determinada de acordo com a NBR 9776. A amostra foi seca em estufa até não haver variação no valor medido para a massa. Adicionou-se então no frasco de Chapman até a marca de 200 cm^3 , sendo colocado neste, 500 g do

material. Em seguida o frasco foi agitado e girado para retirada de bolhas de ar. Feita a leitura final (L_f), calculou-se a massa específica pela Expressão (2).

$$M_a = \frac{500}{L_f - 200}, \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (2)$$

Sendo observado que a máxima variação permitida entre os resultados de duas determinações é de 0,05 g/cm³.

As massas específicas dos agregados graúdos (pedra britada e seixo) foram realizadas de acordo com a NBR 9937. Em função da dimensão máxima do agregado foi previsto a quantidade mínima do material (3000 g), sendo o material lavado na peneira 4,8 mm, rejeitando-se o que passou. O material retido foi seco em estufa até não haver variação no valor medido para a massa, deixando-se esfriar na temperatura ambiente. Logo em seguida, foi determinada a massa de material desejada (A). As amostras foram submersas em água, na temperatura ambiente por 24 h, sendo determinado a massa do material submerso (B). Os grãos dos agregados foram enxutos com pano absorvente até o desaparecimento do brilho da água, sendo determinado a massa do material (C), na condição de saturado com superfície seca. Foi então calculada a massa específica do agregado seco pela Expressão (3).

$$M_s = \frac{A}{C - B}, \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (3)$$

Sendo observado que a máxima variação permitida entre os resultados de duas determinações é de 0,01 g/cm³.

2.4.1.2 Absorção d'água

Em continuidade ao ensaio de massa específica do agregado seco, foi determinado o teor de absorção d'água, dos agregados graúdos pela Expressão (4).

$$A_b = \left(\frac{C - A}{A} \right) \times 100, \text{ (%) } \quad (4)$$

Sendo observado que a máxima variação permitida entre os resultados de duas determinações é de 0,30%.

2.4.1.3 Sais, cloretos e sulfatos solúveis

Este ensaio foi realizado no laboratório da ABCP, em São Paulo, de acordo com a NBR 9917 e NBR 7211, tendo sido expedido o Relatório de Ensaio nº 48610 (Anexo B). O procedimento para realização do ensaio é descrito a seguir.

Prepararam-se os seguintes reagentes:

- Solução padrão de cloreto de sódio (2,9992 g de cloreto de sódio seco dissolvido com 1000 ml de água em balão volumétrico);
- Solução de nitrato de prata (8,5 g de nitrato de prata dissolvido com 1000 ml de água em balão volumétrico);
- Solução de ácido nítrico (50 cm³ de ácido nítrico concentrado com 50 cm³ de água);
- Solução de vermelho de metila (0,2 g de vermelho de metila com 100 cm³ de etanol);
- Solução ácido clorídrico (50 cm³ de ácido clorídrico concentrado com 50 cm³ de água);
- Solução de cloreto de bário (100 g de cloreto de bário com 1000 ml de água).

A amostra de 1000 g de pedra britada de granito foi seca em estufa até não haver variação no valor medido para a massa. Em seguida foi passada na peneira 2,4 mm, sendo moído o material retido e reservado o passante.

Para a extração dos sais solúveis, transferiu-se 20 g da amostra para um *Erlenmeyer* de 250 cm³ e foi adicionado 100 cm³ de água a uma temperatura de 80°C. Em seguida, o frasco foi arrolhado e agitado continuamente por 10 minutos. A solução foi filtrada através de papel

de filtração média, recolhendo-se o filtrado em balão volumétrico de 500 cm³ e lavando-se com água o material no papel do filtro até o volume de 300 cm³. Resfriou-se o conteúdo do balão até temperatura ambiente e transferiu-se uma alíquota de 100 cm³ da solução para uma cápsula de porcelana previamente tarada, a qual foi evaporada em solução de banho-maria. A cápsula com o resíduo foi seca até não haver variação no valor medido para a massa, sendo esfriada em dessecador e pesada com aproximação de 0,0001 g. A porcentagem de sais solúveis foi calculada pela Expressão (5).

$$S_l = \left(\frac{m_2 \times 5}{m_1} \right), (\%) \quad (5)$$

Onde, m_1 é a massa da amostra original, em g; m_2 é a massa de sais solúveis, em g; 5 é o fator de alíquota.

Para a determinação de cloretos solúveis, após a manipulação da amostra preparada com cloreto de sódio e ácido nítrico, agitou-se a mistura utilizando um agitador magnético com adição de nitrato de prata na solução. Em seguida, foi conectado um eletrodo ao potenciômetro, e ligado o agitador, adicionando-se lentamente o nitrato de prata, até alcançar 0,50 cm³ além do ponto de equivalência. Calculou-se a diferença de potencial por volume entre adições sucessivas de titulante e a diferença entre valores consecutivos, sendo que para cada titulação foram determinados dois pontos de equivalência. A porcentagem de cloretos solúveis foi calculada pela Expressão (6).

$$C_l = \left[\frac{0,035453 \times (2V_1 - V_2) \times N \times V \times 5}{m_1 \times (V_2 - V_1)} \right] \times 100, (\%) \quad (6)$$

Onde, V_1 é o volume de nitrato de prata gasto até o primeiro ponto de equivalência, em cm³, V_2 é o volume de nitrato de prata gasto até o segundo ponto de equivalência, em cm³; N é a normalidade da solução de cloreto de sódio; V é o volume de solução de cloreto de sódio adicionado cada vez, em cm³; m_1 é a massa da amostra original, em g; 0,035453 é o miliequivalente de cloreto, em g/cm³; 5 é o fator de alíquota.

Com relação a determinação de sulfatos solúveis, 200 cm³ da amostra preparada foi transferida para um béquer de 400 cm³. Em seguida, adicionava-se 3 gotas do indicador vermelho de metila, na seqüência adicionou-se ácido clorídrico até mudança do indicador para vermelho. A solução foi aquecida até à ebulição, sendo adicionado lentamente a solução de cloreto de bário quente e mantida em ebulição até que houve a formação de um precipitado. Em seguida, foi digerida a solução por 12 h em temperatura de ebulição, mantendo-se o volume aproximado de 240 cm³ com adição de água. O precipitado foi filtrado em papel de filtração lenta e lavado com água quente. Foi então colocado o papel com precipitação em cadinho de porcelana, previamente tarado, e queimado lentamente sem inflamar até desaparecimento do papel, sendo posteriormente calcinado em temperatura média de 850°C durante 1 h. Em seguida foi esfriado em dessecador e pesado como BaSO₄. A porcentagem de sulfatos solúveis foi calculada pela Expressão (7).

$$S_o = \left(\frac{m_2 \times 2,5 \times 0,412}{m_1} \right) \times 100 \text{ , (\%)} \quad (7)$$

Onde, m_1 é a massa da amostra original, em g; m_2 é a massa de BaSO₄, em g; 2,5 é o fator de alíquota; 0,412 é o fator de transformação de BaSO₄ para SO₄.

2.4.1.4 Impurezas orgânicas das areias

Este ensaio foi realizado em quatro amostras denominadas de A, B, C e D, de acordo com a NBR 7220. Cada amostra foi seca ao ar, sendo preparada uma solução de hidróxido de sódio a 3% (30 g de hidróxido de sódio e 970 g de água destilada) e uma solução de ácido tânico a 2% (2 g de ácido tânico, 10 ml de álcool a 95% e 90 ml de água destilada). Foram separados 200 g de cada amostra num béquer, no qual foi adicionada 100 ml de solução de sódio, agitando-se vigorosamente a mistura. Em seguida, preparou-se a solução padrão com 3 ml da solução de ácido tânico e 97 ml da solução de hidróxido de sódio, os materiais e a solução padrão ficaram em repouso por 24 h. Após esse período, foi filtrado para um tubo

Nessler a solução que esteve em contato com o material e para outro tubo a solução padrão, através da comparação das intensidades de cor das duas soluções para cada amostra, foi identificado se o nível de impurezas orgânicas era aceitável de acordo com que recomenda a norma.

2.4.1.5 Composição granulométrica

O ensaio de composição granulométrica dos agregados foi realizado de acordo com a NBR 7217, tanto para as amostras do agregado miúdo (areia), quanto para as amostras de agregado graúdo (pedra britada e seixo), diferenciando a quantidade mínima de material para cada determinação, em função da dimensão máxima (até 4,8 mm – 500 g, entre 9,5 mm e 25 mm – 5000 g).

Primeiramente as amostras foram secas em estufa e deixadas esfriar a temperatura ambiente, sendo determinadas suas massas (M_1 e M_2). Em seguida, foi feito o peneiramento de cada uma dessas amostras, sendo observado os cuidados previstos na norma.

Uma vez encaixadas as peneiras, previamente limpas, de modo a formar um único conjunto de peneiras com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo, foi colocado a amostra (M_1) ou porções da mesma sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar uma camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras. Em seguida, promoveu-se a agitação manual de cada peneira com o fundo e tampa, por um período não inferior a 2 min, sendo o material passante colocado na peneira seguinte, e assim sucessivamente.

Terminado o peneiramento, o material retido em cada peneira foi removido para uma bandeja e determinada sua massa (inclusive do fundo). É considerado como retido o material removido pelo lado interno e, como passante, o despreendido na parte inferior. O somatório de todas as massas não deve diferir mais de 0,3% de M_1 . O peneiramento da segunda amostra, de

massa M_2 , e os demais procedimentos foi realizado da mesma maneira que para a de massa M_1 .

O resultado para cada uma das amostras de ensaio foi obtido calculando a porcentagem retida, em massa, em cada peneira, com aproximação de 0,1%. Determinou-se a dimensão máxima característica ($D_{m\acute{a}x}$), como sendo a abertura da malha, em milímetros, da peneira que continha uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5%. Calculado as porcentagens médias retidas e acumuladas, em cada peneira, com aproximação de 1%. Com esses dados foram elaboradas as curvas granulométricas, observando os limites granulométricos estabelecidos na norma. E ainda, foi determinado o módulo de finura (M_f), com aproximação de 0,01, sendo este considerado a soma das porcentagens acumuladas retidas nas peneiras.

2.4.1.6 Material pulverulento

O ensaio de teor de material pulverulento foi realizado de acordo com a NBR 7219, tanto para as amostras do agregado miúdo (areia), quanto para as amostras de agregado graúdo (pedra britada e seixo), diferenciando a quantidade mínima de material para cada determinação, em função da dimensão máxima (até 4,8 mm – 500 g, entre 4,8 mm e 19 mm – 3000 g).

As amostras foram secas em estufa e deixadas esfriar, sendo determinada a massa desejada de cada material (A), e em seguida, colocado em recipiente, adicionando-se água potável em excesso. O material foi agitado por jato de água para provocar a suspensão das partículas finas, sendo vertido imediatamente a água sobre as peneiras de 1,2 e 0,075 mm sobrepostas. O material retido nas peneiras foi lançado de volta no recipiente, sendo repetida a operação até que a água de lavagem saída da peneira estivesse limpa.

O recipiente ficou imóvel para decantação de todas as partículas e a água foi retirada através de pipeta. O material foi novamente seco em estufa até que as medições de sua massa apresentassem valor constante, sendo assim determinada sua massa (B). O teor de material pulverulento foi calculado através da média de duas determinações, empregando-se a Expressão (8).

$$T_{mp} = \left(\frac{A-B}{A} \right) \times 100 , (\%) \quad (8)$$

2.4.1.7 Argila em torrões e materiais friáveis

O ensaio de teor de argila em torrões e materiais friáveis dos agregados foi executado, de acordo com a NBR 7218, tanto para as amostras do agregado miúdo (areia), quanto para as amostras de agregado graúdo (pedra britada e seixo).

Após a secagem em estufa da amostra, até que as medições de sua massa apresentassem valor constante, foi feito então o peneiramento do material seco sucessivamente através das peneiras especificadas pela norma e determinado a massa das frações retidas (M_i). A seguir, foram espalhadas as frações retidas em bandejas de modo a formar uma camada fina, sendo verificada a possível presença de argila em torrões. Caso seja observada a ocorrência de argila em torrões, estes são desfeitos. Feito o repeneiramento e determinadas as massas retidas de cada fração (M_f), calculou-se inicialmente, a porcentagem de material destorrado de cada fração pela Expressão (9).

$$M_d = \left(\frac{M_i - M_f}{M_i} \right) \times 100 , (\%) \quad (9)$$

Em seguida, o teor parcial de argila em torrões e materiais friáveis foi calculado através da Expressão (10).

$$T_{pa} = M_d \times \% \text{ retida individual} , (\%) \quad (10)$$

O teor global foi calculado pela somatória dos teores parciais.

2.4.1.8 Abrasão *Los Angeles*

O ensaio de abrasão *Los Angeles* foi realizado conforme a NBR NM 51. Este ensaio é específico para os agregados graúdos (pedra britada e seixo).

A amostra foi separada, por peneiramento, em diferentes frações, de acordo com indicação da norma. Em seguida, cada fração foi lavada e seca em estufa até não haver variação do valor de sua massa (M_i). A graduação do ensaio foi definida, em função das características do agregado, sendo escolhida a tipo A com 12 esferas de aço. A amostra foi colocada juntamente com a carga abrasiva na máquina *Los Angeles*.

O tambor da máquina foi girado a uma velocidade entre 30 e 33 rpm, até completar 500 rotações. Após essa etapa, o material foi retirado do tambor e passado pela peneira de abertura de malha de 1,7 mm, sendo rejeitado o material passante. A fração retida na peneira foi lavada e seca em estufa, tendo sido aguardado o seu resfriamento e medida a massa (M_f) até não haver variação de seu valor. A porcentagem de perda por abrasão foi calculada pela Expressão (11).

$$A_b = \left(\frac{M_i - M_f}{M_i} \right) \times 100, (\%) \quad (11)$$

2.4.1.9 Índice de forma

O ensaio de índice de forma de agregado graúdo pelo método do paquímetro foi realizado para a pedra britada de granito, de acordo com a NBR 7209.

O material foi previamente seco em estufa até que a medida de sua massa apresentasse valor constante. Logo em seguida, a sua composição granulométrica foi analisada de acordo com a NBR 7217, utilizando-se as peneiras das séries normal e intermediária. As frações passantes na peneira de 9,5mm e aquelas cujas percentagens retidas individuais eram iguais ou menores que 5% foram desprezadas. Calculou-se então, para cada fração, o número de grãos necessários para o ensaio através da Expressão (12).

$$N_i = \left(\frac{200}{\sum F_i} \right) \times F_i, \text{ onde } i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

Onde N_i é o número de grãos para medição da fração i ; F_i é a porcentagem retida individual da fração i ; $\sum F_i$ é a soma das porcentagens retidas individuais das frações que foram medidas; 200 é o número total de grãos necessários para o ensaio.

O material foi quarteado até a obtenção da quantidade necessária. Em seguida, determinado, com aproximação de 0,1 mm, através de um paquímetro, as dimensões comprimento (maior dimensão possível de ser medida e define a direção do comprimento) e espessura (menor distância possível entre dois planos paralelos à direção do comprimento) de cada grão. Foi calculado, com aproximação de 0,1, o fator comprimento/espessura (C/e) para cada grão, e calculado a média dos duzentos fatores C/e, correspondente aos duzentos grãos medidos.

2.4.1.10 Elementos maiores, elementos menores e terras-raras

Este ensaio foi realizado pela *Acme Analytical Laboratories Ltda.*, sendo as amostras preparadas no laboratório da CPRM, conforme procedimento operacional PP002 (Anexo C).

A amostra da pedra britada de granito foi recebida e avaliada (Figura 15).



Figura 15 – Pedra britada de granito.

Em seguida, efetuou-se a lavagem da amostra selecionada para retirada dos resíduos do corte e de partículas finas, sendo levado, posteriormente, para secagem em estufa por 24 horas, a uma temperatura de 110° C.

Após o resfriamento natural, foi passado por um britador de mandíbula de aço, tipo ABM – (50 x 110) mm para redução das dimensões dos grãos da rocha de granito, processo esse repetido até a homogeneização das dimensões dos fragmentos (Figura 16).



Figura 16 – Britador de mandíbula AMEF.

Concluído a britagem, a amostra foi levada para um moinho pulverizador, marca *Braun Pulverizer Type UA-53*, para redução da granulometria (Figura 17).



Figura 17 – Pulverizador *Braun Pulverizer Type UA-53*.

Esse equipamento é constituído por dois discos acoplados de porcelana de alta resistência, onde, por um processo de fricção entre os discos, com a amostra do material entre eles, ocorre a pulverização do material (Figura 18).



Figura 18 – Amostra de pedra britada pulverizada

Após a pulverização, o material foi submetido a um peneiramento mecânico, através de um jogo de peneiras instalado em um agitador de peneiras, marca Bertel modelo 3117 (Figura 19).



Figura 19 – Agitador de peneiras Bertel.

O material resultante foi peneirado na peneira n° 200 até a obtenção de 100 g de material, o qual foi acondicionado em um frasco de polietileno, devidamente identificado. Esse frasco foi enviado para o escritório do representante do laboratório *Acme Analytical Laboratories Ltda.* no Brasil.

A *Acme* ensaiou a amostra para a determinação dos elementos maiores, elementos menores e terras raras, emitindo os seguintes Relatórios:

- *Whole rock ICP analysis* (Anexo D), através do ICP-ES (*Inductively coupled plasma – atomic emission spectrometer*). Este equipamento é capaz de determinar, simultaneamente, as concentrações de 40 a 70 elementos, através da medição da intensidade da luz gerada pela amostra aspirada dentro do plasma de gás argônio aquecido a mais de 10.000° K;
- *Geochemical analysis certificate A* (Anexo E), e *Geochemical analysis certificate B* (Anexo F), através do ICP-MS (*Inductively coupled plasma – mass spectrometer*). Este equipamento é capaz de determinar, simultaneamente, as concentrações de mais de 70 elementos, através da medição da massa de íons gerada pelo plasma de gás argônio, aquecido a mais de 10.000° K, passando pelo detector magnético quadripolar;
- *Assay certificate* (Anexo G), através do ensaio de análise química de titulação dicromato.

2.4.2 Reatividade potencial

Para a pedra britada de granito foi realizada a análise petrográfica, a reatividade potencial pelo método químico e a reatividade pelo método das barras de argamassa, de acordo com os instrumentos normativos vigentes quando da execução dos ensaios.

2.4.2.1 Apreciação petrográfica

Esta análise foi realizada no laboratório da CPRM, em Manaus, de acordo com a NBR 7389, para o agregado de pedra britada de granito, tendo sido expedidos os Relatórios LA-01 (Anexo H), e LA-02 (Anexo I), sendo responsável técnico um geólogo especializado em petrografia.

Inicialmente foram selecionados os maiores fragmentos de rocha da pedra britada, a partir de uma amostra representativa do agregado. A partir desses, dois fragmentos foram escolhidos, observando-se a não ocorrência de fraturas e dimensões adequadas, de forma a propiciar a produção de duas lâminas delgadas para apreciação no microscópio petrográfico de luz transmitida.

Esses dois fragmentos de rocha foram serrados ao meio, em bancada de serra, sendo verificado se os lados interiores estavam perfeitamente planos, requisito esse necessário para propiciar a colagem dessas superfícies sobre lâminas de vidro liso transparente, com a utilização de um produto adesivo resistente e transparente, araldite líquido (Figura 20).



Figura 20 – Fragmentos colados nas lâminas.

Após decorrer o período de secagem da cola entre os vidros e fragmentos, iniciou-se o processo primário de desbaste gradual dos fragmentos da pedra britada, através da passagem contínua num equipamento de corte de rocha, fixo numa bancada apropriada. (Figura 21).



Figura 21 – Desbaste dos fragmentos de pedra britada.

O equipamento dispõe de um disco de aço circundado com um metal tipo vídea em toda sua circunferência. O procedimento foi feito com um jato contínuo de água sobre o disco para redução da temperatura e da poeira produzida.

Concluído o processo de desbaste, foi iniciado o polimento do fragmento colado sobre o vidro, através de um equipamento de bancada tipo politriz, constituído com um disco metálico. As lâminas foram friccionadas sobre o disco, sendo pulverizado um abrasivo em pó, tipo esmeril, para facilitar o polimento (Figura 22).

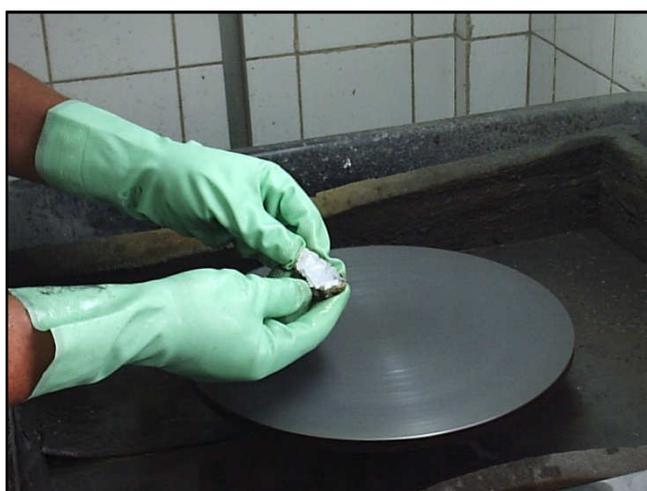


Figura 22 – Polimento dos fragmentos de pedra britada.

O encerramento do polimento depende da obtenção de um fragmento de rocha transparente o suficiente para ser observado por um microscópio óptico de luz transmitida.

Concluído o polimento, as lâminas foram lavadas em água corrente, sendo posteriormente secas em estufa por um período de 24 horas.

Os fragmentos de pedra britada, através das lâminas delgadas, foram observados de forma macroscópica e microscópica, para obtenção das seguintes informações: classificação petrográfica, composição mineralógica e características da rocha (cor, estrutura, textura, granulação, tipo de rocha, deformação, estado de alteração, propriedade físico-mecânica e reatividade potencial).

A apreciação petrográfica também foi realizada no laboratório da ABCP, em São Paulo, em função do conjunto de ensaios que foram contratados com o objetivo de avaliar a potencialidade da reatividade álcali-agregado, tendo sido emitido o Relatório de Ensaio n° 48515 (Anexo J).

2.4.2.2 Reatividade potencial álcali-agregado pelo método químico

Este ensaio foi realizado no laboratório da ABCP, de acordo com a NBR 9774, tendo sido expedido o Relatório de Ensaio n° 48516 (Anexo L).

A amostra necessária para o ensaio foi obtida após passagem da pedra britada de granito na peneira de abertura nominal de 0,3 mm e retenção na peneira 0,15 mm. O material resultante foi lavado.

O agregado, na quantidade de 25 g, foi colocado dentro de um reator juntamente com 25 ml de solução de NaOH na concentração 1N. O reator foi fechado e conservado em banho hidrostático por 24 h, a temperatura de $80^{\circ} \pm 1^{\circ}$ C. Em seguida, a amostra e a solução foram filtradas a vácuo. A partir desse filtrado foram realizadas duas análises: a quantificação da redução da alcalinidade da solução original e a verificação da quantidade de sílica dissolvida.

Para o primeiro parâmetro, caso o agregado seja reativo, este terá consumido uma parte dos álcalis da solução. Através da verificação da alcalinidade da solução de NaOH, pode-se quantificar esse efeito.

Para o segundo parâmetro, caso haja reação, é avaliada a quantidade de sílica do agregado que foi dissolvida e que está presente no filtrado.

Com esses dois parâmetros foi traçado um gráfico que expressa a reatividade do agregado conforme a região situada, onde é plotado o ponto que representa a média dos resultados obtidos no ensaio.

2.4.2.3 Reatividade álcali-agregado pelo método das barras de argamassa

Este ensaio foi realizado no laboratório da ABCP, de acordo com a NBR 9774, tendo sido expedido o Relatório de Ensaio n° 48517 (Anexo M).

Foram preparadas barras de argamassa, de acordo com a ASTM C 227, utilizando-se um traço de 1:2,25 (cimento:pedra britada de granito) com relação A/C fixa em 0,47. Após 24 h, foram desformadas e colocadas em um recipiente para cura em água, o qual foi gradualmente aquecido desde a temperatura ambiente até atingir 75° a 80° C. As barras foram conservadas nestas condições por 24 horas.

Após esse período de estabilização, as barras foram removidas do recipiente de cura, uma de cada vez, e rapidamente medidos seus comprimentos em sala climatizada ($23 \pm 2^\circ \text{C}$) para estabelecer a leitura inicial de 80° C. Cada medida, com precisão de 0,002 mm, foi feita dentro de 15 ± 5 segundos com o objetivo de não resfriar significativamente a argamassa, conforme preconiza o método.

Após a leitura inicial, as barras foram colocadas em cura em solução aquosa de NaOH, 1N a $80^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$, e foram medidos seus comprimentos, periodicamente, por 28 dias e calculadas suas expansões lineares.

A metodologia estabelecida é que a expansão média de 3 prismas deva ser calculada pelo menos por três idades intermediárias antes dos 14 dias de cura agressiva, sendo que a repetibilidade é considerada satisfatória quando dois resultados dentro do mesmo laboratório, com os mesmo operadores e agregados não diferir mais que 8,3 % da expansão média para expansões acima de 0,10 % aos 14 dias de cura agressiva.

A reprodutibilidade é considerada satisfatória quando a diferença de resultados entre dois laboratórios com a mesma amostra não diferir mais que 43 % da expansão média entre eles, para expansões acima de 0,10 % aos 14 dias de cura agressiva.

Segundo a norma, os resultados devem ser expressos pela média de leituras de 3 barras, sendo os valores individuais com aproximação de 0,001 % e a média com aproximação de 0,01 %.

A Tabela 5 apresenta a composição dos materiais utilizados para a preparação das barras de argamassa. A amostra de agregado foi previamente britada e pulverizada até a obtenção da granulometria indicada.

Abertura nominal das peneiras (mm)		Massa (g)
Agregado	4,8 - 2,4	99,00
	2,4 - 1,2	247,50
	1,2 - 0,6	247,50
	0,6 - 0,3	247,50
	0,3 - 0,15	148,50
Cimento		440,00

Tabela 5 – Composição dos materiais para ensaio de barras de argamassa.
FONTE: ABCP.

2.4.3 Dosagem experimental

Como o objetivo desta pesquisa é qualificar a aplicabilidade da pedra britada de granito nas propriedades mecânicas do concreto de cimento Portland, e considerando os resultados dos ensaios realizados, partiu-se para a determinação do método de dosagem experimental.

De acordo com a Norma NBR 8953 – Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência, adotou-se o Grupo I de resistência C20, com resistência característica à compressão de 20 MPa.

Observando-se a NBR 12.655 – Concreto – Preparo, controle e recebimento, adotou-se os seguintes critérios:

- Modalidade de preparo pelo executante;
- Condição A de preparo do concreto: cimento medido em massa, água de amassamento medido em volume e os agregados medidos em massa;
- Mistura executada em betoneira estacionária;

Utilizou-se o método Ary Torres para a dosagem experimental, de acordo com os seguintes passos:

- Definição da relação água/cimento (A/C);
- Fixação da relação agregado/cimento (M/C);
- Cálculo da parcela de agregado graúdo no agregado total (P).

A metodologia do cálculo das dosagens seguiu os mesmos procedimentos. A cada dosagem calculada, procurava-se ajustar e comprovar os requisitos estabelecidos, de forma a se estabelecer a melhor relação cimento/agregados/água.

Pela Figura 23 se observa os constituintes do concreto (cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água), devidamente medidos, referente a duas dosagens executadas, sendo uma com a pedra britada de granito e a outra com seixo rolado. Esses procedimentos eram repetidos para cada dosagem estabelecida, observando-se os requisitos normativos quanto às condições de preparo dos materiais.



Figuras 23 – Constituintes medidos do concreto.

Para a mistura dos componentes do concreto foi utilizada uma betoneira estacionária de 120 litros de capacidade (Figura 24).



Figura 24 – Mistura em betoneira estacionária.

Inicialmente, inspecionava-se o interior da betoneira para verificar as condições de limpeza, havendo necessidade as paredes internas eram umedecidas, ou ainda, primadas com argamassa rica em cimento. Utilizou-se o procedimento de mistura recomendado pelo Laboratório de Materiais de Construção, que consiste na adição inicial de 20% da água calculada. Em seguida, acrescentava-se o agregado graúdo, seguido do agregado miúdo e mais 60% da água. Por último, adicionava-se o cimento previsto, e a água restante, conforme a consistência apresentada. Todo este processo tinha uma duração de até 5 minutos.

2.4.4 Ensaios no concreto fresco

Encerrado o processo de mistura dos componentes do concreto, iniciava-se o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (NBR NM 67) e moldagem e cura dos corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos (NBR 5738).

2.4.4.1 Consistência pelo abatimento do tronco de cone

Inicialmente, foi umedecida a parede interna do molde tronco-cônico e a placa metálica quadrada. Em seguida, foi montado o equipamento (placa, molde e colarinho) e apoiando-se os pés sobre as aletas do molde, fez-se o preenchimento em 3 camadas iguais do concreto produzido, com o adensamento sistemático, através de 25 golpes uniformemente distribuídos, em cada camada antes da colocação da seguinte. Retirou-se o colarinho e nivelou-se a superfície para o posterior levantamento cuidadoso do molde na direção vertical, num tempo entre 5 a 10 segundos.

Determinou-se a diferença entre a altura do molde e a altura média da amostra assentada, com a utilização de uma régua graduada, sendo expresso em milímetros (Figura 25).



Figura 25 – Determinação da diferença entre a altura do molde e a altura média da amostra.

2.4.4.2 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

Após a conclusão do ensaio de consistência, o concreto foi vertido para um carro-de-mão para a moldagem de corpos-de-prova de concreto cilíndricos (Figura 26).



Figura 26 – Concreto para moldagem dos corpos-de-prova.

Foram utilizados corpos-de-prova metálicos cilíndricos (100 mm x 200 mm) e prismáticos (150 mm x 150 mm x 500 mm), conforme determinado em norma, em função do ensaio que seria realizado, sendo previsto a confecção de pelo menos dois corpos-de-prova para cada idade prevista para o rompimento e determinação das resistências.

Os corpos-de-prova foram revestidos com uma fina camada de óleo mineral, sendo colocado o concreto no molde, em camadas iguais, e adensando manualmente. A norma estabelece o tipo de adensamento, o número de camadas e número de golpes, conforme o tipo do molde.

Batidas leves eram dadas na face externa do molde de forma a propiciar a saída do ar incorporado, durante o processo de mistura dos componentes, no interior da massa de concreto e conseqüente fechamento dos eventuais vazios, sendo feito o rasamento com a desempenadeira de madeira (Figura 27).



Figura 27 – Corpos-de-prova sendo moldados.

Os corpos-de-prova foram mantidos durante 24 h nos moldes e, posteriormente, conservados na câmara úmida até o dia da realização dos ensaios (Figura 28).



Figura 28 – Corpos-de-prova na câmara úmida.

O capeamento dos corpos-de-prova foi realizado com uma mistura quente de enxofre e areia quartzosa moída, pelo menos 4 horas antes da realização do ensaio de compressão axial. Essa mistura foi vertida em um moldador metálico de capeamento, o qual havia sido previamente untado com óleo mineral, de forma a facilitar o desmolde. Os corpos-de-prova de concreto foram alinhados e suavemente introduzidos no recipiente com a mistura quente, a qual endurecia logo em seguida.

2.4.5 Ensaio no concreto endurecido

Em função dos objetivos da pesquisa foram realizados os ensaios de resistência à compressão axial (NBR 5739), resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222) e resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos (NBR 12142).

2.4.5.1 Compressão axial

Para a realização do ensaio, inicialmente, foi verificado se as superfícies capeadas e os pratos da prensa estavam limpos e isentos de óleo. Em seguida, o corpo-de-prova foi centralizado na prensa, ajustando o prato superior ao toque do pistão (Figura 29).



Figura 29 – Ensaio de resistência à compressão axial.

No programa que gerencia o sistema foram fornecidos os dados do corpo-de-prova e selecionado a escala de força. A velocidade de carregamento no dispositivo de compressão da prensa foi ajustado em 0,8 MPa/s. Acionou-se o controle de pressão da prensa para o início do carregamento, acompanhando-se a elevação da carga até que ocorresse a queda do valor, sendo registrado pelo sistema a carga máxima de ruptura e a resistência obtida.

2.4.5.2 Tração por compressão diametral

Para a realização do ensaio, inicialmente, foi fixado taliscas de madeira de lei, eqüidistantes, nas faces de contato do corpo-de-prova e a prensa. Em seguida, o corpo-de-prova foi alinhado e centralizado no dispositivo de compressão diametral, sendo selecionada a velocidade de carregamento no dispositivo de compressão da prensa (Figura 30).



Figura 30 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

Acionou-se o controle de pressão da prensa para o início do carregamento, acompanhando-se a elevação da carga até que ocorresse a queda do valor, sendo registrado pelo sistema a carga máxima de ruptura e a resistência obtida.

2.4.5.3 Tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos

Para a realização do ensaio, inicialmente, traçou-se linhas de referência na superfície superior e inferior do corpo-de-prova. Em seguida, apoiou-se o corpo-de-prova no dispositivo de carregamento, centralizando o corpo-de-prova em relação ao dispositivo, utilizando as linhas de referência (Figura 31).



Figura 31 – Ensaio de resistência à tração na flexão.

Depois, selecionou-se a velocidade de carregamento da prensa, acionando-se o controle de pressão para o início do carregamento e acompanhando a elevação da carga até que ocorresse a queda do valor, sendo registrado pelo sistema a carga máxima de ruptura e a resistência obtida.

CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E ANÁLISES

Neste Capítulo apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios tecnológicos realizados, o tratamento desses dados, assim como a análise dos resultados dos ensaios de caracterização tecnológica, propriedades do concreto fresco e endurecido, além da potencialidade da reação álcali-agregado.

3.1 Operacionalização das variáveis

As variáveis determinadas, quando da produção dos concretos nas diversas dosagens experimentais, foram as resistências à compressão axial, à tração por compressão diametral e à tração na flexão, a consistência, a relação água/cimento e o consumo de cimento. As mesmas foram tabuladas e organizadas em planilha para facilitar a visualização e análise.

3.2 Análise dos dados

Depois de realizada a análise das propriedades tecnológicas – petrográfica, físicas e químicas – da pedra britada de granito, foi verificada a adequação aos requisitos normativos, previstos nas normas técnicas, identificadas no Capítulo 2, assim como a análise das variáveis determinadas, comparando-as com os resultados obtidos com a utilização do agregado convencional, o seixo rolado.

3.3 Caracterização tecnológica

Na Tabela 1, apresentada no Capítulo 1, foram relacionados os principais ensaios de caracterização tecnológica que devem ser realizados para a identificação das propriedades dos agregados utilizados em concreto. Neste item apresentam-se os resultados obtidos para os agregados graúdos e miúdos.

3.3.1 Agregado miúdo

O único agregado miúdo utilizado foi a areia, sendo constituído de quatro amostras diferentes encontradas no comércio de Manaus, denominadas de areias A, B, C e D, conforme definido na Seção 2.3.2.

A Tabela 6 apresenta os resultados das principais propriedades obtidas pelos ensaios de caracterização.

Propriedade	Resultados				Unidade	Limites normativos
	Areia A	Areia B	Areia C	Areia D		
Massa unitária em estado solto	1,50	1,50	1,56	1,67	kg/dm ³	-
Massa específica	2,59	2,60	2,62	2,62	kg/dm ³	-
Impurezas orgânicas	500	400	300	300	ppm	300
Material pulverulento	-	< 1	< 1	< 1	%	3,00 e 5,00
Argila em torrões	-	< 1	< 1	< 1	%	1,50

Tabela 6 – Resultados das propriedades das areias.

Considerando o resultado obtido no ensaio de impurezas orgânicas, a amostra referente a areia A foi descartada, apesar de que, quando ocorre essa situação a norma NBR 7211 recomenda a execução do ensaio de qualidade da areia. A amostra B foi utilizada em algumas dosagens de concreto, mesmo com o resultado apresentado no ensaio de impurezas orgânicas, em função deste está muito mais próximo do limite normativo do que o da amostra A.

O resultado obtido com os ensaios de impurezas orgânicas para as diversas areias ensaiadas reforça a necessidade de se observar criteriosamente esta propriedade quando do uso deste material. Percebe-se que areias comercializadas normalmente em Manaus não estão de acordo com o limite estabelecido, e são usadas indiscriminadamente, independente da realização do ensaio de qualidade da areia. As areias oriundas de jazidas naturais sofrem um forte influência de material orgânico, composto por raízes, caules, folhas, em função de se encontrarem no entorno, ou no meio, de florestas. A areia oriunda de leitos de rio também

sofre a influência do material orgânico proveniente da floresta alagada, em função do sistema anual de vazante e enchente dos rios.

A Tabela 7 identifica a composição granulométrica das areias B, C e D, conforme resultados obtidos nos respectivos ensaios.

Peneira (mm)	Massa retida (g)			% Retida			% Retida acumulada		
	Areia B	Areia C	Areia D	Areia B	Areia C	Areia D	Areia B	Areia C	Areia D
4,80	1,00	-	20,00	0,10	-	2,00	0,10	-	2,00
2,40	11,00	1,50	160,00	1,10	0,15	16,00	1,20	0,15	18,00
1,20	53,00	15,50	269,00	5,30	1,55	26,90	6,50	1,70	44,90
0,60	309,00	150,50	355,00	30,90	15,05	35,50	37,40	16,75	80,40
0,30	374,00	567,50	158,00	37,40	56,75	15,80	74,80	73,50	96,20
0,15	223,00	231,00	32,00	22,30	23,10	3,20	97,10	96,60	99,40
Fundo	29,00	34,00	6,00	2,90	3,40	0,60	100,00	100,00	100,00
Totais	1.000,00	1.000,00	1.000,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 7 – Composição granulométrica das areias.

A partir destes dados, determinou-se a dimensão máxima ($D_{m\acute{a}x}$) do agregado e seu respectivo módulo de finura (M_f):

- Areia B $D_{m\acute{a}x} = 2,4 \text{ mm}$ $M_f = 2,17$;
- Areia C $D_{m\acute{a}x} = 1,2 \text{ mm}$ $M_f = 1,89$;
- Areia D $D_{m\acute{a}x} = 4,8 \text{ mm}$ $M_f = 3,41$.

As areias B e C, em função de seu módulo de finura, foram classificadas como finas, e a areia D como média. As areias finas possuem uma maior área de superfície específica, o que acarreta a necessidade de uma maior quantidade de água de amassamento, e conseqüentemente, uma elevação do fator A/C. Quanto maior a relação entre água e cimento, menores serão as resistências do concreto endurecido.

Em Manaus a maioria das areias é classificada como fina, o que leva os produtores de concreto a utilizarem em suas dosagens uma maior quantidade de aditivos plastificantes e superplastificantes. Os pequenos usuários de concreto, geralmente desacompanhados de profissional técnico, abusam do uso da água na massa cimentícia e no concreto, o que conseqüentemente afetará sua trabalhabilidade, resistência e durabilidade.

A Figura 32 ilustra as curvas granulométricas das areias ensaiadas e os limites superiores das zonas consideradas como areia fina, média e grossa.

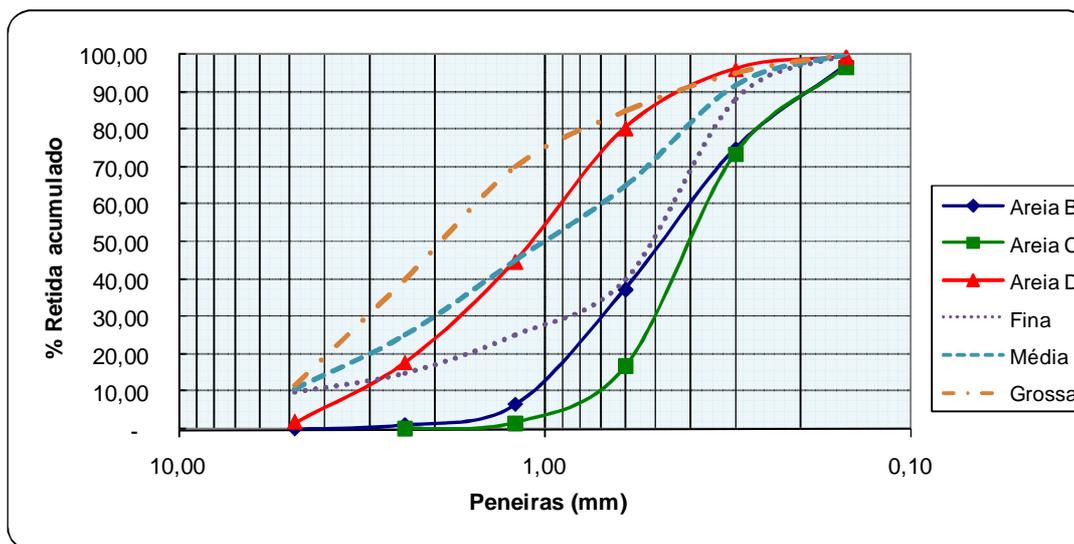


Figura 32 – Curvas granulométricas das areias.

As linhas tracejadas e pontilhadas indicam o limite superior das zonas características das areias grossa, média e fina, respectivamente, definidos pela NBR NM 248. Os limites inferiores não foram plotados em função da manutenção da clareza das informações para análise. Deste gráfico, verifica-se que as areias B e C estão plotadas na zona característica como areia fina e a areia D, apesar de transpor a linha da zona média, foi classificada como areia média.

3.3.2 Agregado graúdo

Os agregados graúdos utilizados na pesquisa foram a pedra britada de granito, brita 0 e brita 1, e o seixo rolado, ambos disponíveis no mercado de Manaus, conforme definido na Seção 2.3.3.

3.3.2.1 Seixo

A Tabela 8 apresenta os resultados das principais propriedades obtidas pelos ensaios de caracterização, para as amostras denominadas de seixo A e seixo B.

Propriedade	Resultados		Unidade	Limites normativos
	Seixo A	Seixo B		
Massa unitária em estado solto	1,86	1,95	kg/dm ³	-
Massa específica	2,59	2,60	kg/dm ³	-
Material pulverulento	-	1,80	%	1,00
Absorção	-	0,30	%	-
Abrasão Los Angeles	-	28,30	%	50,00

Tabela 8 – Resultados das propriedades dos seixos.

Inicialmente, para o seixo A realizamos ensaios pilotos e de treinamento, sendo o seixo B o efetivamente utilizado nas dosagens de concreto, conseqüentemente o mais ensaiado, em função do maior volume de amostra disponível.

O baixo resultado da absorção deve-se a composição mineral e a textura do seixo, onde a superfície de aspecto vitrificado confere certa impermeabilização ao material.

A Tabela 9 identifica a composição granulométrica dos seixos A e B, conforme resultados obtidos nos respectivos ensaios.

Peneira (mm)	Massa retida (g)		% Retida		% Retida acumulada	
	Seixo A	Seixo B	Seixo A	Seixo B	Seixo A	Seixo B
19,00	-	11,00	-	0,22	-	0,22
9,50	276,00	2.348,00	5,52	46,96	5,52	47,18
4,80	2.773,00	1.100,00	55,46	22,00	60,98	69,18
2,40	816,00	740,00	16,32	14,80	77,30	83,98
1,20	288,00	370,00	5,76	7,40	83,06	91,38
Fundo	847,00	431,00	16,94	8,62	100,00	100,00
Totais	5.000,00	5.000,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 9 – Composições granulométricas dos seixos.

A partir destes dados, determina-se a dimensão máxima ($D_{máx}$) do agregado e seu respectivo módulo de finura (M_f):

- Seixo A $D_{máx} = 19 \text{ mm}$ $M_f = 5,07$;
- Seixo B $D_{máx} = 19 \text{ mm}$ $M_f = 5,66$.

Os seixos comercializados no mercado regional possuem como característica básica uma composição granulométrica onde a presença de grãos menores é mais significativa do que os grãos maiores, em função da extração desse material natural ser feito em leitos de rios, sem que haja um controle granulométrico. Outro aspecto que afeta essa composição é a

disposição do agregado diretamente no solo, desde o distribuidor até o consumidor final, sendo os últimos lotes os mais contaminados com areias e argilas.

Nas amostras ensaiadas praticamente não há material retido na peneira 19,00 mm, enquanto o material retido e passante da peneira 2,4 mm representa mais de 30% do material.

A Figura 33 ilustra as curvas granulométricas dos seixos ensaiados.

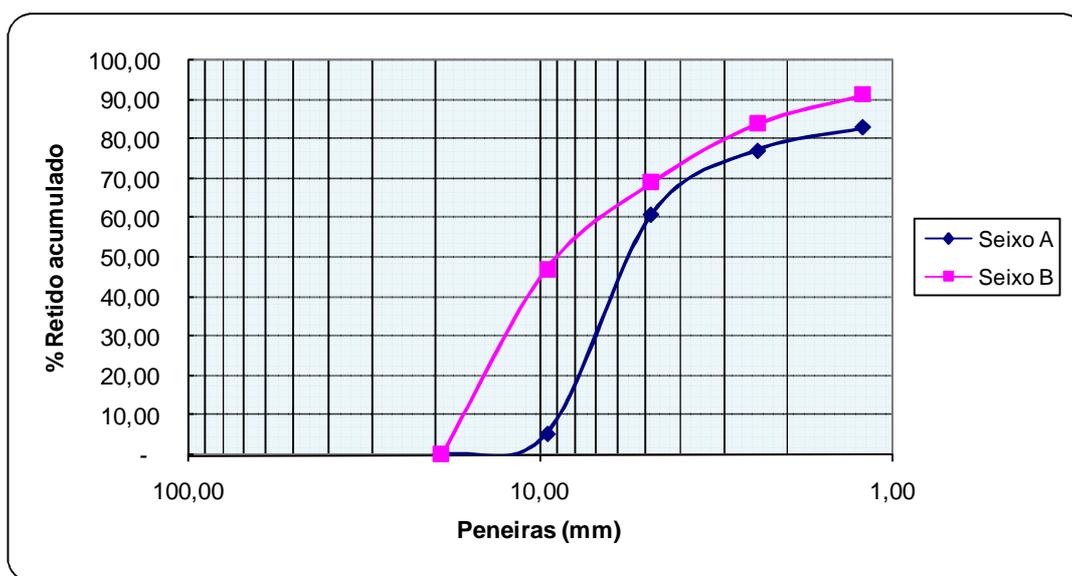


Figura 33 – Curvas granulométricas dos seixos A e B.

Pela análise do gráfico, verifica-se que o seixo B apresenta uma curva mais uniforme e contínua quando comparada com o seixo A.

3.3.2.2 Pedra britada de granito

A Tabela 10 apresenta os resultados das principais propriedades obtidas pelos ensaios de caracterização, para as amostras denominadas de granito 1-A, 0-B e 1-B.

Propriedade	Resultados			Unidade	Limites normativos
	Granito 1-A	Granito 0-B	Granito 1-B		
Massa unitária em estado solto	1,54	1,73	1,68	kg/dm ³	-
Massa específica	2,62	2,62	2,62	kg/dm ³	-
Material pulverulento	-	5,00	1,50	%	1,00
Absorção	-	0,39	0,36	%	-
Índice de forma	-	-	2,42	-	3,00
Abrasão Los Angeles	-	-	31,76	%	50,00

Tabela 10 – Resultados das propriedades dos granitos.

Para o granito 1-A realizamos ensaios pilotos e de treinamento. O granito 0-B apresentou um índice de material pulverulento muito acima do limite normativo, não sendo recomendada a sua aplicação direta nas dosagens de concreto, sem que outras variáveis fossem estudadas. Entretanto, para que houvesse a análise comparativa com os resultados alcançados com o emprego do agregado convencional, optou-se pela utilização da amostra de granito 1-B, classificada como brita 1, sendo dentre as demais classes de brita a mais comercializada e utilizada em dosagens de concreto.

Os resultados do teor de material pulverulento para as amostras 0-B e 1-B estão acima do limite da norma, o que pode indicar a necessidade de ajuste do processo de britagem, ou ainda, a contaminação de material fino por disposição incorreta. O sistema de britagem e peneiramento, quando da produção dos agregados, têm por finalidade definir e ajustar a granulometria do material, desde que processados de forma correta, sendo ainda relevantes os aspectos de transporte e armazenamento para a conservação da composição granulométrica definida e a não contaminação com outros materiais.

O índice de forma apresentado atende aos requisitos para emprego como agregado, sendo a forma cúbica a ideal para agregados britados. Quanto mais próximo o índice de um, maior a cubicidade do material. A forma cúbica com arestas, melhora a aderência e o empacotamento do material.

O índice encontrado no ensaio de abrasão *Los Angeles*, encontra-se na faixa menor que 40%, o que na literatura atual é entendido como excelente resultado para aplicação em concreto, com exceção para uso em pavimentos e pisos sujeitos ao impacto, onde o índice deve ser menor ou igual a 30%.

A Tabela 11 identifica a composição granulométrica dos granitos 1-A, 0-B e 1-B ensaiados no laboratório.

Peneira (mm)	Massa retida (g)			% Retida			% Retida acumulada		
	Gran. 1-A	Gran. 0-B	Gran. 1-B	Gran. 1-A	Gran. 0-B	Gran. 1-B	Gran. 1-A	Gran. 0-B	Gran. 1-B
19,00	12,00	-	-	0,24	-	-	0,24	-	-
9,50	4.307,00	155,00	3.102,00	86,14	3,10	62,04	86,38	3,10	62,04
4,80	657,00	2.381,00	1.044,00	13,14	47,62	20,88	99,52	50,72	82,92
2,40	10,00	1.294,00	267,00	0,20	25,88	5,34	99,72	76,60	88,26
1,20	8,00	301,00	123,00	0,16	6,02	2,46	99,88	82,62	90,72
Fundo	6,00	869,00	464,00	0,12	17,38	9,28	100,00	100,00	100,00
Totais	5.000,00	5.000,00	5.000,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 11 – Composições granulométricas dos granitos.

A partir destes dados, determina-se a dimensão máxima ($D_{m\acute{a}x}$) do agregado e seu respectivo módulo de finura (M_f):

- Granito 1-A $D_{m\acute{a}x} = 19 \text{ mm}$ $M_f = 6,85$;
- Granito 0-B $D_{m\acute{a}x} = 9,5 \text{ mm}$ $M_f = 4,61$;
- Granito 1-B $D_{m\acute{a}x} = 19 \text{ mm}$ $M_f = 5,96$.

Em geral, quanto maior a dimensão máxima do agregado, menor será a área superficial por unidade de volume que deve ser coberta pela pasta de cimento para uma dada relação água/cimento. De acordo com uma regra prática utilizada na indústria da construção, a dimensão máxima do agregado não deve ser superior a um quinto da dimensão mais estreita da fôrma na qual o concreto será colocado; além disso, não pode ter mais de três quartos da distância máxima livre entre as barras da armadura (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A Figura 34 ilustra as curvas granulométricas dos granitos.

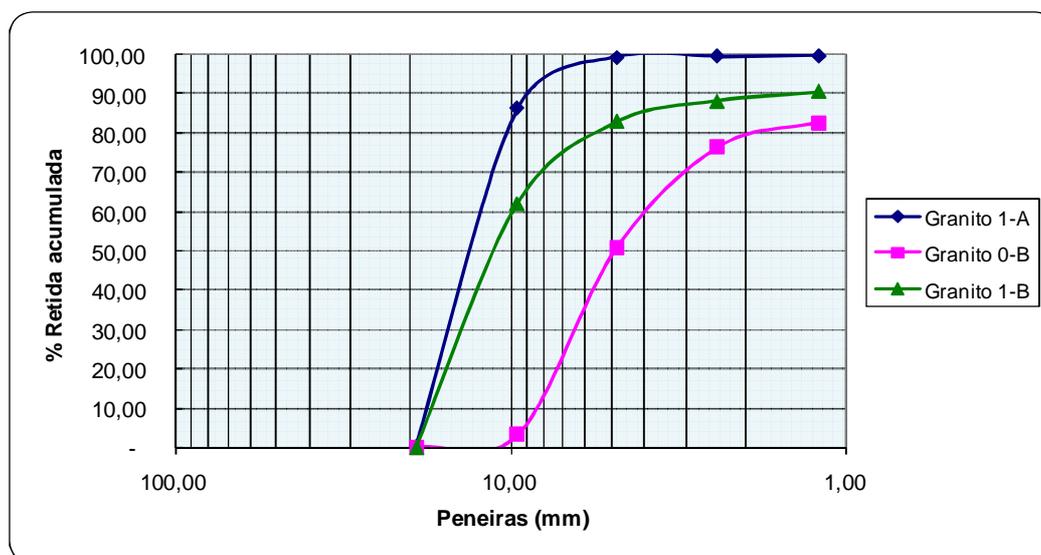


Figura 34 – Curvas granulométricas dos granitos.

Observando-se a figura, verifica-se que os granitos 1-A e 1-B apresentam semelhança na distribuição, sendo ambos classificados comercialmente como brita 1, diferentemente do apresentado pelo granito 0-B.

Segundo Mehta e Monteiro (2008) agregados de granulometria contínua, ou seja, que não apresentam grande deficiência ou excesso de qualquer dimensão de partícula produzem as misturas de concreto mais trabalháveis e econômicas.

A Figura 35 ilustra as curvas granulométricas comparativas entre as amostras do seixo B e granito 1-B.

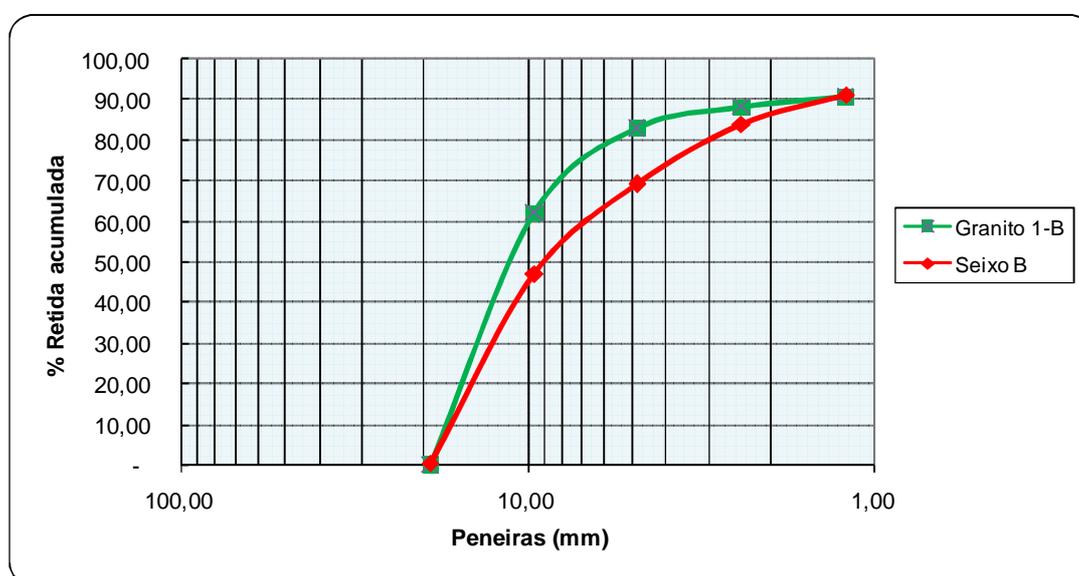


Figura 35 – Curvas granulométricas do seixo e granito empregados nas dosagens.

Verificou-se certa semelhança entre as curvaturas de ambas as amostras, não havendo quebra de continuidade na distribuição granulométrica. Dessa forma, o seixo B e o granito 1-B foram os agregados selecionados para a análise comparativa dos resultados obtidos com as dosagens de concreto.

3.3.3 Avaliação da composição química do granito

De acordo com o ensaio de determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis foram obtidos os resultados expressos na Tabela 12.

Composição química	Amostra de brita	Limites da NBR 7211	
Sais solúveis	0,26	-	
Sulfatos solúveis (SO ₄ ²⁻)	0,004	< 0,1 %	
Cloreto (Cl)	0,004	< 0,2 %	Concreto simples
		< 0,1 %	Concreto armado
		< 0,01 %	Concreto protendido

Tabela 12 – Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis.
 FONTE: ABCP.

Pelos limites estabelecidos na NBR 7211, verifica-se que a pedra britada de granito está adequada ao uso nos concretos simples, armado e protendido.

A Tabela 13 identifica a composição dos elementos maiores (óxidos) presentes na pedra britada de granito.

Elementos maiores (óxidos)	Amostra pedra britada granito (%)	Amostra padrão SO-18/CSQ
SiO ₂	71,60	58,17
Al ₂ O ₃	14,63	14,14
Fe ₂ O ₃	1,75	7,63
MgO	0,34	3,34
CaO	1,32	6,38
Na ₂ O	3,59	3,69
K ₂ O	5,90	2,15
TiO ₂	0,32	0,69
P ₂ O ₅	0,09	0,83
MnO	0,05	0,39
Cr ₂ O ₃	< 0,001	0,55
Ni (ppm)	<5	44,00
Sc (ppm)	6,00	25,00
LOI	0,30	1,90
TOT/C	0,06	3,29
TOT/S	0,02	4,36
SUM	99,89	99,86

Tabela 13 – Composição química (elementos maiores – óxidos)
 FONTE: ACME.

O componente mais expressivo é o óxido de sílica, 71,60 %, seguido pelo óxido de alumínio, 14,63%, e óxido de ferro, 1,75%. Esses três elementos, que constituem 87,98% da amostra, definem a estrutura da rocha.

A somatória do óxido de potássio e óxido de sódio, que representam os álcalis, totaliza 9,49 %. Esse percentual é considerado alto, comparativamente a outros materiais, entretanto

deve ser avaliado de que forma esses óxidos se encontram na estrutura da rocha. A princípio indicam a potencialidade da ocorrência da reação álcali-agregado.

A perda ao fogo representa apenas 0,30% e o índice de carbono é de 0,06%, o que significa que o material possui uma baixa concentração de material orgânico e água, contribuindo para a resistência da rocha aos esforços mecânicos. A presença de enxofre (0,02%) e do óxido de cromo (<0,001) é inexpressivo, revelando que a rocha não possui elementos contaminantes significativos, o que viabiliza sua produção e utilização.

A Tabela 14 ilustra a composição dos elementos menores (traços) presentes na pedra britada de granito.

Elementos menores (traços)	Amostra pedra britada granito	Amostra padrão SO-18 (ppm)
Ba	819,10	525,30
Be	3,00	1,00
Co	2,70	27,00
Cs	2,30	7,00
Ga	16,50	17,50
Hf	8,60	9,60
Nb	16,40	20,80
Rb	219,20	28,30
Sn	2,00	15,00
Sr	241,30	414,70
Ta	1,20	7,00
Th	25,00	10,00
U	9,30	16,30
V	16,00	202,00
W	1,30	15,10
Zr	248,30	289,20
Y	41,50	32,30
La	59,80	11,80
Ce	130,50	27,50
Pr	13,56	3,40
Nd	47,40	13,90
Sm	7,20	2,90
Eu	0,94	0,90
Gd	5,98	2,84
Tb	1,02	0,53
Dy	5,68	2,95
Ho	1,14	0,58
Er	4,09	1,76
Tm	0,71	0,29
Yb	4,18	1,68
Lu	0,69	0,26

Tabela 14 – Composição química (elementos menores – traços).
FONTE: ACME.

Os elementos mais significativos identificados são: bário (819,10), zircônio (248,30), estrôncio (241,30), rubídio (219,20), e céσιο (130,50). A identificação da composição química desses elementos menores contribui para o conhecimento geológico da rocha, sendo que a mesma está enquadrada no padrão normal. Não se verifica a presença de elementos deletérios que possam reagir com os demais componentes do concreto.

A Tabela 15 identifica a composição dos elementos terras-raras presente na amostra da pedra britada de granito ensaiada.

Elementos terras-raras	Amostra pedra britada granito	Amostra padrão DS7 (ppm)
Mo	0,70	20,10
Cu	8,70	104,00
Pb	11,70	68,60
Zn	36,00	395,00
Ni	1,30	55,30
As	<0,5	46,90
Cd	0,10	6,30
Sb	<0,10	5,40
Bi	0,10	4,50
Ag	<0,01	0,80
Au	0,50	65,60
Hg	<0,01	0,19
Tl	0,10	4,10
Se	<0,5	3,50

Tabela 15 – Composição química (elementos terras-raras).
FONTE: ACME.

Da mesma forma, a análise da composição química dos elementos terras-raras identifica a rocha de granito de acordo com as características normais.

Com relação à absorção atômica do elemento FeO, verificou-se o percentual de 0,98%, sendo o resultado da amostra padrão FER-3 igual a 13,85%, o que confirma a presença de óxido de ferro, em pequena proporção, na composição química dos elementos maiores.

3.4 Reatividade álcali-agregado

Nesta Seção são apresentados os resultados da apreciação petrográfica e dos ensaios específicos de desempenho da potencialidade da reação álcali-agregado.

3.4.1 Apreciação petrográfica

Da análise petrográfica realizada pela CPRM foram emitidos dois Relatórios, um para cada amostra de rocha da pedra britada de granito:

Relatório LA-01:

- Características mesoscópicas:
 1. Amostra de rocha de cor cinza claro, granulação média e formada por quartzo, feldspatos e biotita. Observa-se uma discreta foliação definida por trilhas de minerais escuros (biotita e opacos).
- Composição mineralógica:
 1. Microclínio (45%), quartzo (30%), plagioclásio (20%), biotita (5%), titanita (1%).
- Características microscópicas:
 1. Lâmina de rocha com textura granular anedral definida por grãos anédricos (sem forma) de microclínio e de quartzo e escassos cristais subédricos de plagioclásio formando um arranjo, praticamente, isotrópico embora uma discreta foliação ocorra. Esta é marcada por lamelas de biotita e cristais de titanita alinhados;
 2. O tamanho médio dos cristais é de aproximadamente 3 mm, porém se observam indivíduos com bordas “recristalizadas dinamicamente” com redução do tamanho dos grãos ou cristais (catáclase);

3. Os principais minerais acessórios são biotita, titanita, apatita, opacos e zircão. Minerais de alteração como sericita e calcita são bastante escassos.

4. Trata-se de uma rocha ígnea plutônica (sienogranito) praticamente isotrópica (embora com discreta recristalização dinâmica) e inalterada.

➤ Observações:

1. Granito alcalino de grão médio, praticamente isotrópico e são (inalterado).

➤ Classificação:

1. Sienogranito com biotita.

Relatório LA-02:

➤ Características mesoscópicas:

1. Amostra de rocha de cor cinza claro, granulação média, aparentemente isotrópica e formada por quartzo, feldspatos e lamelas de biotita.

➤ Composição mineralógica:

1. Microclínio (45%), quartzo (30%), plagioclásio (20%), biotita (3%), titanita (2%)

➤ Características microscópicas:

1. Lâmina de rocha com textura granular subedral modificada por deformação dinâmica. A textura original é definida por grãos anédricos (sem forma) de microclínio e de quartzo e cristais subédricos de plagioclásio. A porção modificada se caracteriza pela presença de pequenos grãos de quartzo e feldspato recristalizados e por lamelas de biotita alinhadas.

2. Os principais minerais acessórios são biotita, titanita, apatita, opacos e zircão. Titanita e opacos são, relativamente, abundantes.

3. Minerais de alteração como sericita, clorita e epidoto também são bastante frequentes.

4. Trata-se de uma rocha ígnea plutônica (sienogranito) com textura protomilonítica.

➤ Observações:

1. Granito alcalino rico em biotita e titanita submetido à deformação dinâmica.

➤ Classificação:

1. Sienogranito protomilonítico.

As Figuras 36 e 37, obtidas através da visualização das lâminas delgadas no microscópio petrográfico *Zeiss Axiolab – Pol*, ilustram a estrutura e o arranjo do granito.

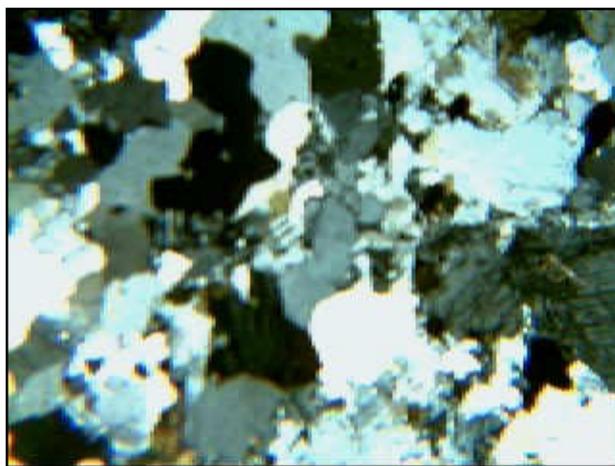


Figura 36 – Textura granular anedral em granito. Aumento 10x.

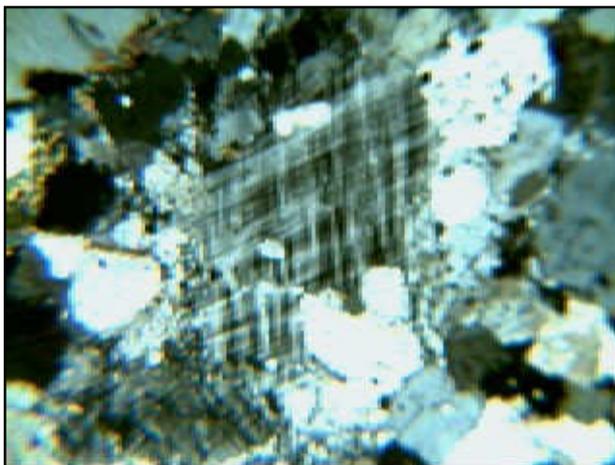


Figura 37 – Cristal de microclínio com bordas recristalizadas. Aumento 10x.

Para o ensaio realizado pela ABCP, foi emitido o Relatório nº 48515. A síntese das características da rocha analisada está expressa na Tabela 16.

Petrografia		
Mineralogia	Principal	Feldspatos (microclínio, plagioclássio), quartzo
	Subordinada	Mica (biotita), sericita, opacos, titanita, clorita e apatita
	Deletéria	Quartzo com extinção ondulante e quartzo microcristalino
Cor		Cinza
Estrutura		Maçica
Textura		Granoblástica/Cataclástico
Granulação		Média
Estado de alteração		Pouco alterada a sã
Deformação do agregado		Deformado
Propriedade físico-mecânica		Rocha muito coerente
Forma dos fragmentos		Eqüidimensionais
Tipo de rocha		Metamórfica
Classificação petrográfica		Gnaisse cataclástico
Reatividade potencial		Potencialmente reativa

Tabela 16 – Síntese das características da rocha.

FONTE: ABCP.

Foi observado que a rocha possui coloração cinza e é constituída predominantemente por feldspato, quartzo e mica. Os minerais estão arrançados em uma textura granoblástica com sinais de cataclase.

Observou-se na rocha cristais de feldspato deformado e quebrados de bordas serrilhadas com deposição de quartzo microcristalino, além de cristais de quartzo deformado com extinção ondulante.

Verificou-se que a rocha possui granulação média a grossa e estrutura maciça, podendo ser classificada de forma genérica como um gnaisse cataclástico. Com relação ao estado de alteração, observa-se que a rocha é pouco alterada a sã. As propriedades físico-mecânicas revelaram ser uma rocha muito coerente.

Pela análise da apreciação petrográfica do agregado graúdo de pedra britada de granito, verifica-se que a amostra de rocha apresenta características que a classificam como promissora para uso como agregado para concreto.

Por outro lado, suas características petrográficas, em particular a ocorrência de quartzo microcristalino e quartzo deformado, permitem classificá-la como potencialmente reativa frente aos álcalis do concreto.

Para que fosse verificado o grau de reatividade, foram realizados ensaios específicos de desempenho, através da determinação da reatividade potencial pelo método químico e da determinação da reatividade álcali-agregado pelas barras de argamassa.

3.4.2 Ensaio específicos de desempenho

Quanto ao ensaio de reatividade potencial pelo método químico, após realização de duas amostragens, foram obtidos os resultados expressos na Tabela 17.

Ensaio	Sílica dissolvida (Minimoles por litro)	Redução de alcalinidade (Minimoles por litro)	Avaliação (região do gráfico)
1	10,98	63,80	Inócuo
2	9,99	47,90	Inócuo
Média	10,48	55,85	Inócuo

Tabela 17 – Resultados do ensaio de reatividade potencial pelo método químico.
FONTE: ABCP.

Esses resultados são avaliados a partir da análise de um gráfico, que correlaciona a redução de alcalinidade (R_d) com a quantidade de sílica dissolvida (S_d). Este gráfico identifica três regiões demarcadas (agregados considerados inócuos, agregados considerados potencialmente deletérios e agregados considerados deletérios), em função dos resultados de dados experimentais obtidos pelo método de expansões de barras de argamassa, exames petrográficos e desempenho de agregados em estruturas de concreto.

Plotando-se a média dos resultados obtidos no gráfico, verifica-se que a pedra britada de granito se situa na região de agregados considerados inócuos, sendo critérios estabelecidos pela ASTM C 1260/07 (Figura 38).

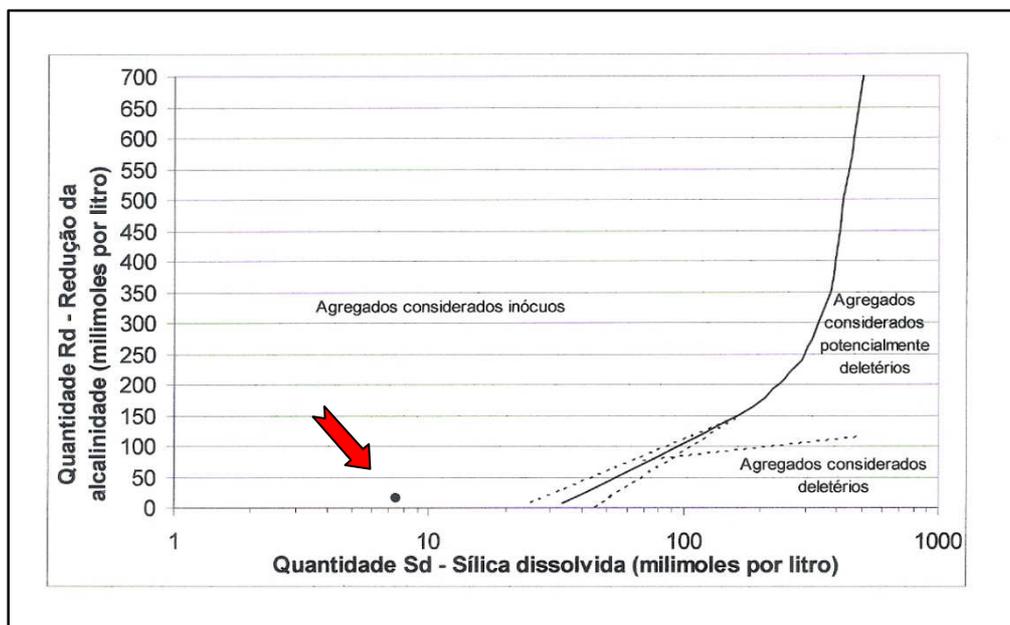


Figura 38 – Redução de alcalinidade x quantidade de sílica dissolvida.

FONTE: ABCP.

Quanto ao ensaio de determinação da reatividade álcali-agregado pelas barras de argamassa foi observado a evolução das expansões médias com o tempo de cura (Tabela 18).

Idade de cura agressiva (dias)	Variações dimensionais médias (%)
1	-
2	-
3	-
4	0,03
5	0,03
6	0,03
7	-
8	-
9	0,04
10	0,04
11	0,05
12	0,05
13	0,05
14	0,05
15	-
16	0,06
17	0,06
18	0,07
19	0,07
20	0,07
21	-
22	-
23	0,08
24	0,08
25	0,08
26	0,08
27	0,08
28	0,09

Tabela 18 – Variação dimensional das barras de argamassa em solução alcalina.

FONTE: ABCP.

Da Tabela 18, verifica-se que em algumas datas as medições não foram realizadas. Entretanto, é importante ressaltar que a observação deve ser feita no décimo quarto dia para fins de plotagem em um gráfico, que correlaciona a variação dimensional com a idade de cura agressiva, conforme Norma ASTM 1260.

Pela análise dos resultados, observou-se que a expansão média das barras de argamassa aos quatorze dias de cura em solução alcalina da amostra de pedra britada de granito foi de 0,05 %, o que caracteriza o agregado como inócuo, segundo critérios estabelecidos pela ASTM (Figura 39).

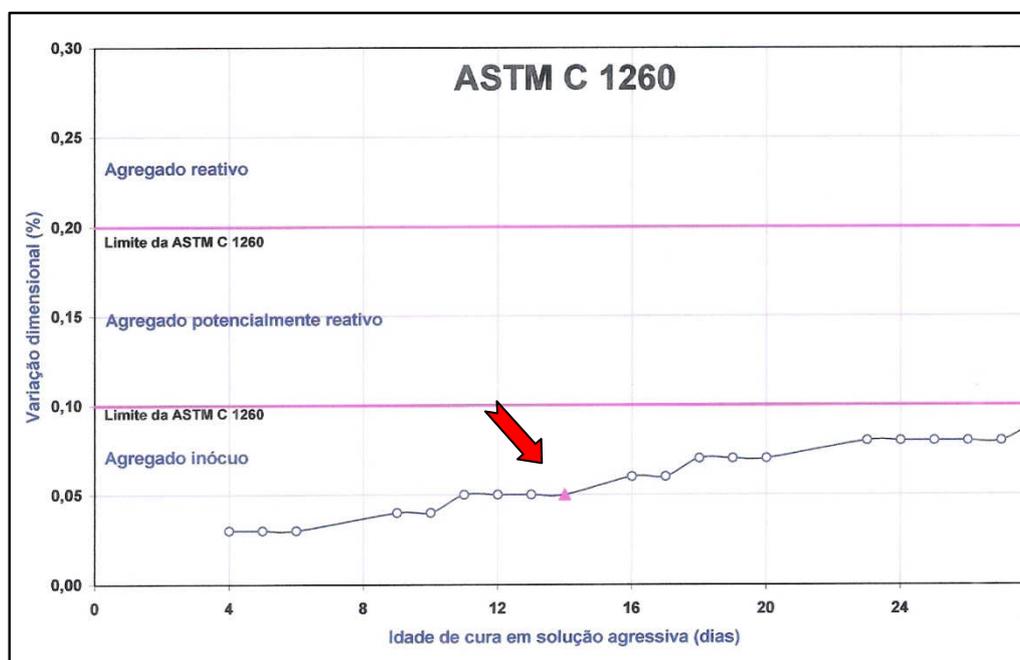


Figura 39 – Evolução das expansões com o tempo de cura agressiva.
FONTE: ABCP.

Conclusivamente, após análise da apreciação petrográfica e dos ensaios específicos de desempenho, verificou-se que o agregado graúdo de pedra britada de granito é considerado inócuo em relação à potencialidade da ocorrência da reação álcali-agregado.

Além disso, destaca-se ainda, que o cimento mais utilizado no mercado de Manaus, CPII-Z-32, apresenta um baixo teor alcalino (óxido de sódio e óxido de potássio), por volta de 0,37%, o que o caracteriza como um cimento praticamente inerte para a reação álcali-agregado.

3.5 Cálculos das dosagens experimentais

A metodologia do cálculo foi descrita no Capítulo 2. Diversas dosagens foram calculadas, em função das características de cada amostra utilizada, com o objetivo de se encontrar a combinação correta dos componentes para produção do concreto com as especificações pré-determinadas.

Segundo Mehta e Monteiro (2008) o objetivo geral da dosagem do concreto pode ser resumido em selecionar os componentes adequados entre os materiais disponíveis e determinar a combinação mais econômica que produzirá o concreto com certas características mínimas de desempenho.

Para efeito de exemplificação do método Ary Torres adotado, apresenta-se a marcha de cálculo da dosagem utilizando a areia B e o granito 1-A. O F_{ck} adotado para todas as dosagens foi de 20 MPa. Não houve a utilização de aditivos.

- Cálculo do F_{cj} :

$$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 \times S_d \quad (\text{Condição A} \gg S_d = 4,0)$$

$$F_{cj} = 20 + 1,65 \times 4,0 = 26,60 \text{ MPa}$$

- Cálculo do fator A/C:

$$F_{cj} = k (y - 0,5)$$

$$k \text{ para 28 dias} = 19 \quad y = 1/\chi$$

$$26,60 = 19 \times \left(\frac{1}{\chi} - 0,5 \right)$$

$$\chi = 0,53$$

$$A/C \approx 0,50$$

- Cálculo do M:

$$\text{Com } A/C = 0,50 \quad D_{\text{máx}} = 19 \text{ mm} \quad \text{Concreto vibrado}$$

Verifica-se que $M = 4$, para a primeira mistura experimental.

- Cálculo do $P/\delta g$:

$$\text{Com } M = 4 \quad M_f = 2,17 \quad D_{\text{máx}} = 19 \text{ mm Concreto vibrado}$$

$$P/\delta_g = 1,72 \qquad \delta_g = 1,86 \text{ (massa unitária em estado solto)}$$

$$P = 1,72 \times 1,86 = 2,65$$

➤ Cálculo do traço unitário:

$$1: 4 : 0,50 \qquad M = A + P \qquad A = 1,35$$

$$1: 1,35 : 2,65 : 0,50$$

➤ Consumo de cimento:

$$C_c = \frac{1000}{0,32 + \frac{A}{\delta_a} + \frac{P}{\delta_g} + A/C} = 423,30 \text{ kg/m}^3$$

Esses procedimentos foram repetidos para as demais dosagens, variando-se o agregado miúdo (areia) e o agregado graúdo (seixo e pedra britada de granito) (Tabela 19). Adotou-se a seguinte terminologia dos traços, para efeito simplificação e rápida identificação: T – traço; G0 – brita 0 de granito; G1 – brita 1 de granito; S – seixo.

Identificação Traço	Cimento e agregados graúdos e miúdos utilizados									Fator A/C
	Cimento	Areia			Seixo		Granito			
		B	C	D	A	B	1-A	0-B	1-B	
T 1 - G1	1,00	1,40					2,60			0,50
T 2 - G1	1,00	2,02					3,75			0,50
T 3 - S	1,00	1,40			2,60					0,50
T 4 - G1	1,00		1,62						3,38	0,55
T 5 - S	1,00		1,08			3,92				0,55
T 6 - G0	1,00		1,50					3,50		0,55
T 7 - G1	1,00		1,08						3,92	0,55
T 8 - G0	1,00		1,08					3,92		0,55
T 9 - G1	1,00		1,35						3,65	0,55
T 10 - G1	1,00			1,74					3,26	0,55
T 11 - S	1,00			1,74		3,26				0,55
T 12 - G1	1,00			2,20					3,00	0,55
T 13 - G1	1,00			2,40					2,60	0,55
T 14 - G1	1,00		1,35						3,65	0,55
T 15 - G1	1,00			2,40					2,60	0,55
T 16 G1	1,00		1,75						3,25	0,55
T 17 - S	1,00			2,40		2,60				0,55
T 18 - S	1,00		1,75			3,25				0,55

Tabela 19 – Composição dos traços de concreto após dosagem experimental.

Com o objetivo de fazer a comparação entre as resistências dos concretos produzidos com o seixo e a pedra britada granito, algumas dosagens foram repetidas com esses materiais, como por exemplo, a T1 – G1 com a T3 – S, a T5 – S com a T7 – G1 e T8 – G0.

Após as dosagens iniciais foram feitos ajustes na mistura experimental, em função das observações feitas quanto aos aspectos do abatimento, da trabalhabilidade, resistência dos corpos-de-prova em idade específica e consumo de cimento.

3.6 Propriedades do concreto fresco

Para os concretos produzidos foram observadas as condições de trabalhabilidade, coesão e consistência, de forma que fosse obtida uma mistura que após processo de adensamento alcançasse a compactidade máxima.

Na Tabela 20 são apresentadas as consistências obtidas para os concretos produzidos, assim como as observações constatadas.

Identificação	Traço unitário	Fator A/C	Consistência	Observações
Traço	C:A:P:A/C	corrigido	(mm) "Slump Test"	
T 1 - G1	1:1,40:2,60:0,50	0,46	65	
T 2 - G1	1:2,02:3,75:0,50	-	10	Baixa consistência
T 3 - S	1:1,40:2,60:0,50	-	45	
T 4 - G1	1:1,62:3,38:0,55	0,59	40	Baixa consistência
T 5 - S	1:1,08:3,92:0,55	-	110	
T 6 - G0	1:1,50:3,50:0,55	0,60	15	Baixa consistência
T 7 - G1	1:1,08:3,92:0,55	-	40	Baixa trabalhabilidade
T 8 - G0	1:1,08:3,92:0,55	0,60	30	Baixa consistência
T 9 - G1	1:1,35:3,65:0,55	-	60	
T 10 - G1	1:1,74:3,26:0,55	-	30	Baixa trabalhabilidade
T 11 - S	1:1,74:3,26:0,55	-	50	
T 12 - G1	1:2,20:3,00:0,55	0,58	45	Baixa trabalhabilidade
T 13 - G1	1:2,40:2,60:0,55	0,60	70	
T 14 - G1	1:1,35:3,65:0,55	-	40	Baixa trabalhabilidade
T 15 - G1	1:2,40:2,60:0,55	0,60	90	
T 16 G1	1:1,75:3,25:0,55	0,58	110	
T 17 - S	1:2,40:2,60:0,55	0,60	80	
T 18 - S	1:1,75:3,25:0,55	0,58	130	

Tabela 20 – Consistência dos concretos produzidos.

Se o consumo de água é um fator chave que afeta a economia de custo, deve-se notar que existe uma relação quase que diretamente proporcional entre o abatimento e o consumo

de água, para um dado conjunto de materiais. Para se obter o abatimento especificado, o consumo de água na mistura geralmente diminui na medida em que: (1) aumenta-se a dimensão máxima característica de um agregado de boa granulometria; (2) reduz-se o teor de partículas angulosas e de textura áspera no agregado; (3) aumenta-se a quantidade de ar incorporado na mistura de concreto e (4) cinzas volantes são utilizadas em substituição parcial ao cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Várias dosagens não apresentaram os requisitos necessários, tendo sido posteriormente descartadas, entretanto serviram de conhecimento adquirido para o aperfeiçoamento das demais dosagens.

3.7 Propriedades do concreto endurecido

Inicialmente, realizou-se uma bateria de dosagens, dividida em três etapas: a primeira dos traços T1–G1 a T3–S, a segunda dos traços T4–G1 a T13–G1 e a terceira dos traços T14–G1 a T18–S.

Na primeira etapa, foram comparados os resultados de consistência, trabalhabilidade e resistências entre a aplicação do concreto com seixo e pedra britada de granito, referente aos traços T1–G1 e T3–S, os quais apresentam a mesma proporção de quantidade dos constituintes.

Na segunda etapa, com a utilização de novas amostras de materiais, novamente se buscou a melhor relação entre os constituintes do concreto, variando o tipo de areia e da pedra britada de granito, sendo comparada com a dosagem empregando o seixo.

Na terceira etapa foram repetidas dosagens anteriores, para efeito de comprovação dos resultados encontrados, e ainda, a otimização das dosagens e o comparativo com o emprego do seixo.

Uma segunda bateria de dosagens foi realizada, apenas com os traços selecionados que apresentaram os melhores resultados, de forma a se estabelecer uma estatística de resultados de repetição.

3.7.1 Resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado nos corpos-de-prova produzidos, nas idades de 3, 7 e 28 dias. Para cada idade foram ensaiados dois corpos-de-prova, sendo que os valores apresentados na Tabela 21 constituem a média dos resultados obtidos.

Identificação Traço	Traço unitário C:A:P:A/C	Compressão (MPa)			Consumo cimento (kg)	Densidade concreto (kg/m ³)
		3 dias	7 dias	28 dias		
T 1 - G1	1:1,40:2,60:0,50	25,26	30,47	42,15	425,39	-
T 2 - G1	1:2,02:3,75:0,50	24,63	25,14	30,36	330,23	-
T 3 - S	1:1,40:2,60:0,50	25,52	27,67	30,27	423,52	-
T 4 - G1	1:1,62:3,38:0,55	17,61	22,84	28,71	359,92	2.345
T 5 - S	1:1,08:3,92:0,55	20,11	23,91	31,31	358,43	2.361
T 6 - G0	1:1,50:3,50:0,55	16,35	19,04	23,25	355,91	2.258
T 7 - G1	1:1,08:3,92:0,55	16,38	20,07	28,31	359,92	2.346
T 8 - G0	1:1,08:3,92:0,55	18,55	23,19	29,69	355,43	2.333
T 9 - G1	1:1,35:3,65:0,55	18,42	23,80	30,24	359,92	2.359
T 10 - G1	1:1,74:3,26:0,55	16,55	23,02	28,02	359,91	2.406
T 11 - S	1:1,74:3,26:0,55	15,77	20,82	27,90	358,68	2.354
T 12 - G1	1:2,20:3,00:0,55	18,48	22,70	31,59	350,30	2.369
T 13 - G1	1:2,40:2,60:0,55	14,46	19,33	25,90	359,92	2.352
T 14 - G1	1:1,35:3,65:0,55	13,11	17,88	23,48	359,98	2.402
T 15 - G1	1:2,40:2,60:0,55	14,89	17,75	26,14	359,97	2.340
T 16 - G1	1:1,75:3,25:0,55	15,65	22,79	29,20	359,97	2.352
T 17 - S	1:2,40:2,60:0,55	13,49	19,27	24,52	358,94	2.282
T 18 - S	1:1,75:3,25:0,55	14,67	21,42	24,56	358,68	2.354

Tabela 21 – Compressão axial, consumos de cimento e densidades dos concretos.

A dosagem do traço T2–G1 foi calculada com o objetivo de reduzir o consumo de cimento estabelecido no traço T1–G1, tendo sido a composição dos agregados recalculada.

O traço T9–G1 alcançou a maior resistência, 30,24 MPa aos 28 dias, dentre os demais traços, além de uma boa trabalhabilidade e consumo de cimento em valores comumente utilizados para a resistência desejada.

Analisando os resultados obtidos com o emprego do seixo e da pedra britada de granito (T15–G1 x T17–S e T16–G1 x T18–S), verifica-se que a média das resistências foi superior em 6,60% para a primeira relação e em 18,89% para a segunda.

Os traços T15–G1, T16–G1 e T18–S foram selecionados, sendo repetidas as dosagens de concreto para comprovação estatística dos resultados quanto à resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias. Para cada idade e repetição foram ensaiados dois corpos-de-prova, sendo que os valores apresentados na Tabela 22 constituem a média dos resultados obtidos.

Identificação Traço	Repetição	Slump Test (mm)	Resistência (Mpa)		Média resistência 28 dias (Mpa)
			7 dias	28 dias	
T15 - G1	R1	100	25,78	26,53	28,31 ± 1,28
	R2	60	22,90	29,51	
	R3	70	27,08	28,89	
T16 - G1	R1	120	25,15	29,73	29,55 ± 1,17
	R2	95	23,41	27,49	
	R3	90	26,69	29,21	
	R4	110	24,97	30,68	
	R5	120	25,75	30,65	
T18 - S	R1	100	20,86	27,57	28,23 ± 0,84
	R2	120	24,38	29,30	
	R3	95	22,60	27,49	
	R4	110	24,02	29,22	
	R5	80	22,21	27,61	

Tabela 22 – Média das resistências à compressão axial.

As repetições das dosagens do traço T15–G1 apresentaram resistências superiores à dosagem anterior, sendo que a média das resistências foi superior em 8,30%.

Com relação ao traço T16–G1, verifica-se que a variação em relação à dosagem anterior foi de apenas 1,20%, o que demonstra a capacidade de repetição dentro das características determinadas.

O desvio padrão encontrado foi de apenas 1,17 MPa para o traço T16 – G1 e de 0,84 MPa para o traço T18 – S, o que demonstra uma homogeneidade dos resultados, oriundo de procedimentos operacionais realizados sobre as mesmas condições.

Comparativamente entre os resultados das resistências à compressão dos traços T16–G1 e T18–S, verifica-se que com o agregado de pedra britada de granito o resultado da média foi superior em aproximadamente 5%.

A Figura 40 ilustra a dispersão dos resultados das resistências à compressão axial obtidas com os traços T16–G1 (granito) e T18–S (seixo).

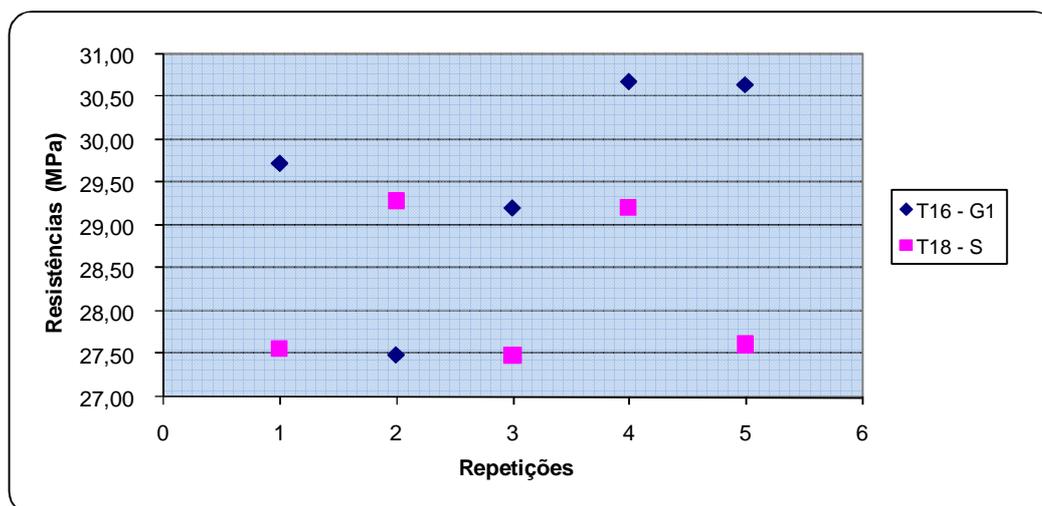


Figura 40 – Gráfico comparativo das resistências à compressão axial.

Observa-se que os resultados do traço T16–G1, de forma geral, encontram-se em níveis superiores aos do traço T18–S, sendo que a melhor avaliação deve ser feita pela média das resistências encontradas, que homogeniza os resultados.

3.7.2 Resistência à tração por compressão diametral

Para os traços selecionados foram executados os ensaios de resistência à tração por compressão diametral em corpos-de-prova cilíndricos de concreto na idade de 28 dias. Nessa idade e para cada repetição foram ensaiados dois corpos-de-prova, sendo que os valores apresentados na Tabela 23 constituem a média dos resultados obtidos.

Identificação Traço	Repetição	Slump Test (mm)	Resistência (Mpa)	Média resistência 28 dias (Mpa)
			28 dias	
T15 - G1	R1	100	2,45	2,65 ± 0,16
	R2	60	2,67	
	R3	70	2,84	
T16 - G1	R1	120	2,80	2,83 ± 0,15
	R2	95	2,70	
	R3	90	2,63	
	R4	110	3,00	
	R5	120	3,01	
T18 - S	R1	100	2,98	2,68 ± 0,22
	R2	120	2,66	
	R3	95	2,35	
	R4	110	2,84	
	R5	80	2,55	

Tabela 23 – Média das resistências à tração por compressão axial.

Comparativamente entre os resultados das resistências à compressão dos traços T16–G1 e T18–S, verifica-se que com o agregado de pedra britada de granito o resultado da média foi superior em aproximadamente 5%.

O desvio padrão encontrado foi de apenas 0,15 MPa para o traço T16 – G1 e de 0,22 MPa para o traço T18 – S, o que representa desvios da ordem de 6% da média dos resultados.

A Figura 41 ilustra a dispersão dos resultados das resistências à tração por compressão diametral obtidas com os traços T16–G1 (granito) e T18–S (seixo).

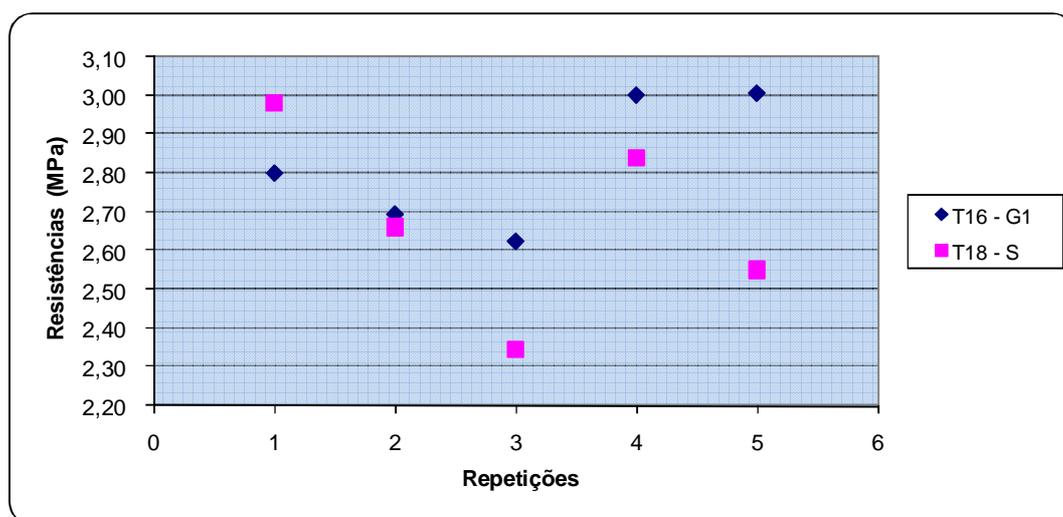


Figura 41 – Gráfico comparativo das resistências à tração por compressão diametral.

3.7.3 Resistência à tração na flexão

Para os traços selecionados foram executados os ensaios de resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos de concreto na idade de 28 dias.

Pra cada repetição foram ensaiados quatro corpos-de-prova, sendo que os valores apresentados na Tabela 24 constituem a média dos resultados obtidos.

Identificação Traço	Repetição	Slump Test (mm)	Resistência (Mpa)	Média resistência 28 dias (Mpa)
			28 dias	
T15 - G1	R1	110	3,31	3,31
T16 - G1	R1	110	4,18	4,19 ± 0,17
	R2	120	4,41	
	R3	170	3,99	
T18 - S	R1	95	3,85	3,76 ± 0,17
	R2	110	3,91	
	R3	80	3,52	

Tabela 24 – Média das resistências à tração na flexão.

Para o traço T15 – G1 registra-se apenas uma repetição, em função de problemas operacionais ocorridos após a realização dos demais ensaios, não sendo possível a recuperação dos resultados obtidos.

Comparativamente entre os resultados das resistências à compressão dos traços T16–G1 e T18–S, verifica-se que com o agregado de pedra britada de granito o resultado da média foi superior em aproximadamente 11%.

O desvio padrão encontrado foi de apenas 0,17 MPa para ambos os traços T16 – G1, o que representa uma variação menor que 5% da média dos resultados.

Neste ensaio as características intrínsecas do agregado de pedra britada de granito, como por exemplo, a forma, os graus de arredondamento e esfericidade, e composição granulométrica contribuíram para que os resultados das resistências encontradas, quando comparadas com as obtidas com o emprego do agregado convencional, fossem superiores a estas, num nível diferenciado em relação às demais resistências.

As condições de aderência entre o agregado e a argamassa e o grau de compactidade do concreto são condições importantes para o alcance de resistências à tração na flexão, apesar de que em estruturas de concreto armado, esses esforços são combatidos com as armaduras.

A Figura 42 ilustra as curvas comparativas com os resultados das resistências à tração na flexão obtidas com os traços T16-G1 (granito) e T18-S (seixo).

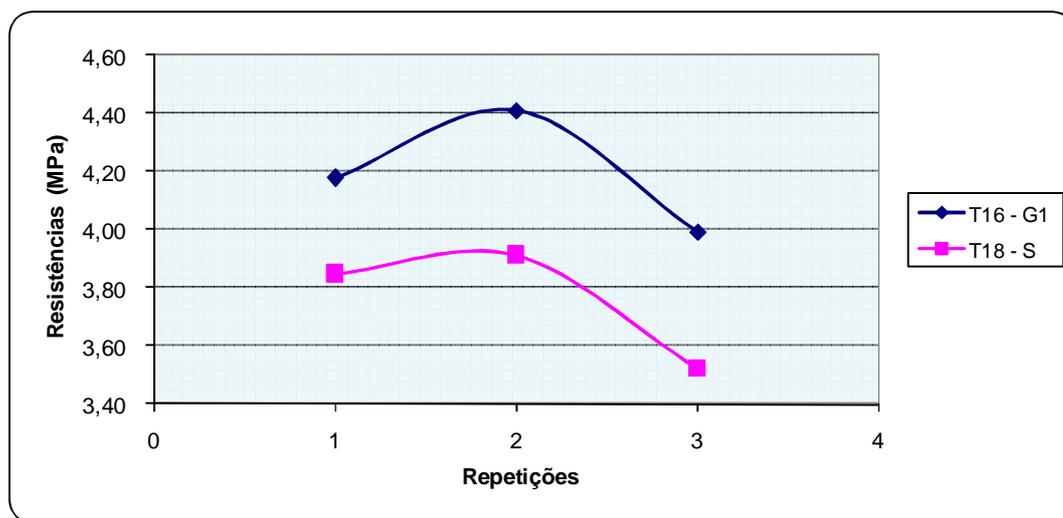


Figura 42 – Gráfico comparativo das resistências à tração na flexão.

Neste caso todos os resultados obtidos com o traço T16-G1 foram superiores ao do traço T18-S, mesmo quando comparados isoladamente ou em conjunto, o que demonstra a importância das características próprias de cada agregado.

CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Capítulo versa sobre as conclusões observadas a partir dos resultados obtidos no Capítulo 3, além de sugestões para pesquisas futuras, em continuidade à pesquisa atual, e a transferência imediata do conhecimento ao meio técnico proporcionado por este trabalho.

4.1 Conclusões

Considerando os objetivos específicos da pesquisa, a pedra britada de granito foi devidamente caracterizada tecnologicamente, com o estudo de suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, além da apreciação petrográfica e a avaliação da potencialidade da reação álcali-agregado. Esses procedimentos foram realizados de acordo com as normas técnicas brasileiras, e na falta destas nas normas técnicas americanas, em especial da ASTM.

Da análise dos resultados obtidos, pode-se afirmar que não há restrições técnicas ao uso da pedra britada de granito, referente à amostra obtida da região de Moura, na produção de concretos de cimento Portland, inclusive estruturais. Os resultados dos ensaios de caracterização tecnológica estão dentro dos limites estabelecidos pelas normas, ou de acordo com os resultados da literatura atual de materiais da mesma categoria.

Com relação à potencialidade da reação álcali-agregado, verifica-se que através de amostras do agregado, após a devida apreciação petrográfica e ensaios de reatividade, classificam-no como inócuo frente a essa reação deletéria.

De qualquer forma, em função da heterogeneidade da natureza e das dimensões da área de ocorrência da formação geológica granítica (granitos e gnaisses), em caso de aplicação de agregado natural, recomenda-se que deverão ser realizados os ensaios de caracterização e o estudo da dosagem experimental, em função das características específicas dos materiais que serão utilizados.

Destaca-se ainda que, o agregado apresentou índices de consumo de cimento semelhantes àquele de agregado convencional, neste caso ao do seixo rolado empregado no mercado de Manaus, mas com os resultados em termo de resistência (compressão axial, tração por compressão diametral e tração na flexão) apresentando valores superiores.

Comparativamente entre os ensaios de resistências, os resultados obtidos com o emprego da pedra britada de granito na compressão axial e na tração por compressão diametral obtiveram a mesma ordem de grandeza de superioridade em relação ao seixo rolado, em torno de 5%. Com relação à resistência à tração na flexão os resultados foram superiores na ordem de 11%, ou seja, mais do que o dobro da relação alcançada nas demais resistências. Neste caso, podemos concluir que a forma, os graus de arredondamento e esfericidade da pedra britada contribuíram para que obtivesse resultados superiores, em função das melhores condições de aderência entre o agregado e a argamassa.

Com relação ao aspecto ambiental da produção de agregados, seja pela extração de seixo rolado dos leitos dos rios, ou pela lavra de rochas em jazidas e afloramentos, assim como qualquer outra atividade econômica, há a ocorrência de impactos ambientais. Entretanto, essas atividades econômicas devem ser exercidas com o cumprimento integral da legislação ambiental e mineral, aliado com o conceito atual de desenvolvimento sustentável, e sob a fiscalização dos órgãos governamentais responsáveis. Entende-se, salvo melhor juízo, que a extração de seixo, nos mais diversos rios da Amazônia, não está sendo feita consoante o regramento ambiental e mineral, com o agravante de que as dimensões continentais do Estado dificultam a presença constante da fiscalização. Porém, a extração de pedra britada da região de Moura traria um impacto ambiental bem menor do que aquele hoje produzido pela extração de seixo.

Com relação à viabilidade econômica da produção de pedra britada da região de Moura, destacamos que não foi objeto de estudo nessa pesquisa. Entretanto, Gouvêa (2001)

compara os custos de exploração de agregados e os custos entre transporte fluvial e rodoviário, e conclui que a região de Moura possui um grande potencial de concorrência no mercado, representando a opção mais econômica em relação aos custos de transporte, observado os condicionantes do período de extração e volume de transporte. Evidentemente, que a viabilidade econômica consiste num estudo amplo, multidisciplinar e com inúmeras variáveis, mas restrito a um caso específico, o que não pode ser replicado para outras situações.

4.2 Sugestões para futuras pesquisas

- Determinação de novas dosagens de concreto com a aplicação de aditivos, com o objetivo de melhorar as propriedades do concreto, ou ainda, proporcionar a redução do fator A/C;
- Estudo da aplicação da pedra britada de granito da região de Moura em concretos especiais, como o de alto desempenho (CAD) e de alta resistência (CAR);
- Aplicação da pedra britada de granito em concreto para pavimentação, considerando sua resistência ao desgaste e forma adequada a esse uso;
- Estudo do mapeamento geológico da região numa escala menor, de forma a propiciar um melhor detalhamento e conhecimento das ocorrências desse tipo de rocha, inclusive oportunizando a mensuração do volume disponível.

4.3 Transferência ao meio técnico

No 50º Congresso Brasileiro do Concreto, realizado em Salvador/BA, em setembro/08, foi apresentado na Sessão Científica 27 o artigo intitulado “Avaliação da utilização do granito da região de Moura, como agregado graúdo, considerando as

propriedades mecânicas do concreto”, o qual já apresentava os resultados e conclusões desta pesquisa obtidas até abril de 2008, data da submissão do artigo a Comissão do IBRACON.

Como nas pesquisas bibliográficas feitas não foram identificadas estudos da caracterização tecnológica e aplicação em concretos de cimento Portland do agregado em questão, consideramos que esse estudo contribuirá como elemento inicial para as próximas pesquisas.

Considera-se ainda que sirva para que as empresas que já exploram a região possam ter elementos técnicos dos procedimentos que devem ser estudados para a verificação da adequação ao uso em concretos ou em outros fins.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for potencial alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method): ASTM C 1260. 2005. 5p.

ARAÚJO, Ricardo Melo et al. Avaliação das propriedades mecânicas do concreto produzido com agregado graúdo de escória aciaria elétrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50°, 2008, Salvador. Anais... Salvador: IBRACON, 2008. 463 p. p. 127.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Manual de ensaios de agregados, concreto fresco, concreto endurecido. São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado – Verificação da reatividade potencial pelo método químico: NBR 9774. Rio de Janeiro, 1987. 10 p.

_____. Agregados – Determinação da composição granulométrica: NBR NM 248. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometro, por lavagem: NBR NM 46. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis: NBR 7218. Rio de Janeiro, 1987. 3 p.

_____. Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária: NBR 7251. Rio de Janeiro, 1982. 3 p.

_____. Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro: NBR 7809. Rio de Janeiro, 2006. 6 p.

_____. Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água: NBR NM 53. Rio de Janeiro, 2003. 8 p.

_____. Agregado graúdo – Ensaio de abrasão "Los Angeles": NBR NM 51. Rio de Janeiro, 2001. 6 p.

_____. Agregado fino – Determinação de impurezas: NBR NM 49. Rio de Janeiro, 2001. 3 p.

_____. Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente: NBR NM 52. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. Agregados para concreto – Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis: NBR 9917. Rio de Janeiro, 1987. 8 p.

_____. Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto: NBR 7389. Rio de Janeiro, 1992. 7 p.

_____. Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos: NBR 7222. Rio de Janeiro, 1994. 3 p.

_____. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: NBR NM 67. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

_____. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: NBR 5739. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.

_____. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova: NBR 5738. Rio de Janeiro, 2003.

BASÍLIO, Eduardo S. Agregados para concreto. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1995.

BATTAGIN, Inês Laranjeira da Silva; BATTAGIN, Arnaldo Forti; NETO, Cláudio Sbrighi. Reação álcali-agregado – a nova norma técnica brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50°, 2008, Salvador. Anais... Salvador: IBRACON, 2008. 463 p. p. 33.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário Mineral 2006 – Amazonas. Relatório, 2006. Brasília: DNPM, 2006. 12 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral – Agregados para construção civil. Relatório: Mineral negócios, 2008. Brasília: DNPM, 2008. 2 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Institui o Plano Nacional de Agregados Mineraiis para Construção Civil – PNACC, e dá outras providências. Portaria n. 222, de 20 de junho de 2008. Diário Oficial da União, 23 junho 2008.

CICHINELLI, Gisele C. Álcali-agregado, reação perigosa. Revista Técnica, São Paulo, n° 125, p. 40-43, agos. 2007.

COELHO, Maria Antonina Magalhães et al. Argamassas utilizando resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50°, 2008, Salvador. Anais... Salvador: IBRACON, 2008. 463 p. p. 143.

D'ANTONA, Raimundo de Jesus Gato et al. Projeto materiais de construção na área Manacapuru – Iranduba – Manaus – Careiro: domínio Baixo Solimões. Manaus: Companhia de Pesquisa de Recursos Mineraiis, 2007. 185 p.

EVANGELISTA, Ana Catarina Jorge. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 2002. 219f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

FRAZÃO, Ely Borges. Tecnologia para a produção e utilização de agregados. In: Edson Esteves Campos et al. Agregados para a construção civil no Brasil: contribuições para formulação de políticas públicas. Belo Horizonte: CETEC, 2007. p. 25-74.

FRAZÃO, Ely Borges. Tecnologia de rochas na construção civil. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2002. 132p.

FIGUEIREDO, E. Pazini; HOLLAND, T. C.; MALHOTA, V. M.; HELENE, P. High-performance concrete structures and materials. In: ACI/CANMET INTERNACIONAL CONFERENCE, 5°, 2008, Manaus. Anais... Michigan: ACI/CANMET, 2008. 416 p.

GOUVÊA, Paulo Henrique Vitória. **A exploração de minerais aplicados à construção civil na região metropolitana de Manaus e alguns aspectos ambientais**. 2001. 68f. Monografia (Especialização em Geologia de Engenharia) – Centro de Estudos Superiores para a Exploração de Minas e Pedreiras a Céu Aberto e Ecole des Mines de Paris. Amazonas.

GONÇALVES, Jardel Pereira et al. Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v.2, n.1, p. 53-68, jan//mar. 2002.

HELENE, Paulo Roberto do Lago et al. Medidas preventivas para a reação álcali-agregado (RAA) no concreto. Revista Concreto, São Paulo, Ano XXXIV, n° 36, p. 22-28, abr./jun. 2007.

HERRMANN, Hildebrando. Legislação mineral, ambiental e tributária. In: Edson Esteves Campos et al. Agregados para a construção civil no Brasil: contribuições para formulação de políticas públicas. Belo Horizonte: CETEC, 2007. p. 75-122.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Banco de Dados. Apresenta indicadores econômicos, sociais, populacionais, estatísticos. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 2 dezembro de 2008.

ISAIA, Geraldo Cechella. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. 1. ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2 v. 2007.

LOPES, João Luiz Macedo Prudêncio. **Influência da utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), como fíler, nas propriedades do concreto.** 2007. 173f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. Concreto – microestrutura, propriedades e materiais. 1. ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008. 674 p.

MENDES, Sandro Eduardo da Silveira. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba.** 2002. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

NAZARÉ, Maria José da Silva. Coletânea de legislação ambiental Federal, Estadual e municipal. 1. ed. Manaus: Ministério Público do Estado do Amazonas, 2007. 673 p.

PERDIZ, Rogério Salles; VASCONCELOS, Raimundo Pereira de. Avaliação da utilização do granito da região de Moura, como agregado graúdo, considerando as propriedades mecânicas do concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50°, 2008, Salvador. Anais... Salvador: IBRACON, 2008. 463 p. p. 413.

PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO DE GESTORES DE EMPRESAS MINERADORAS DE AGREGADOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL. 2006, Manaus. Palestras. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral.

PINHO, Deyna. **Contribuição à petrografia de pedra britada**. 2007. 438f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de São Paulo. São Paulo.

PINHEIRO, Wânia Maria Gonçalves. **Utilização do resíduo de extração da pedra mineira como agregado no concreto**. 2003. 202f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

QUEIRÓZ, Fábio Conrado de. **Aproveitamento de resíduos pétreos de marmorarias do município de São Paulo como agregado para concreto de cimento Portland**. 2005. 87f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo.

REIS, Nelson J. et al. *Geologia e recursos minerais do Estado do Amazonas*. Manaus: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2006.

RIBEIRO, Emília Martins. **Caracterização de agregados graúdos do Rio de Janeiro para concreto estrutural**. 2006. 343f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

SALVADOR, Aparecida Rosa Ferla; MIRANDA, Jussara de Souza. *Recuperação de áreas degradadas*. Instituto de Educação Tecnológica: Techoje. Belo Horizonte, 26 julho 2008. Disponível em: <<http://www.techoje.com.br>>. Acesso em: 1º dezembro 2008..

TANNÚS, Marcos Bartasson; CARMOS, João César Cardoso. *Introdução*. In: Edson Esteves Campos et al. *Agregados para a construção civil no Brasil: contribuições para formulação de políticas públicas*. Belo Horizonte: CETEC, 2007. p. 17-24.

TORGAL, F. Pacheco. *Influence of physical and geometrical properties of granite and limestone aggregates on the durability of a C20/25 strength class concrete*. Science Direct: Construction and building materials, 20, april, 2006. p. 1079-1088. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 28 janeiro 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS. *Curso de dosagem de concreto com cimento Portland*. Laboratório de Ensaios de Materiais. UFAM: 2006.

VALDUGA, Laila. **Reação álcali-agregado – mapeamento de agregados reativos do Estado de São Paulo**. 2002. 213f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas.

GLOSSÁRIO

Colmatagem	Designa o trabalho de atulhamento ou de enchimento realizado por processos naturais ou pelo homem, nas áreas mais baixas ou deprimidas.
Gnaisse	Rocha metamórfica feldspática, nitidamente cristalina, constituída por mica, quartzo, anfibólio e outros minerais.
Fanerozóica	Escala de tempo geológica, que se inicia há aproximadamente 570 milhões de anos. Divide-se nas eras Paleozóica, Mesozóica e Cenozóica.
Pré-cambriano	Período compreendido entre o início da Terra e 570 milhões de anos.
Cráton	Porções antigas da crosta continental, tendo se mantido relativamente estáveis.
Inselbergs	Morro ou elevação topográfica que se destaca em uma superfície de aplainamento como um relevo não aplainado. Morros de testemunhos.
Charnockitóides	Rochas de granulação grosseira e com feldspatos escuros.

ANEXO A – CERTIFICADO DE ANÁLISE N° 318/07

ANEXO B – RELATÓRIO DE ENSAIO N° 48610

ANEXO C – PROCEDIMIENTO OPERACIONAL PP002

ANEXO D – WHOLE ROCK ICP ANALYSIS

ANEXO E – GEOCHEMICAL ANALYSIS CERTIFICATE A

ANEXO F – GEOCHEMICAL ANALYSIS CERTIFICATE B

ANEXO G – ASSAY CERTIFICATE

ANEXO H – ANÁLISE PETROGRÁFICA LA-01

ANEXO I – ANÁLISE PETROGRÁFICA LA-02

ANEXO J – RELATÓRIO DE ENSAIO N° 48515

ANEXO L – RELATÓRIO DE ENSAIO N° 48516

ANEXO M – RELATÓRIO DE ENSAIO N° 48517

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)