

MAURO KIOSHI TAKAU BRINO

**ESTUDO DO APROVEITAMENTO DE REJEITO DE LAVRA DE
QUARTZITO PARA USO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

**São Paulo
2008**

MAURO KIOSHI TAKAU BRINO

**ESTUDO DO APROVEITAMENTO DE REJEITO DE LAVRA DE
QUARTZITO PARA USO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

Trabalho de Formatura em Engenharia de
Minas do curso de graduação do Departamento
de Engenharia de Minas e de Petróleo da
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Lindolfo Soares

São Paulo
2008

EPMI
TF-2008
B772e
Syneo 1733872

MAURO KIOSHI TAKAU BRINO

M2008g

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700004215

FICHA CATALOGRÁFICA

Brino, Mauro Kioshi Takau

Estudo do aproveitamento de rejeito de lavra de quartzito para uso em argamassas de revestimento / M.K.T. Brino. -- São Paulo, 2008.

24 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1.Areia (Materiais de construção) (Avaliação;análise) 2.Argamassa (Avaliação;análise qualitativa) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Lindolfo Soares, pela ajuda, amizade e orientação deste.

Ao Rafael, Givani, Alexandre e Pedro do Laboratório de Materiais para Construção Civil do IPT pela ajuda nos ensaios de realizados.

Aos meus pais pela força durante todos esses anos de estudo.

Ao Alfredo e pessoal do Laboratório de Tratamento de Minérios do Departamento da Engenharia de Minas e de Petróleo pelo apoio na preparação das amostras e pela ajuda durante toda a graduação.

À galera da ATOP e da atlética pela convivência e amizade desses anos.

Ao Ciro Terêncio, Sr. Ivo e todo o pessoal da Prominer por todo o aprendizado e amizades que obtive nesse ultimo ano.

A todos outros professores do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, por todos os anos de aprendizado acadêmico e profissional.

Ao pessoal do Handpoli, onde tive o prazer de jogar num time de handebol de alto nível e, além disso, cultivar muitas amizades.

RESUMO

Os estudos referentes a esse projeto visaram analisar as características do rejeito de lavra de uma mina de quartzito para uso como agregado miúdo para argamassas de revestimento.

A empresa que explora o quartzito mencionado em São Thomé das Letras – Minas Gerais, apenas utiliza o minério com formato adequado e granulometria acima de 101,6 mm (4"). O termo rejeito de lavra é utilizado nesse estudo, pois é composto de quartzito, só que granulometria nem formato placóide adequado.

O estudo foi feito com ensaios que seguiram normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Foram analisados características de petrografia, mineralogia e índices físicos da areia e também a resistência à compressão de corpos de prova moldados com argamassa composta de cimento e a areia estudada.

O resultado final desse trabalho avalia os dados analisados para verificar o uso da areia para argamassas de revestimento, porém, para se comprovar totalmente seu uso ainda deve-se realizar outros ensaios descritos nesse estudo.

ABSTRACT

The studies relative to this Project were target to analyze the features of the mining tailing of a quartzite mine to be used as aggregate for coating mortars.

The company that explores the mentioned quartzite at São Thomé das Letras – Minas Gerais, just uses the ore with adequate format and oversize 4 inches. The term mining tailing is used in this study, because it is compounded by quartzite, but is without the adequate features.

This study was made with laboratory tests that follow the technical standard of ABNT (Brazilian Association of Technical Standards). It analyses petrography, mineralogy and physical features of the sand and also compression test of cores with mortar compounded by cement and the sand study.

The final result of this work assess the analyzed data to verify if the sand is adequate to compound the coating mortars, but it will not show completely because there are others test to be done described.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

1. Introdução.....	1
1.1. Agregado miúdo	2
1.2. Argamassa.....	2
2. Objetivos	3
3. Preparação para os ensaios	4
3.1. Amostragem	4
3.2. Determinação de amostras para os ensaios.....	5
4. Ensaio realizado	6
4.1. Ensaio de reatividade álcali-agregado.....	6
4.1.1. Reação álcali-sílica	6
4.1.2. Reação álcali-silicato	7
4.1.3. Procedimentos do ensaio de reatividade	8
4.2. Ensaio de compressão uniaxial.....	10
5. Ensaio a serem realizados	14
5.1. Análises petrográficas e mineralógicas	14
5.1.1. Matéria orgânica	14
5.1.2. Partículas finas ou pulverulentas.....	15
5.1.3. Partículas macias ou friáveis.....	15
5.2. Índices físicos	16
5.2.1. Massa específica e massa específica aparente.....	16
5.2.2. Absorção de água	17
5.2.3. Massa unitária	19
5.3. Determinação da resistência de aderência à tração.	19
6. Resultados	20
6.1. Ensaio de determinação da resistência à compressão.....	20
6.2. Ensaio de determinação da reatividade álcalis-agregado.....	21
7. Conclusões.....	22
8. Referências Bibliográficas	23
9. Bibliografia complementar.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de agregado miúdo quanto ao módulo de finura.....	2
Tabela 2 – Distribuição granulométrica do material amostrado no empreendimento	4
Tabela 3 – Ações mitigadoras de reatividade possíveis	9
Tabela 4 - Classificação das argamassas relativo à resistência à compressão	13
Tabela 5 – Massa mínima de amostra para ensaio NBR NM 46.	15
Tabela 6 - Massa mínima de amostra para NBR 7218.....	16
Tabela 7 – Classificação das argamassas de acordo com a massa aparente	17
Tabela 8 – Classificação das argamassas relativo à absorção	18
Tabela 9 – Taxa de carregamento do ensaio de resistência de aderência à tração	19
Tabela 10 – Resistência à compressão uniaxial para corpos de prova de 3 dias de vida.	20
Tabela 11 – Resistência à compressão uniaxial para corpos de prova de 7 dias de vida.	20
Tabela 12 – Resultados do ensaio de reatividade de álcalis-agregado.....	21

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Uma das pilhas de rejeito da lavra do empreendimento.	1
Figura 2 - Pilha cônica feita no empreendimento para amostragem de material.	4
Figura 3 – Pilha de quartzito com granulometria abaixo de 25,4 mm.	5
Figura 4 – Exemplo de barra que sofreu grande expansão.	7
Figura 5 - Barras do ensaio de reatividade imersas em solução de hidróxido de sódio.	8
Figura 6 – Medição da expansão relativa da barra.	10
Figura 7 – Preparação para ensaio de consistência de argamassa.	11
Figura 8 – Corpos de prova imersos em solução saturada com cal, em processo de cura.	12
Figura 9 – Corpo de prova prestes a ser ensaiado no teste de compressão uniaxial, em prensa hidráulica.	13

1. Introdução

O seguinte trabalho se refere ao estudo do reaproveitamento da areia proveniente do rejeito da lavra de quartzito para rochas ornamentais para utilização em argamassas como agregado miúdo para construção civil.

O quartzito explorado pela empresa em São Thomé das Letras, Minas Gerais, se apresenta em formato placóide, o que facilita seu uso para rochas ornamentais. A lavra é feita manualmente com auxílio de martelos e fincos para facilitar o deslocamento do minério e quando necessário se utiliza pequena quantidade de explosivos para afrouxar as placas.

O minério extraído que possui tamanho menor que aproximadamente 4 polegadas não é aproveitado atualmente, é encaminhado para as pilhas de rejeito. Também é considerado rejeito da lavra, o material que não se apresenta em forma placóide, por isso há grandes blocos de quartzito nas pilhas. A empresa realizou uma cubagem das pilhas de estoque que determinou que há cerca de 2,1 milhões de metros cúbicos de quartzito em duas pilhas de rejeito. A empresa possui duas minas na região de São Thomé das Letras, e há uma pilha de rejeito em cada.

A empresa deseja avaliar o aproveitamento desse material para diversos usos, como agregado miúdo, indústria de vidro e até para agregado graúdo, para venda na região de São Thomé das Letras, cidade onde se localiza o empreendimento.

Nesse estudo, será avaliada a possibilidade do uso do quartzito para agregado miúdo, utilizando o ensaio de resistência à compressão uniaxial e o ensaio de reatividade álcali-agregado. Estes ensaios, porém, não vão definir se o rejeito da lavra pode ser utilizado como agregado miúdo para argamassas, pois são necessários outros ensaios para cada tipo de argamassa para definir se o agregado pode ser utilizado ou não. Serão descritos os principais ensaios utilizados para verificar as características da areia e da argamassa de revestimento desejada.



Figura 1 – Uma das pilhas de rejeito da lavra do empreendimento.

1.1. Agregado miúdo

Segundo Frazão (2002) agregado é todo material granular encontrado na natureza ou proveniente de fragmentação mecânica. Pode ser classificado pela sua dimensão em graúdo (pedra britada e pedregulho) e miúdo (areia natural ou artificial).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – (1987b), o agregado pode ser classificado pela sua dimensão em graúdo, com dimensões entre 75 mm e 4,75 mm, e miúdo, com dimensões entre 4,75 mm e 0,15 mm.

Os agregados miúdos ainda podem ser classificados através do módulo de finura. O módulo de finura é a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado nas peneiras da série normal dividida por 100. A série normal de peneiras da ABNT são as de malha 150 mm, 76 mm, 38 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm. A classificação das areias, através do módulo de finura, é apresentada pela tabela 1, de acordo com Ribeiro; Pinto e Starling (2002).

Tabela 1 – Classificação de agregado miúdo quanto ao módulo de finura

Tipo de areia	Módulo de Finura
Areia grossa	$MF > 3,3$
Areia média	$2,4 \leq MF \leq 3,3$
Areia fina	$MF < 2,4$

Fonte: Ribeiro; Pinto e Starling, 2002.

1.2. Argamassa

Para Ribeiro, Pinto & Starling, (2002), argamassa é um nome genérico para uma mistura de agregado miúdo, aglomerante e água, cujas principais características, trabalhabilidade, resistência, aderência e durabilidade, variam com a composição da mistura.

As argamassas podem ser classificadas, a partir do tipo de aglomerante utilizado, em argamassas simples ou compostas. As simples possuem apenas um aglomerante, cimento ou cal, e as mistas possuem os dois.

Na construção civil, as aplicações das argamassas estão diretamente ligadas à quantidade de aglomerante empregado, a granulometria da areia e à quantidade de água adicionada. As argamassas podem ser utilizadas para assentamento de alvenaria, assentamento de revestimentos, revestimentos de alvenaria e de pisos, para acabamento ou para argamassas colantes.

Para as argamassas de revestimento, a areia de granulometria mais grossa é utilizada para chapisco, o qual é aplicado sobre o concreto ou alvenaria como base para emboço. A areia de granulometria média é utilizada para emboço, o qual é aplicado sobre o chapisco para nivelamento da superfície e serve como proteção contra variações de umidade e como base para material cerâmico. E areia de granulometria fina é utilizada para reboco que é aplicado sobre o emboço.

2. Objetivos

Os objetivos desse estudo são:

- Elaborar argamassas de revestimento com as amostras de areia disponíveis.
- Determinar a resistência à compressão e a reatividade álcali-agregado das argamassas produzidas com as amostras de areia fornecidas.
- Definir qual a qualificação das argamassas dos diferentes traços em relação a sua resistência à compressão.
- Comparar a resistência à compressão de agregado composto de granulometria mais fina, entre 1,18 mm e 0,15 mm, e com granulometria padrão do ensaio, entre 4,8 mm e 0,15 mm.

Para determinar se a areia pode ser utilizada para revestimentos, ainda devem ser realizados os outros ensaios citados nesse estudo: análises de petrologia e de mineralogia, determinação de matéria orgânica, determinação de partículas finas e pulverulentas, determinação de partículas macias ou friáveis, determinação de índices físicos da areia e determinação da resistência de aderência à tração.

3. Preparação para os ensaios

3.1. Amostragem

Para realização dos ensaios, foram retiradas alíquotas de vários pontos da pilha e amostrado no local através de pilha cônica, como mostra a figura 2, totalizando uma amostra de cerca de 80 quilos de material.



Figura 2 - Pilha cônica feita no empreendimento para amostragem de material.

A amostra recolhida foi peneirada nas peneiras de malhas 101,6 mm (4"), 76,2 mm (3"), 50,8 mm (2") e 25,4 mm (1"). O material abaixo de 25,4 mm (1") recebeu quarteamento em quarteador Jones até se obter uma alíquota de aproximadamente 300 g para análise granulométrica (tabela 2).

Tabela 2 – Distribuição granulométrica do material amostrado no empreendimento

Granulometria	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada
4"	13,15	13,15	86,85
3"	15,64	28,79	71,21
2"	8,80	37,59	62,41
1"	12,68	50,27	49,73
3/8"	17,70	67,97	32,03
1/4"	3,56	71,53	28,47
#20	5,58	77,11	22,89
#30	0,93	78,04	21,96
#48	2,81	80,85	19,15
#200	17,37	98,22	1,78
- #200	1,79	100,00	0,00
Total	100,00		

Com o material abaixo de 1" foi feita uma pilha alongada, para dividir o material em duas alíquotas. Este material foi utilizado para ensaios com faixas granulométricas entre 1,18 mm e 0,15 mm.

O material com granulometria acima de 1" foi britado com britador de mandíbula e depois em britador de rolos, com abertura de 4 mm, ambos do Laboratório de Tratamento de Minérios (LTM) do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica.



Figura 3 – Pilha de quartzito com granulometria abaixo de 25,4 mm.

3.2. Determinação de amostras para os ensaios

Como o material se mostrou muito friável, decidiu-se dividir o material amostrado em duas partes, uma com granulometria composta de 3 faixas, 60% passante em 1,18 mm e retido em 0,6 mm, 25% passante em 0,6 mm e retido em 0,3 mm e 15% passante em 0,3 mm e retido em 0,15 mm, e outra com a granulometria padrão dos ensaios, com granulometria composta em cinco faixas granulométricas, 10% passante em 4,8 mm e retido em 2,4 mm, 25% passante em 2,4 mm e retido em 1,2 mm, 25% passante em 1,2 mm e retido em 0,6 mm, 25% passante em 0,6 mm e retido em 0,3 mm e 15% passante em 0,3 mm e retido em 0,15 mm,

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do Centro de Tecnologia de Obras de Infra-estrutura (CT-Obras) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), e seguem as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Os ensaios visam determinar as propriedades da argamassa e também estabelecer a melhor proporção entre cimento e areia, os traços, para uso em argamassas de revestimento, por isso foram feitos corpos de prova com três traços diferentes. Avaliando os resultados pode-se determinar qual o melhor traço e também se pode escolher outro traço que possa ser melhor. Os traços ensaiados foram escolhidos pelos funcionários baseado em suas experiências profissionais.

4. Ensaio realizados

4.1. Ensaio de reatividade álcali-agregado

A reatividade é uma propriedade que certos minerais de uma rocha apresentam ao reagir com certas substâncias do meio que os envolvem. Há vários tipos de reações possíveis de ocorrer entre o agregado e o cimento, algumas benéficas outras deletérias.

As reações deletérias são denominadas reações álcalis-agregados, sendo os tipos mais comuns às reações álcali-sílica e álcali-silicato. Álcalis são elementos de óxidos de sódio e potássio que são solubilizados imediatamente ou ao longo do tempo.

Essas reações deletérias ocorrem entre os álcalis que estejam presentes no concreto e alguns minerais do grupo da sílica. Os álcalis do concreto podem ser provenientes do concreto, do agregado, da água utilizada ou de aditivos. Os provenientes do agregado podem resultar na degradação de minerais como micas e feldspatos. Há outros tipos de reação que devem ser analisadas para rochas calcárias, não sendo o enfoque deste trabalho.

Ao final do ensaio pode-se determinar se o agregado é potencialmente inócuo ou potencialmente reativo.

4.1.1. Reação álcali-sílica

A reação álcali-sílica ocorre quando um agregado que contém sílica amorfa entra em contato com um cimento portador de um teor em álcalis maior que 0,6% de Na_2O equivalente ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$), podendo ocorrer expansão e fissurações ocasionadas pela formação de silicatos alcalinos com volume molecular maior que os dos reagentes. Um exemplo de reação de expansão é demonstrado pela figura 4.

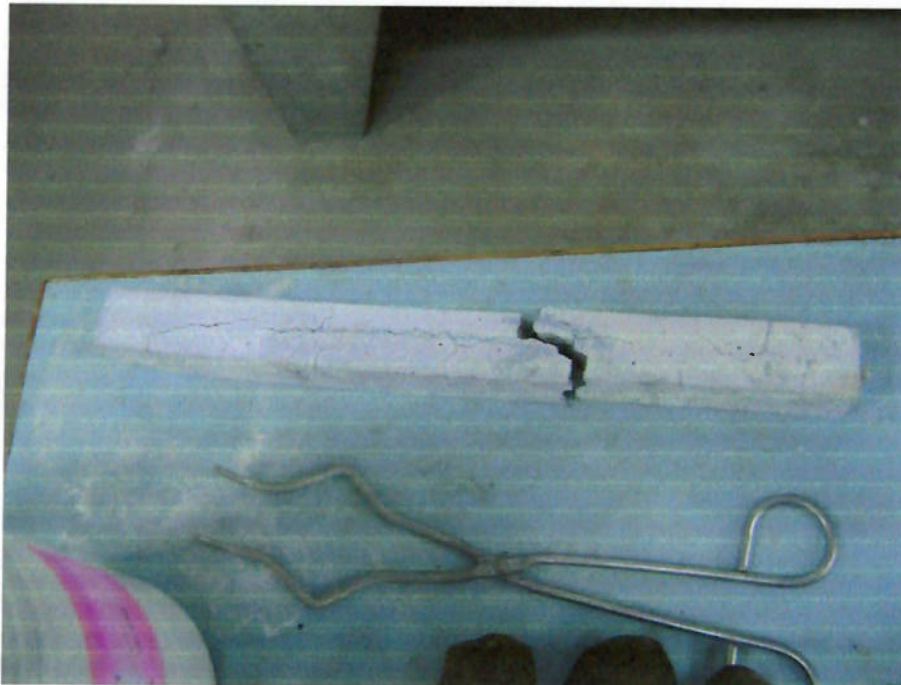


Figura 4 – Exemplo de barra que sofreu grande expansão.

A reatividade da sílica depende do grau de cristalização em que se encontra. O quartzo, por exemplo, não costuma ser reativo, devido a seu alto grau de cristalização. Exemplos de minerais de sílica muito reativos são a calcedônia e a opala, devido aos seus baixos ou nenhum grau de cristalização.

Não há clareza de como a reação se comporta, porém todas as hipóteses se baseiam na formação de silicatos alcalinos devido à reação da sílica com hidróxidos alcalinos.

Outros fatores que também afetam a reatividade são: dimensão das partículas, sua porosidade, quantidade de água livre na pasta do cimento, sua permeabilidade e variação de temperatura.

Segundo Frazão (2002), a intensidade das reações não é diretamente proporcional ao teor de minerais reativos e à concentração de álcalis, medida pela máxima expansão em que ocorre.

Para evitar esse tipo de reação expansão deve-se utilizar cimentos com teores menores que 0,6% de álcalis e não utilizar rochas com minerais reativos. Para utilizar agregados com materiais reativos, deve-se utilizar cimento com adição de pozolanas, materiais que inibem a reação álcali-sílica.

4.1.2. Reação álcali-silicato

A reação álcali silicato se apresenta de forma mais lenta e ocorre entre os álcalis presentes no cimento e silicatos presentes em algumas rochas sedimentares e metamórficas, como é o caso do quartzito analisado. A reação comumente produz um gel compacto e amorfo.

4.1.3. Procedimentos do ensaio de reatividade

O ensaio de reatividade realizado seguiu a norma NBR 15.577, parte IV – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (ABNT, 2008a), e visa avaliar a reatividade potencial do agregado e aponta medidas preventivas para o uso de agregados em concretos e argamassas.

O material selecionado para o ensaio foi parte da amostra que possui granulometria menor que 1,18 mm e menor que 0,15 mm.

O ensaio consiste na preparação de barras de seção quadrada, compostas da mistura de areia, agregado miúdo, e cimento com os traços, proporções cimento:areia, pré-estabelecidas.

No caso deste relatório, foram feitos traços de 1:6, 1:8 e 1:10.

As barras são moldadas e colocadas em estufa durante 24 horas para apresentar a mesma temperatura da solução de hidróxido de sódio também localizado na estufa, como mostra a figura 5.



Figura 5 - Barras do ensaio de reatividade imersas em solução de hidróxido de sódio.

Após as 24 horas, o comprimento é medido por aparelho específico para este fim, apresentado pela figura 6, e este valor é o comprimento inicial. Após a medição, as barras são totalmente imersas na solução. São feitas 7 leituras, com 3, 7, 14 e 28 dias após a medida do comprimento inicial e três leituras intermediárias.

O ensaio também pode ser estendido e testado para até 6 meses de vida dos corpos de prova, porém o usual é fazer leituras até 30 dias.

O cálculo da expansão é feito pela variação do tamanho da barra em relação ao comprimento inicial. Ao final dos 30 dias de vida das barras, determina-se a expansão relativa. Caso a variação seja igual ou maior que 0,19% do comprimento inicial, o material é considerado potencialmente reativo.

Caso o material seja considerado potencialmente ativo, pode-se tentar mitigar esse efeito através de medidas apresentadas pela tabela 3, dependendo da intensidade da reatividade.

Vale ressaltar que Frazão (2002) considera que um agregado pode ser classificado potencialmente reativo se apresentar expansão de 0,05% após três meses e 0,10% após 6 meses.

Para confirmar ou não a reatividade, pode ser realizado o ensaio com prismas de concreto, conforme a norma NBR 15777, parte VI – Reatividade álcali-agregado, determinação da expansão em prismas de concreto (ABNT, 2008b).

Tabela 3 – Ações mitigadoras de reatividade possíveis

Intensidade da Reatividade	Mitigação
Mínima	1-Limitar Teor dos álcalis do cimento a valores menores que 3.0kg/m ³ de Na ₂ O equivalente
	2-Utilizar cimento CP II-E ou CP II-Z (NBR 11578) ou CP III (NBR 57375) ou CP IV (NBR 5736)
	3-Usar uma das medidas mitigadoras previstas na ação preventiva de ação moderada
Moderada	1-Limitar teor de álcalis a 2,4Kg/m ³
	2-Utilizar CP III com mínimo de 60% de escória
	3-Utilizar CP IV com mínimo de 30% de pozolana
	4-Usar uma das medidas mitigadoras previstas na ação preventiva de ação forte
Forte	1-Utilizar materiais inibidores de reação:
	-CP II-E e CP III
	-CP II -Z e CP IV
	-Sílica Ativa e metacaulim mais qualquer CP

Fonte: ABNT, 2008a.

A figura 6 mostra a medição da expansão relativa da barra, segundo a norma especificada.

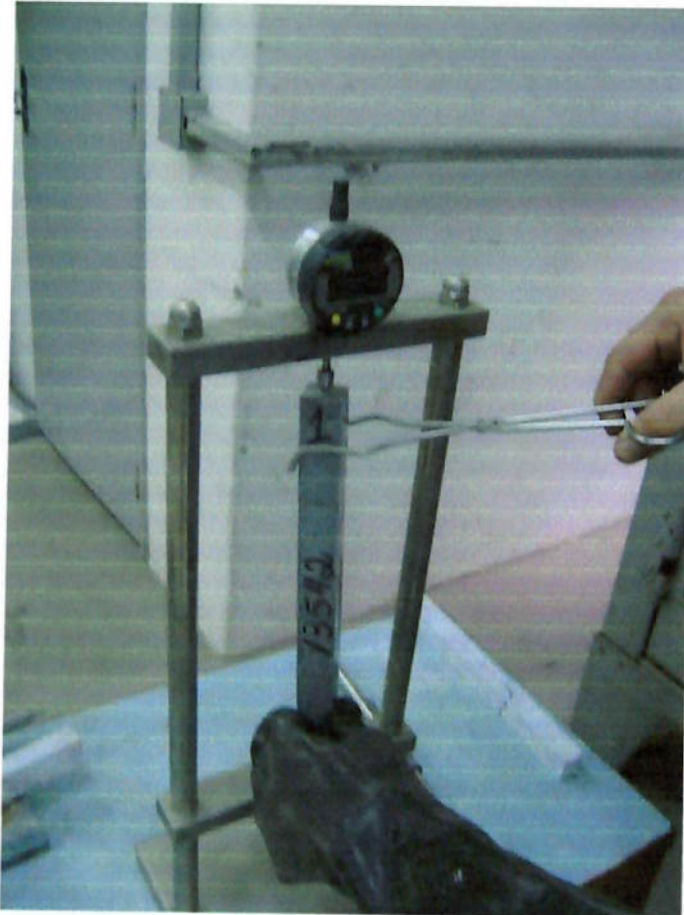


Figura 6 – Medição da expansão relativa da barra.

4.2. Ensaio de compressão uniaxial

O ensaio de compressão uniaxial é muito importante para as rochas utilizadas para construção civil, pois essas recebem frequentemente este tipo de carga. O ensaio determina o esforço capaz de causar a ruptura da rocha ou do corpo de prova, representado pela tensão de ruptura.

A ruptura é sempre precedida por um aumento de volume e da velocidade de propagação de fissuras.

O ensaio de compressão seguirá a norma NBR 7215 - Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão (ABNT, 1996), e a preparação dos corpos de prova seguirá a norma NBR 7221 – Agregados – Ensaio de qualidade de agregado miúdo (ABNT 1987b).

Foram moldados corpos de prova para as amostras com granulometria entre 1,18 mm e 0,15 mm e com granulometria entre 4,8 mm e 0,15 mm com ruptura dos corpos de prova com 3 e 7 dias de cura.

Antes de fazer a moldagem dos corpos de prova, deve-se determinar o índice de consistência correto para os ensaios de resistência à compressão. Para tal, são tomados os seguintes passos:

A areia é colocada em uma cuba, onde são adicionados cimento e água. Os materiais são misturados em um misturador mecânico e a mistura é então colocada em moldes em formato de tronco de cone, colocados sobre uma mesa que possui movimento vertical, onde se eleva a altura da mesa com um excêntrico e ao chegar ao topo, cerca de 12,5 mm, a mesa cai até a altura inicial. A mesa recebe pequena lubrificação com óleo mineral antes do preenchimento dos moldes.

O material é despejado em 3 camadas de mesma altura, e aplicar 15, 10 e 5 golpes com um soquete respectivamente na primeira, segunda e terceira camada. Após os golpes, alisa-se o topo do molde com uma régua de metal. Retira-se o molde e em aproximadamente 30 segundos, deve-se fazer com que a mesa caia 30 vezes. A mistura se “abre” fica em forma de circunferência, mede-se então o tamanho do diâmetro da forma obtida. Esse diâmetro dever ter 250 mm com diferença máxima de 5 mm.



Figura 7 – Preparação para ensaio de consistência de argamassa

Os corpos de prova foram moldados em forma cilíndrica com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, com três traços diferentes: 1:6, 1:8 e 1:10.

Os corpos de prova, depois de moldados, permanecem em cura por 24 horas ao ar livre e depois em água saturada com cal até o período de ruptura. A saturação em água é importante, pois esta é incompressível e atua como bom transmissor de energia e como lubrificante.

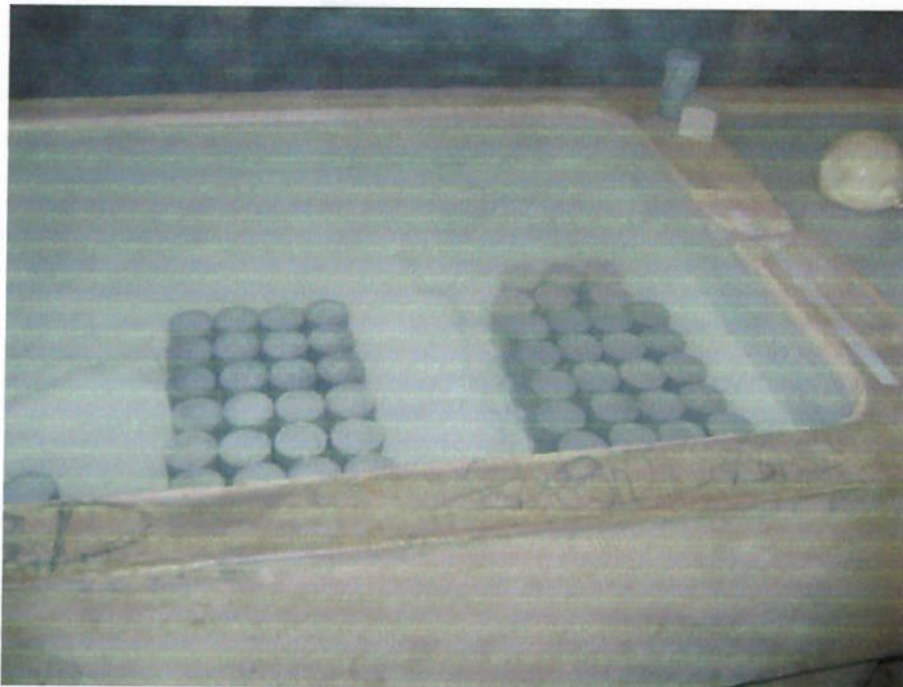


Figura 8 – Corpos de prova imersos em solução saturada com cal, em processo de cura.

Para cada ensaio, são testados quatro corpos de prova e o resultado é obtido pela média dos valores de ruptura dos 4 corpos de mesma vida. Também é obtido o desvio, que é o valor da diferença entre a resistência média e a individual que mais se afastar da média dividido pela resistência média. Se o desvio for maior que 8 %, o corpo de prova é descartado.

Para uniformidade da distribuição de tensões, os topos do corpo de prova recebem cobertura de uma mistura de enxofre com pozolana, para terem suas superfícies planas e regulares e perfeitamente paralelas entre si.

Para os corpos de prova com material de fração entre 1,18 mm e 0,15 mm, a mistura se mostrou muito pobre, havendo rompimento dos corpos de prova de 3 e 7 dias.

A prensa em que foram realizados os ensaios tem seus pratos perfeitamente lisos e paralelos entre si. Quando a ruptura não apresenta interferências anômalas ao ensaio, ela apresenta produtos com geometria de dois troncos de cone ou pirâmides com vértices opostos. A figura 9 ilustra um corpo de prova antes do ensaio de compressão.



Figura 9 – Corpo de prova prestes a ser ensaiado no teste de compressão uniaxial, em prensa hidráulica

Outro fator que influencia diretamente o ensaio é a taxa de carregamento, expressa pela relação força/área/tempo, e esta deve ser constante.

A resistência mecânica à compressão requerida depende da finalidade da argamassa. A norma NBR 13.281 – Argamassa industrializada de assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos (ABNT, 1995a), por exemplo, indica os valores da tabela 4, definindo o tipo de argamassa de acordo com sua resistência à compressão.

Tabela 4 - Classificação das argamassas relativo à resistência à compressão

Tipo	Resistência à compressão (MPa)
P1	$\leq 2,0$
P2	$\geq 1,5$ a $< 3,0$
P3	$\geq 2,5$ a $< 4,5$
P4	$\geq 4,0$ a $< 6,5$
P5	$\geq 5,5$ a $< 9,0$
P6	$\geq 8,0$

Fonte: ABNT, 1995a.

As faixas se sobrepõem, pois devem ser considerados os desvios obtidos em cada ensaio. Caso algum valor esteja em duas faixas, utiliza-se sempre a faixa maior.

5. Ensaaios a serem realizados

Os ensaios não foram realizados devido à falta de tempo para serem feitos e também devido ao grande volume de materiais analisados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do Centro de Tecnologia de Obras de Infra-estrutura (CT-Obras) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT). Estes ensaios devem ser realizados para confirmar se a areia amostrada pode ser utilizada para argamassas de revestimento.

5.1. Análises petrográficas e mineralógicas

Estas análises visam conhecer as características petrográficas e mineralógicas de rochas, areias e pedregulhos, por meio de técnicas que permitam identificar a composição mineralógica, textura, estado de alteração dos minerais, estrutura e outros.

A análise petrográfica pode ser feita por observações macroscópicas ou por microscopia óptica.

A análise mineralógica é feita em materiais granulares, onde são feitas análises das partículas e também dos materiais associados.

5.1.1. Matéria orgânica

A matéria orgânica passível de ocorrer nos agregados é constituída basicamente de decomposição de vegetais. Esta pode causar retardamento da pega e redução na resistência no concreto e em argamassas, atuando principalmente nos agregados miúdos (FRAZÃO, 2002).

A determinação de matéria orgânica foi feita segundo a norma NBR NM 49, Agregado fino – determinação de impurezas orgânicas (ABNT, 2001), através do método de determinação colorimétrica de impurezas orgânicas em agregado miúdo destinado ao preparo do concreto.

O ensaio se dá separando duas amostras de 200 g de agregado miúdo e duas soluções uma com 100 ml de solução de hidróxido de sódio a 3% e outra com 97 ml de solução de hidróxido de sódio e 3 ml de solução de ácido tânico a 2%, esta segunda é a solução padrão do ensaio.

Em um erlenmeyer mistura-se uma das amostras com a solução de hidróxido de sódio. Em outro erlenmeyer mistura-se a outra amostra com a solução de hidróxido de sódio mais ácido tânico. Agitam-se as duas misturas e as deixam em repouso por 24 horas. Ao final do período de repouso, filtram-se os agregados em tubo de ensaio.

Compara-se a cor da amostra que recebeu a solução padrão, que contém ácido tânico, com a da mistura com solução de hidróxido de sódio, verificando se a cor está mais escura, mais clara ou igual à da solução padrão.

5.1.2. Partículas finas ou pulverulentas

Materiais pulverulentos são partículas menores que 0,075 mm e podem ocorrer tanto dispersos como na forma de torrões. O material pulverulento aumenta a quantidade de água de amassamento necessária, podendo reduzir a resistência à compressão uniaxial do concreto em até 30%. Quanto menor o tamanho das partículas, maiores problemas são causados (Frazão, 2002).

A determinação de partículas finas e materiais pulverulentos, segundo a norma NBR NM 46, Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira de 75 μm por lavagem, (ABNT, 2003). As partículas de argila e outros materiais que se dispersam na lavagem serão removidos do agregado durante o ensaio.

O agregado miúdo é lavado com água, esta é recolhida contendo o material suspenso e dissolvido. Essa solução é passada em peneira com malha de abertura de 75 μm . A perda de massa é calculada em porcentagem em relação a massa da amostra inicial.

A massa mínima utilizada depende do tamanho máximo de partícula da amostra inicial. Esta relação é apresentada pela tabela 5.

Tabela 5 – Massa mínima de amostra para ensaio NBR NM 46.

Tamanho máximo nominal (mm)	Massa mínima (g)
2,36	100
4,75	500
9,5	1000
19	2500
37,5	5000

Fonte: ABNT, 2003.

5.1.3. Partículas macias ou friáveis

As partículas macias e friáveis, como os torrões de argila, por apresentarem baixa resistência mecânica, modificam as propriedades físicas do concreto e também afetam a sua integridade. Apresentam, às vezes, expansão por absorção de água e podem promover o aparecimento de buracos e reduzir a resistência à compressão (Frazão, 2002).

Ribeiro, Pinto & Starling (2002) sugerem limite máximo de 1,5% em massa para agregados graúdos e de 1% a 3% para agregados miúdos.

A determinação desse tipo de partícula é normalizada pela NBR 7218, Agregados – determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis (ABNT, 1987a).

Consiste em determinar a perda de massa do agregado, realizando peneiramento à seco, após desfazer as partículas de torrões de argila e materiais friáveis, pressionando o dedo contra os torrões.

A massa mínima utilizada depende do tamanho máximo de partícula da amostra inicial. Esta relação é apresentada pela tabela 6.

Tabela 6 - Massa mínima de amostra para NBR 7218

Tamanho máximo nominal (mm)	Massa mínima (g)
4,75	100
≥4,75 e <9,5	500
≥9,5 e <19	1000
≥19 e <37,5	2500
≥37,5	5000

Fonte: ABNT, 1987a.

5.2. Índices físicos

Para garantir a qualidade da argamassa, também devem ser feitas análises das seguintes propriedades físicas dos agregados:

5.2.1. Massa específica e massa específica aparente

A relação entre massa dos minerais (M) e o volume real dos minerais (V_r) define a massa específica real:

$$\rho_r = M / V_r$$

Porém esta relação despreza o volume de vazios, portanto a definição de massa específica aparente é representada pela relação entre a massa e o volume aparente da rocha (V_a).

$$\rho_a = M / V_a$$

O volume da rocha, porém, compreende o volume dos minerais e o volume de vazios.

A porosidade real é definida por uma relação entre o volume de vazios (V_v) e o volume das partículas (V_r). A porosidade aparente é definida pela relação entre volume de vazios e o volume da rocha (V_a).

$$\eta_r = V_v / V_r$$

$$\eta_a = V_v / V_a$$

O grau de compactidade (C) de uma rocha pode também ser expresso pela relação entre massa específica aparente (ρ_a) e massa específica absoluta (ρ_r).

$$C = \frac{V_r}{V_a} = \frac{\rho_r}{\rho_a} = \frac{\rho_a}{\rho_r}$$

A porosidade absoluta pode ser expressa pela seguinte relação:

$$\eta_r = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} = 1 - C$$

A massa específica aparente é influenciada pela aparente, portanto deve-se determinar a massa específica aparente da rocha no estado seco, ou no estado saturado. Quando estiver no estado úmido, a umidade deve ser conhecida.

O ensaio de determinação de massa específica e de massa específica aparente é normalizado pela NBR NM 52 (ABNT, 2006), que define os seguintes parâmetros:

- Massa específica aparente é a relação entre a massa do agregado seco, excluindo os poros permeáveis.
- Massa específica aparente é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis.
- Massa específica relativa é a relação entre a massa da unidade de volume de um material, incluindo os poros permeáveis e impermeáveis e a massa de um volume igual a de água destilada, livre de ar. É uma grandeza adimensional.

O ensaio é feito, com uma amostra de 1 kg de agregado miúdo, imerso em água durante 24 horas. A amostra é retirada da água e colocada sobre superfície plana, sob corrente de ar. Secagem deve ser feita até os grãos não ficarem aderidos entre si.

Coloca-se o material em molde de formato de tronco de cone, através de 25 golpes com soquete, compacta-se o material. Retira-se o molde e caso o agregado conserve o formato do molde, deve-se continuar a secagem. Repetem-se os procedimentos até que o agregado desmorone ao retirar o molde.

De acordo com a norma NBR 13281 (ABNT 1995a) a classificação das argamassas de acordo com a massa aparente é apresentada pela tabela 7.

Tabela 7 – Classificação das argamassas de acordo com a massa aparente

Tipo	Massa aparente (kg/m ³)
M1	≤1200
M2	≥1000 a <1400
M3	≥1200 a <1600
M4	≥1400 a <1800
M5	≥1600 a <2000
M6	≥1800

Fonte: ABNT, 1995a.

5.2.2. Absorção de água

A quantidade de água capaz de preencher os poros da rocha também é uma propriedade importante.

A absorção (αA_v) pode ser obtida pela diferença de peso entre a rocha seca (M_1) e a rocha saturada (M_2), relacionado ao peso da rocha seca, para se obter a capacidade de absorção em peso ou em volume, se os parâmetros forem em volume.

$$\alpha A_v = \frac{M_2 - M_1}{V_1} \times 100$$

$$\alpha A_p = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

A relação entre absorção em volume e a absorção em peso é representada pela numericamente pela massa específica aparente.

$$\frac{\alpha A_v}{\alpha A_p} = \frac{\frac{M_2 - M_1}{V_1}}{\frac{M_2 - M_1}{M_1}} = \frac{M_1}{V_1} = \rho_a$$

A absorção sempre será menor que a porosidade absoluta e a aparente, porque a água não penetra em todos os poros.

O ensaio de absorção de água é normalizado pela NBR NM 30 (ABNT, 2000), que indica os seguintes procedimentos:

Deve-se colocar uma amostra de 1 kg na estufa até estabilização do peso. Colocar a amostra imersa em água durante 24 horas. Depois se coloca para secar em corrente de ar. Após secagem, coloca-se amostra em molde com formato de tronco de cone. Golpeia-se a amostra com 25 golpes com soquete e retira-se o molde. Se a areia desmoronar, repete-se o processo, se não desmoronar a consistência está adequada. Determina-se então a massa com aproximação de 0,1 g.

De acordo com a norma NBR 13281 (ABNT, 1995a) a classificação das argamassas de acordo com a absorção de água é apresentada pela tabela 8.

Tabela 8 – Classificação das argamassas relativa à absorção

Tipo	Absorção de água (%)
U1	≤78
U2	≥72 a <85
U3	≥88 a <90
U4	≥86 a <94
U5	≥91 a <97
U6	≥95 a 100

Fonte: ABNT, 1995a.

5.2.3. Massa unitária

O ensaio de massa unitária mede a massa de agregado miúdo que é lançado em um recipiente em forma de paralelepípedo, segundo a norma NBR 7251 (ABNT 1982).

O ensaio se dá lançando o agregado miúdo de uma altura de 10 a 12 cm do topo do recipiente, cuja massa foi previamente medida. Ao completar o recipiente, deve-se alisar a superfície do agregado com uma régua. Repete-se o procedimento pelo menos três vezes

A massa de unitária do agregado solto é a média de resultados individuais, dividindo-se a massa do agregado pelo volume do recipiente utilizado.

5.3. Determinação da resistência de aderência à tração.

O ensaio de determinação da resistência de aderência à tração segue a norma NBR 13528 (ABNT, 1995b). Essa norma define a resistência de aderência à tração como a tensão máxima suportada por um corpo de prova de revestimento, na interface em avaliação, quando submetido a um esforço normal de tração.

O ensaio é realizado com o traço desejado, escolhido de acordo com a classificação da argamassa em relação a sua resistência à compressão uniaxial.

O ensaio se dá aplicando argamassa em um substrato. Após a aplicação, serão cortados os corpos de prova com uma serra de copo até que se chegue ao substrato. Os corpos devem ter 50 mm de diâmetro.

Após o corte, deve colar a pastilha, uma placa metálica não deformável sob a carga do ensaio, com 50 mm de diâmetro e 100 mm de lado, e que possui um dispositivo no centro para acoplamento do equipamento de tração, com cola à base de tinta epóxi. Após a colagem deve-se aguardar 24 horas para realizar o ensaio

A taxa de tração em função do tempo é estabelecida, considerando em qual faixa se espera que a resistência se encaixe, de modo que o ensaio dure entre 10 e 80 segundos. A relação é apresentada pela tabela 9.

Tabela 9 – Taxa de carregamento do ensaio de resistência de aderência à tração

Provável resistência de aderência à tração (MPa)	Taxa de carregamento (N/s)
≤ 0,20	5
≥0,2 e <0,5	25
≥0,5 e <1,0	100
≥1,0	200

Fonte: ABNT, 1995b.

Realizado o ensaio, deve-se analisar o corpo de prova para determinar em qual região houve a ruptura por tração. A ruptura pode ocorrer no substrato, na interface substrato/revestimento, no revestimento, na interface revestimento/cola ou na interface cola/pastilha.

6. Resultados

Os resultados obtidos nos ensaios são demonstrados nesse capítulo.

6.1. Ensaio de determinação da resistência à compressão.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do Centro de Tecnologia de Obras de Infra-estrutura (CT-Obras) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT).

Todas amostras com granulometria fina, com 60% passante em 1,18 mm e retido em 0,6 mm, 25% passante em 0,6 mm e retido em 0,3 mm e 15% passante em 0,3 mm e retido em 0,15 mm, sofreram ruptura quando o funcionário do IPT estava fazendo a cobertura com mistura de enxofre e pozolana para deixar os topos dos corpos de prova paralelos.

Já os ensaios com granulometria padrão do ensaio de compressão uniaxial apresentaram as resistências médias apontadas pelas tabelas 9 e 10.

Tabela 10 – Resistência à compressão uniaxial para corpos de prova de 3 dias de cura.

Traço	Resistência à compressão (3 dias)		
	Resistência à Compressão (MPa)	Faixa de resistência	Tipo da Argamassa
1:6	7,7	≥5,5 a <9,0	P5
1:8	4,3	≥4,0 a <6,5	P4
1:10	2,3	≥1,5 a <3,0	P2

Tabela 11 – Resistência à compressão uniaxial para corpos de prova de 7 dias de cura.

Traço	Resistência à compressão (7 dias)		
	Resistência à Compressão (MPa)	Faixa de resistência	Tipo da Argamassa
1:6	8,4	≥8,0	P6
1:8	5,3	≥4,0 a <6,5	P4
1:10	2,9	≥1,5 a <3,0	P2

As faixas de resistência em que as resistências à compressão se encaixam e os tipos de argamassas são estabelecidos pela norma NBR 13281 (ABNT, 1995 a) - Argamassa industrializada de assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos, apresentada pela tabela 4 no capítulo 4.2.

Portanto a argamassa com traço 1:6 (mais rico) é classificada como tipo P6, a de traço 1:8 (intermediário) é classificada como tipo P4, e a de traço 1:10 (mais pobre) é classificada como tipo P2.

6.2. Ensaio de determinação da reatividade álcalis-agregado.

Os ensaios também foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do Centro de Tecnologia de Obras de Infra-estrutura (CT-Obras) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT).

Os resultados dos três corpos de prova testados e suas respectivas expansões são apresentados pela tabela 11.

Tabela 12 – Resultados do ensaio de reatividade de álcalis-agregado.

Tempo (dias)	Expansão (mm)			Expansão (%)			Média (%)
	CP 01	CP 02	CP 03	CP 01	CP 02	CP 03	
0	-	-	-	-	-	-	-
1	4,120	4,250	4,218	-	-	-	-
2	4,319	4,442	4,405	-	-	-	-
5	4,353	4,472	4,440	0,013	0,012	0,014	0,01
9	4,362	4,484	4,450	0,017	0,017	0,018	0,02
12	4,388	4,512	4,480	0,027	0,028	0,030	0,03
14	4,404	4,520	4,480	0,034	0,031	0,030	0,03
16	4,419	4,520	4,490	0,040	0,031	0,034	0,04
23	4,457	4,562	4,529	0,055	0,048	0,049	0,05
27	4,504	4,618	4,591	0,073	0,070	0,074	0,07

Os dados apresentados demonstram, segundo a norma NBR 15.577, parte IV - Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (ABNT, 2008a), que o agregado é potencialmente inócuo, já que a expansão limite para essa classificação é de 0,19% em relação ao comprimento inicial.

Caso seja necessário comprovar se o agregado é inócuo pode-se realizar o ensaio NBR 15577, parte VI, Agregados – Reatividade álcali-agregado, determinação da expansão em prismas de concreto (ABNT, 2008b).

7. Conclusões

Esse estudo compreende apenas uma parte dos ensaios que devem ser realizados para verificar se a areia proveniente do rejeito de lavra de quartzito pode ser utilizada como agregado miúdo para argamassas de revestimento.

Com o ensaio de reatividade, verificou-se que a areia é potencialmente inócua, podendo ser aplicada para argamassas de revestimento, considerando apenas essa característica.

No ensaio de resistência a compressão, os corpos de prova com granulometria mais fina, entre 1,18 mm e 0,15 mm sofreram ruptura ao se fazer a cobertura dos topos. Portanto, não foi possível comparar o efeito da granulometria nesse ensaio. Talvez seja interessante repetir o ensaio com essa granulometria, com uma forma diferente de aplainar os topos dos corpos, como lixamento manual.

Já para o ensaio de resistência à compressão com corpos de prova com granulometria mais grossa, entre 4,8 mm e 0,15 mm, os três traços estudados, 1:6, 1:8 e 1:10, foram classificados respectivamente como tipos P6, P4 e P2.

Para utilizar a areia estudada como agregado miúdo para argamassas de revestimento devem ser realizados os ensaios descritos no capítulo 5, análises de petrologia e de mineralogia, determinação de matéria orgânica, determinação de partículas finas e pulverulentas, determinação de partículas macias ou friáveis, determinação de índices físicos da areia e determinação da resistência de aderência à tração.

8. Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa industrializada de assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos. Rio de Janeiro, 1995a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1995b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.577, parte IV**: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro, 2008a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.577, parte VI**: Reatividade álcali-agregado, determinação da expansão em prismas de concreto. Rio de Janeiro, 2008b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7218**: Agregados – determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 1987a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7221**: Agregados – Ensaio de qualidade de agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1987b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251**: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46**: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 49**: Agregado fino – determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2006.

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

RIBEIRO, C.C.; PINTO, J.D.S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil**. 2º Ed. Belo Horizonte: UFMG; Escola de Engenharia da UFMG, 2002. 102 p.

9. Bibliografia complementar

CAMPOS, E.E; FRAZÃO,E.B; CALAES, G.D; HERRMANN, H. Agregados para construção civil no Brasil: contribuições para formulação de políticas públicas. Belo Horizonte: CETEC, 2007. 233 p.

INOUE, J.K. Uso de finos de pedra, gerados no processo de britagem com britador de impacto vertical (VSI), em argamassas. São Paulo, 2007, 28 p.

LIZ ZANCHETTA D'AGOSTINO. Uso de finos de pedra no preparo de argamassas de assentamento. São Paulo, 2004. 119 p.

NAKAMURA, E. H. Análise e Classificação das argamassas industrializadas segundo a NBR 13 281 e a MERUC. São Paulo, 2003. 198 p.

SMITH, M.R.; COLLIS, L. Aggregates- sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes. 3rd Ed. London: Geological Society, 2001. 339 p.