



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil



Marina Bedeschi Dutra

Produção de Areia Padronizada Sílica -
Reciclagem de resíduo sólido da mineração

Ouro Preto
2013

Marina Bedeschi Dutra

Produção de Areia Padronizada Sílica - Reciclagem de resíduo sólido da mineração

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenharia Civil.

Orientador: Professor Doutor Ricardo André Fiorotti Peixoto

Ouro Preto
2013

Produção de areia padronizada sílica - Reciclagem de resíduo sólido da
mineração

Monografia de conclusão de curso para
obtenção do Grau de Engenheiro Civil na
Universidade Federal de Ouro Preto,
defendida e aprovada em 06 de Setembro
de 2013, pela banca examinadora
constituída pelos professores:



Prof. Ricardo André Fiorotti Peixoto (D.Sc.) – Orientador – UFOP



Prof. Geraldo Donizetti de Paula (D.Sc.) – Co-Orientador – UFOP



Profa. Guilherme Jorge Brigolini Silva, (D.Sc.) – UFOP

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por me ajudar sempre a superar todas às dificuldades e a nunca me deixar desanimar ou desistir.

Agradeço a minha mãe Áurea Luiza pelo eterno incentivo e apoio, por ser meu porto seguro e por fazer, sempre, de tudo para que eu concluísse meu curso e me tornasse engenheira.

Agradeço ao Caio, pelo carinho, apoio, paciência e ajuda durante todo o tempo, mas, principalmente, durante o final do curso.

Agradeço aos professores, especialmente ao Professor Ricardo Fiorotti, pela ajuda e orientações, que fizeram a toda a diferença nesse final de curso. Ao Professor Sidney Nicodemos da Silva, pela grande contribuição, que agregou muito a esse trabalho.

Agradeço a todos do Grupo de Pesquisas em Resíduos Sólidos Industriais (RECICLOS), pela acolhida e por todo o aprendizado adquirido durante os ensaios e no desenvolvimento da pesquisa, especialmente, à Barbara e o Diego, pela ajuda e imensa colaboração. Ao Laboratório de Caracterização de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), pela colaboração e disponibilidade na realização de ensaios.

Lista de Figuras

Figura 4.1: Areia Normal Brasileira	19
Figura 5.1: Rejeito da Mineração de silício	2423
Figura 5.2: Propriedades físicas do cimento CP III-40 RS	24
Figura 5.3: Características do cimento CPV- ARI	24
Figura 5.4: Britador de Mandíbulas	25
Figura 5.5: Conjunto de peneiras	26
Figura 5.6: MEV	29
Figura 5.7: Autoclave	33
Figura 5.8: Barra Padrão	34
Figura 6.1: Finos na peneira nº10	34
Figura 6.2: Frações da areia normal	35
Figura 6.3: Curva granulométrica	36
Figura 6.4: Teor de material pulverulento	37
Figura 6.5: Teor de umidade	37
Figura 6.6: Determinação do teor de matéria orgânica ANR e ANB	38
Figura 6.7: Massa específica	38
Figura 6.8: Massa específica aparente	39
Figura 6.9: Teor de elementos na fração >150µm	39
Figura 6.10: Teor de elementos na fração <150µm	40
Figura 6.11: Espectro de FRX	41
Figura 6.12: Partículas de areia cobertas de ferro	41
Figura 6.13: Partículas metálicas	42
Figura 6.14: Formato dos grãos	42
Figura 6.15: Mesa de índice de consistência	43
Figura 6.16: Índice de consistência	43
Figura 6.17: Índices de consistência	44
Figura 6.18: Teor de ar incorporado	44
Figura 6.19: Densidade de massa	45
Figura 6.20: Resistência à compressão	46
Figura 6.21: Resistência à tração	46
Figura 6.22: Expansão das barras	47
Figura 6.23: Porcentagem de expansão	48
Figura 6.24: Posição das barras na autoclave	48

RESUMO

Os impactos ambientais causados pelas mineradoras e pelo setor da construção civil vêm, cada vez mais, mostrando a importância de se encontrar soluções mais sustentáveis para questões como a geração e deposição inadequada de resíduos sólidos, por parte das mineradoras, e o elevado consumo de recursos naturais não renováveis causado pela construção civil. A sociedade está, de forma geral, procurando alternativas para minimizar esses impactos e este trabalho vem propor uma forma de contribuir para o desenvolvimento de novos materiais e tecnologia, utilizáveis no setor da construção civil, através da produção de areia normal, fabricada a partir da britagem e separação do rejeito da mineração de silício e dessa forma, diminuir a utilização de areia normal natural e ao mesmo tempo proporcionar destinação ambientalmente correta aos resíduos da mineração. A areia normal produzida foi caracterizada fisicamente. E com a finalidade de comparar seu desempenho, foram produzidas argamassas utilizando a Areia Normal Brasileira, produzida pelo IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica), e a areia produzida com o rejeito, essas argamassas foram submetidas aos ensaios de caracterização física e de resistência à compressão e à tração na flexão. Foram produzidas argamassas utilizando o cimento CPV-ARI, segundo a prescrição da norma, e o agregado advindo do rejeito, para o ensaio de Expansão em autoclave. Obteve-se resultados satisfatórios em relação às propriedades físicas, mecânicas e em relação a expansibilidade das argamassas produzidas com a areia normal produzida. Apresentando viabilidade técnica na utilização de rejeito da mineração silício como uma alternativa para a deposição desses resíduos sólidos e ao consumo de agregados naturais.

Palavras Chave: sustentabilidade; areia normal; resíduos da mineração; argamassa.

ABSTRACT

The environmental impacts of mining and the construction industry have been increasingly showing the importance of finding more sustainable solutions to issues such as the generation and improper disposal of solid waste by the miners, and the high consumption of natural resources nonrenewable caused by construction. Society is, in general, looking for alternatives to minimize these impacts and this paper proposes a way to contribute to the development of new materials and technology, usable in the construction industry, through the production of normal sand, manufactured from crushing and separating the tailings from the mining silicon and thus diminish the use of natural and normal sand while providing environmentally friendly waste disposal mining. The standard sand produced was characterized physically. And in order to compare its performance, were produced using standard sand mortar Brazilian produced by IPT (Institute for Technological Research) and the waste sand produced with these mortars were subjected to physical testing and characterization of resistance to compression, and tensile strength in bending. Was produced using cement mortar CPV-ARI, as prescribed by the standard, and coming from the household waste to the autoclave expansion test. Satisfactory results are obtained in respect of physical, mechanical and regarding expansion of mortars produced with standard sand produced. Introducing technical feasibility of the use of mining tailings silicon, as an alternative to the disposal of such waste and consumption of natural aggregates.

Keywords: sustainability, normal sand; mining waste; mortar.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
2. JUSTIFICATIVA.....	10
3. OBJETIVOS	11
3.1. OBJETIVO GERAL	11
3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	11
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
4.1. OBTENÇÃO E IMPORTÂNCIA DA SÍLICA.....	11
4.2. O QUARTZO E SEU PROCESSO DE MINERAÇÃO.....	12
4.3. IMPACTOS DA MINERAÇÃO.....	13
4.4. RECICLAGEM DE RESÍDUOS.....	13
4.5. ARGAMASSA	14
4.5.1. <i>Tipos de argamassa</i>	15
4.6. AGREGADOS	16
4.6.1. <i>A areia e sua classificação</i>	17
4.6.2. <i>Areia Normal Brasileira</i>	18
4.7. CIMENTO PORTLAND	19
4.7.1. <i>Definição</i>	19
4.7.2. <i>Tipos de cimento</i>	19
5. MATERIAIS E MÉTODOS	22
5.1. MATERIAIS	22
5.1.1. <i>Resíduo da mineração de silício</i>	22
5.1.2. <i>Areia Normal Brasileira</i>	23
5.1.3. <i>Água</i>	23
5.1.4. <i>Cimento Portland</i>	24
5.2. METODOLOGIA	24
5.2.1. <i>Produção da Areia Normal</i>	24
5.3. CARACTERIZAÇÃO DA AREIA NORMAL	25
5.3.1. <i>Granulometria</i>	25
5.3.2. <i>Determinação do teor de material pulverulento</i>	26
5.3.3. <i>Determinação do teor de umidade</i>	26
5.3.4. <i>Determinação de impurezas orgânicas</i>	27
5.3.5. <i>Determinação da massa específica e massa específica aparente (unitária)</i>	27
5.3.6. <i>Fluorescência de raios X</i>	28
5.3.7. <i>Difração de raios X</i>	28
5.3.8. <i>Microscopia Eletrônica de Varredura</i>	28
5.4. PRODUÇÃO DA ARGAMASSA.....	29
5.4.1. <i>Índice de Consistência</i>	29
5.4.2. <i>Teor de ar incorporado</i>	29
5.4.3. <i>Densidade de massa</i>	30
5.5. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DA ARGAMASSA.....	31
5.5.1. <i>Ensaio de resistência à compressão axial</i>	31
5.5.2. <i>Ensaio de resistência à tração na flexão</i>	31
5.6. ENSAIO DE DURABILIDADE	32
5.6.1. <i>Ensaio de expansão na Autoclave do Cimento Portland</i>	32
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	34

6.1.	PRODUÇÃO DA AREIA NORMAL	34
6.2.	CARACTERIZAÇÃO DA AREIA NORMAL	36
6.2.1.	<i>Material fino passante na peneira 0,075mm</i>	36
6.2.2.	<i>Teor de umidade</i>	37
6.2.3.	<i>Impurezas orgânicas</i>	37
6.2.4.	<i>Massa específica e massa específica aparente (unitária)</i>	38
6.2.5.	<i>Espectometria de Fluorescência de raios X</i>	39
6.2.6.	<i>Difração de raios X</i>	40
6.2.7.	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura</i>	41
6.3.	PRODUÇÃO DA ARGAMASSA.....	42
6.3.1.	<i>Índice de consistência</i>	42
6.3.2.	<i>Teor de ar incorporado</i>	44
6.3.3.	<i>Densidade de massa</i>	45
6.4.	CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DA ARGAMASSA.....	45
6.4.1.	<i>Resistência à compressão</i>	45
6.4.2.	<i>Resistência à tração na flexão</i>	46
6.5.	ENSAIOS DE DURABILIDADE.....	47
6.5.1.	<i>Método acelerado autoclave</i>	47
7.	CONCLUSÃO.....	49
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	50
	ANEXOS	54

1. Introdução

A mineração tem grande importância econômica, segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2011), o setor é responsável por 4,2% do PIB e 20% das exportações brasileiras. Porém, possui o inconveniente de ser uma grande geradora de resíduos, segundo a mesma fonte, de 1996 a 2005, estima-se um volume de resíduos de mineração de 2.179 milhões de toneladas. A quantidade de resíduos gerada, a cada ano, pela mineração, torna inevitável a necessidade de se encontrar finalidades para esse material, e assim, evitar seu acúmulo e, conseqüentemente, problemas ambientais. As principais fontes de degradação no processo da mineração é a deposição de resíduos provenientes do processo de beneficiamento, e a deposição de materiais estéril, ou inertes, proveniente do decapeamento superficial. (IBRAM, 1987).

De acordo com SJÖSTRÖM (1996), “a construção civil consome entre 14% e 50% dos recursos naturais extraídos no planeta”. A exploração intensa do meio ambiente leva a escassez de recursos naturais, que servem de matéria-prima fundamental para o desenvolvimento da construção civil. O consumo de algumas matérias-primas, como a areia, é de grande relevância, segundo Almeida: “Em 2002, foram produzidos no Brasil 386 milhões de toneladas de agregados para construção civil e deste total, 229,6 milhões de toneladas foram de areia”. O alto consumo da areia é explicado, porque grande parte das edificações brasileiras utiliza como material principal o concreto de Cimento Portland. O concreto de Cimento Portland consome por metro cúbico, 42% de agregado graúdo (brita) e 40% de agregado miúdo (areia), ou seja, se observa que com a utilização intensa do concreto, que possui cerca de 70% de agregados, conseqüentemente, os agregados são maciçamente utilizados (VALVERDE, 2001).

Considerando os impactos ambientais causados tanto pela deposição dos resíduos sólidos da mineração quanto à exploração intensa dos recursos naturais para obtenção de matéria prima que atenda a grande demanda da construção civil, apresenta-se a proposta de trabalho a fim de contribuir, de maneira significativa, ao desenvolvimento de matéria prima com base tecnológica para aplicação na construção civil, como a areia normal para argamassa, produzida a partir de

resíduos sólidos da mineração de silício e dessa forma tentar minimizar alguns dos impactos causados pelos dois setores.

2. Justificativa

A estimativa das empresas de agregados para a construção civil é de fechar o período de 2010-2016 com crescimento acumulado de 29%, sendo que esse crescimento pode ser ainda maior devido a Copa do Mundo de 2014, as Olimpíadas de 2016 e também o PAC 2 (PENNA, 2010). Entretanto, o setor de produção de agregados enfrenta cada vez mais pressão de órgãos ambientais, que apresentam uma legislação cada vez mais rigorosa, com altos impostos, entre outras coisas. Em alguns lugares do Brasil, além das restrições ambientais à exploração da areia e ao seu alto preço, a obtenção da areia natural de boa qualidade é, em muitos lugares, extremamente difícil, o que justifica o interesse em desenvolver tecnológicas alternativas. Em muitas ocasiões há a necessidade de obtenção de areia de locais distantes e o gasto com transporte eleva muito seu custo final (CETEM, 2004). Devido a esses fatores, o setor da construção civil vem desenvolvendo medidas mais sustentáveis e cada vez mais se mostrando com grande potencial de se tornar consumidor de resíduos provenientes de outros setores como o metalúrgico e da mineração.

Em relação à mineração de silício, no Brasil é extraído em torno de dois milhões de toneladas/ano, para a produção de silício e ferro-silício, do total extraído cerca de 15% são descartados na forma de rejeito, lascas de quartzo, durante os processos de extração, separação, transporte e lavagem (ARGONZ, 2001). Ou seja, é cada vez maior a quantidade de rejeito sem destinação adequada na mineração de silício.

O estudo experimental relacionado à utilização de rejeito da mineração tem como objetivo produzir uma areia normal, de referência e de acordo com as exigências técnicas previstas na norma, e dessa forma, substituir a areia, extraída de fontes naturais não renováveis, na fabricação de argamassas, através de estudos que avaliem o seu comportamento físico e químico, assim como, ensaios para analisar a durabilidade e o comportamento físico e mecânico das argamassas.

3. Objetivos

3.1. Objetivo Geral

Produzir uma areia normal a partir da reciclagem de rejeito sólido da mineração de ferro silício.

3.2. Objetivo Específico

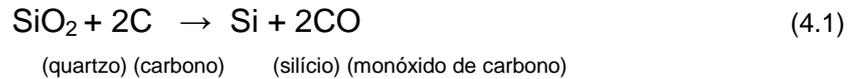
- Caracterização física da areia normal produzida com rejeito da mineração de silício.
- Caracterização química da areia normal produzida com rejeito da mineração de silício.
- Produção de argamassas utilizando a areia normal do IPT, e também, a areia normal proveniente do rejeito da mineração.
- Determinação do comportamento mecânico dos elementos produzidos a partir das duas areias, de forma a compará-las.
- Avaliação dos parâmetros ligados à expansibilidade e durabilidade da argamassa produzida com a areia normal advinda do rejeito.
- Disponibilizar informações relacionadas à viabilidade do uso desse rejeito como areia normal para argamassa.

4. Revisão Bibliográfica

4.1. Obtenção e importância da Sílica

O silício é muito abundante na crosta terrestre, principalmente, na forma de silicatos, esses correspondem a 60% de todo o silício presente na Terra (PRADO et al, 2005). Os mais importantes produtores de silício no mundo são o Brasil, Estados Unidos, China e Noruega em uma situação em que haja grande demanda repentina no consumo de silício, sendo que o Brasil é o único país do mundo capaz de suprir a necessidade (SUZUKI e PEREIRA, 2003). O quartzo é a sílica na forma cristalina, possui grande resistência à compressão e à abrasão. Quando aquecido a 1.710°C se funde e se resfriado, rapidamente, gera o quartzo vítreo, que é a sílica amorfa. A sílica amorfa é encontrada na forma de sílica hidratada e é muito reativa com os álcalis do cimento. A obtenção do silício pode se dar através da redução carbotérmica do quartzo (dióxido de silício), com a temperatura em torno de 1800°C e utilizando-se insumos básicos como, o quartzo, o carbono em forma de carvão

vegetal ou mineral, lascas de madeira e energia elétrica. A principal equação para a produção de silício é mostrada a seguir, na equação (4.1).



O dióxido de silício (SiO_2) pode ser encontrado na natureza puro ou na forma de minerais. Quando no estado puro é encontrado em rochas de quartzo, areia, arenitos e quartzitos (DELLA et al, 2006). A sílica pode ser obtida, também, a partir da produção de silício metálico e de ligas de ferro-silício em fornos do tipo arco voltaico, de forma amorfa, contendo SiO_2 entre 85 a 98% (AMARAL, 1887). A produção mundial de silício metálico é em torno de um milhão de toneladas por ano, segundo Nakayama (1998), sendo a maior parte usada na química fina a base de silicone, microeletrônica, tecnologia da informação e em ligas especiais.

Na construção civil a sílica tem fundamental importância, pois é muito utilizada como agregado para cimentos, concretos e argamassas, e dessa forma contribui, consideravelmente, na resistência mecânica, viscosidade e tempo de endurecimento. Como mineral, origina feldspatos, silicatos de magnésio, zircônia, entre outros. A sílica é um composto, largamente, utilizado na indústria química inorgânica, principalmente, na indústria cerâmica e também como matéria-prima na fabricação de vidros, refratários, tubos cerâmicos, isolantes térmicos e abrasivos (DELLA et al, 2006).

4.2. O quartzo e seu processo de mineração

O quartzo possui composição química de 46,7% de Si e 53,3% de O, apesar de ser considerado um composto de grande pureza, no quartzo natural podem ser encontrados alguns elementos como Al, Na, K, Ca, Mn, Mg, Li, Cu, Cr e Ti, segundo Argonz (1986 apud Iwasaki, 2001).

Segundo Lobato (2009) o Brasil detém 95% das reservas mundiais de quartzo, o que equivale a 78 milhões de toneladas. As maiores reservas brasileiras estão distribuídas sequencialmente no estado do Pará com 64% das jazidas, em Minas Gerais com 17%, em Santa Catarina com 15% e na Bahia com 2%. A extração de quartzo no Brasil é feita geralmente em minas a céu aberto ou subterrâneas de

pequena profundidade. Os dois tipos de materiais, obtidos na extração do quartzo, de interesse industrial são o cristal natural piezoelétrico, que fornece sementes insubstituíveis na obtenção de quartzo sintético, e as lascas de quartzo, que são fragmentos irregulares utilizados, inicialmente, na fabricação de vidros e, hoje em dia, são essenciais como nutrientes para produção do quartzo granulado e para obtenção de quartzo fundido.

4.3. Impactos da mineração

O impacto ambiental causado pelos resíduos da mineração dá-se por diversas maneiras, mas, principalmente, pela deposição inadequada dos rejeitos, gerando risco de contaminação de lençóis freáticos, além do acúmulo de pilhas de rejeitos sem funcionalidade. A mineração gera impactos negativos ao meio ambiente, pois requer intensas e volumosas escavações objetivando a extração do minério, resultando em grandes quantidades de rejeito. A atividade da mineração, inevitavelmente, causa a devastação da vegetação ou impossibilita a regeneração da mesma. Na maioria das minas a camada superficial, considerada mais fértil, é retirada deixando o solo remanescente exposto à erosão, que levam ao assoreamento dos rios da região próxima a mina (MECHI & SANCHE, 2010).

4.4. Reciclagem de resíduos

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (2002) define estéril como qualquer material não aproveitável como minério e descartado pela operação de lavra antes do beneficiamento, em caráter definitivo ou temporário. Rejeito é definido como material descartado proveniente de plantas de beneficiamento de minério.

Hoje no Brasil é possível encontrar muitos centros de pesquisa, que buscam finalidades para resíduos, que ainda não são aproveitados. Estudos realizados pela OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), juntamente, com a RILEM (Laboratoires d'Essais et Matériaux) propuseram critérios geral de avaliação de resíduos para a construção civil (CINCOTTO, 1988). Os critérios são:

1. Deve haver uma quantidade disponível do resíduo que justifique sua utilização, processamento e transporte;
2. O valor de transporte envolvido deve ser compatível com o dos materiais convencionais;

3. O material não pode apresentar nocividade durante a construção nem, posteriormente, à sua incorporação ao produto final.

Segundo Cincotto (1988), a OECD propõe a classificação dos resíduos em grupos e em classes. De acordo com seu potencial de aplicação no setor da construção civil e com as compatibilidades técnicas os resíduos se classificam em cinco classes. Essas classificações são utilizadas internacionalmente.

Por grupo:

- grupo 1 - Resíduos e subprodutos de mineração;
- grupo 2 - Resíduos e subprodutos metalúrgicos;
- grupo 3 - Resíduos e subprodutos industriais;
- grupo 4 - Resíduos e subprodutos municipais;
- grupo 5 - Resíduos e subprodutos agrícolas e florestais.

Por classe:

- classe 1 - materiais com potencial de aplicação máxima;
- classe 2 - materiais com bom potencial de aplicação, mas inferior aos da classe 1;
- classe 3 - materiais com baixo potencial de aplicação;
- classe 4 - materiais com muito pouco potencial de aplicação.

A NBR 10004/04 classifica os resíduos, em classes, considerando o risco que oferecem:

- classe I - Resíduos perigosos;
- classe II - Resíduos não inertes;
- classe III - Inertes

4.5. Argamassa

Segundo a NBR 13281/05, argamassa é uma mistura de aglomerante inorgânico, agregados miúdos e água, pode ter ou não aditivos, que facilitam a aderência e o endurecimento pode ser produzida na obra ou em instalação própria.

As argamassas possuem as funções de unir as unidades, garantir a vedação e a aderência e ainda compensar as variações dimensionais das unidades. Suas

principais propriedades são a retenção de água, resistência à compressão e trabalhabilidade. São muito empregadas nas alvenarias, nos acabamentos e, também, em reparos de obras de concreto. Nas alvenarias a argamassa atua no assentamento de tijolos, pedras e blocos, favorecendo a distribuição dos esforços, por isso, deve ser forte, durável e capaz de garantir a integridade e estanqueidade da mesma. A argamassa deve possuir capacidade de retenção de água, de forma que, quando em contato com unidades de elevada absorção inicial, não tenha suas funções primárias prejudicadas pela excessiva perda de água para a unidade. A resistência da argamassa tem que ser capaz de absorver os esforços atuantes na parede, logo após, o assentamento dos elementos de vedação (CAMACHO, 2006).

A qualidade da argamassa pode ser considerada boa quando esta apresentar agregado inerte e todas as partículas do agregado, adequadamente, aderido na pasta de cimento e isentas de vazios. Porém, a falta dessas características não impede que a argamassa possa atingir boa resistência e grande capacidade. A finalidade da argamassa relaciona-se, diretamente, com as características que ela deve apresentar como, a qualidade, quantidade e tipo de aglomerante e de agregado e, também, a quantidade de água a ser utilizada. As argamassas classificam-se por muitos fatores, os principais deles são a resistência mecânica, a durabilidade, a impermeabilidade, a compactação e a constância de volume (OLIVEIRA, 2012).

O agregado atua, diretamente, na durabilidade da argamassa aumentando a sua capacidade de resistir a impactos, reduzindo o custo do produto final e impedindo o fissuramento, que ocorre a partir da perda de água e do aumento de volume (RIBEIRO, 2009).

4.5.1. Tipos de argamassa

As argamassas podem ser classificadas de acordo com a sua finalidade ou segundo os critérios descritos na NBR 13529/13.

A classificação a partir de sua função está mostrada na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Classificação das argamassas segundo suas funções

Função	Tipos
Para execução de Alvenarias	Argamassa de assentamento (elevação de alvenaria) de fixação (encunhamento) de vedação
Recuperação de Estruturas	Argamassa de reparo
Revestimento de piso	Argamassa de contrapiso e de alta resistência para piso
Revestimento Cerâmico (pisos/paredes)	Argamassa de rejuntamento, assentamento e colante
Revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco, emboço, reboco, camada única e para revestimento decorativo monocamada

Fonte: OLIVEIRA (2012)

Os critérios definidos na NBR 13529/13 são em relação:

- A natureza do aglomerante, a argamassa pode ser aérea ou hidráulica;
- Ao número de aglomerantes, se a argamassa é simples ou mista;
- A composição, se a argamassa é de cal, de cimento ou de cimento e cal;
- Ao modo de preparo ou fornecimento, se a argamassa é dosada em central, preparada em obra, industrializada ou se é mistura semipronta para argamassa;
- As propriedades especiais, se a argamassa é aditivada, de aderência melhorada, colante, redutora de permeabilidade, de proteção radiológica, hidrófuga ou termoisolante.

4.6. Agregados

Os agregados podem ter origem natural ou artificial. São classificados como naturais os que podem ser encontrados de forma fragmentada na natureza, como a areia, cascalho e pedregulho. Já os artificiais são os agregados que sofreram algum tipo de processo industrial, como areias artificiais, escórias de alto-forno, gnaise, calcário, resíduos da mineração e da construção civil (SANTO, LIRA & RIBEIRO, 2012).

Segundo a NBR 7211:2005,

“os agregados devem ser compostos por grãos minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substância de natureza e em qualquer quantidade que possa afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto”.

A seleção adequada dos agregados é fundamental para alcançar o desempenho desejado da estrutura. Os agregados devem possuir propriedades que permitam seu manuseio durante o transporte, estocagem, colocação da mistura, compactação ou cura da mistura e, também, a mistura dos agregados com o ligante ou outros agregados (VALVERDE, 2001).

A NBR 7211/05 define agregado miúdo quando os grãos passam pela peneira ABNT de 4,8mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075mm. Já os agregados graúdos, como pedregulhos e britas, são os grãos passantes na peneira de malha quadrada com abertura de 77mm e que ficam retidos na peneira ABNT de 4,8mm.

4.6.1. A areia e sua classificação

De acordo com SELMO (1989), a classificação da areia pode ser feita através do módulo de finura (MF).

- MF < 2.0 - areia fina;
- 2.0 < MF < 3.0 - areia média;
- MF > 3.0 - areia grossa.

A distribuição granulométrica da areia tem grande influencia no desempenho da argamassa, afetando na trabalhabilidade e no consumo de água e aglomerantes, quando, no estado fresco. Já no revestimento acabado, influência na fissuração, na rugosidade, na permeabilidade e na resistência de aderência (ANGELIM et al. 2003).

A areia não participa das reações químicas do endurecimento da argamassa, interferindo quando no estado fresco através de sua composição granulométrica. O formato dos grãos interfere na trabalhabilidade e na retenção de água; no estado endurecido, influencia também nas resistências mecânicas, na capacidade de deformação e na permeabilidade (CARNEIRO & CINCOTTO, 1999). A areia é composta, principalmente, por quartzo, que apresenta grande estabilidade química, mas, também, por feldspato e mica. (Gonçalves, 2008).

De acordo com CARNEIRO et al. (1997), a areia com granulometria muito uniforme, compromete a trabalhabilidade da argamassa, independente do formato dos grãos. Ocorre um enrijecimento, dificultando o deslizamento dos grãos da areia entre si, com demanda de um maior consumo de pasta CARNEIRO et al. (1997).

Lembrando que o módulo de finura, a distribuição granulométrica e o coeficiente de uniformidade não levam em conta a forma dos grãos, que, por sua vez, influência no empacotamento dos grãos.

Os agregados possuem três funções principais: a de reduzir as variações de volume resultantes do processo de pega, endurecimento e variações de umidade na pasta de cimento, cal e água; a de prover o aglomerante de um material de enchimento relativamente econômico; prover uma pasta com partículas capazes de resistir às cargas e ao desgaste mecânico (MINEROPAR, 2004)

4.6.2. Areia Normal Brasileira

A areia normal brasileira é um material de referência utilizado, principalmente, na realização de ensaios físico-mecânicos de cimento Portland, é muito usado no processo de produção dos fabricantes de cimentos Portland, e também nos laboratórios de materiais de construção civil. A norma NBR 7215/96 - Ensaio de cimento Portland: Método de ensaio exige o uso dessa areia como material de referência, sendo utilizada na moldagem de corpos-de-prova, objetivando classificar o cimento em relação a sua resistência mecânica à compressão, determinando assim sua classe (25, 32 ou 40 MPa).

A produção da areia normal brasileira requer controles rígidos e específicos de materiais, processos e ensaios que necessitam de capacitação técnica e laboratorial. O IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica) fornece essa areia desde 1982, seguindo a NBR 7214/12 - Areia normal para ensaio de cimento, o fornecimento é feito em embalagens de 25 kg, divididas nas frações granulométricas: grossa (#16), média grossa (#30), média fina (#50) e fina (#100).



Figura 4.1: Areia Normal Brasileira

4.7. Cimento Portland

4.7.1. Definição

Segundo Bauer (1995), o cimento Portland tem origem da pulverização de clínquer, que é, basicamente, constituído de silicatos de cálcio, contendo também um pouco de sulfato de cálcio natural, e, às vezes, possuindo adições de algumas substâncias que alteram suas propriedades e facilitam seu manuseio. O clínquer na fase inicial de fabricação é constituído de calcário e argila.

4.7.2. Tipos de cimento

4.7.2.1. Cimento Portland comum CP I e CP I – S

Segundo a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), cimento Portland comum CP I não possui adição, apenas o gesso, que retarda a pega. É muito utilizado em obras de concreto em geral considerando que não haja exposição a sulfatos existentes no solo, que não seja necessário nenhuma propriedade especial do cimento e que não haja contato com águas subterrâneas. Já o CP I – S contém material pozolânico, em 5% de sua massa, é utilizado em construções em geral semelhante ao CP I.

4.7.2.2. Cimento Portland composto CP II

De acordo com ABCP o CP II se difere do CPI, pois libera calor mais lentamente. É usado em grandes volumes de concretagem, pois a superfície relativamente pequena reduz a capacidade de resfriamento da massa. Possui alguma resistência a sulfatos.

Existem três tipos de CP II:

- i) Cimento Portland CP II – Z, com adição de material pozolânico. O concreto a partir desse produto é mais impermeável, e assim mais durável. É utilizado em obras subterrâneas, marítimas e industriais.
- ii) Cimento Portland composto CP II – E, com adição de escória de alto-forno e material pozolânico. Ele apresenta baixo calor de hidratação e aumento da resistência do cimento Portland comum. É indicado para obras que não possam liberar o calor rapidamente ou que sofram ataques por sulfatos.
- iii) Cimento Portland composto CP II – F, com adição de material carbonático e fíler. É usado de modo geral.

4.7.2.3. Cimento Portland de Alto-Forno CP III - com escória

Segundo a ABCP, o cimento CP III tem alta impermeabilidade e durabilidade, liberando pouco calor de hidratação, é resistente à sulfatos e a expansão devido à reação álcali-agregado. É utilizado para aplicações em geral como em revestimento, argamassas de assentamento, concreto simples, protendido entre outros. Contudo, sua utilização é estratégica em obras de grande porte, onde haja a necessidade de produzir grandes peças em concreto como barragens, e, também, em construções onde o ambiente seja agressivo, como a execução de tubulações de efluentes industriais, obras submersas entre outras.

4.7.2.4. Cimento Portland CP IV - com pozolana

O cimento CP IV com pozolana, segundo ABCP, pode ser utilizado para obras em geral, porém, para obras que sofram a ação da água ou que estejam em ambientes agressivos, esse cimento apresenta grande eficiência. As estruturas produzidas com o CP IV com pozolana apresentam resistência à compressão superior ao cimento Portland Comum, a idades avançadas, além de, boa durabilidade e

impermeabilidade. Sua aplicação em obras que requerem grande volume de concreto é favorecida, pois tem baixo calor de hidratação.

4.7.2.5. Cimento Portland CPV ARI (Alta resistência inicial)

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), diz que o cimento CPV ARI atinge resistência à compressão de aproximadamente 26 MPa em apenas 1 dia de cura e que aos 28 dias chega aos 53 MPa. Esses valores são muito superiores aos normativos de 14, 24 e 34 MPa para, respectivamente, 1, 3 e 7 dias. É indicado para a fabricação de blocos para pavimentação, tubos, postes, lajes entre outros. Essa vantagem de atingir altas resistências em pouco tempo ocorre devido à utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, e, também, pela moagem mais refinada do cimento. Assim, em obras onde seja necessário ter resistência inicial elevada e desforma rápida o uso desse cimento é ideal.

4.7.2.6. Cimento Portland CP-RS (Resistente a sulfatos)

O CP-RS, de acordo com a ABCP, possui resistência ao ataque do sulfato, assim, é muito utilizado nas redes de esgoto, tubulações industriais, em alguns tipos de solos e água do mar. É indicado para concreto de alto desempenho, projetado, pisos industriais, elementos pré-moldados de concreto, em obras de recuperação estrutural, obras subterrâneas, marítimas e localizadas em regiões litorâneas, estações de tratamento de esgoto entre outros. Segundo a NBR 5737/92 os cimentos resistentes ao sulfato devem possuir pelo menos uma das condições citados a seguir:

- i) Teor de aluminato tricálcico (C3A) do clínquer e teor de adições carbonáticas de no máximo 8% e 5% em massa, respectivamente;
- ii) Cimentos do tipo alto-forno que contiverem entre 60% e 70% de escória granulada de alto-forno, em massa;
- iii) Cimentos do tipo pozolânico que contiverem entre 25% e 40% de material pozolânico, em massa;
- iv) Cimentos que tiverem antecedentes de resultados de ensaios de longa duração ou de obras que comprovem resistência aos sulfatos.

4.7.2.7. Cimento Portland de baixo calor de hidratação (BC)

De acordo com ABCP, o Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC) é referido por sua classe e tipo, adicionando-se BC. Exemplificando: CP III-32 (BC) é o Cimento Portland de Alto-Forno com baixo calor de hidratação, determinado pela sua composição. É um cimento que possui a característica de retardar a liberação de calor das peças de grande massa de concreto, evitando fissuras de origem térmica, devido ao calor desenvolvido durante a hidratação do cimento.

4.7.2.8. Cimento Portland Branco (CPB)

O Cimento Portland Branco, segundo ABCP, se difere por coloração e é classificado em: estrutural e não estrutural. O estrutural é utilizado em concretos brancos para fins arquitetônicos, com classe de resistências de 25, 32 e 40. O não estrutural não tem indicações de classe é utilizado em rejuntamento de azulejos e pisos e em ocasiões que não seja requerido resistência. O cimento de cor branca é obtido a partir de matérias-primas com baixos teores de óxido de ferro e manganês, em condições especiais durante a fabricação, tais como, resfriamento e moagem do produto e, principalmente, utilizando o caulim no lugar da argila. O cimento branco pode ser associado a pigmentos coloridos, oferecendo uma gama de cores, no caso da utilização na cor branca existe um índice de brancura que deve ser maior que 78%.

5. Materiais e Métodos

5.1. Materiais

5.1.1. Resíduo da mineração de silício

O material utilizado neste trabalho, ilustrado na figura 5.1, é um material classificado como rejeito da mineração de quartzo para a obtenção de minérios, ferro silício e metal silício, para a siderurgia, localizada na Rodovia MG 238, km 4, Jequitibá, Minas Gerais. O rejeito de mineração de ferro silício apresentou granulometria variando de 12,5 a 2,36mm e veio armazenado em bombonas de 240L. O rejeito utilizado como agregado nesse experimento é proveniente das operações de processamento e extração dos minérios de interesse (ferro silício).



Figura 5.1: Rejeito da Mineração de silício

Na tabela 5.1 mostra, através da difração de raios x, a composição química do quartzo, extraído, que gerou o rejeito utilizado no trabalho, pode ser observado que o material apresenta alta pureza, conteúdo mais 99% de SiO_2 , e menos de 0,5% de Fe.

Tabela 5.1: Análise química do quartzo

Sample ID	Al ₂ O ₃ (%)	BaO (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	CuO (%)	Fe (%)	HfO ₂ (%)	K ₂ O (%)	MgO (%)	Mn (%)	Na ₂ O (%)	NiO (%)	P (%)	SiO ₂ (%)
01-INIMA	<0.10	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.429	<0.010	<0.010	<0.10	<0.008	<0.10	<0.010	0.005	99.03
02-TOPAZIO	0.14	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.417	<0.010	0.010	<0.10	<0.008	<0.10	<0.010	<0.004	99.33
02-TOPAZIO	0.12	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.451	<0.010	<0.010	<0.10	<0.008	<0.10	<0.010	0.005	99.20
03-SR. LUIZ	<0.10	<0.010	0.010	<0.010	<0.010	0.394	<0.010	<0.010	<0.10	<0.008	<0.10	<0.010	<0.004	99.25
03-SR. LUIZDUP	<0.10	<0.010	0.012	<0.010	<0.010	0.355	<0.010	<0.010	<0.10	<0.008	<0.10	<0.010	0.004	99.10
PREP BLANK 1	<0.10	<0.010	0.016	<0.010	<0.010	0.352	<0.010	<0.010	<0.10	<0.008	<0.10	<0.010	<0.004	99.30
IPT-61	<0.10	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	0.013	<0.010	<0.010	<0.10	<0.008	<0.10	<0.010	<0.004	99.76

Fonte: Minasilício GMA Mineradora Ltda.

5.1.2. Areia Normal Brasileira

Com o objetivo de comparar o desempenho mecânico e as características físicas da areia produzida, foi utilizado a areia normal, natural, fornecida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), nos ensaios de caracterização física e, também, na produção das argamassas.

5.1.3. Água

Para a produção das argamassas, com exceção dos corpos de prova feitos para o ensaio de Expansão na Autoclave, foi utilizada água comum, da torneira, e a relação água cimento utilizada foi de 0,5. Já no ensaio de Expansão na Autoclave, foi usada água destilada, conforme prescrição da norma, a relação de água/ cimento utilizada foi 0,47.

5.1.4. Cimento Portland

Para a produção das argamassas foi utilizado o Cimento CP-III-40. Optou-se pela utilização do Cimento Portland CP-III- 40 RS. Na figura 5.2 é ilustrado as características do cimento utilizado, que foi produzido pela empresa Cauê. Para a realização do ensaio de Expansão na Autoclave, devido à especificação da norma, foi utilizado o cimento CPV-ARI, que é um cimento de alta resistência inicial, suas características estão tabeladas na figura 5.3.

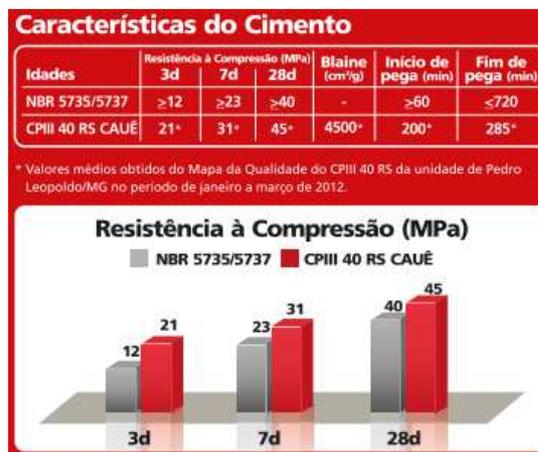


Figura 5.2: Propriedades físicas do cimento CP-III-40 RS

(Fonte: <http://www.intercement.com/files/pdf/portugues-br/caue-mais-cpIII40rs.pdf>)

	Resistência à Compressão (MPa)				Blaine (cm ²)	Início de pega (min)	Fim de pega (min)
	24h	3 Dias	7 dias	28 Dias			
NBR 5737 NBR 5733	≥ 14	≥ 24	≥ 34	-	≥ 3000	≥ 60	≤ 600
CPV ARI	28*	39*	44*	51*	5100*	160*	270*

* Valores médios obtidos do Mapa da Qualidade do CPV ARI da unidade de Ijaci/MG no período de Janeiro a Novembro de 1009.

Figura 5.3: Características do cimento CPV- ARI

(Fonte: Cauê - Camargo Corrêa)

5.2. Metodologia

5.2.1. Produção da Areia Normal

Primeiramente, todo o material, que apresentava granulometria variando de 12,5 a 2,36mm, foi segregado granulometricamente no peneirador de graúdos, da marca

Contenco - modelo I-3007, sendo separado em duas frações; uma retida na peneira de 4,8mm e outra passante na peneira de 4,8mm.

Para o desenvolvimento experimental proposto, foram utilizadas as massas passantes na peneira de 4,8mm. Esse material foi cominuído no britador de mandíbulas, mostrado na figura 5.4, produzido pela Retsch - modelo BB200. Após a britagem o material foi separado através do peneirado de miúdos da Solotest-ref.1.202.230, nas granulometrias necessárias para a composição da areia normal.

A fração que ficava retida na peneira 2,4mm, retornava ao britador, e esse variava a abertura de britagem, gradativamente a cada passagem do material (6; 5,5; 4,5; 4; 3,5; 3; 2,5; 2; 1mm), até que, todo o material se encontrasse dividido nas granulometrias: 2,0 mm, 1,2mm, 600 μ m, 300 μ m e 150 μ m. Após moer todo o material passante, iniciou a britagem da fração retida na peneira 4,8mm procedendo da mesma maneira.



Figura 5.4: Britador de Mandíbulas

5.3. Caracterização da Areia Normal

5.3.1. Granulometria

Em atendimento às prescrições normativas da NBR 7214/12 compôs-se a granulometria para a areia normal. O peneiramento foi feito depois da moagem no britador de mandíbulas e o material foi colocado em um conjunto de peneiras mostrado na figura 5.5, contendo as peneiras de número 8, 10, 16, 30, 50 e 100, na sequência.



Figura 5.5: Conjunto de peneiras

5.3.2. Determinação do teor de material pulverulento

Em atendimento às prescrições normativas NBR NM-46/03, foi determinado o percentual do teor de material pulverulento. O teor de material pulverulento foi determinado através da equação 5.1.

$$m = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100 \quad (5.1)$$

Onde:

m = porcentagem de material pulverulento.

m_i = massa original da amostra seca, em g.

m_f = massa seca após a lavagem, em g.

5.3.3. Determinação do teor de umidade

Em atendimento às prescrições normativas NBR 7214/12, determinou-se a umidade do material. A umidade foi obtida através da equação 5.2.

$$h = \left(\frac{m_i - m_f}{m_f} \right) \times 100 \quad (5.2)$$

Onde:

h = teor de umidade total em %

M_i = massa inicial da amostra, em g

M_f = massa final da amostra, em g

5.3.4. Determinação de impurezas orgânicas

A determinação da matéria orgânica seguiu às prescrições normativas NBR NM-49/01 através do método de identificação colorimétrica das impurezas orgânicas nos agregados miúdos. O ensaio consistiu em fazer duas soluções, uma solução padrão constituída de ácido tânico a 2% e de concentração e hidróxido de sódio e outra com somente o hidróxido de sódio com 3% de concentração, após separar uma amostra de 200g do agregado, foi misturado vigorosamente o agregado na 2ª solução, contendo somente hidróxido de sódio. Em seguida foi deixado em repouso durante 24h em ambiente escuro. Após esse período, a solução que continha o material foi filtrada e, assim, comparada com a solução padrão.

5.3.5. Determinação da massa específica e massa específica aparente (unitária)

Em atendimento às prescrições normativas NBR NM 52/03 a massa específica foi determinada por meio das equações 5.3; 5.4; 5.5 e 5.6.

$$d1 = \frac{m}{V - V_a} \quad (5.3)$$

Onde:

d_1 = é a massa específica aparente do agregado seco (g/cm^3)

m = é a massa da amostra seca em estuda (g)

V = é o volume do frasco (cm^3)

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad (5.4)$$

Onde:

V_a = é o volume de água adicionada ao frasco (cm^3)

m_1 = é a massa do conjunto, frasco e agregado (g)

m_2 = é a massa total (frasco + agregado + água) (g)

ρ_a = é a massa específica da água (g/cm^3)

$$d2 = \frac{m_s}{V - V_a} \quad (5.5)$$

Onde:

d_2 = é a massa do agregado saturado superfície seca (g/cm^3)

m_s = é a massa da amostra na condição saturada superfície seca (g)

V = volume do frasco

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}} \quad (5.6)$$

Onde:

d_3 = é a massa específica do agregado (g/cm^3)

m = é a massa da amostra seca em estufa (g)

V = é o volume do frasco (cm^3)

m_s = é a massa da amostra na condição saturada superfície seca (g)

5.3.6. Fluorescência de Raios X

O material utilizado neste ensaio foram as frações: retida na peneira 150 μm e a passante nessa mesma peneira. Através da fluorescência de raios X é possível identificar a porcentagem de cada elemento existente no material, obtendo-se, assim, a análise química elementar. O ensaio foi realizado no equipamento de fluorescência de raios x, EDX-720, do Laboratório de Caracterização dos Materiais no CEFET-MG, em Belo Horizonte- Campus I.

5.3.7. Difração de Raios X

A difratometria de raios X caracterizou a microestrutura dos materiais cristalinos. Foi possível ter detalhes da estrutura interna do material analisado na ordem de 10^{-7} mm de tamanho, e, assim, identificar as estruturas cristalinas presentes no material. Foi ensaio foi realizado no Difratômetro de raios X do Laboratório de Caracterização de Materiais no CEFET-MG, em Belo Horizonte- Campus I.

5.3.8. Microscopia Eletrônica de Varredura

As análises via microscopia eletrônica de varredura (MEV) permitiram identificar a morfologia dos grãos de areia obtidos a partir do processamento dos resíduos. Utilizou-se a fração retida na peneira de 150 μm as imagens foram obtidas em resolução de 2 a 5 nanômetros. Na figura 5.6 mostra o equipamento de microscopia

eletrônica de varredura e espectroscopia energia dispersiva - MEV/EDS pertencente ao Laboratório de Caracterização dos Materiais no CEFET-MG, em Belo Horizonte-Campus I.



Figura 5.6: MEV

5.4. Produção da argamassa

Para produção das argamassas, foram utilizadas areia normal brasileira (ANB), e areia normal produzida com resíduos de mineração (ANR), lavada. As argamassas foram produzidas a base de areia, cimento e água, sem adições. Foi utilizado o cimento CPIII-40 e o CPV-ARI, esse ultimo apenas no ensaio de Expansão na Autoclave. O traço indicado para as areias utilizadas nos experimentos, de forma a poder compará-las, foi definido a partir da fixação do valor para o índice de consistência para as argamassas. Dessa forma, obteve-se o traço: cimento; areia; água, respectivamente: 1; 2,1; 0,5. O modo de preparo da argamassa seguiu a NBR 13276/05. O traço adotado para o ensaio de Expansão em autoclave foi de 1; 2,25; 0,47, de acordo com as prescrições da norma.

5.4.1. Índice de Consistência

Em atendimento às prescrições normativas NBR 13276/05 o índice de consistência foi determinado com a média de três determinações das medidas de diâmetro em mesa de fluxo, expressa em milímetros.

5.4.2. Teor de ar incorporado

Em atendimento às prescrições normativas pela NBR 13278/05. A determinação dos valores para o ar incorporado foi calculado através das fórmulas 5.5 e 5.6, apresentadas a seguir.

$$A = 100 \left(1 - \frac{d}{d_t}\right) \quad (5.5)$$

Onde:

A= teor de ar incorporado

d= é o valor da densidade de massa da argamassa (g/cm³)

d_t= é o valor da densidade de massa teórica da argamassa, sem vazios (g/cm³)

$$d_t = \frac{m_s + m_{\text{água}}}{\left(\frac{m_s}{\gamma_s}\right) + m_{\text{água}}} \quad (5.6)$$

Onde:

m_s= é a massa da argamassa anidra (g)

m_{água}= é a massa de água

γ_s= é a massa específica da argamassa anidra

5.4.3. Densidade de massa

Em atendimento às prescrições normativas NBR 13278/05, a densidade de massa foi determinada no estado fresco, segundo valores obtidos das equações 5.7 e 5.8 (Kg/m³), apresentadas a seguir.

$$V_r = m_a - m_v \quad (5.7)$$

$$d = \left(\frac{m_c - m_v}{v_r}\right) \times 1000 \quad (5.8)$$

Onde:

m_c= massa do recipiente contendo argamassa (g)

m_v=massa do recipiente vazio (g)

V_r=volume do recipiente (cm³)

m_a= massa do recipiente com água (g).

5.5. Caracterização mecânica da argamassa

5.5.1. Ensaio de resistência à compressão axial

Em atendimento às prescrições normativas NBR 13279/05, foram produzidos traços de argamassa, com Areia Normal Brasileira e com a areia normal produzida a partir do rejeito da mineração de silício. Os corpos de prova foram desmoldados em 24 horas e curados em câmara úmida até as idades de 3, 7 e 28 dias. A resistência à compressão foi determinada para cada um dos corpos de prova e obtida pela média de suas repetições. Para a determinação da resistência à compressão garantiu-se que as superfícies dos corpos de prova, que estariam no plano de atuação da força, estivessem regularizadas. O posicionamento dos corpos de prova na prensa ocorreu de forma que o centro de gravidade dos corpos de prova coincidissem com o eixo da carga da prensa. A determinação da resistência à compressão dos corpos de prova prismáticos pode ser obtida da equação 5.10, apresentada a seguir.

$$R_c = \frac{P}{A} \quad (5.10)$$

Onde :

R_c = resistência à compressão em MPa;

P = carga de ruptura em kN;

A = área do corpo de prova em cm^2 .

5.5.2. Ensaio de resistência à tração na flexão

Em atendimento às prescrições normativas NBR 13279/05, foram produzidos traços de argamassa, com Areia Normal Brasileira e com a areia normal produzida a partir do rejeito da mineração de silício.

Os corpos de prova de dimensões 40 x 40 x 16mm referentes às argamassas produzidas com a Areia Normal Brasileira e a areia obtida a partir da reciclagem de resíduos da mineração, foram desmoldados em 24 horas e curados em câmara úmida até as idades de 3, 7 e 28 dias. Os corpos-de-prova foram colocados, de forma centralizada, entre os apoios, de forma que as faces em contato com os apoios e o dispositivo de carga, fossem aquelas regularizadas. A resistência à

tração na flexão foi determinada de acordo com a equação 5.9, apresentada a seguir.

$$R_f = \frac{1,5F_f L}{40^3} \quad (5.9)$$

Onde:

R_f = resistência à tração na flexão, em MPa;

F_f = carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em N;

L = distância entre os suportes, em mm.

5.6. Ensaio de durabilidade

5.6.1. Ensaio de expansão na Autoclave do Cimento Portland

Em atendimento às prescrições normativas ASTM C-151, o ensaio foi realizado com o objetivo de verificar a expansão das barras de argamassa, quando expostas a alta temperatura e pressão. Os corpos de prova utilizados foram prismáticos, de seção quadrada, com 2,5cm de lado e 28,0cm de comprimento. Os corpos de prova devem conter dois pinos, um em cada extremidade, para a medição das dimensões e suas variações em extensômetro digital de precisão de 0,001%, marca PanTec. A argamassa deve ser feita com o cimento CPV-ARI e água destilada seguindo a relação $a/c=0,47$ e traço: 1; 2,25; 0,47, dada na norma NBR 15577-04/08. Neste ensaio as argamassas foram produzidas apenas com agregado produzido com resíduos da mineração. Depois de 24h na câmara úmida as barras foram desmoldadas e, em seguida, registradas as leituras iniciais no extensômetro. Após a leitura, os corpos de prova foram colocados na autoclave, ilustrada na figura 5.7 da marca Matest com termômetro digital e capacidade para comportar 12 corpos de prova. A temperatura inicial da autoclave era de 28°C, chegando a 216°C em 75min, sob pressão de 2032,55KPa. As barras foram mantidas na autoclave a 2032,55KPa por 3 horas, depois desse tempo, acionou-se o sistema de resfriamento de modo que a temperatura e pressão diminuíssem gradativamente, até atingir as condições ambiente para a retirada das barras. Ao retirá-las da autoclave, as barras foram colocadas em um recipiente com água fria, até que, a temperatura atingisse 23°C, e, em seguida, foram feitas as medidas no extensômetro.

A expansão é calculada através da equação 5.10, após cada ciclo na autoclave. O resultado é determinado pela média dos valores de expansão das três barras e expresso em percentual para variações de comprimento relativamente ao efetivo comprimento padrão, que é de 285mm. A barra padrão é ilustrada na figura 5.8.

$$E = \frac{(L_i - L_f)}{L_i} \quad (5.9)$$

Onde:

E= expansão de cada barra (mm)

L_i = comprimento inicial da barra (mm)

L_f =comprimento final da barra (mm)



Figura 5.7: Autoclave



Figura 5.8: Barra Padrão

6. Resultados e Discussões

6.1. Produção da areia normal

O processo de cominuição das amostras de rejeito provocou a mudança na coloração do material. O reprocessamento pelo triturador de mandíbulas seguido de segregação granulométrica tornavam as amostras mais claras resultando, também, em uma considerável formação de finos.



Figura 6.1: Finos na peneira n°10

O aumento significativo dos finos com o reprocessamento (trituração) pode estar relacionado com a dureza e desagregação dos grãos, sugerindo friabilidade destes materiais. As alterações na coloração, como pode ser visto na figura 6.2 (b), (c), (d), (e) e (f), sugerem separação dos minerais constituintes destes rejeitos de quartzo.

A figura 6.2 apresentada a seguir, ilustra (a) fração retida na peneira de malha #2,4mm. Observa-se para essa imagem, uma coloração variegada, branco-amarelo-avermelhada.



Figura 6.2: Frações da areia normal

A areia foi composta em proporções ideais, de cada uma das faixas citadas abaixo e dessa forma obtendo a curva mostrada na figura 6.3, que mostra a granulometria da areia normal. Lembrando que tanto a areia normal produzida quanto a Areia Normal Brasileira, possuem a mesma curva granulométrica, pois ambas seguiram as mesmas proporções prescritas na NBR 7214/12. Pode se observar que a curva da areia normal está totalmente dentro da zona utilizável e quase que inteiramente na curva ótima.

- 5% do material entre as peneiras 2,4 - 2,0mm,
- 20% do material entre as peneiras 2,0 - 1,18mm,
- 25% do material entre as peneiras 1,8 - 600 μ m,
- 25% do material entre as peneiras 600 - 300 μ m,
- 22% do material entre as peneiras 300 - 150 μ m

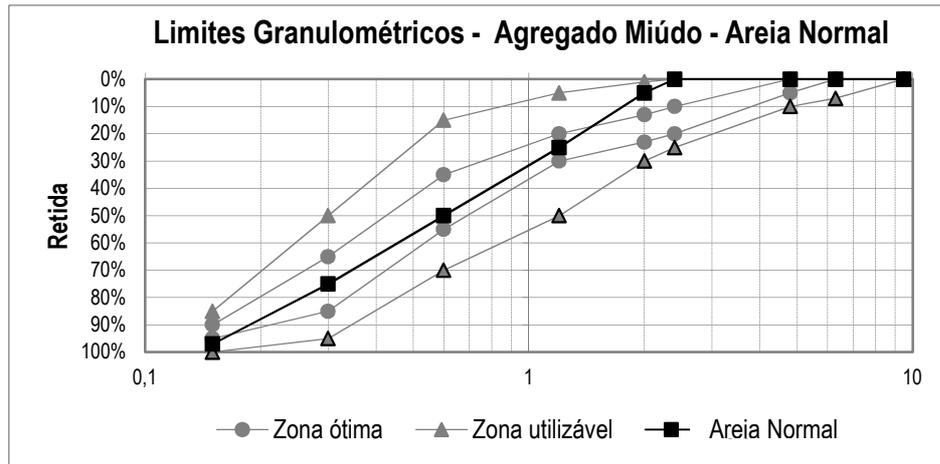


Figura 6.3: Curva granulométrica

*Nota-se a falta de 3% na composição da areia, isso se dá porque não é incluído o material fino, retido no fundo do jogo de peneiras.

6.2. Caracterização da areia normal

6.2.1. Material fino passante na peneira 0,075mm

O processo de obtenção da areia a partir do processamento dos rejeitos de mineração de ferro silício gera material com grande quantidade de finos. A figura 6.4 apresentada a seguir mostra que a Areia Normal Brasileira (ANB) possui reduzido teor de material pulverulento, enquanto que a areia normal produzida com o resíduo (ANR), apresentou teor de 3,51%. Segundo a NBR 7214/12, a Areia Normal não deve apresentar teor de finos superior a 1,0% em peso. No entanto, para a produção de concreto de cimento Portland, são admitidos limites que variam de 3% a 5% (NBR 7211/05) para teor de pulverulentos para areias, o que habilita a ANR ao seu uso como agregado miúdo, quando classificada como agregado natural, podendo ainda esse valor máximo ser de 10%, considerando ANR como areia artificial.

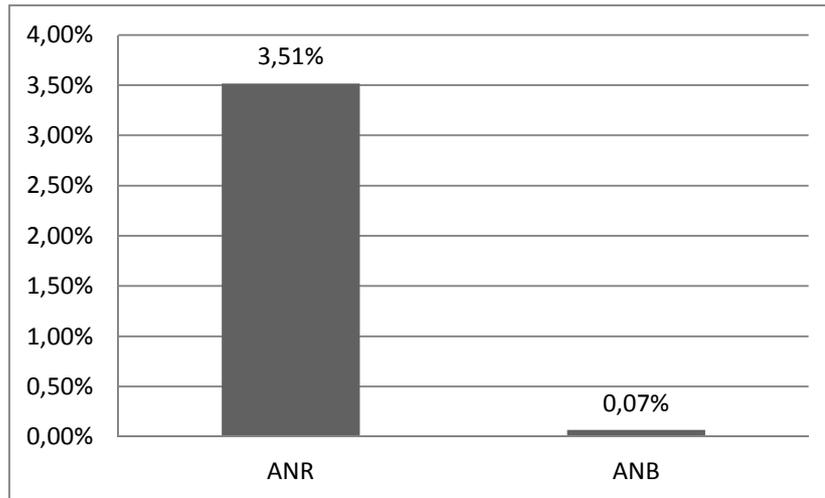


Figura 9: Teor de material pulverulento

6.2.2. Teor de umidade

A figura 6.5 apresentada a seguir mostra os resultados obtidos dos ensaios de teor de umidade das areias ANB e ANR. Segundo a NBR 7214/12 a areia normal não deve apresentar teor de umidade superior a 0,2% em peso. Através dos resultados obtidos, nota-se que, tanto os agregados da areia normal reciclada (ANR) quanto a Areia Normal Brasileira (ANB) apresentam-se dentro dos limites estabelecidos pela norma.

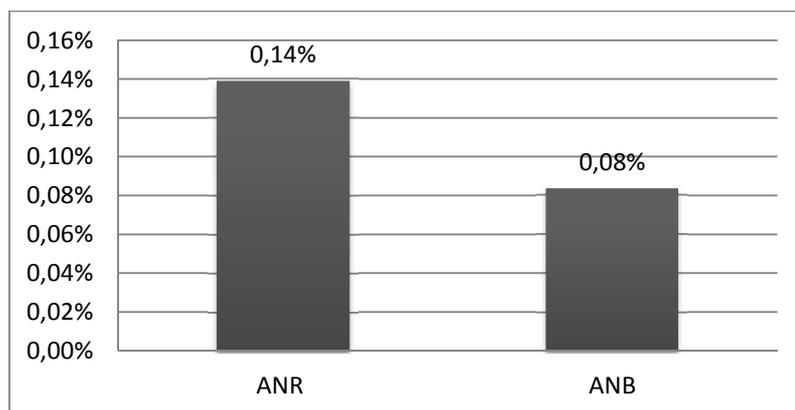


Figura 10: Teor de umidade

6.2.3. Impurezas orgânicas

Os resultados para impurezas orgânicas foram determinados a partir da comparação colorimétrica entre a solução padrão de ácido tânico a 2%, e a solução de hidróxido de sódio a 3% com o agregado. As análises indicaram não haver matéria orgânica

nas areias ANR e ANB, dada solução com coloração mais clara que coloração para solução padrão, como pode ser vista na figura 6.6, a seguir.



Figura 11: Determinação do teor de matéria orgânica ANR e ANB

6.2.4. Massa específica e massa específica aparente (unitária)

Os resultados obtidos para a massa específica foram determinados para a areia normal reciclado (ANR) ($2,58\text{g/cm}^3$), apresentaram-se ligeiramente inferiores aos valores determinados para a Areia Normal Brasileira (ANB) ($2,66\text{g/cm}^3$), ilustrado na figura 6.7. Nos resultados obtidos de massa específica aparente, a ANR apresentou valores, também, ligeiramente inferiores ao da ANB, como pode ser observado na figura 6.8.

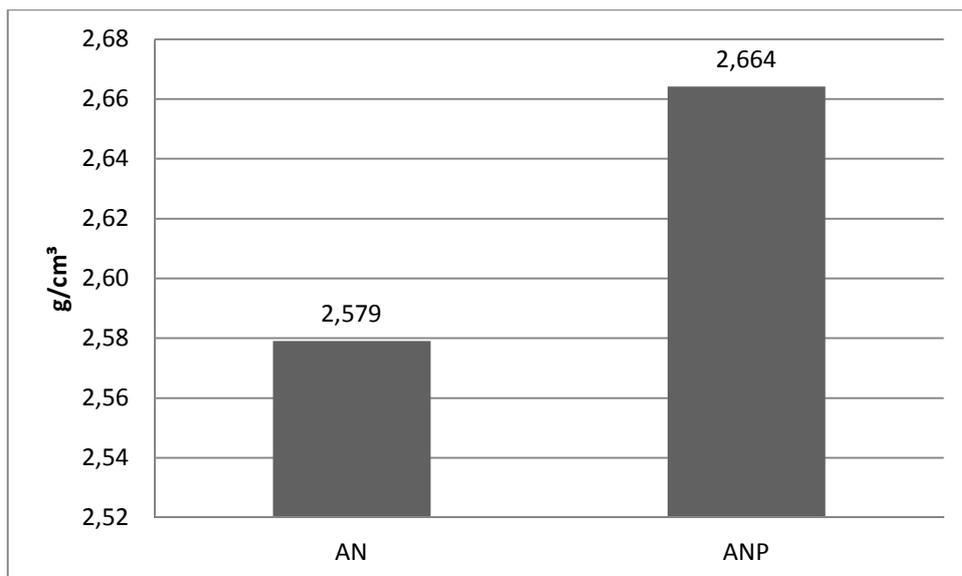


Figura 12: Massa específica

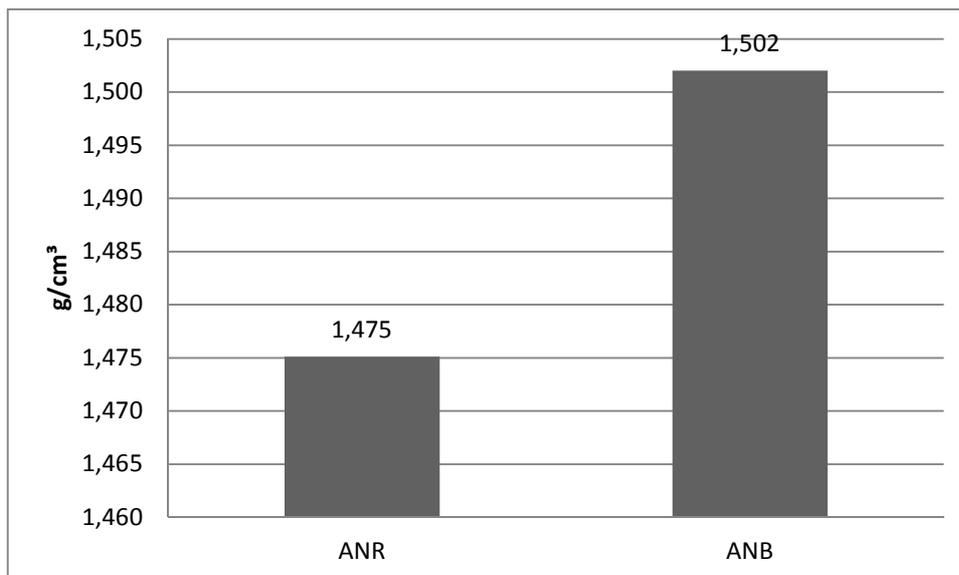
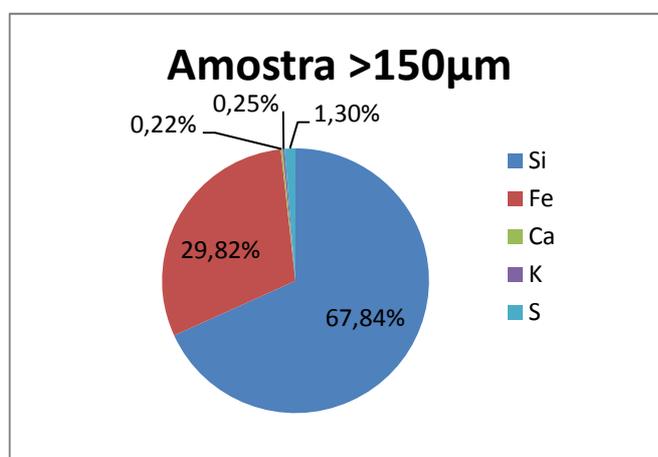


Figura 13: Massa específica aparente

6.2.5. Espectrometria de Fluorescência de raios X

Os resultados da espectrometria de fluorescência de raios X foram determinados em análise comparativa para a fração retida na peneira 150 μ m, conforme ilustrado na figura 6.9 e a fração passante peneira de 150 μ m, conforme ilustrado na figura 6.10.

Figura 14: Teor de elementos na fração >150 μ m

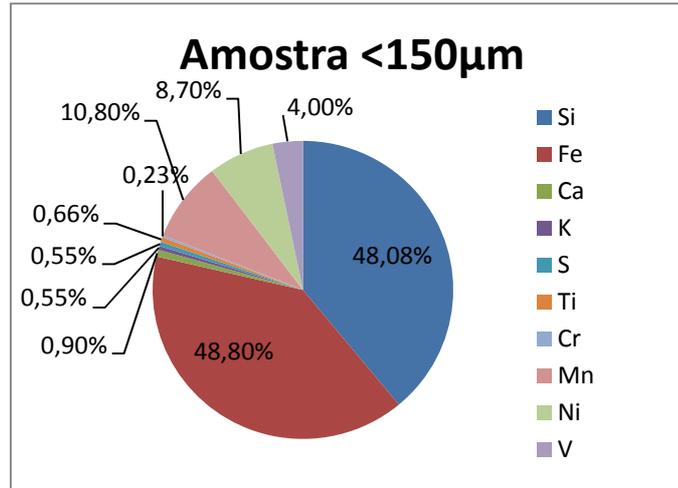


Figura 15: Teor de elementos na fração <150µm

Os resultados de FRX, indicam que há, na amostra mais fina do material, uma quantidade percentual de Fe, significativamente, maior que nas frações maiores. Esse resultado sugere que o ferro esteja incrustado nos grãos maiores de quartzo, sendo liberado a partir dos repetidos processos de trituração, fato que, também, pode se observar fisicamente com a coloração mais avermelhada observada nas frações menores do rejeito cominuído.

6.2.6. Difração de raios X

Os resultados obtidos do espectro de difração de raios X, mostrados na figura 6.11, ilustram a estrutura mineralógica dos rejeitos da mineração, com superposição de picos. Os minerais identificados são, predominantemente, o quartzo, mas, também, goetita e muscovita. A goetita é um mineral composto de óxido de ferro hidratado, com fórmula química $\text{FeO}(\text{OH})$ e a muscovita é um filossilicato mineral de alumínio e potássio, também, conhecido como mica, com a fórmula química $(\text{KF})_2 (\text{Al}_2\text{O}_3)_3 (\text{SiO}_2)_6 (\text{H}_2\text{O})$.

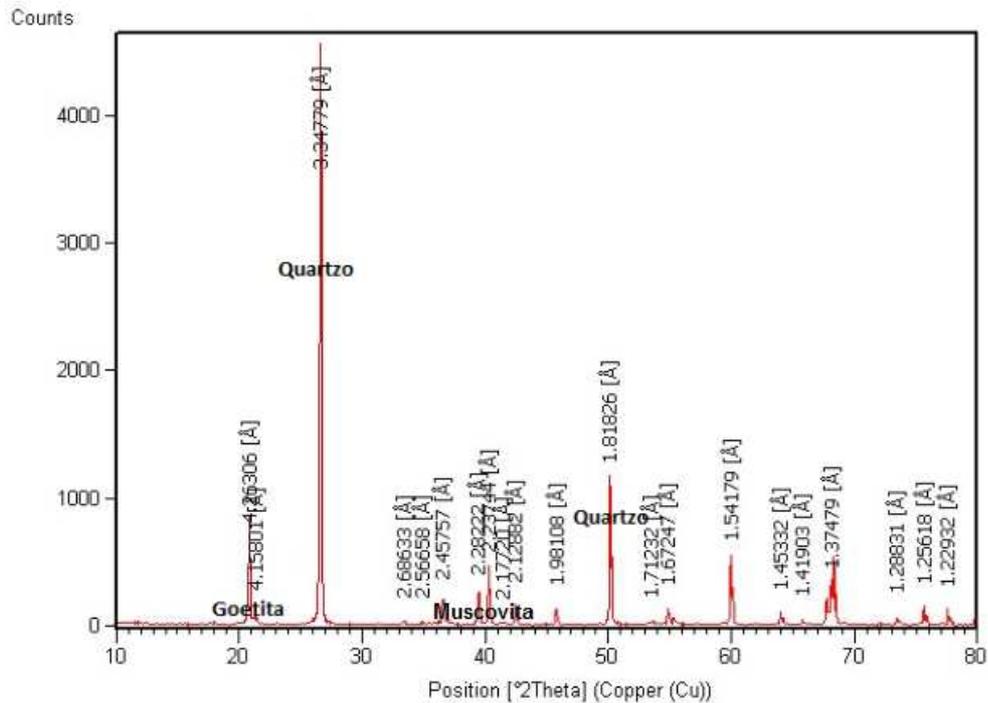


Figura 16: Espectro de FRX

6.2.7. Microscopia Eletrônica de Varredura

Os resultados da microscopia eletrônica de varredura, ilustram a morfologia das areias ANR, e, indicam ainda a presença de frações metálicas e pode-se concluir que, o processo de britagem e peneiramento, de certa forma, fez com que as partículas de ferro ficassem de tamanho bem reduzido e, assim, aderido às partículas da areia, como pode ser visto, nas figura 6.12. As imagens ilustradas à figura 6.13, em que são identificadas partículas brilhantes, sugerem a presença de elementos metálicos (silício metálico ou ferro silício). A microestrutura nos mostra que as partículas de areia apresentam-se com formato irregular e pontiagudo.

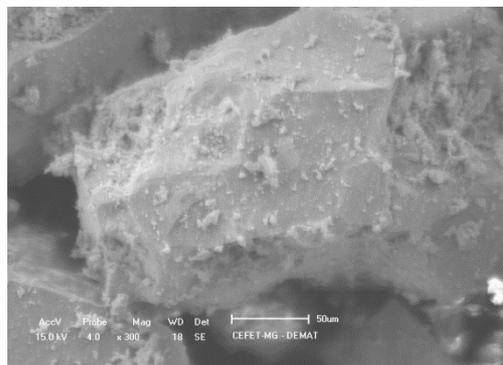


Figura 17: Partículas de areia cobertas de ferro.

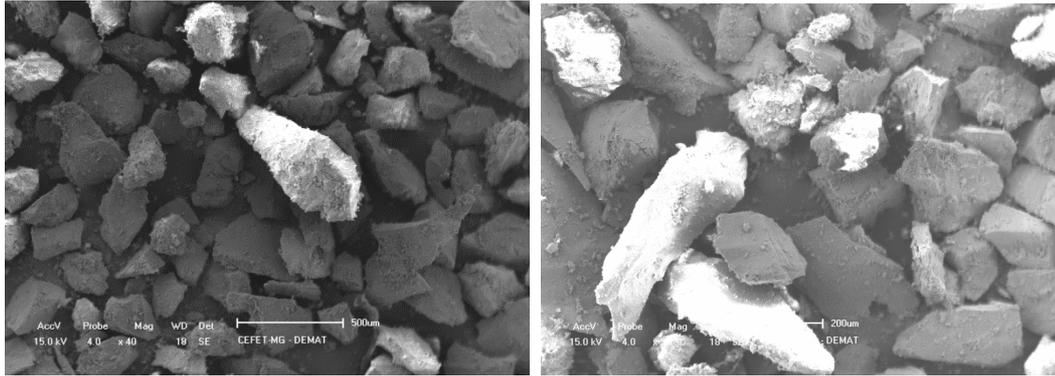


Figura 18: Partículas metálicas

A análise dos resultados obtidos da figura 6.14, ilustrada a seguir, mostra a morfologia dos grãos de areia, apresentando formas preferencialmente angulares e volumétricas, o que de certa forma interessa à produção de matrizes de cimento Portland.

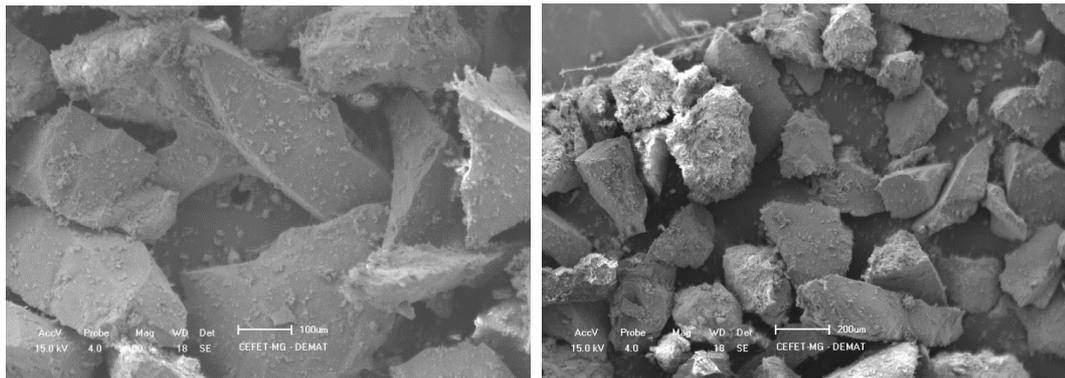


Figura 19: Formato dos grãos

6.3. Produção da argamassa

6.3.1. Índice de consistência

Os resultados obtidos para o índice de consistência foram determinados de três amostras para cada tipo de areia, como ilustrado nas figuras 6.15 e 6.16. Para a determinação do índice de consistência para as argamassas ANB e ANR, foram utilizados os mesmos traços, sendo os resultados, função de cada um dos agregados ANB e ANR, conforme ilustrado nas figuras 6.17.



Figura .6.15: Mesa de índice de consistência



Figura .6.16: Índice de consistência

Para a produção de argamassas, determinou-se a quantidade de água como sendo a massa necessária de água para um espalhamento mínimo em mesa de fluxo, com abertura de 220mm para as argamassas ANR. As argamassas produzidas com ANB apresentaram, espalhamento médio de 300,4mm enquanto as argamassas produzidas com ANR apresentaram espalhamento médio de 235,5mm. Esse resultado indica IC superior para argamassas ANB em 27,5%. A forma dos grãos pode ser considerada como responsável na variação desse parâmetro, dado que para a produção das argamassas o agregado ANR passou por processo de lavagem para a redução do teor de finos.

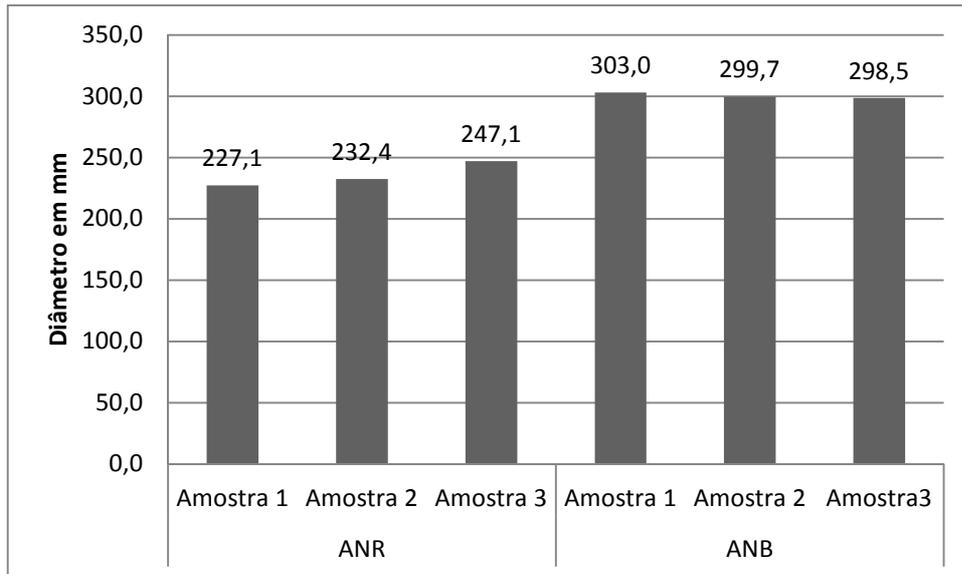


Figura 6.17: Índices de consistência

6.3.2. Teor de ar incorporado

Os resultados obtidos para o teor de ar incorporado apresentaram-se maiores para a areia produzida com resíduo (ANR), que para a Areia Normal Brasileira (ANB), conforme ilustrado na figura 6.18.

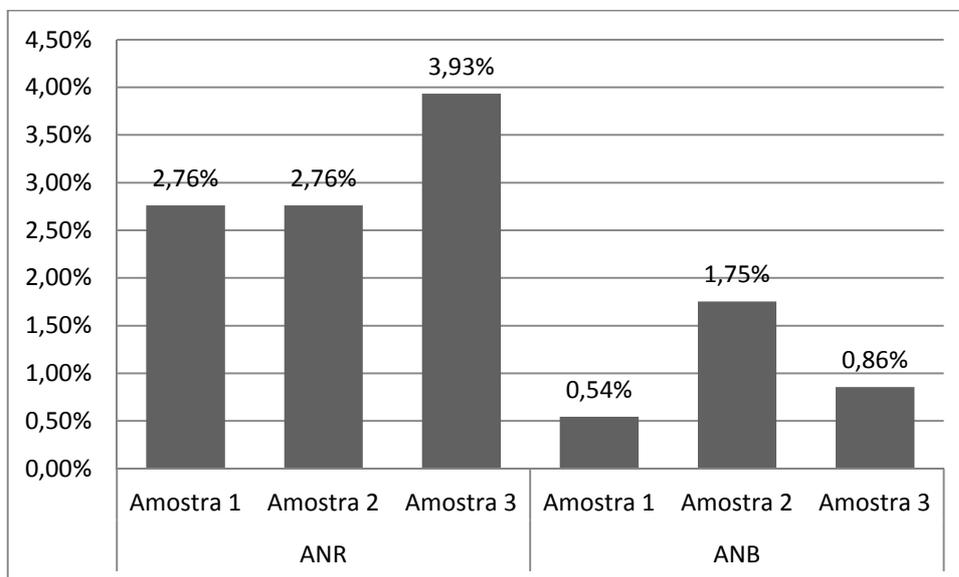


Figura 208: Teor de ar incorporado

Como as argamassas foram produzidas da mesma forma, o fator que pode ter interferido é o formato dos grãos da ANR. Na areia produzida com resíduo, os grãos se mostraram mais angulosos, e, conseqüentemente, provocaram na argamassa

mais espaços vazios, levando, assim, a diferença de 2% no teor de ar incorporado entre ANR e ANB.

6.3.3. Densidade de massa

Os resultados obtidos para a densidade de massa, indicam que a argamassa com a Areia Normal Brasileira (ANB) apresentou maior densidade de massa no estado fresco que a argamassa que continha a areia produzida com rejeito, conforme ilustrado na figura 6.19, apresentada a seguir.

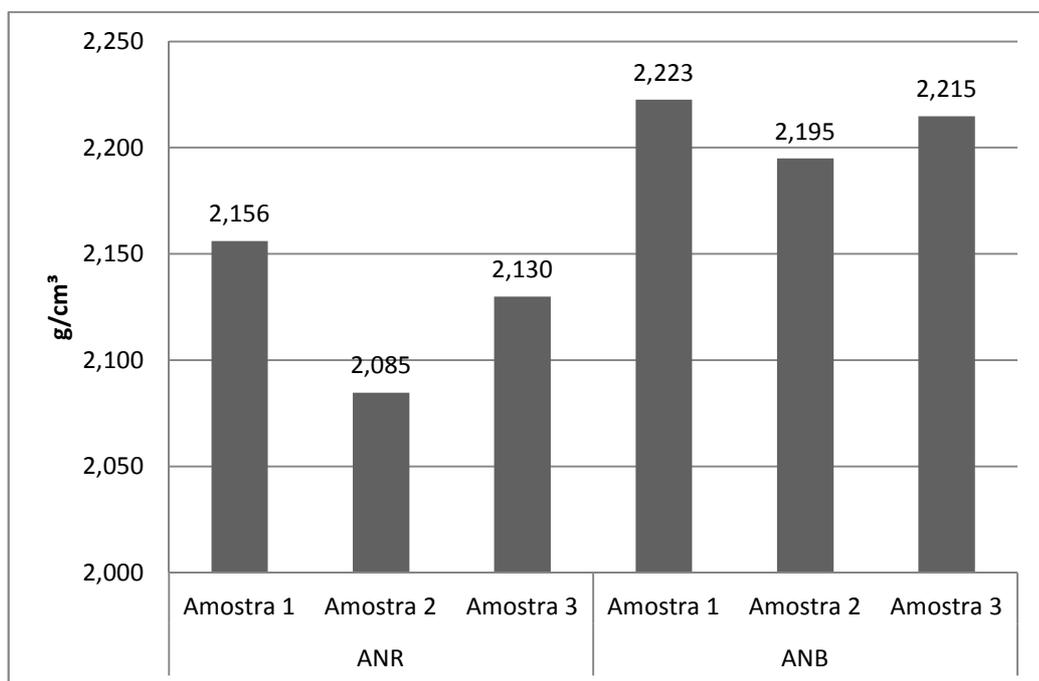


Figura 21. Densidade de massa

De acordo com os limites indicados por ISAIA (2010), as argamassas com densidade de massa entre 1,4 a 2,3 g/cm³ são consideradas normais com aplicações convencionais, o que qualifica a areia ANR, para a utilização como agregado para argamassas convencionais de densidade normal.

6.4. Caracterização mecânica da argamassa

6.4.1. Resistência à compressão

Os resultados das resistências à compressão obtida indicam não haver variações significativas entre a Areia Normal Brasileira (ANB) e a areia produzida a partir de resíduos (ANR), como pode ser observado na figura 6.20. Aos 28 dias, a diferença

entre as resistências atingidas é de apenas 13% em relação ao valor obtido pela areia normal produzida com resíduos, ou seja, a ANR atende quanto à resistência à compressão, satisfatoriamente, assim como, a Areia Normal Brasileira.

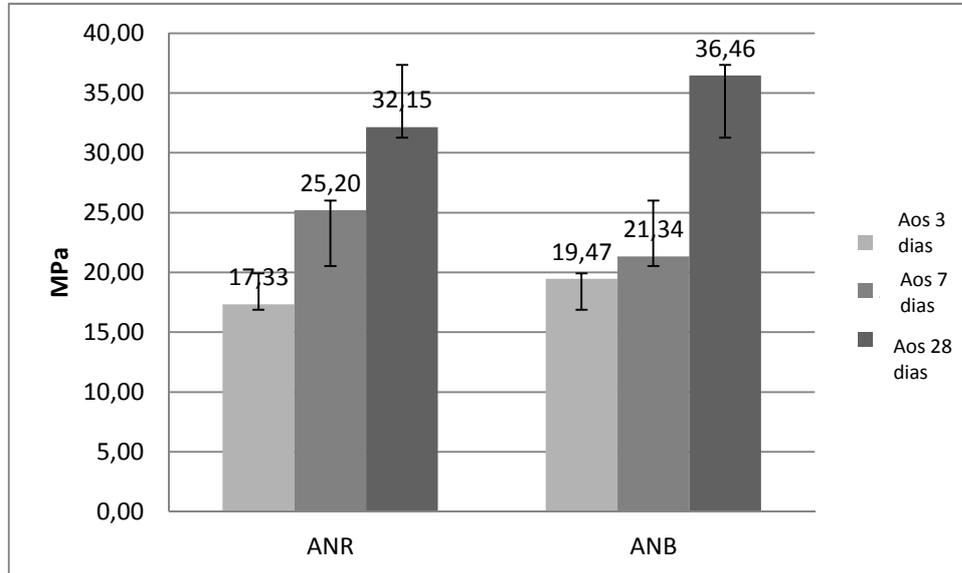


Figura 6.220: Resistência à compressão

6.4.2. Resistência à tração na flexão

Os resultados de resistência a tração à flexão, obtidos indicam não haver variações significativas para o parâmetro relativamente a utilização de agregados ANR ou ANB, como pode ser observado na figura 6.21, a seguir.

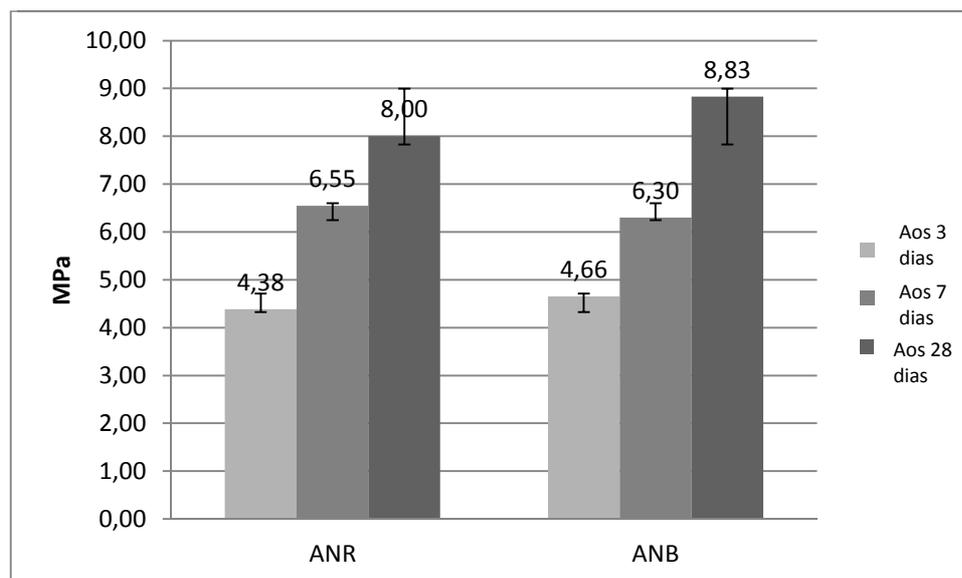


Figura 231: Resistência à tração

A partir do gráfico podemos verificar que as duas areias atingiram valores de resistências à tração, muito próximos entre si. As resistências obtidas para 3, 7 e 28 dias foram bem expressivas, principalmente quando comparadas a argamassas produzidas com rejeitos da barragem de minério de ferro que chegam a atingir resistências a tração $R_{tf}=4,0\text{MPa}$ (FONTES; et al, 2013) ou mesmo com rejeitos sólidos de siderurgia, onde as resistências a tração na flexão atingem valores de 3,5 MPa (FRANCA; et al, 2013), e, ainda superiores às argamassas produzidas com adição de rejeitos de fibra de vidro, que atingem resistências de tração na flexão da ordem de 4,5 MPa (OKADA; et al, 2013).

6.5. Ensaios de durabilidade

6.5.1. Método acelerado autoclave

Os resultados obtidos no ensaio de expansão em autoclave indicam haver expansão em todas as barras ensaiadas, conforme ilustrado nas figuras 6.22 e 6.23, a seguir.

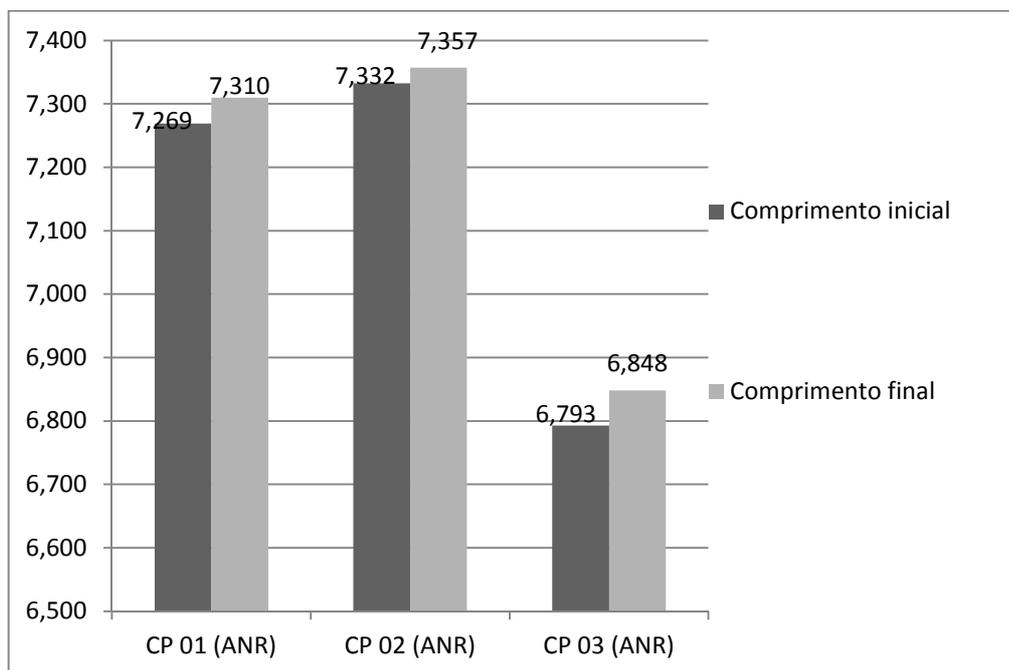


Figura 242: Expansão das barras

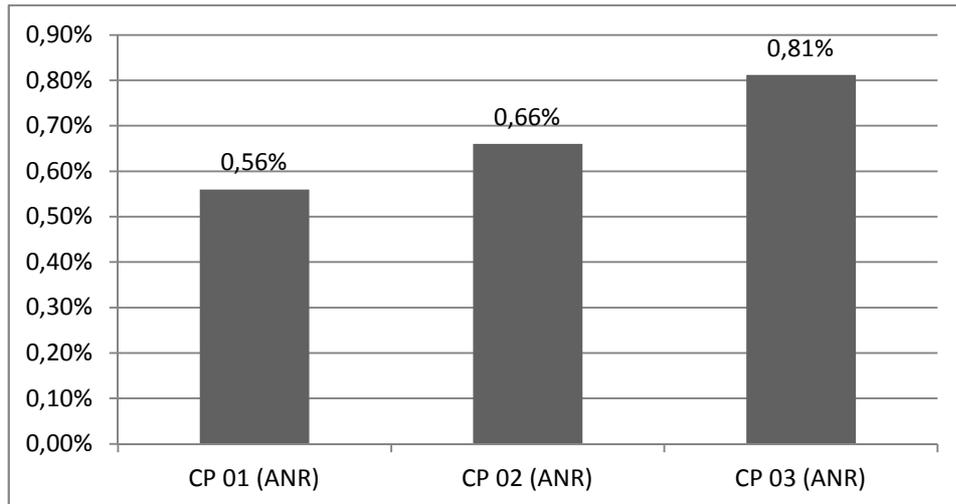


Figura 25: Porcentagem de expansão

Os corpos de prova O1, 02 e 03, foram produzidos com argamassa ANR, expressaram variações percentuais de comprimento 0,56%, 0,66% e 0,81%, respectivamente. Carnin et al (2010), indicam ser o limite máximo de expansibilidade para o cimento de 0,8%, fato que indica estabilidade dimensional relativa da areia ANR, dado que o valor médio é 0,68% abaixo do limite máximo indicado.



Figura 26: Expansão das barras

7. Conclusão

A areia normal produzida com rejeito, mostrou-se, em relação a sua caracterização física, muito semelhante a Areia Normal Brasileira (ANB), nos ensaios em que houve diferenças nos resultados, a ANR obteve resultados dentro dos limites estipulados pelas normas. Nos ensaios realizados na argamassa no estado fresco, a forma angulosa dos grãos influenciou no valor obtido de índice de consistência para ANR, de forma que o IC da ANR apresentou-se inferior ao IC da ANB. A areia ANR apresentou, devido ao menor IC, teor de ar incorporado superior ao da ANB e, conseqüentemente, menor densidade de massa. Já no desempenho mecânico, a areia produzida a partir do rejeito obteve comportamento muito similar ao da Areia Normal Brasileira, tanto no ensaio de resistência à compressão como no ensaio de resistência à tração na flexão. Quanto à expansão em autoclave, a ANR apresentou resultados dentro do limite máximo de expansibilidade para o cimento, indicando estabilidade dimensional em relação a expansibilidade da areia. De forma geral, os resultados sugerem a oportunidade de proporcionar ao rejeito da mineração de silício correta destinação, e de certa forma, suprir o consumo de agregado de parcela do setor da construção civil, de forma, ambientalmente, mais correta.

Para estudos futuros, sugere-se verificar a viabilidade econômica da produção e comercialização da areia normal, a partir de rejeito e sua utilização em peças de concreto.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, S. L. M.; SAMPAIO, J. A.; SILVA, V. S. **Serviço de Tratamento Mineral e Usina Piloto - setu produção de areia artificial com base em finos de brita de granito.** Rio de Janeiro, 2005.

AMARAL, C. K. **Microsílica: aplicações no Brasil.** In: REUNIÃO DO IBRACON, 1987, São Paulo, jul. 1987, 35p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-151** - Standard Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement. West Conshohocken-United States.

ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S. C. M.; CARASEK, H.. **Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2003.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil.** Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/artigo%20IV_CT206_2001.pdf>. Acesso em 10 de junho de 2013.

ARGONZ, R. **Purificação de rejeitos de lascas de quartzo das indústrias de silício.** Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas- Campinas, SP [Sn], 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46.** Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, 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 massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5737.** Cimento Portland - Resistentes a sulfatos . Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211.** Agregados para concreto - Especificação . Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214.** Areia normal para ensaio de cimento - Especificação. Rio de Janeiro, 2012.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**. Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13530**-Revestimentos de paredes e tetos- Argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577**- Agregados - Reatividade álcali-agregado Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro, 2008.

BAUER, L. A. Falcão (Coord.) et al. **Materiais de Construção I**. 2ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. Plano Nacional de Resíduos Sólidos, versão preliminar – Brasília, 2011.

BODDY, A. M. et al. **The effect of product form of silica fume on its ability to control alkali-silica reaction**. Cement and Concrete Research, v. 30, p. 1139-1150, 2000.

CAMACHO, Prof. Dr. J. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural Núcleo de ensino e pesquisa da alvenaria estrutural** – NEPAE- Universidade Estadual Paulista- Ilha Solteira - SP, 2006.

CARNIN, R. L. P; SILVA, C. O; POZZI, R. J; JUNIOR, D. C; FOLGUERAS, M. V; MALKOWSKI, W. **Desenvolvimento de peças de concreto (Paver) contendo areia descartada de fundição para pavimento intertravado**. Revista PAVIMENTAÇÃO, ano V, Outubro de 2010, p. 65.

CINCOTTO, M. A. **A utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil**. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1988, Florianópolis. Anais. Florianópolis, 1988. p. 171- 181.

DELLA, V. P; HOTZA, D. **Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz.** Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, CP 476, 88040-900 Florianópolis - SC, Brasil. Quim. Nova, Vol. 29, No. 6, 1175-1179, 2006

FRANÇA, M. B. B, SOUZA, B. P, PEREIRA, A. P. P, FONTES, W. C; SANTOS, D. H; PEIXOTO, R. A. F. **Argamassa de escória de aciaria elétrica para assentamento de alvenarias e revestimento.** X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS Fortaleza, 7 a 9 de maio de 2013 - ISSN 2238-0191

GONÇALVES, S. R. C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – estudo de caso.** Brasília, 2004. 148 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília.

IBRAM. **Mineração e Meio Ambiente.** (1987) IBRAM, Belo Horizonte, 59p. Disponível: <http://www.sgguarani.org/index/pdf/gestion_integrada_del_agua/legisla/r/cnrh/search=%22disposi%C3%A7%C3%A3o%20est%C3%A9ril%22> Acessado em 12 de junho de 2013.

IBRACOM; ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** 2ª edição, vol. 2, cap. 26, p. 44, 2010

MECHI, A; SANCHES, D.L. **Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo.** Estudos avançados cap. 24, p.68, 2010

MINEROPAR, Minerais do Paraná S.A. **Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Curitiba.** Curitiba: MINEROPAR, 2004. 288 p.

NAKAYAMA, M. **Present and future demand of silicon metal,** 2nd International Workshop on QITS: Sustainability and the Ascent of High Tech Silicon-based Industries, The United Nations University, Institute of Advanced Studies, Tokyo, 1998.

RIBEIRO, Nelson P. **Alvenarias e argamassas: restauração e conservação.** Rio de Janeiro: In-Fólio, 2009. P.63-89.

SELMO, S. M. S. Dosagem de argamassa de cimento portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo- São Paulo, 1989. 227 p.

FONTES, W.C; OKADA, E. M; CHIBLI, P. A; BASTOS, L. A. C; ELIANE, R.F; PEIXOTO, R. A. F. **Produção de argamassa aditivada com resíduo de fibra de vidro pós – processada.** X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS Fortaleza, 7 a 9 de maio de 2013 - ISSN 2238-0191

FONTES, W.C; PEREIRA, A. C. P; CHIBLI, P. A; BASTOS, L. A. C; BRIGOLINI, G. J. PEIXOTO, R. A. F. **Utilização de rejeito de barragem de minério de ferro como agregado reciclado para argamassas.** X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Fortaleza, 7 a 9 de maio de 2013 - ISSN 2238-0191

VALVERDE, F. M. **AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL**- Balanço Mineral Brasileiro, 2001

Penna, P. C. V. **EXPANSÃO DA MINERAÇÃO DE AGREGADOS PARA A CONSTRUÇÃO ENDOSSA CRESCIMENTO DA ECONOMIA**. Disponível em <http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=124511>. Acessado em 7 de junho de 2013.

PRADO, A. G. S. FARIA, E. A. PADILHA, P. M. **Aplicação e modificação química da sílica gel obtida de areia**. Instituto de Química, Universidade de Brasília, CP 4478, 70919-970 Brasília - DF - Departamento de Química e Bioquímica, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, CP 510, 18618-000 Botucatu – SP Quim. Nova, Vol. 28, No. 3, 544-547, 2005

SANTOS, R. A; LIRA, B.B; RIBEIRO, A. C. M. **Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito**. Universidade Federal da Paraíba – Laboratório de Ensaio de Materiais e Estrutura. HOLOS, Ano 28, Vol 5, p. 125

SJÖSTRÖM, C. **Service life of the building**. Em: Applications of the performance concept in building. Tel Aviv. CIB. v. 2. **Proceedings**. 1996. p. 6-1;6-11.

SOIBELMAN, L. **As perdas de materiais na construção de edificações: sua incidência e seu controle**. 1993. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1993.

SUZUKI, Carlos K. and PEREIRA, José Tomaz V. **Energia solar e produção de silício metálico baseado no programa QITS("Quartz Industrial Trade System")**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. Disponível em<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022000000100009&lng=en&nrm=abn>. Acessado em 12 de junho de 2013.

ANEXOS

ANEXO A - Análise química do quartzo extraído da Minasilício GMA Mineradora Ltda



Bureau Veritas do Brasil Sociedade Classificadora e Certificadora Ltda
 Geochemical Laboratory
 Rua do Lagoa, 100 - Lagoa Verde - Valparaíso/MG - ZIP Code: 35200-000
 Fone: +55 31 3620 0400

Analysis report

Client: Minasilício GMA Mineradora Ltda
 Attention: Anal. Líquida
 Identification: -
 Vessel: -
 Contract: -

Report #
 BR20191229
 29th October 2019

Page 1/1

Chemical Analysis Results

Sample ID	Al2O3 (%)	BaO (%)	CaO (%)	Cr2O3 (%)	Cl (%)	Fe (%)	H2O (%)	K2O (%)	MgO (%)	Mn (%)	Na2O (%)	NiO (%)	P (%)	SiO2 (%)
01 INAMA	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.436	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.06	88.02
02 TOPAZIO	0.14	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.47	<0.10	0.070	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.004	89.35
03 TOPAZIO	0.12	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.451	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.004	88.28
04 SERTULIZ	<0.10	<0.10	0.110	<0.10	<0.10	0.394	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.004	91.25
05 SERTULIZ	<0.10	<0.10	0.012	<0.10	<0.10	0.285	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.004	90.33
06 SERTULIZ	<0.10	<0.10	0.110	<0.10	<0.10	0.252	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.004	88.28
07 SERTULIZ	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.113	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.004	89.78

Sample ID	SiO2 (%)	TiO2 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Al2O3 (%)	Fe (%)	Li (%)
01 INAMA	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.27	-
02 TOPAZIO	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.02	-
03 TOPAZIO	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.07	-
04 SERTULIZ	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.01	-
05 SERTULIZ	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.04	-
06 SERTULIZ	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.02	-
07 SERTULIZ	<0.10	0.024	<0.10	<0.10	<0.10	-	-

SRM
 Preparation Blank / Duplicate

* All contents apply to the drys sea at 105 °C
 * All contents (except LiCl) was determined by XRF with lithium standard in fusion.
 * LiCl was determined by calibration in fusion at 1050 °C for one hour.



Leonardo Fernandes de Almeida
 Técnico responsável
 CBO: 02407305

ANEXO B- Análise de Difração de raios-X

Fantastic report on 0613-020-SF-AM1

**Distribution:**

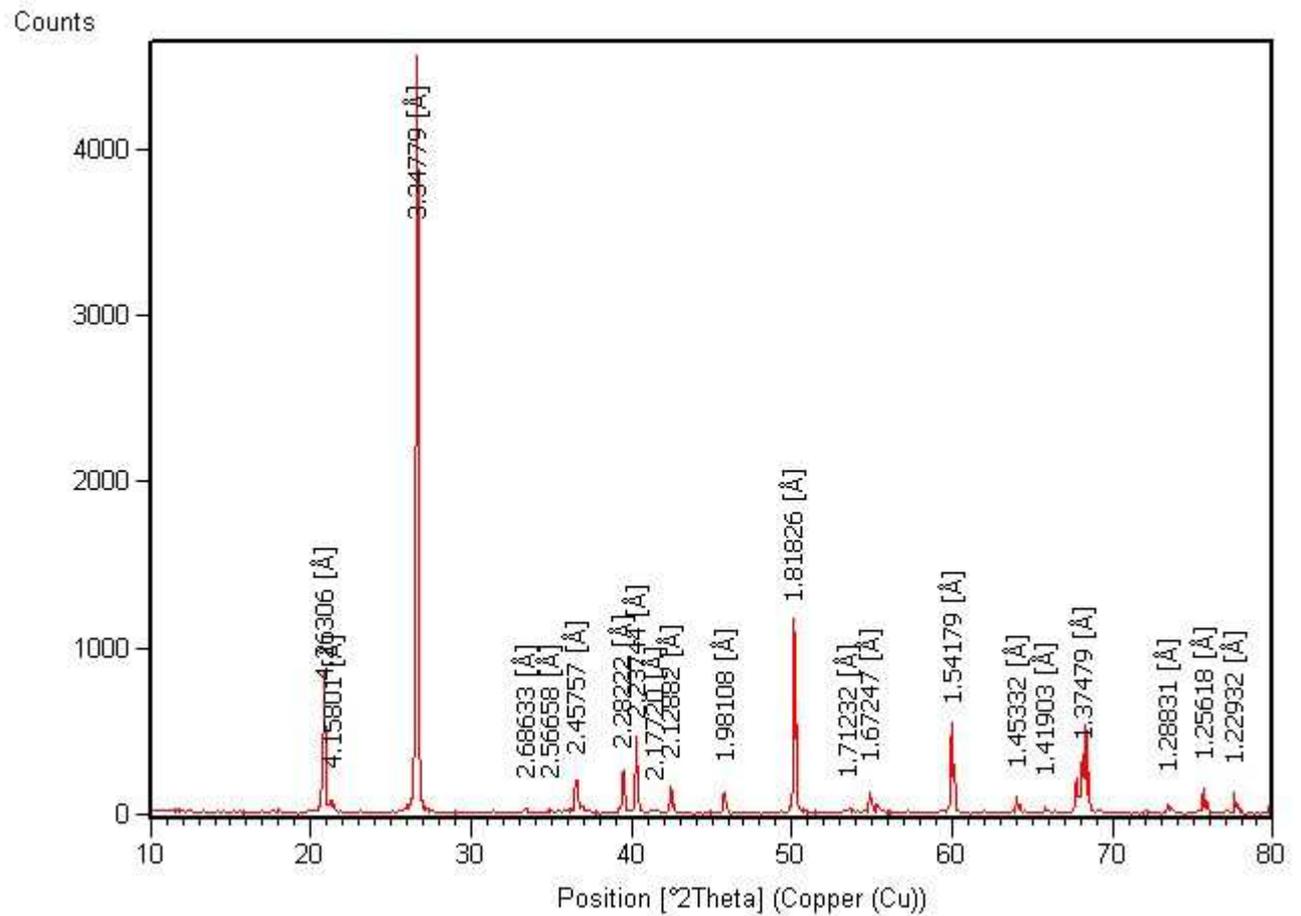
Name	Function	0.1	0.5	1.0
N.N.-999	Mastering Group Manager (MGM)	✓		
N.N.-998	Product Ontwikkelt Manager (POM)	✓		
N.N.-1	(AS)			✓
N.N.-2	(DS)			✓
N.N.-3	(BS)			✓
T.P.	Supervisor All Coding			✓

Anchor Scan Parameters:

Dataset Name	0613-020-SF-AM1
File name	C:\users\RESULTADOS DE RAIOS-X 2013\Marina 15-08\0613-020-SF-AM1.RAW
Raw Data Origin	Shimadzu-binary (.RAW)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	10,0000
End Position [°2Th.]	80,0000
Step Size [°2Th.]	0,0200
Scan Step Time [s]	0,4000
Scan Type	Pre-set time
Offset [°2Th.]	0,0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	1,0000
Specimen Length [mm]	10,00
Receiving Slit Size [mm]	0,3000

Measurement Temperature [°C] 25,00
 Anode Material Cu
 K-Alpha1 [Å] 1,54060
 K-Alpha2 [Å] 1,54443
 K-Beta [Å] 1,39225
 K-A2 / K-A1 Ratio 0,50000
 Generator Settings 30 mA, 40 kV
 Diffractometer Number 0
 Goniometer Radius [mm] 240,00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91,00
 Incident Beam Monochromator No
 Spinning No

Graphics:



Peak List
Quartz
Goethite
Muscovite 2M1

Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip Width	Matched by
20,820(1)	617(14)	0,141(5)	4,26306	17,91	0,1693	98-010-6481; 98-001-1925
20,872(1)	308(14)	0,141(5)	4,26306	8,96	0,1693	
21,352190	70,635780	0,090000	4,15801	2,05	0,1080	98-011-2701
26,6049(4)	3442(29)	0,138(1)	3,34779	100,00	0,1652	98-010-6481; 98-011-2701; 98-001-1925
26,6723(4)	1721(29)	0,138(1)	3,34779	50,00	0,1652	
33,33(2)	13(1)	0,44(4)	2,68633	0,38	0,5279	98-011-2701; 98-001-1925
33,41(2)	7(1)	0,44(4)	2,68633	0,19	0,5279	
34,93(2)	11(2)	0,3(1)	2,56658	0,31	0,3020	98-001-1925
35,02(2)	5(2)	0,3(1)	2,56658	0,16	0,3020	
36,533(3)	162(9)	0,17(2)	2,45757	4,72	0,2071	98-010-6481; 98-011-2701; 98-001-1925
36,627(3)	81(9)	0,17(2)	2,45757	2,36	0,2071	
39,452(2)	200(9)	0,132(8)	2,28222	5,82	0,1586	98-010-6481; 98-011-2701
39,554(2)	100(9)	0,132(8)	2,28222	2,91	0,1586	
40,275(1)	378(12)	0,130(5)	2,23744	10,97	0,1566	98-010-6481; 98-001-1925
40,380(1)	189(12)	0,130(5)	2,23744	5,49	0,1566	
41,44(4)	5(1)	0,6(1)	2,17720	0,15	0,6641	98-011-2701; 98-001-1925
41,55(4)	3(1)	0,6(1)	2,17720	0,08	0,6641	
42,427(3)	136(7)	0,157(9)	2,12882	3,96	0,1879	98-010-6481; 98-001-1925
42,537(3)	68(7)	0,157(9)	2,12882	1,98	0,1879	
45,763(3)	106(5)	0,164(8)	1,98108	3,09	0,1962	98-010-6481; 98-001-1925
45,883(3)	53(5)	0,164(8)	1,98108	1,54	0,1962	
50,1300(7)	1093(18)	0,100(2)	1,81826	31,74	0,1198	98-010-6481; 98-011-2701
50,2632(7)	546(18)	0,100(2)	1,81826	15,87	0,1198	
53,47(2)	12(2)	0,4(1)	1,71232	0,36	0,4463	98-011-

						2701
53,61(2)	6(2)	0,4(1)	1,71232	0,18	0,4463	
54,848(3)	107(7)	0,13(1)	1,67247	3,12	0,1564	98-010-6481; 98-001-1925
54,996(3)	54(7)	0,13(1)	1,67247	1,56	0,1564	
59,949(1)	471(11)	0,137(3)	1,54179	13,67	0,1638	98-010-6481
60,113(1)	235(11)	0,137(3)	1,54179	6,84	0,1638	
64,015(4)	71(5)	0,14(2)	1,45332	2,07	0,1732	98-010-6481; 98-011-2701; 98-001-1925
64,193(4)	36(5)	0,14(2)	1,45332	1,04	0,1732	
65,754(5)	32(5)	0,08(2)	1,41903	0,92	0,0975	98-010-6481; 98-001-1925
65,938(5)	16(5)	0,08(2)	1,41903	0,46	0,0975	
68,153(3)	251(6)	0,37(1)	1,37479	7,30	0,4382	98-010-6481; 98-001-1925
68,346(3)	126(6)	0,37(1)	1,37479	3,65	0,4382	
73,441(5)	53(3)	0,15(1)	1,28831	1,55	0,1810	98-010-6481
73,654(5)	27(3)	0,15(1)	1,28831	0,77	0,1810	
75,643(2)	130(5)	0,138(5)	1,25618	3,78	0,1660	98-010-6481; 98-011-2701
75,865(2)	65(5)	0,138(5)	1,25618	1,89	0,1660	
77,601(3)	100(5)	0,132(6)	1,22932	2,90	0,1585	98-010-6481; 98-011-2701
77,830(3)	50(5)	0,132(6)	1,22932	1,45	0,1585	

Identified Patterns List:

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	98-010-6481	84	Quartz	0,000	1,008	O2 Si1
*	98-011-2701	19	Goethite	0,000	0,027	H1 Fe1 O2
*	98-001-1925	5	Muscovite 2M1	0,000	0,303	H2 Al3 K1 O12 Si3

ANEXO C- Análises de Fluorescência de raios-x

Sample : 0813-010-MS-AMG
 Operator :
 Comment : Quick&easy Air-Metal
 Group : easy
 Date : 2013-08-08 11:51:03

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Air Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
---------	-------	----	----	-----------	------------	-----------	-------

Ti-U	Rh 50	45-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0 Live -	100 40	
Na-Sc	Rh 15	811-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4 Live -	100 39	

<Profile>

Channel_info_start
 Channel : Ti-U
 Points : 2048
 Range : 0.000000 - 40.960000
 Step : 0.020000

Qualitative Result

 Element : Si, Rh, Ti, Fe, S , K , Ca, Te, Pr, Er, Zn, Pt

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int.(cps/uA)
---------	------	-----	------------------

Ti-U	SiKa	1.72	1.3214
	RhLa	2.68	0.4626
	RhLb2	2.94	0.4284
	TiKa	4.50	0.6868
	----	5.42	0.4698
	FeKa	6.40	100.8185
	FeKb	7.06	15.2834
	----	9.50	0.4200
	RhKaC	19.18	17.7122
	RhKa	20.18	14.8375
	RhKbC	21.38	3.6964
	----	22.06	0.8448
	RhKb	22.72	2.5599

Na-Sc	SiKa	1.74	0.6856
	S Ka	2.37	0.0552
	RhLa	2.70	0.2553
	RhLb2	2.95	0.2003
	K Ka	3.30	0.0254
	K Kb	3.59	0.0032
	CaKa	3.71	0.0396
	TeLa	3.77	0.0199
	CaKb	4.03	0.0061
	TeLb1	4.03	0.0101
	TiKa	4.51	0.1410
	FeKaESC	4.67	0.0880
	PrLa	5.09	0.0687
	PrLb1	5.43	0.1118

```

----      5.76  0.0547
FeKa      6.41 14.2940
ErLa      6.95  0.1276
FeKb      7.06  2.1408
----      7.80  0.0714
ZnKa      8.64  0.0614
PtLa      9.51  0.0752
ZnKb      9.57  0.0092
----      9.72  0.0443
FeKaSUM   12.80 0.0558
    
```

Quantitative Result

Analyte	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
Si	67.841 %	(0.291)	Quan-FP	SiKa	0.6856
Fe	29.820 %	(0.044)	Quan-FP	FeKa	100.8185
S	1.299 %	(0.028)	Quan-FP	S Ka	0.0552
Ti	0.568 %	(0.015)	Quan-FP	TiKa	0.6868
K	0.249 %	(0.010)	Quan-FP	K Ka	0.0254
Ca	0.223 %	(0.007)	Quan-FP	CaKa	0.0396

Sample : 0813-011-MS-AMP
 Operator :
 Comment : Quick&easy Air-Metal
 Group : easy
 Date : 2013-08-08 11:58:49

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Air Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG kV	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	37-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	40
Na-Sc	Rh 15	418-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	41

<Profile>

Channel_info_start
 Channel : Ti-U
 Points : 2048
 Range : 0.000000 - 40.960000
 Step : 0.020000

Qualitative Result

Element : Si, Rh, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, S, K, Ca, Sm

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int.(cps/uA)
Ti-U	SiKa	1.72	1.3131
	RhLa	2.68	0.4299
	RhLb2	2.94	0.4193
	----	3.30	0.2769
	----	3.68	0.9261
	TiKa	4.50	1.5374
	TiKb	4.94	0.2149

V Ka	4.94	0.1346
CrKa	5.40	1.0945
V Kb	5.42	0.0208
CrKb	5.90	0.1815
MnKa	5.90	0.4928
FeKa	6.40	262.8942
MnKb	6.50	0.0810
FeKb	7.04	39.9839
NiKa	7.48	0.2988
FeKaSUM	12.82	0.9492
----	15.74	1.3507
RhKaC	19.20	13.2881
RhKa	20.18	13.8966
RhKbC	21.44	3.1887
RhKb	22.72	2.5041

Na-Sc	SiKa	1.74	0.6890
	S Ka	2.37	0.0444
	RhLa	2.70	0.2557
	RhLb2	2.96	0.2027
	K Ka	3.32	0.1079
	K Kb	3.59	0.0148
	CaKa	3.70	0.3041
	CaKb	4.01	0.0426
	TiKa	4.51	0.3570
	FeKaESC	4.67	0.1357
	TiKb	4.95	0.0536
	V Ka	4.95	0.0355
	CrKa	5.40	0.2141
	V Kb	5.43	0.0053
	SmLa	5.68	0.0938
	CrKb	5.91	0.0321
	MnKa	5.91	0.0491
	FeKa	6.40	39.2343
	MnKb	6.49	0.0074
	FeKb	7.06	6.2367
	FeKaSUM	12.82	0.2154
	Fe SUM	13.49	0.0715

Quantitative Result

Analyte	Result	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
Fe	48.798 %	(0.048)	Quan-FP	FeKa	262.8942
Si	48.075 %	(0.286)	Quan-FP	SiKa	0.6890
Ca	0.898 %	(0.009)	Quan-FP	CaKa	0.3041
Ti	0.660 %	(0.012)	Quan-FP	TiKa	1.5374
S	0.550 %	(0.020)	Quan-FP	S Ka	0.0444
K	0.550 %	(0.011)	Quan-FP	K Ka	0.1079
Cr	0.234 %	(0.005)	Quan-FP	CrKa	1.0945
Mn	0.108 %	(0.005)	Quan-FP	MnKa	0.4928
Ni	0.087 %	(0.006)	Quan-FP	NiKa	0.2988
V	0.040 %	(0.005)	Quan-FP	V Ka	0.1346