

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
UNIVERSIDADE COMUNITÁRIA REGIONAL DE CHAPECÓ
MESTRADO PROFISSIONAL EM DESEMPENHO DE SISTEMAS
CONSTRUTIVOS**

Victor Hugo Lodi

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE AREIA DE BRITAGEM EM
CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND NA REGIÃO DE CHAPECÓ-SC**

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina convênio Unochapecó como integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Luis Roberto Prudêncio Jr., Dr.

Florianópolis, agosto 2006.

*Viva como se fosse
morrer amanhã.*

*Aprenda como se fosse
viver para sempre.*

(Mahatma Gandhi)

AGRADECIMENTOS

Pela consciência da vida e do viver, preciso inicialmente agradecer a Deus, que pela inspiração e amor nos fortifica dando-nos coragem na superação de nossos obstáculos.

Pela imensurável tolerância e apoio de minha esposa Ivânia e minha filha Teresa, que abdicando por muitas vezes de nosso lazer souberam compreender e incentivar sempre.

Ao professor Luiz Roberto Prudêncio Jr., por ter sido o grande incentivador desta pesquisa, acompanhando, assessorando, revisando e fornecendo subsídios técnicos para a realização do trabalho.

Ao colega Denis Fernandes Weidmann e, ao acadêmico de Engenharia Civil Wilson Ricardo Leal da Silva, pela orientação e esforço empreendidos na fundamentação e realização dos ensaios laboratoriais.

A família Lodi Sbardelotto, que carinhosamente me hospedou nas estadas em Florianópolis para realização de estudos e experimentos.

Ao Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC, da UFSC, nas pessoas de seus funcionários Luiz Henrique dos Santos, Renato Santana da Lapa e Roque Medeiros de Lima, sempre solícitos e colaboradores na utilização das instalações físicas e dos equipamentos do laboratório.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina, que em convênio com a Universidade Comunitária de Chapecó viabilizaram a realização do Mestrado Profissional em Desempenho de Sistemas Construtivos.

As empresas Supermix S.A. – Filial de Chapecó e Britaxan Ltda pelo fornecimento dos agregados utilizados nesta pesquisa. A Transportadora Joaçaba Ltda pelo auxílio de logística e transporte dos agregados do oeste ao litoral do estado. A G.R. Extração de Areia Ltda pela recepção e encaminhamento na visita às instalações da empresa.

Enfim, a todas as pessoas que de forma direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos,

Meu muitíssimo obrigado!

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Apresentação.....	11
1.2 Hipóteses.....	12
1.3 Justificativa.....	13
1.4 Objetivos.....	14
1.4.1 Objetivo geral.....	14
1.4.2 Objetivos específicos.....	14
2 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	15
2.1 Considerações iniciais.....	15
2.2 Definição.....	15
2.3 Materiais constituintes do concreto.....	16
2.3.1 Cimento Portland.....	16
2.3.1.1 Composição química.....	16
2.3.1.2 Finura do cimento.....	17
2.3.1.3 Hidratação, pega e endurecimento do cimento.....	17
2.3.1.4 Tipos de cimento.....	18
2.3.2 Agregados.....	19
2.3.2.1 Definição.....	19
2.3.2.2 Classificação dos agregados.....	20
2.3.2.3 Obtenção dos agregados naturais de britagem.....	20
2.3.2.4 Obtenção da areia natural.....	26
2.3.2.5 Características dos agregados.....	28
2.3.2.6 Composição granulométrica.....	29
2.3.2.7 Forma e textura superficial.....	30
2.3.2.8 Resistência mecânica.....	32
2.3.2.9 Absorção e umidade superficial.....	33
2.3.2.10 Isenção de substâncias nocivas.....	33
2.3.3 Água.....	35
2.3.4 Outros componentes.....	35
2.3.4.1 Aditivos plastificantes.....	36
2.3.4.1.1 Definição.....	37
2.3.4.1.2 Modo de ação.....	37
2.3.4.1.3 Efeitos no concreto.....	38
2.3.4.1.4 Método de adição.....	38
2.3.5 Propriedades do concreto.....	38
2.3.5.1 Concreto fresco.....	38
2.3.5.2 Concreto endurecido.....	41
2.3.6 Dosagem do concreto.....	44
2.3.6.1 Método IPT/EPUSP.....	45
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	55
3.1 Considerações iniciais.....	55
3.2 Amostragem.....	56
3.2.1 Cimento.....	56

3.2.2 Agregados miúdos.....	57
3.2.2.1 Areia natural	57
3.2.2.2 Areia de britagem Tipo A.....	58
3.2.2.3 Areia de britagem Tipo B	60
3.2.3 Agregado graúdo	61
3.2.4 Água	62
3.2.5 Aditivos	62
3.3 Determinação da composição granulométrica	62
3.3.1 Granulometria.....	62
3.3.2 Material pulverulento	62
3.4 Determinação da massa específica do agregado miúdo.....	63
3.5 Determinação da massa específica do agregado graúdo	63
3.6 Determinação da massa unitária	64
3.7 Inchamento das areias	64
3.8 Coeficiente de forma dos agregados miúdos	65
3.9 Estudo em argamassa.....	68
3.10 Execução do ensaio da dosagem do concreto	69
3.11 Ensaio de compressão	73
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	75
4.1 Caracterização dos agregados	75
4.2 Ensaio em argamassas	80
4.3 Ensaio em concreto	87
5 CONCLUSÕES	102
5.1 Considerações iniciais.....	102
5.2 Conclusões relativas aos agregados	102
5.3 Conclusões relativas aos ensaios com argamassa.....	103
5.4 Conclusões relativas ao concreto fresco	103
5.5 Conclusões relativas ao concreto endurecido	103
5.6 Conclusões relativas ao meio ambiente e a viabilização econômica	104
5.7 Conclusões finais	104
5.8 Sugestões para trabalhos futuros.....	104
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
ANEXOS.....	110
ANEXO 1: CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS.....	111
ANEXO 2: ESTUDOS EM ARGAMASSAS.....	123
ANEXO 3: DOSAGEM DO CONCRETO.....	130

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Encosta e material do desmonte.....	21
Figura 2: Perfuração da malha de fogo.....	21
Figura 3: Vistas britador primário – Abastecimento de pedras.....	22
Figura 4: Correias transportadoras e pilhas pulmão.....	22
Figura 5: Britadores secundário, terciário e quaternário.....	23
Figura 6: Peneiras vibratórias para classificação de material.....	24
Figura 7: Lavagem pó de brita e obtenção de areia de britagem.....	24
Figura 8: Material armazenado para expedição.....	25
Figura 9: Extração de areia natural de cava seca com equipamento mecânico.....	26
Figura 10: Lavagem e peneiramento de areia natural de cava seca.....	26
Figura 11: Expedição de cascalho e acomodação em canchas para secagem e expedição de areia de cava seca.....	27
Figura 12: Extração e peneiramento simples de areia de cava submersa.....	27
Figura 13: Armazenamento e expedição de areia de cava submersa.....	28
Figura 14: Formas de abatimento do concreto fresco.....	40
Figura 15: Diagrama de dosagem, Método IPT/EPUSP, Modelo de comportamento.....	46
Figura 16: Distribuição da resistência à compressão do concreto.....	49
Figura 17: Fluxograma das etapas metodológicas.....	55
Figura 18: Armazenamento da amostras.....	56
Figura 19: Extração e depósito da areia após a lavagem.....	58
Figura 20: Vista geral Britador Planaterra, Chapecó – SC.....	58
Figura 21: Esquema obtenção da areia de britagem tipo A	59
Figura 22: Vista geral Britador da Britaxan, Xanxerê – SC.....	60
Figura 23: Esquema obtenção da areia de britagem tipo B... ..	61
Figura 24: Fotos digitalizadas grãos retidos #1,2mm, areia de britagem Tipo A.....	67
Figura 25: Fotos digitalizadas grãos retidos #1,2mm, areia de britagem Tipo B.....	67
Figura 26: Fotos digitalizadas grãos retidos #1,2mm, areia natural.....	68
Figura 27: Verificação de vazios no concreto.....	70
Figura 28: Verificação do teor adequado de argamassa.....	70
Figura 29: Moldagem de corpos-de-prova.....	73
Figura 30: Ensaio de resistência à compressão e módulo de elasticidade dos corpos-de-prova.....	74
Figura 31: Corpos-de-prova antes e depois do rompimento.....	74
Figura 32: Granulometria dos agregados miúdos.....	77
Figura 33: Granulometria do agregado graúdo.....	79
Figura 34: Composição areias natural e Tipo A – Limites.....	80
Figura 35: Composição areias natural e Tipo B – Limites.....	81
Figura 36: Ensaio Flow e ar incorporado, areia natural e areia de britagem Tipo A.....	82
Figura 37: Ensaio Flow e ar incorporado, areia natural e areia de britagem Tipo B.....	83
Figura 38: Ensaio Módulo de elasticidade areia natural e areia de britagem Tipo A.....	85
Figura 39: Ensaio Módulo de elasticidade areia natural e areia de britagem Tipo B.....	86
Figura 40: Curva de dosagem – 100% areia natural.....	89
Figura 41: Curva de dosagem – 35% areia natural + 65% areia de britagem TipoA.....	92
Figura 42: Curva de dosagem – 35% areia natural + 65% areia de britagem TipoB.....	95
Figura 43: Comparativo dos módulos de elasticidade.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composições dos cimentos segundo a NBR 5732(1991).....	19
Tabela 2: Limites granulométricos do agregado graúdo (NBR 7211, 2005)...	29
Tabela 3: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo...	30
Tabela 4: Limites aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material...	30
Tabela 5: Limites aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação à massa do material.....	34
Tabela 6: Correspondência entre a classe de agressividade e qualidade do concreto.....	44
Tabela 7: Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c=10\text{mm}$	44
Tabela 8: Consistência do concreto em função do elemento estrutural para o caso do adensamento mecânico.....	48
Tabela 9: Classes de Agressividade Ambiental.....	50
Tabela 10: Valores da relação água/mistura seca (H) em função da Dimensão Máxima Característica do agregado graúdo e do tipo de adensamento.....	52
Tabela 11: Análises físicas e mecânicas do cimento CP II – Z – 32	56
Tabela 12: Ensaio físicos e químicos do cimento CP II – Z – 32.....	57
Tabela 13: Acréscimos de massa de areia natural, determinação teor ideal de argamassa.	71
Tabela 14: Acréscimos de massa de areia natural e areia de britagem Tipo A, determinação teor ideal de argamassa.....	72
Tabela 15: Acréscimos de massa de areia natural e areia de britagem Tipo B, determinação teor ideal de argamassa.....	72
Tabela 16: Características físicas da areia natural.....	75
Tabela 17: Características físicas da areia de britagem Tipo A.....	76
Tabela 18: Características físicas da areia de britagem Tipo B.....	76
Tabela 19: Comparativo de volume das areias de britagem, massa unitária, massa específica, inchamento.....	78
Tabela 20: Coeficientes de forma dos agregados miúdos.....	78
Tabela 21: Características físicas do agregado graúdo.....	79
Tabela 22: Resultados rompimento corpos-de-prova, misturas em argamassa.....	84
Tabela 23: Ensaio em argamassas, areia natural e areia Tipo A, determinação Flow Table Test, massa específica e ar incorporado.....	85
Tabela 24: Ensaio em argamassas, areia natural e areia britagem Tipo A, determinação módulo de elasticidade.....	85
Tabela 25: Ensaio em argamassas, areia natural e areia Tipo B, determinação Flow Table Test, massa específica e ar incorporado.....	86
Tabela 26: Ensaio em argamassas, areia natural e areia britagem Tipo B, determinação módulo de elasticidade.....	86
Tabela 27: Dados determinação curvas de dosagem, método IPT/EPUSP -100%, areia natural.....	87
Tabela 28: Dados determinação curvas de dosagem, método IPT/EPUSP - 35%, areia natural + 65% areia britagem Tipo A.....	90

Tabela 29: Dados determinação curvas de dosagem, método IPT/EPUSP - 35%, areia natural + 65% areia britagem Tipo B.....	93
Tabela 30: Dados determinação curvas de dosagem, método IPT/EPUSP.....	96
Tabela 31: Comparativo do módulo de elasticidade obtido experimentalmente e o calculado segundo prescrições da NBR 6118:03.....	98
Tabela 32: Consumo de água nos concretos estudados.....	98
Tabela 33: Relação água cimento x resistência à compressão.....	99
Tabela 34: Relação consumo de cimento x resistência à compressão.....	99
Tabela 35: Preço insumos consumo Chapecó-SC.....	100
Tabela 36: Preços dos materiais por m ³ de concreto.....	100
Tabela 37: Custo dos concretos estudados.....	100

RESUMO

O esgotamento das jazidas de areia natural próximas dos grandes centros de consumo, a contaminação das fontes de material pela poluição e as políticas de proteção ambiental fazem com que a obtenção de agregados miúdos para utilização na construção civil, particularmente na produção de concretos convencionais, seja impulsionada na direção de novas opções.

Uma alternativa para resolução deste problema seria a utilização de areia de britagem. Sendo um resíduo da britagem de rochas da produção de agregados graúdos, seu uso minimiza o impacto ambiental pois, se ficar armazenado no pátio das pedreiras sua dispersão pelo vento e pela água contaminam o ambiente. Além disso, muitas vezes precisa ser remanejado por problemas operacionais demandando tempo e recursos.

A produção deste tipo de areia, além de reduzir o impacto ambiental ocasionado pelo processo convencional de extração de areia natural, geralmente mostra viabilidade econômica, visto ser realizada nos canteiros das pedreiras, localizadas próximas aos grandes centros urbanos, reduzindo assim o custo de seu frete aos pontos de consumo.

A uniformidade da areia de britagem, quando comparada com a da areia natural, e a maior facilidade de obtenção, são suas principais vantagens de utilização.

Entretanto, a sua distribuição granulométrica, presença de quantidades elevadas de pó e principalmente a forma angulosa e muitas vezes lamelar de suas partículas, que depende do tipo de rocha e britador utilizados, podem influenciar nas propriedades do concreto fresco e endurecido.

O presente trabalho apresenta o estudo de dosagem de concretos convencionais com emprego de duas areias de britagem de rocha basáltica (uma com grãos arredondados e com 16,7% de material pulverulento - Areia A - e outra com grãos lamelares com 11,1% de material pulverulento - Areia B), em substituição parcial a uma areia natural de uso corrente na região de Chapecó -SC, permitindo a confecção de concretos mais resistentes e econômicos.

O melhor desempenho em todos os aspectos analisados neste trabalho foi a mistura com 65% de areia de britagem tipo A (grãos arredondados) em substituição volumétrica à areia natural. Constatou-se que o teor de material pulverulento e a forma dos grãos existente nas areias de britagem influenciam fortemente as características do concreto no estado fresco, acarretando uma grande variação dos consumos de cimento das misturas para uma mesma resistência à compressão.

As configurações gráficas dos ábacos de dosagem elaborados permitem a rápida obtenção de traços de concreto para os materiais estudados. Também mostram que a utilização de curvas genéricas para dosagem de materiais com características distintas, pode levar a resultados bastante distintos dos desejados.

ABSTRACT

The ending of deposits of natural sand near big cities, their contamination due to pollution as well as environmental protection policies are making more and more difficult its use in civil construction, mainly in the production of conventional concrete. An alternative to solve this problem could be the use of crushed sand, that is a by-product of crushed coarse aggregate production. Its use minimizes the environmental impact once the disposal in large piles at the processing plant can cause air and water contamination as a consequence of the dispersion provided by the wind. Moreover, sometimes it is necessary to remove them from one site to another demanding time and money.

The production of crushed sand are generally viable from the economic point of view, once processing plants are settled near the urban centers, reducing transportation costs. Its uniformity, as compared to that of natural sand, and its large availability, become advantageous its use.

However, grading, high dust content and flatness of its particles that depends on the type of rock and crushing equipments, can influence negatively the fresh and hardened properties of concrete.

This work presents the study of conventional concrete mix design using two types of basaltic crushed sand (one of them possessing cubic particles and 16.7% of dust – Sand A, and another possessing flat particles and 11.1% of dust – Sand B) in partial substitution of a natural sand currently used in Chapeco-SC region, allowing the production of more economic and resistant concretes.

The best performance of concrete mixtures was obtained replacing 65% of natural sand by Sand A (by volume). It was found the dust content and the shape of the aggregate particles influence strongly concrete characteristics in fresh state, leading to a great variation in cement content for the same compressive strength.

.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

As misturas de cal e cinza vulcânica usadas nas edificações na época do Império Romano são as precursoras da utilização do concreto como material de construção, sendo atualmente o mais consumido no mundo. Suas características técnicas, como resistência à compressão, excelente resistência à água, possibilidade de produzir peças de diversas geometrias, capacidade de incorporar seções compostas com outros materiais opondo-se aos esforços mais diversos, são as principais características responsáveis pelo sucesso.

A evolução dos materiais e das técnicas construtivas, bem como os avanços nas análises das estruturas de concreto e as recentes exigências de resistência e durabilidade da norma ABNT NBR 6118 (2003), obrigam os tecnologistas de concreto a buscarem a mais adequada proporção entre os materiais constituintes do concreto, técnica e economicamente.

Considerando que aproximadamente três partes do volume de concreto são ocupadas pelos agregados, a sua qualidade é de suma importância na dosagem do concreto.

A carência de jazidas de areia natural é cada vez maior em muitas regiões do Brasil e do mundo. No oeste de Santa Catarina, por exemplo, se busca areia natural a distâncias maiores de 200 Km.

O esgotamento das jazidas mais próximas dos grandes centros de consumo, a contaminação das fontes de material pela poluição, fizeram com que as regiões conhecidas pela exploração se tornassem terra arrasada, com várias crateras, cheias de água contaminada por bactérias tóxicas, apesar das políticas de proteção ambiental, que procuram evitar a exploração predatória dos recursos naturais. Entretanto, se forem fechados os depósitos de areia, a indústria da construção civil ficaria imobilizada.

Estas ocorrências fazem com que os tecnologistas de concreto tenham de recorrer ao uso parcial ou integral de areia de britagem para produção de concretos e argamassas.

A areia de rocha, historicamente, era um material pouco desejável devido sua elevada aspereza e pela ocorrência de silte e argila prejudicando a aderência entre o agregado e a pasta de cimento, elevando a demanda de água de trabalhabilidade dos concretos e o atrito interno das partículas sólidas da mistura. Como consequência, ocorre um elevado consumo de cimento nos concretos, para atingirem um mesmo nível de resistência à compressão, quando se utiliza areia de britagem em substituição à natural. Além disso, o concreto resultante pode ser um material mais caro e mais áspero, mais difícil de ser trabalhado na obra, ao ser bombeado, ao ser acabado, etc. Estas desvantagens podem ser combatidas pela introdução, na massa de concreto, de aditivos plastificantes e redutores de água.

A forma dos grãos é um aspecto importante a ser avaliado ao usar-se areias de britagem que, em decorrência do tipo de britador utilizado ou da natureza geológica da rocha matriz, que

podem apresentar grãos com formas lamelares. Sbrighi Neto (2005), afirma que a forma das partículas, a textura superficial e a granulometria influenciam nas propriedades do concreto no estado fresco, sobretudo no consumo da pasta de cimento, tanto quanto mais alongada, angulosa e áspera forem as partículas.

A adoção de uma medida intermediária, utilizando-se areia mesclada, parte natural e parte de britagem, poderia ser a alternativa mais conveniente quando avaliados seus custos.

A utilização da areia de britagem, sendo um resíduo da britagem de rochas para a produção de agregados de concreto, conhecidos como “finos de pedreira”, auxilia a preservação ambiental, visto que sua dispersão pelo vento e pelas águas contamina o ambiente. O material acumula-se em grandes montes nas pedreiras, tendo que ser remanejado, demandando tempo, trabalho e energia.

A obtenção da areia a partir de finos de brita, para utilização em concretos convencionais, deverá se submeter à análise das influências desta utilização no concreto fresco e endurecido.

A produção desse tipo de areia, além de reduzir o impacto ambiental ocasionado pelo processo convencional de extração de areia natural, como mencionado anteriormente, procura viabilização econômica, pois sua produção pode ser realizada nos canteiros das pedreiras, localizadas próximas aos grandes centros urbanos, reduzindo o custo da matéria prima para a indústria da construção civil.

A uniformidade da areia de britagem, quando comparada com a areia natural, e a maior facilidade de obtenção são as principais vantagens de sua utilização. Entretanto, a sua distribuição granulométrica, presença de quantidades elevadas de pó e principalmente a forma lamelar de suas partículas, que depende fundamentalmente do tipo de rocha e britador utilizados, podem prejudicar a trabalhabilidade do concreto.

Este trabalho procura contribuir para o esclarecimento destas questões, apresentando resultados obtidos com concretos elaborados com diferentes proporções entre areia natural e areias de britagem basáltica da região de Chapecó obtidas em diferentes britadores.

Pretende-se investigar em que medida a forma dos grãos e a granulometria das areias de britagem, influenciam nas propriedades do concreto fresco e endurecido, apresentando curvas de dosagens experimentais de concreto, utilizando o Método de Dosagem IPT/EPUSP.

1.2 Hipóteses

- O estudo de dosagens de concretos convencionais, com o emprego de areia artificial basáltica, em substituição parcial à areia natural, levando em consideração as propriedades do concreto fresco e endurecido, permite a confecção de concretos mais resistentes e mais duráveis.

- O teor de material pulverulento existente nas areias artificiais tem que ser controlado, pois suas variações afetam o comportamento do concreto no estado fresco, acarretando perda de

abatimento e variação na relação água/cimento, o que se relaciona com a durabilidade do concreto.

- A granulometria do agregado miúdo influi na dosagem do concreto quando se deseja obter uma dada resistência mecânica. Alterações na granulometria influem na trabalhabilidade, na consistência e na resistência do concreto.

1.3 Justificativa

Por ocasião do desenvolvimento dos primeiros estudos do concreto de cimento Portland, no início do século XX, acreditava-se que os agregados tinham apenas o papel de enchimento, embora ocupando aproximadamente 80% do volume dos concretos convencionais, sendo materiais granulares e inertes, destinados apenas a baratear o custo de produção do concreto. Entretanto, o incremento no uso de concreto, com sua aplicação em larga escala, evidenciou a real importância técnica, econômica e social dos agregados.

Recentemente, o esgotamento das jazidas naturais, o aumento no custo dos transportes, o acirramento da competição comercial entre os produtores de concreto e a conscientização da sociedade, que demanda leis de proteção ambiental, confirmam plenamente esta questão.

A seleção inadequada de agregados comprovou a necessidade de uma melhor compreensão do papel dos agregados na resistência mecânica, na durabilidade e na estabilidade dimensional do concreto. Muitas das propriedades do concreto são influenciadas pelas características dos agregados, tais como: porosidade; composição granulométrica; absorção de água, estabilidade, forma e textura superficial dos grãos; resistência mecânica; módulo de deformação e substâncias deletérias presentes.

O desenvolvimento tecnológico dos agregados caminha paralelamente ao desenvolvimento do concreto e demais insumos, procurando evidenciar não apenas as propriedades mecânicas e o rebaixamento do custo, mas também relacionando os agregados à durabilidade do concreto, no que se refere às reações álcalis-agregados, isto é, reações expansivas que se dão no concreto endurecido provocando fissuras e deformações, originadas do sódio e potássio presentes no cimento em reação com alguns tipos de minerais silicosos reativos.

Os aditivos permitem substancial economia de consumo de cimento nos traços que, aliados à produção de cimentos cada vez mais finos, passam a colocar em realce a importância das propriedades dos agregados. A permanente evolução dos traços de concreto em direção de porcentagens cada vez maiores do teor de argamassa em detrimento da presença do agregado graúdo no concreto, de modo a produzir traços mais trabalháveis e bombeáveis, evidencia a importância da proporção do agregado no traço e as suas propriedades intrínsecas.

A potencialidade comercial dos agregados ante a grande produção de concreto entre outras utilizações justifica todos os esforços no sentido de seu aprimoramento.

Estudos da Universidade da Califórnia afirmam que o consumo mundial de concreto é de 6 bilhões toneladas/ano e de agregados de 3 bilhões toneladas/ano (Sbrighini Neto, 2005).

Os agregados possuem um consumo per capita mundial de 8,45 toneladas/habitante/ano. (Valverde, 2003).

No Brasil, a produção de agregados está próxima de 380 milhões de toneladas/ano, gerando aproximadamente 2,34 bilhões de reais/ano (Valverde, 2003).

Segundo este mesmo autor, a produção de areia no Brasil é de 187 milhões de toneladas/ano, gerando 913 milhões de reais, enquanto a brita 129 milhões de toneladas/ano, isto é, 1,1bilhões de reais. A produção concentra-se nas regiões sul e sudeste do Brasil.

Estes dados comprovam a relevância do tema estudado, pois ao final do trabalho, acredita-se que será possível indicar alternativas ao esgotamento das jazidas de areia, melhoria do desempenho do concreto e diminuição dos custos de produção.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

- Analisar comparativamente várias composições de concreto, com uso de dois tipos de areia de britagem basáltica lavada, originada das duas principais pedreiras fornecedoras e areia natural procedente da principal jazida que fornecem a região oeste do estado de Santa Catarina.

-Obtenção de ábacos de dosagem para concretos com diferentes proporções entre as areias, com substituição em volume aparente dos agregados, devido suas diferentes massas específicas, que determinadas experimentalmente permitam fornecer os parâmetros iniciais da mistura fresca do concreto (relação água-cimento, relação água/mistura seca, teor de agregado total e consumo de cimento por metro cúbico de concreto) com aplicação em misturas trabalháveis medidas pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test), de 80+ou-20mm, para diferentes resistências mecânicas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a morfologia e as características físicas e granulométricas dos agregados miúdos e graúdos utilizados nos concretos na região de Chapecó-SC.
- Verificar as composições granulométricas, forma e textura superficial das misturas em teste;
- Avaliar a resistência mecânica dos diferentes concretos obtidos;
- Propor medidas que permitam reduzir os custos de produção dos concretos;
- Apresentar alternativas que evitem ou minimizem o esgotamento de jazidas de areia.

2 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

2.1 Considerações iniciais

O concreto de cimento Portland é um produto resultante do endurecimento da mistura de cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo e água, adequadamente proporcionados.

Durante os últimos 30 anos, a ciência do concreto se desenvolveu acentuadamente. O concreto é, na verdade, fruto de uma tecnologia simples e uma ciência complexa que já começou a ser desvendada, mas ainda não em todos os seus detalhes. Atualmente, estudos em concreto são feitos utilizando técnicas sofisticadas de observação e medidas, de forma que o entendimento e o controle da tecnologia do concreto continuam se aperfeiçoando (AÍTCIN, 2000).

A heterogeneidade dos materiais que compõem os concretos e a complexidade do seu comportamento, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, representa sempre um desafio aos técnicos responsáveis pela elaboração e emprego dos concretos.

A tendência mundial é de que as estruturas se tornem cada vez maiores e mais complexas e os materiais terão que satisfazer as especificações de desempenho ainda mais rigorosas que as atuais. Inúmeras pesquisas estão em andamento para definir e desenvolver misturas de CAD (Concreto de Alto Desempenho) que apresentem, além da elevada trabalhabilidade, alta estabilidade dimensional, alta resistência e alta durabilidade. (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

2.2 Definição

O concreto de cimento Portland é um material composto por duas fases distintas: a pasta de cimento, composta de cimento portland e água, e os agregados. O cimento, ao entrar em contato com a água, desenvolve propriedades ligantes, como resultado da hidratação, e após algumas horas a mistura de solidifica tornando-se um material resistente a partir de seu endurecimento.

Todavia, o concreto moderno é mais do que uma simples mistura de cimento, água e agregados. Cada vez mais são utilizados componentes minerais, que conferem características específicas aos concretos, e aditivos químicos, que têm efeitos ainda mais específicos. (AÍTCIN, 2000).

Mehta; Monteiro (1994), quanto à resistência à compressão aos 28 dias, dividem o concreto em três categorias, como segue:

- Baixa resistência: resistência à compressão menor que 20 MPa;
- Resistência moderada: resistência à compressão de 20 MPa a 40 MPa;
- Alta resistência: resistência à compressão superior a 40 MPa;

2.3 Materiais constituintes do concreto

As propriedades dos concretos estão diretamente relacionadas com as características dos materiais que o constituem. Descreveremos a seguir estes materiais.

2.3.1 Cimento Portland

O emprego dos cimentos é bem antigo. Os antigos egípcios usavam gesso impuro calcinado. Os gregos e romanos usavam calcário calcinado e aprenderam, posteriormente, a misturar cal e água, areia e pedra fragmentada, tijolos ou telhas em cacos. Foi o primeiro concreto da História. (NEVILLE, 1997).

Todavia, somente em 1824 um pedreiro chamado Joseph Aspdin, patenteou o nome de “cimento portland”, numa referência a *portlandstone*, um tipo de rocha arenosa muito utilizada na Inglaterra na região de Portland.

O cimento portland é um material pulverulento constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre. Estes silicatos e aluminatos complexos, ao serem misturados com água, hidratam-se produzindo o endurecimento da massa, com elevada resistência mecânica. Resulta da moagem de um produto denominado clínquer, obtido pelo cozimento até a fusão incipiente (aproximadamente 30% de fase líquida) da mistura de calcário e argila convenientemente dosada e homogeneizada, de tal forma que toda a cal se combine com os compostos argilosos, sem que, depois do cozimento, resulte cal livre em quantidade prejudicial. Após a queima, é feita pequena adição de sulfato de cálcio, de modo que o teor de SO_3 não ultrapasse 3%, a fim de regularizar o tempo de início das reações do aglomerante com a água.

2.3.1.1 Composição química

As matérias primas utilizadas na fabricação do cimento Portland consistem principalmente de calcário, sílica, alumina e óxido de ferro, que reagem no interior do forno de produção de cimento dando origem ao clínquer, que os compostos principais são os seguintes:

silicato tricálcio	: 3 CaO.SiO ₂	abreviação	C ₃ S
silicato dicálcico	: 2 CaO.Si O ₂	abreviação	C ₂ S
aluminato tricálcico	: 3 CaO.Al ₂ O ₃	abreviação	C ₃ A
ferro aluminato tetracálcico:	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	abreviação	C ₄ AF

Estes compostos se formam no interior do forno quando a temperatura se eleva a ponto de transformar a “mistura crua” num líquido pastoso que, ao resfriar-se, dá origem a substâncias cristalinas, como ocorre com os três produtos acima citados, e a um material intersticial amorfo, o C₄AF, e a outros óxidos, compostos alcalinos e sulfatos.

Todos esses compostos têm a propriedade de reagir em presença de água, por hidrólise, dando origem então a compostos hidratados (AÏTCIN, 2000b).

As características principais destes compostos são descritas a seguir:

C_3S – é o principal composto do cimento Portland, sendo o responsável pela resistência inicial do cimento. Reage em poucas horas quando em contato com a água, liberando grande quantidade de calor na hidratação.

C_2S – Desenvolve baixo calor de hidratação, tendo pega lenta com fraca resistência até os 28 dias, aumentando rapidamente chegando a equivaler com a do C_3S no primeiro ano.

C_3A – Tem pega instantânea, desenvolvendo altíssimo calor de hidratação. Tem baixa resistência e não resiste à ação de águas sulfatadas. Estes inconvenientes fazem com que sua quantidade seja pequena. Entretanto, a presença da alumina é de fundamental importância por agir como fundente, facilitando a formação do clínquer a temperaturas mais baixas.

C_4AF – Tem pega rápida, baixa resistência, mas possui a vantagem do Fe_2O_3 funcionar como fundente e fixar parte da alumina melhorando o desempenho do cimento ao ataque de águas sulfatadas.

De maneira geral, pode-se dizer que as reações de hidratação dos aluminatos são responsáveis pelo enrijecimento (perda de fluidez) e pela pega (solidificação) da pasta de cimento, enquanto que os silicatos, que compõem aproximadamente 75% do cimento comum, são fundamentais no processo de endurecimento (taxa de desenvolvimento da resistência) da pasta (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

2.3.1.2 Finura do cimento

Além da composição, a finura do cimento também influencia grandemente a sua reação com a água. Uma vez que a hidratação se inicia na superfície das partículas, é a área da superfície do cimento que representa o material disponível para a hidratação. Conseqüentemente, quanto maior a finura do cimento maior a velocidade de hidratação e mais rápida a evolução da resistência, sem, no entanto, alterar a resistência a idades avançadas (NEVILLE, 1997).

2.3.1.3 Hidratação, pega e endurecimento do cimento

Pela grande complexidade das reações químicas que ocorrem na hidratação do cimento, seus pormenores ainda não são bem definidos, entretanto, abaixo segue uma breve descrição do mecanismo de hidratação do cimento dada por Vernet apud AÏTCIN (2000b).

a - Período da Mistura: Diferentes íons, liberados por diversas fases, entram em solução. Essa dissolução é muito rápida e de natureza exotérmica. A superfície dos grãos de cimento é parcialmente coberta com silicato de cálcio hidratado (C-S-H), formando a partir dos íons originados da fase silicato do clínquer, e, em quantidade maior, com etringita

(trissulfoaluminato de cálcio hidratado), formado pela combinação de íons da fase aluminato e das diferentes formas de sulfato de cálcio presentes no cimento.

b - Período Dormente: Redução da velocidade de dissolução da fase do clínquer devido ao aumento do pH e do teor de íons Ca^{++} na água de mistura. Grande desaceleração do fluxo térmico, mas sem parar. Forma-se pouca quantidade de C-S-H e, caso exista equilíbrio entre os íons de alumínio e sulfato, forma-se também, em pouca quantidade, etringita e aluminato de cálcio hidratado. A fase aquosa torna-se saturada de Ca^{++} , mas não existe precipitação de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, provavelmente pela sua baixa velocidade de formação. Alguns grãos de cimento se floculam neste período.

c - Início da Pega: A precipitação do óxido de cálcio, devido a falta de silicato na fase aquosa, ativa a ação de hidratação. O súbito consumo de íons Ca^{++} e OH^- acelera a dissolução de todos os componentes do cimento portland. O fluxo térmico cresce vagarosamente no princípio e acelera nos estágios finais. Normalmente, o início da pega se dá neste período, a menos que ocorra algum endurecimento da pasta devido ao desenvolvimento de agulhas de etringita e de algum C-S-H. As fases silicatos e aluminatos hidratados começam a criar ligações interpartículas, levando ao endurecimento progressivo da pasta.

d - Endurecimento: Na maioria dos cimentos portland, a quantidade de sulfato de cálcio presente não é suficiente para reagir com a fase aluminato, de tal maneira que, durante a pega, íons SO_4^- são totalmente consumidos na formação da etringita. Isso ocorre normalmente entre 9 e 15 horas após o início da mistura, quando a etringita torna-se uma fonte de sulfato para formar o monosulfoaluminato com a fase aluminato remanescente. Essa reação gera calor e acelera a hidratação das fases silicato.

e - Redução da Velocidade: Os grãos de cimento estão cobertos por uma camada de hidratos, que vai se tornando cada vez mais espessa, dificultando a chegada das moléculas de água às partes não hidratadas das partículas de cimento. A hidratação vai então reduzindo, pois é controlada predominantemente pela difusão das moléculas de água através das camadas de hidratos, e a pasta de cimento hidratada se parece com uma compacta pasta amorfa, conhecida como produto interno.

A hidratação do cimento portland para quando não há mais fase anidra (concreto de alta relação água/materiais cimentícios bem curado) ou quando a água não pode mais chegar às fases não hidratadas (sistemas muito densos e defloculados) ou, ainda quando não existe mais água disponível (relação água/materiais cimentícios muito baixa).

2.3.1.4 Tipos de cimento

De acordo com a NBR 5732 (1991), o cimento é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação de fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfatos de cálcio. Durante a moagem permite-se a adição de misturas de alguns materiais como: pozolanas, escórias granuladas de alto-forno e ou materiais carbonáticos, relacionados na tabela 1.

Tabela 1: Composições dos cimentos segundo a NBR 5732(1991)

Componentes % em massa						
Sigla	Nome	Classe	Clinker + sulfato de cálcio	Escória granulada de alto forno	Material pozolânico	Material carbonático
CPI	Comum	25, 32, 40	100	0		
CPI-S			99 – 95	1 – 5		
CPII-E	Composto	25, 32, 40	94 – 56	6 – 34	-	0 – 10
CPII-Z			94 – 76	-	6 – 14	0 – 10
CPII-F			94 – 90	-	-	6 – 10
CP III	Alto forno	25, 32, 40	65 – 25	35 – 70	-	0 – 5
CP IV	Pozolânico	25, 32	85 – 45	15 – 50	-	0 – 5
CP V ARI	Alta resistência inicial	-	100 – 95	-	-	0 – 5
CPB	Branco estrutural	25, 32, 40	100 – 75	-	-	0 – 5
CPB	Branco não estrutural	-	74 - 50	-	-	26 – 50

Fonte: Normas Brasileiras nº 5732 (1991), 11578(1991), 5735(1991), 5736 (1991), 5733 (1991) e 12989 (1993).

2.3.2 Agregados

2.3.2.1 Definição

É conhecido como agregado o material granular, com forma e volume variáveis, geralmente inerte e com dimensões e propriedades compatíveis para utilização na construção civil.

Segundo a norma NBR 7211 (2005), os agregados naturais são encontrados na natureza (areia, seixos) e artificiais os que são obtidos pela ação do homem através de processos industriais ou do rejeito destes.

Até pouco tempo atrás, o agregado era tido como um material granular inerte, disperso na pasta de cimento, utilizado principalmente por razões econômicas. Porém este conceito vem sendo reformulado e hoje se pode considerar o agregado como um material de construção ligado em um todo coesivo por meio de uma pasta de cimento. Na verdade, não se pode considerar o agregado um material inerte, pois suas propriedades físicas, térmicas e, às vezes também químicas têm influência no desempenho do concreto (NEVILLE, 1997).

O mesmo autor salienta que três quartos do volume do concreto são ocupados pelos agregados, sendo assim de considerável importância. Propriedades indesejáveis existentes nos agregados podem não apenas produzir um concreto pouco resistente, como também comprometer a durabilidade.

O concreto pode ser definido como pedra e pasta de cimento, sendo a pasta o elemento aglutinador das pedras. Existem muitos vazios entre as pedras para serem preenchidos apenas com a pasta de cimento. Por esta razão, utiliza-se o agregado miúdo (areia), para diminuir o consumo de cimento e água, o que em excesso é prejudicial ao concreto, pois provoca retração, além de comprometer a trabalhabilidade do concreto.

Para que o resultado obtido seja satisfatório, é necessário que as dimensões dos agregados sejam distribuídas gradualmente, promovendo o melhor aproveitamento do cimento, isto é, mantendo constante a resistência com o menor consumo de cimento possível, que é o insumo mais caro do concreto.

2.3.2.2 Classificação dos agregados

São agregados, as rochas britadas, os fragmentos rolados nos leitos dos cursos d'água e os materiais encontrados em jazidas, provenientes das alterações de rochas (areias).

São geralmente classificados como naturais aqueles, que já são encontrados na natureza sob a forma de agregados, utilizados sem outro beneficiamento que não sejam a lavagem e classificação granulométrica por peneiramento(ex: areias de rio, pedregulhos, areias de cava e seixos). Sendo os artificiais os que necessitam de um trabalho de afeiçoamento pela ação do homem a fim de chegar à situação de uso como agregado (ex: britas e pós-de-brita).

Contudo, a NBR 7211 (2005) classifica todos os tipos anteriormente citados como naturais, guardando a designação artificial aos obtidos por processos industriais e para aqueles originados a partir de materiais sintéticos tais como produtos ou rejeitos industriais. (PRUDÊNCIO JUNIOR, 2005).

Os agregados naturais são derivados de rochas existentes na crosta terrestre, que sujeitos ao intemperismo acabam sedimentando nos locais de formação, podendo ser transportados por correntes fluviais, marítimas, enxurradas e ventos fortes.

Os solos originados são diferenciados pela sua natureza e composição granulométrica, sendo argilosos quando compostos por argilominerais e granulometria bastante fina e arenosa quando granulometria estiver acima de 0,075 mm. Podem ainda ocorrer combinados como solos argilo-arenosos ou areno-argilosos.

2.3.2.3 Obtenção dos agregados naturais de britagem

Os agregados naturais de britagem obtidos através da redução de tamanho de pedras maiores por trituração em equipamentos mecânicos, serão objeto de melhor atenção e estudo neste trabalho.

A seqüência da operação de produção dos agregados naturais de britagem pode assim ser descrita:

a - Extração da rocha: retirada de blocos de grandes dimensões do maciço rochoso com a utilização de explosivos e carregadeiras mecânicas. Para tal, inicialmente é feita a remoção da capa de solo e rocha decomposta que recobrem o maciço de rocha sã. Esta operação, conhecida como decapagem, permite a posterior perfuração espaçada da rocha, sendo os furos preenchidos com explosivos, que quando detonados ocasionarão a fragmentação da rocha. As figuras abaixo mostram a encosta onde se realiza a lavra de brita e a perfuratriz realizando os furos para a malha de fogo.



Figura 1: Encosta e material do desmonte



Figura 2: Perfuração da malha de fogo

b – Fragmentação secundária: redução do tamanho dos blocos a dimensões adequadas para o britador primário. O desmonte origina na base da frente da lavra, um conjunto de blocos de rochas de volumes variáveis. Aqueles com volumes que não permitam sua carga nos britadores deverão ser perfurados novamente e submetidos à nova detonação (fogaço).

c - Transporte: os fragmentos são transportados por meio de correias ou por transporte rodoviário aos diversos britadores. As correias transportadoras estão disponíveis numa faixa completa de tamanhos (largura, comprimento e capacidade) variáveis. São projetadas sobre estrutura metálica dotada de roletes e com acionamento por conjunto moto-redutor banhado a óleo. Possuem também tremona para carregamento, guia do material, raspadores e limpadores de correias. Quando o transporte é rodoviário, efetua-se o carregamento dos fragmentos rochosos com pás carregadeiras em caminhões, que depositam o material em locais junto às instalações de britagem (praças de alimentação), para armazenagem temporária e alimentação dos britadores em horários específicos, ou transportam o material diretamente até os britadores primários.

d - Britador primário: reduz o tamanho dos fragmentos. Normalmente os britadores são de mandíbula, esmagando a pedra de encontro à superfície triturante fixa, por meio de superfície triturante de movimento alternado (mandíbula móvel). Na fragmentação dos matacões pode ou não ocorrer lavagem da pedra, para diminuição de material pulverulento durante a cominuição e classificação da rocha. No caso de ocorrer lavagem, as partículas menores são estritamente produzidas nas fases seguintes, sendo isentas de impurezas como matéria orgânica, dentre outras oriundas do capeamento. Quando não há a lavagem, é comum a separação de bica corrida após a primeira britagem, onde o material é enviado para ser comercializado sem qualquer classificação. Após a fragmentação no britador primário, há a formação de pilhas-pulmão, que alimentam os britadores secundários. As figuras seguintes mostram as vistas lateral e frontal de um britador primário e o seu abastecimento pelas pedras oriundas da fragmentação.



Figura 3: Vistas britador primário – Abastecimento de pedras

O material originado pelo britador primário é transportado pelas correias para uma pilha pulmão conforme figura 4. Este material, denominado rachão, será então encaminhado para a britagem secundária, que após passagem pelo primeiro conjunto de peneiras de classificação produzirão as pilhas pulmão de brita 3 e 4.



Figura 4: Correias transportadoras e pilhas pulmão

e - Britador secundário: Neste equipamento, geralmente os fragmentos são diminuídos até sua dimensão final. Podem ser empregados britadores de mandíbula, mas comumente são utilizados os de movimento contínuo, girosféricos, de rolo ou de martelo. Nos britadores girosféricos, a superfície triturante fixa é a superfície interna da cavidade cônica e a móvel é a parte externa do pinhão côncavo, que se afasta e se aproxima da cavidade cônica, devido a um excêntrico.

Nos britadores de rolo, a britagem é feita dois rolos separados de um pequeno intervalo que giram em sentidos contrários, podendo ter as superfícies lisas, corrugadas ou dentadas.

Nos britadores de martelo, o material é jogado por pás móveis contra a superfície interna do britador, dando-se no choque o fracionamento.

O transporte de brita entre os britadores e/ou rebitadores é feito, normalmente, por um sistema de correias transportadoras, sempre procurando aproveitar o desnível topográfico para economia na planta de beneficiamento. Para diminuir o pó em suspensão, gerado pela atividade de britagem, pode-se utilizar aspersores de água, instalados nas bocas dos britadores

e nas correias transportadoras. A figura 5 mostra, da direita para a esquerda, os britadores secundário, terciário e quaternário.



Figura 5: Britadores secundário (tipo mandíbula), terciário (tipo cone) e quaternário (tipo VSI).

f - Britador Terciário e Quaternário: os britadores terciário e quaternário são cônicos ou de impacto, sendo os de impacto vertical, atualmente utilizados na tentativa de reduzir a lamelaridade do agregado e da produção de finos.

O britador de impacto vertical pode receber material de 5 a 75 mm para capacidades de material passante de 8 a 250 ton/hora, e se mostrou excelente equipamento para a modulação da geometria dos agregados, produzindo partículas cúbicas regulares.

Possibilita ainda três alternativas operacionais. Pode atuar de maneira autógena com caixa de pedra, o chamado “pedra sobre pedra”, semi-autógena, com caixa de pedra alternada com câmara estática, e não autógena, somente com câmara estática. Seu rotor é montado em um eixo vertical, que girando em rotações apropriadas a cada aplicação, promove o arremesso do material que lhe é alimentado, através da força centrífuga. A alimentação é feita a partir de um chute regulador que direciona o material para o tubo de alimentação garantindo a centralização do fluxo de material ao entrar no rotor. No interior do rotor, um cone de distribuição dá fluidez e direciona o fluxo de material para os três canais de saída. Quando as partículas chegam aos canais internos do rotor são aceleradas e assim deslizam para um morto residual de material dentro do rotor até as aberturas de saída que são protegidas por pastilhas de carbureto de tungstênio. Estas partículas fluem continuamente em alta velocidade sendo arremessadas contra a câmara de britagem, formando o morto de material sobre onde se dará a redução efetiva das partículas.

Na trajetória para a câmara de britagem as partículas são envolvidas por um turbilhão de ar com partículas menores já produzidas na câmara de britagem. Devido ao formato ortogonal da câmara de britagem e como resultado da compactação de material em suas paredes cria-se um anteparo para o choque. As novas partículas que chegam colidem com as que estão na trajetória, e com as compactadas nas paredes da câmara bem como com as placas defletoras do rotor, sendo que estes impactos diretos e contínuos causam uma britagem fora da câmara aumentando assim o percentual de redução. Finalmente o material britado cai para o chute de descarga até o transportador de correia de saída.

No caso de rochas basálticas, existe uma tendência ao uso destes britadores giroesféricos de impacto vertical, conhecidos comercialmente como ciclone, tornado ou barmaq, que se caracterizam por britar rocha contra rocha o que torna os grãos dos agregados mais regulares

(menos lamelares) e aumentam a produção de material fino (abaixo de 4,8mm) e de pulverulento (inferior a 0,075mm).

g - Peneiramento: separa os grãos em tamanhos diferentes, classificando os materiais conforme exigências de norma ou comerciais. Podem ser cilíndricas rotativas, que são constituídas de chapas de aço perfuradas e enroladas em forma cilíndrica, com inclinação de 4 a 6 graus. O refugo sai pela parte de baixo e pode ser rebitado. A peneira é formada de várias seções, com diâmetro de furo crescente, da boca para a saída. Mais modernas, as peneiras planas vibratórias são formadas por caixilhos superpostos e possuem inclinação de 15 graus. As peneiras vibratórias ocorrem em forma de silos ou decks como apresenta a figura 6.



Figura 6: Peneiras vibratórias para classificação do material

h – Lavagem: realizada para remoção da quantidade excessiva de finos. A produção de areia industrial tem como matéria prima o material passante na peneira 4,8 mm denominado comercialmente como pó de brita. Este material que é resíduo do processo de produção de brita é coletado e conduzido, através de uma calha, para um sistema de eliminação do excesso de material pulverulento. O sistema é formado por um tanque dotado de uma roda d'água. Este tanque é alimentado continuamente com água, possui um extravasor que mantém o nível de água constante. A roda d'água possui câmaras cujo fundo é formado por telas de pequena abertura. O giro da água faz com que as câmaras capturem porções do material imerso que, ao elevarem-se acima do nível da água do tanque, permitem a drenagem através de peneiras sendo que no líquido drenado é eliminada parte do pó. A figura 7 mostra esta etapa do processo.

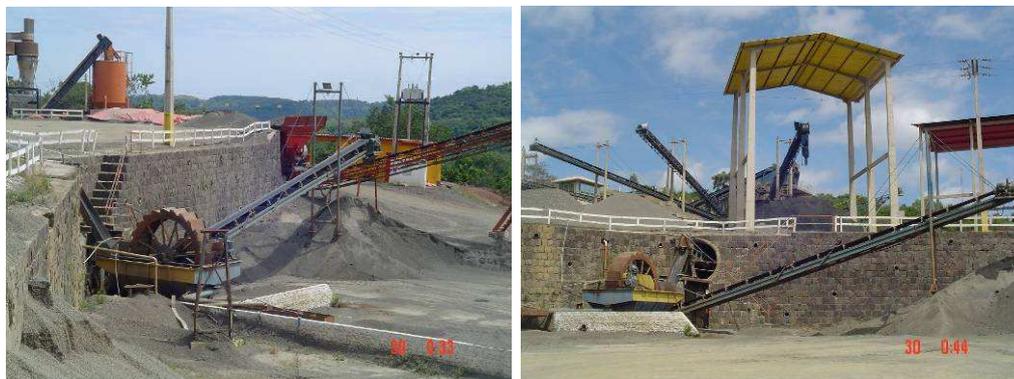


Figura 7: Lavagem pó de brita e obtenção da areia de britagem

Este equipamento, conhecido como desaguador rotativo, é a solução mais simples e econômica quando se quer classificar e ainda desaguar materiais sólidos em suspensão, isto é, finos até 0,074 mm. Sua concepção construtiva incorpora na caixa receptora, um sistema interno de sedimentação de baixa turbulência, ocasionado e controlado pela instalação progressiva de até 150 canaletas de drenagem dispostas em toda superfície superior, permitindo a degradação gradativa dos sólidos ao fundo da caixa, proporcionando controle preciso da faixa de corte desejado.

Uma roda incorporando caçambas recupera mediante seu lento movimento de giro, a fração sólida depositada no fundo do tanque e retira a água através de telas em tecido flexível de poliuretano, resistente ao desgaste, com fendas de abertura entre 1,6 mm e 0,8 mm de largura para materiais mais finos.

O processo de drenagem natural da água pela gravidade, é substancialmente acelerado pela ação de uma câmara de vácuo situada atrás de cada caçamba. O vácuo é criado naturalmente, a medida que a roda eleva cada caçamba acima do nível da polpa no tanque, sendo este mantido até que a borda inferior de cada deflector da região em depressão saia da água. Uma segunda câmara de vácuo, mais parecida com um longo tubo, atua independente na caçamba de coleta do material, eliminando a água de superfície. Este processo de desaguamento é eficiente a ponto de reduzir a umidade da polpa a faixa de 15% a 20% permitindo uma descarga e transporte por um transportador de correia inclinado.

Após o descarregamento do material desaguado, a caçamba continua seu movimento de entrada no tanque para iniciar novo ciclo, mediante o tampamento de algumas canaletas de drenagem. O operador pode controlar a velocidade ascendente de água no tanque e com isto ajustar a granulometria de corte desejado para uma aplicação específica. Reter os finos a 0,074 mm permitindo que estes se depositem e sejam recolhidos pela caçamba ou aumentar a velocidade de ascensão da água e eliminar os sólidos mais finos que 0,55mm ou qualquer outra dimensão intermediária.

O material remanescente das câmaras é basculado sobre uma calha que conduz a uma pilha. A água contaminada com o material pulverulento que sai continuamente do extravasor é conduzida a um tanque de sedimentação

i - Estocagem: os agregados vão para depósitos a céu aberto como mostra a figura 8, ou para silos para futura comercialização. A expedição é mecanizada ou automatizada sendo o transporte feito exclusivamente via frete.



Figura 8: Material armazenado para expedição

2.3.2.4 Obtenção da areia natural

A areia natural é quase sempre comercializada da forma que é extraída, passando apenas por grelhas fixas que separam as frações mais grossas (cascalho, pelotas, etc) e eventuais contaminantes (material orgânico, vegetação, etc), e por lavagem para retirada de argila. Segundo dados do DNPM 2002, no Brasil, 90% da areia natural de origem aluvial é extraída de leitos de rios e apenas 10% é extraída em cava seca, entretanto a dragagem em leitos de rio é uma prática em crescente desuso.

Os três métodos de obtenção da areia natural podem ser assim descritos:

a – cava seca: este método de cava seca da areia natural é empregado na lavra de depósitos de planície fluvial, formações sedimentares e mantos de alteração de rochas cristalinas. A extração é feita por desmonte hidráulico com a mina evoluindo para o formato de uma cava ou de talude irregular. Normalmente, esta operação é antecedida pelo decapeamento realizado com tratores de esteira e pás-carregadeiras.



Figura 9: Extração de areia natural de cava seca com equipamento mecânico.

As figuras 9 e 10 mostram a retirada da areia de cava pela utilização de equipamento mecânico, sendo o material transportado e descarregado no lavador para realização da classificação e lavagem.



Figura 10: Lavagem e peneiramento de areia natural de cava seca.

O cascalho e as pelotas de material são separados pelas peneiras do lavador e encaminhados para utilização em pavimentação entre outras utilizações, sendo as frações mais finas acondicionadas em canchas para secagem e expedição como representa a figura 11. A polpa, suspensão constituída de areia e água, proveniente da lavagem, ao ser encaminhada às canchas se acomoda da maior para a menor granulometria, sendo que os muito finos escoam em suspensão para uma bacia de decantação.



Figura 11: Expedição de cascalho e acomodação em canchas para secagem e expedição da areia de cava seca.

Em algumas regiões do Brasil as bancadas de areia são previamente desmontadas por jatos d'água de alta pressão, que incidem na base dos taludes da cava provocando desmoronamento dos sedimentos ou rochas alteradas. Outra operação de jateamento sobre o material desmoronado promove a desagregação dos sedimentos ou rochas e forma uma suspensão constituída por material sólido e água (polpa), que desce por gravidade até uma pequena bacia de acumulação. Posteriormente, o material segue para o beneficiamento e classificação.

b – cava submersa: a extração é realizada na base e nas paredes laterais de cava preenchida com água, sendo realizada por uma draga instalada sobre um barco e equipada com bombas centrífugas. Geralmente esta cava é formada por desvio dos rios, com material inconsolidado ou com pouca coesão. As bombas são acopladas à tubos condutores de água necessária à escavação, que servem também como meio de transporte da polpa para um peneiramento simples e estático realizado próximo às margens. Posteriormente a areia é encaminhada para armazenamento e expedição. As figuras 12 e 13 demonstram o processo.



Figura 12: Extração e peneiramento simples de areia de cava submersa.



Figura 13: Armazenamento e expedição de areia de cava submersa.

c – leito de rio: é efetuada pela dragagem dos sedimentos existentes nos leitos dos rios, em profundidades não muito grandes, através de bombas de sucção instaladas sobre barcas ou flutuadores. Estas bombas são acopladas às tubulações que efetuam o transporte da areia em forma de polpa até os silos. Devido ao elevado assoreamento e poluição dos rios, que também oneram a limpeza e seleção do material lavrado, este processo está gradativamente sendo abandonado nas principais regiões do país.

O beneficiamento da areia natural, para utilização nas construção civil, é um processo realizado concomitante à lavra e constitui-se de lavagem, peneiramento para classificação e secagem

A lavagem é uma operação de beneficiamento nos métodos de lavra seca e cava submersa, com movimentações sucessivas e lavagem da areia. Na lavra da cava seca, a lavagem é mais intensa e feita mediante o jateamento d'água na areia armazenada nos tanques de decantação, proveniente da caixa de acumulação.

A classificação dos produtos é iniciada por um peneiramento, com retirado do material mais grosso (pedrisco, cascalho, etc), em grelhas ou peneiras estáticas. O material é separado por classe granulométrica, em caixas de classificação e armazenamento, também conhecidas como silos, com o preenchimento gradativo das caixas por decantação, da direita para a esquerda e de baixo para cima. As primeiras recebem o material mais grosso, e assim sucessivamente, as caixas vão sendo preenchidas até restar a fração sobrenadante que é encaminhada para a bacia de decantação.

Os produtos finais são área grossa, média e fina, e a sua expedição é feita diretamente nos silos, ou são estocados em pilhas.

2.3.2.5 Características dos agregados

A NBR7211 (2005) exige que os agregados devam ser constituídos por grãos de minerais duros, compactos, duráveis e limpos. Não devem conter substâncias, de natureza e em quantidade, que possam afetar a hidratação do cimento ou dar origem a produtos expansivos. Devem apresentar, ainda, resistência à compressão superior a da pasta, boa forma e boa

gradação. Segundo Sbrighi Neto (2005), existe uma série de características importantes a serem estudadas na qualificação de agregados na produção do concreto:

2.3.2.6 Composição granulométrica

Os diferentes tamanhos de agregados no concreto se estendem de menos de um décimo a dezenas de milímetros de seção transversal. A distribuição destes tamanhos, denominada granulometria, permite a obtenção de concretos com diferentes características.

A distribuição dos grãos que constituem os agregados, geralmente expressas em termos de porcentagens individuais ou acumuladas retidas em cada uma das peneiras da chamada série normal ou intermediária que são definidas pela NBR 7211 (2005). Também como referência para avaliar a granulometria, geralmente analisa-se a dimensão máxima característica (agregado graúdo) e módulo de finura (agregado miúdo).

Conforme norma técnica citada acima.

[...] dimensão máxima característica é a grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado correspondente à abertura nominal, em mm, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa [...].

Da mesma forma o “[...] módulo de finura corresponde a soma das porcentagens retidas acumuladas, em massa, de um agregado, nas peneiras da serie normal, dividida por 100.” (NBR 7211, 2005).

A NBR7211 (2005) apresenta curvas de distribuição granulométrica correspondente à zona utilizável e zona ótima que especifica limites granulométricos dos agregados para concretos convencionais. Esta limitação tem diversas regiões, relacionadas principalmente com a influência na trabalhabilidade e no custo. Abaixo os limites recomendados pela norma supra citada.

Tabela 2: Limites granulométricos do agregado graúdo (NBR 7211, 2005).

% Ret. Acum. # (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada.				
	Zona granulométrica – d/D ¹				
	4,75 / 12,5	9,5 / 25	19 / 31,5	25 / 50	37,5 / 75
75	-	-	-	-	0 – 5
63	-	-	-	-	5 – 30
50	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25	-	0 – 5	5 – 25 ²	87 – 100	-
19	-	2 – 15 ²	65 ² - 95	95 – 100	-
12,5	0 – 5	40 ² - 65 ²	92 – 100	-	-
9,5	2 – 15 ²	80 ² - 100	95 – 100	-	-
6,3	40 – 65 ²	92 – 100	-	-	-
4,75	80 ² - 100	95 – 100	-	-	-
2,36	95 - 100	-	-	-	-

1) Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões de agregado graúdo

2) Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com ². Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2005).

Tabela 3: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

PENEIRA COM ABERTURA DE MALHA (NBR NMISO 3310-1)	PORCENTAGEM, EM MASSA, RETIDA ACUMULADA.			
	LIMITES INFERIORES		LIMITES SUPERIORES	
	ZONA UTILIZÁVEL(2)	Z. ÓTIMA(1)	Z. ÓTIMA(1)	ZONA UTILIZÁVEL(3)
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
350 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2005).

NOTAS:

- (1) Módulo de finura de zona ótima varia 2,2 a 2,9
- (2) Módulo de finura de zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20
- (3) Módulo de finura de zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50

Em geral, areias muito grossas podem produzir misturas de concreto ásperas e não muito trabalháveis, enquanto as muito finas aumentam o consumo de água e, conseqüentemente, o consumo de cimento para uma dada relação de água/cimento, sendo então anti-econômicas.

Assim, uma granulometria equilibrada produzirá misturas de concreto trabalháveis e econômicas, além do fato de proporcionar uma estrutura mais fechada da massa de concreto, o que diminui o volume de vazios e, por conseqüência, os espaços por onde podem penetrar os agentes agressivos ao concreto, na forma de líquidos, gases e vapores.(Sbrighi Neto-2005).

Recentemente a ABNT efetuou revisão na NBR 7211 (2005) com referência a especificação de agregados miúdos produzidos nas jazidas brasileiras. No que tange à questão especial da fração fina da britagem, esta norma destaca, em algumas definições e na alteração dos limites da quantidade de materiais pulverulentos (material abaixo de 75µm) permitida.

O mais interessante desta atualização, é que, para o material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem, constituído totalmente de grãos gerados durante a britagem de rocha, os valores podem ter seus limites alterados de 3% para 10% (para concreto submetido ao desgaste superficial) e de 5% para 12% (para o concreto protegido do desgaste superficial desde que seja possível comprovar por análise mineralógica, que os grãos constituintes não interferem nas propriedades do concreto).

2.3.2.7 Forma e textura superficial

A forma dos grãos e das partículas ou fragmentos que compõem os agregados para o concreto, influenciam as propriedades do concreto no estado fresco. Comparando-se as partículas arredondadas e lisas, com as angulosas ou alongadas e ásperas, nota-se, em geral, a

necessidade de aumento da quantidade de massa de cimento, o que aumenta seu custo de produção.

Os agregados de origem eólica caracterizam-se pela forma extremamente arredondada e textura superficial lisa. Quando usados nos traços de concreto, proporcionam uma diminuição no consumo de água induzindo um ganho de trabalhabilidade em função destas características.

Por outro lado, a textura muito lisa, especialmente dos agregados graúdos, pode conduzir a uma menor aderência entre a pasta de cimento e a superfície do agregado, prejudicando a resistência à tração do concreto.

Os agregados britados são conhecidos pela angulosidade de sua forma e pela aspereza de sua superfície, devendo ser seu traço estudado rigorosamente para otimizar seu desempenho.

As normas atuais contemplam apenas a forma geométrica dos grãos dos agregados graúdos devido a predominância do uso de agregados miúdos de jazidas naturais. Entretanto, com o uso crescente das areias de britagem, a determinação desta propriedade para os agregados miúdos passa a ser extremamente relevante. Os grãos podem ser arredondados, como o dos seixos, ou de forma angular e de arestas vivas com faces mais ou menos planas, como os da pedra britada. Atualmente existem máquinas que arredondam os grãos angulosos, sendo o custo da operação compensado pela menor quantidade de pasta de cimento e/ou relação água/cimento mais baixa. (PRUDÊNCIO JUNIOR, 2005).

Segundo este mesmo autor, a melhor forma para os agregados graúdos é a que se aproxima da esfera, para o seixo, e a do cubo, com as três dimensões espaciais de mesma ordem de grandeza, para as britas.

Convenciona-se denominar:

Comprimento (C): distância entre dois planos paralelos que possam conter o agregado em sua maior dimensão.

Largura (L): diâmetro da menor abertura circular, através da qual o agregado possa passar.

Espessura (E): distância mínima entre dois planos paralelos que possam conter o agregado.

Quanto às dimensões dos grãos classificam-se em normais ou lamelares, sendo:

Normais: todas as dimensões têm a mesma ordem de grandeza:

$$C / L < 2 \text{ e } L / E < 2$$

Lamelares: quando existe uma grande variação de grandeza de uma ou mais dimensões. Poderão ainda, serem considerados como *Alongados*, quando o comprimento for muito maior que as outras duas dimensões que são de mesma ordem de grandeza, ou *Discóides ou Quadráticos*, quando a espessura é muito menor que as outras dimensões, que por sua vez se equivalem, ou ainda *Planos*, as três dimensões diferem muito entre si.

Quanto às arestas, cantos e faces, os grãos podem ser:

Normais: que são divididos em *Angulosos*, quando com arestas vivas, cantos angulosos e faces planas e, *Arredondados*, quando com cantos arredondados, faces convexas e sem arestas.

Irregulares: também divididos em *Grão Conchoidal*, quando apresenta uma ou mais faces côncavas e *Grão Defeituoso*, quando apresenta partes com secções delgadas ou enfraquecidas em relação à forma geral do agregado.

A forma dos grãos é caracterizada, segundo a norma francesa AFNOR P-18-301, por um coeficiente (c) dado por:

$$c = V_{ap} / (\pi d^3 / 6) \quad \text{Eq.(01)}$$

Este coeficiente representa a razão entre o volume de um grão e o da esfera que o circunscrive, sendo o coeficiente volumétrico médio de uma amostra de 250g representativa daquele agregado definido por:

$$c = V_{ap} / (\pi C^3 / 6) \quad \text{Eq.(02)}$$

sendo:

V_{ap} = volume aparente da amostra determinado em balança hidrostática.

C = maior dimensão do grão medida com paquímetro.

A norma NBR 7211 (2005) especifica que os agregados para concreto tenham, em média, uma relação entre o comprimento e a espessura do grão inferior a três, quando determinada segundo a NBR 7809 (1983). Esta norma diz que devem ser ensaiados 200 grãos divididos em grupos, separados em ensaio de peneiramento. O número de grãos por grupo é proporcional à porcentagem retida na respectiva peneira e devem ser obtidos aleatoriamente. O índice de forma será a média da relação comprimento/espessura obtida em cada um dos grãos.

A determinação do coeficiente volumétrico dos agregados miúdos da forma estabelecida para os graúdos é inviável pela impossibilidade de medições diretas de suas dimensões. Alguns estudos estão sendo desenvolvidos com técnicas de medições de imagens digitais.

2.3.2.8 Resistência mecânica

Pode-se considerar que a resistência à compressão, à abrasão e o módulo de deformação são propriedades interligadas e são muito influenciadas pela porosidade do agregado. Normalmente, os agregados usados na produção de concreto têm resistência mecânica muito superior à do próprio concreto. O concreto de módulo de deformação superior à 30 GPa exige rigorosa seleção dos agregados, principalmente o graúdo.

É obrigatória a escolha de agregados derivados de rochas densas e com alta resistência mecânica.

2.3.2.9 Absorção e umidade superficial

O agregado pode ser usado na produção de concreto em diversas condições de umidade. Quando todos os poros estão preenchidos e não há uma película de água na superfície, diz-se que o agregado está na condição de saturado com superfície seca (SSS); se estiver saturado e houver umidade livre na superfície, o agregado estará na condição saturada.

Quando toda água evaporável for removida por aquecimento a 100 graus Celsius em estufa, diz-se que está na *condição seco em estufa*. Quando colocado no ar e entrar em equilíbrio com a umidade do ambiente, estará em *condição seco ao ar*.

A capacidade de absorção é definida como a quantidade total de água requerida para levar o agregado da condição seca em estufa para a condição SSS.

A absorção efetiva é definida como a quantidade de água requerida para levar o agregado da condição de seco ao ar, para a condição SSS.

A umidade superficial é definida como a quantidade de água presente no agregado além daquela requerida para alcançar a condição SSS.

Os dados de absorção, absorção efetiva e umidade superficial são necessários para a correção da proporção de água no traço do concreto em misturas realizadas a partir de materiais estocados sujeitos a variações climáticas ou mesmo variações de umidade reativas ao ar.

Geralmente, as rochas de boa qualidade usadas como agregado para concreto apresentam valores de absorção muito baixos (até 1%).

2.3.2.10 Isenção de substâncias nocivas

As substâncias nocivas podem ser de diversos tipos, abaixo descritos: impurezas de origem orgânica; torrões de argila e materiais friáveis; material pulverulento; minerais álcali-reativos; impurezas salinas, resíduos industriais.

As impurezas de origem orgânica na forma de húmus ou fragmentos vegetais carbonizados ou não, podem interferir nas reações de hidratação do cimento. Os limites máximos no agregado miúdo são estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT,2005) em 0,5%, em massa, para o concreto aparente, e em 1% para os demais concretos.

Nas tabelas 4 e 5, transcritas da NBR 7211 (ABNT,2005), apresenta-se as quantidades de substâncias nocivas nos agregados miúdo e graúdo.

Tabela 4: Limites aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material.

Determinação		Método de ensaio	Quantidade máxima relativa à massa do agregado miúdo %
Torrões de argila e materiais friáveis		NBR 7218	3
Materiais carbonosos ¹	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1
Material fino que passa através da peneira 75µm por lavagem (material pulverulento)	NBR NM 46	Concreto submetido a desgaste superficial	3
		Concretos protegidos do desgaste superficial	5
Impurezas orgânicas ²	NBR NM 49		A solução obtida no ensaio deve ser mais clara do que a solução-padrão
	NBR 7221	Diferença máxima aceitável entre os resultados de resistência à compressão comparativos	10%

¹ Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante a apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação dos materiais carbonosos (ASTM C 123).

² Quando a coloração da solução obtida no ensaio for mais escura do que a solução-padrão, a utilização do agregado miúdo deve ser estabelecida pelo ensaio previsto na NBR 7221.

Tabela 5: Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação à massa do material.

Determinação		Método de ensaio	Quantidade máxima relativa à massa do agregado graúdo %
Torrões de argila e materiais friáveis	NBR 7218	Concreto aparente	1
		Concreto sujeito a desgaste superficial	2
		Outros concretos	3
Materiais carbonosos ¹	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1
Material fino que passa através da peneira 75µm por lavagem (material pulverulento) ^{2 3}		NBR NM 46	1

¹ Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante a apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação dos materiais carbonosos (ASTM C 123).

² Para agregados produzidos a partir de rochas com absorção de água inferior a 1%, determinados conforme a NBR NM 53, o limite de material fino pode ser alterado de 1% para 2%.

³ Para agregado total, definido conforme 3.6, o limite de material fino pode ser composto até 6,5%, desde que seja possível comprovar, por apreciação petrográfica, realizada de acordo com a NBR 7389, que os grãos constituintes não interferem nas propriedades do concreto. São exemplos de materiais inadequados os materiais micáceos, ferruginosos e argilo-minerais expansivos.

As causas das influências dos agregados nas propriedades dos concretos estão relacionadas com a composição mineralógica e com as condições de exposição prévia da rocha matriz. Também os tipos de operação e equipamentos usados na produção do agregado possuem influência neste sentido.

Resumidamente, pode-se afirmar que a influência das características dos agregados nas propriedades dos concretos relacionam-se com a dosagem através da massa específica, composição granulométrica e teor de umidade. No concreto fresco com a porosidade, granulometria, forma e textura superficial dos grãos. No concreto endurecido com o limite de resistência mecânica, resistência à abrasão, estabilidade dimensional e durabilidade.

2.3.3 Água

De acordo com Mehta; Monteiro (1994), via de regra, uma água imprópria para beber não é necessariamente imprópria para o amassamento do concreto. Do ponto de vista de resistência do concreto, água ácida, alcalina, salgada, salobra, colorida ou com mau cheiro não deve ser rejeitada imediatamente. Isto é importante, porque as águas recicladas da mineração e várias outras operações industriais podem ser usadas seguramente como água de amassamento para o concreto. O melhor método para determinar a aptidão de uma água de desempenho desconhecido para o preparo do concreto é comparar o tempo de pega do cimento e a resistência de corpos-de-prova de argamassa feitos com água desconhecida e uma água limpa.

Segundo Neville (1997), impurezas contidas na água podem influenciar negativamente, a resistência do concreto, causar manchas em sua superfície, ou ainda, resultar em corrosão da armadura. Por estas razões, deve-se dar atenção à qualidade da água para amassamento e pra cura do concreto. Por via de regra a água deverá ter pH de 6,0 a 9,0.

2.3.4 Outros componentes

Fortes (1995) salienta que, em decorrência do avanço tecnológico e de novas exigências atribuídas ao concreto, são adicionados aditivos aos seus materiais básicos (cimento, agregados e água). As finalidades para as quais eles são utilizados, incluem melhoria da trabalhabilidade, aceleração ou retardo do tempo de pega, controle de resistência e outras.

Ainda que os aditivos não sejam materiais de baixo custo, seu emprego nem sempre representa um maior custo na produção do concreto, pois podem promover economias, tais como menor custo de adensamento, possibilidade de redução do teor de cimento e aumento da vida útil. (NEVILLE, 1997).

A NBR 11768 (1992) define os aditivos como “produtos que, adicionados em pequena quantidade a concretos e argamassas de cimento portland, modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições”. A mesma norma classifica os aditivos para concreto como:

a - Aditivos Plastificantes (tipo P): produto que aumenta o índice de consistência do concreto mantida a quantidade de água de amassamento;

b - Aditivo Retardador (tipo R): produto que aumenta os tempos de início e final de pega dos concretos;

c - Aditivo Acelerador (tipo A): produto que diminui os tempos de início e fim de pega do concreto, bem como acelera o desenvolvimento das suas resistências iniciais;

d - Aditivo Plastificante Retardador (tipo PR): produto que combina os efeitos dos aditivos plastificantes e retardador;

e - Aditivo Plastificante Acelerador (tipo PA): produto que combina os efeitos dos aditivos plastificantes e acelerador;

f - Aditivos Incorporadores de Ar (tipo IAR): produto que incorpora pequenas bolhas de ar no concreto;

g - Aditivo Superplastificante (tipo SP): produto que aumenta o índice de consistência do concreto mantida a quantidade de água de amassamento;

h - Aditivo Superplastificante Retardador (tipo SPR): produto que combina os efeitos dos aditivos superplastificantes e retardador;

i - Aditivo Superplastificante Acelerador (tipo SPA): produto que combina os efeitos dos aditivos superplastificantes e acelerador.

No presente trabalho, por ter sido empregado um tipo de aditivo classificado comercialmente como polifuncional, da família dos plastificantes, será feita uma breve descrição do seu modo de ação e características conferidas por ele ao concreto.

2.3.4.1 Aditivos plastificantes

As propriedades mecânicas do concreto estão, diretamente relacionadas com a porosidade da matriz de cimento. Quando estes poros são conectados, a permeabilidade da água e outras substâncias no interior do concreto é muito facilitada, reduzindo a durabilidade do material.

Para a hidratação do cimento portland se completar são necessários aproximadamente 30% em massa de água (JOLICOEUR et al., 2003). Toda água que excede este teor resultará em correspondente porosidade na matriz do concreto. Portanto, a importância do uso de aditivos redutores de água torna-se evidente, uma vez que permite o alcance da trabalhabilidade desejada, permitindo melhoria na porosidade da matriz do concreto pela redução da quantidade de água.

2.3.4.1.1 Definição

Os polímeros derivados da lignina ou lignossulfatos foram os primeiros materiais utilizados como redutores de água. Apresentam uma capacidade de redução de água de 5 a 12% e baixo custo por serem derivados de um sub-produto da indústria de celulose e papel.

Também são fabricados a partir de ácidos hidroxicarboxílicos e gluconatos. São normalmente denominados plastificantes.

Os aditivos plastificantes são polímeros orgânicos usados para: produzir concretos com maior resistência por meio da redução do teor de água; obter uma resistência específica para um consumo de cimento menor; ou, aumentar o abatimento sem alterar o conteúdo de água. São muito úteis quando o lançamento é feito por bomba de concreto (ACI 212.3R-91).

Estes aditivos apresentam alguns efeitos colaterais, como retardo de pega e incorporação de ar, o que limita a dosagem destes aditivos. Normalmente a dosagem ótima gira em torno de 0,3 a 0,5% de material líquido em relação a massa de cimento.

A maioria dos fabricantes no Brasil tem lançado no mercado alguns aditivos plastificantes que podem ter como base química lignossulfonatos com menos impurezas, ou ainda, ter em sua formulação combinações destes sub-produtos com outros agentes químicos, chamados polifuncionais. Estes aditivos, caracterizados pelo seu médio desempenho, estão entre os plastificantes convencionais e os superplastificantes. A baixa quantidade de impurezas ameniza os efeitos colaterais citados anteriormente. Sua dosagem pode chegar a chegar a 1,2% de material líquido em relação a massa de cimento.

2.3.4.1.2 Modo de ação

As partículas de cimento têm uma forte tendência a flocularem quando misturadas com a água. Essa tendência resulta de diversos tipos de interações: forças de van der Waals entre as partículas, interações eletrostáticas entre as partes carregadas com cargas opostas e fortes interações envolvendo moléculas de água ou hidratos. (AÏTCIN et al., 1994).

Os principais componentes ativos dos plastificantes são tensoativos que se concentram na interface entre duas fases não miscíveis, alterando as forças físico-químicas atuantes nesta interface. Essas moléculas se adsorvem nas superfícies dos grãos de cimento, conferindo a eles uma carga elétrica negativa, pela presença dos grupos SO_3^- . Esta carga gera uma repulsão eletrostática entre as partículas vizinhas de cimento, promovendo defloculação e dispersão destas partículas. (JOLICOEUR; SIMARD, 1998).

Quando as partículas de cimento se encontram em estado floculado, existem partes que, por estarem em contato com água, não estão disponíveis para serem hidratadas. Além disso, parte da água de mistura fica aprisionada no interior destes flocos. Como resultado da ação dispersiva e defloculante do aditivo plastificante, se tem maior superfície livre de cimento e maior quantidade de água disponível para hidratação. (AÏTCIN apud SPONHOLZ, 1998; RAMACHANDRAN et al., 1998).

As substâncias tensoativas reduzem a tensão superficial da água, contribuindo para a fluidez da mistura. (AÏTCIN et al., 1994).

A ação do aditivo plastificante tem, também, algum efeito da dispersão do ar na água, o que pode levar a um efeito secundário de incorporação de ar, principalmente os que têm lignossulfonato como agente. (NEVILLE, 1997).

Para se determinar qual o tipo e o teor ideal de aditivos necessários para se otimizarem as propriedades do concreto, devem ser feitas misturas experimentais com os materiais que serão

efetivamente utilizados na obra uma vez que a eficiência do aditivo está diretamente relacionada ao tipo e teor de cimento, teor de água, tipo e teor de agregado, presença de materiais cimentícios suplementares e temperatura. (MAILVAGANAM, 1999).

2.3.4.1.3 Efeitos no concreto

Os lignossulfonatos e os ácidos e os ácidos hidroxí-carboxílicos, em dosagens elevadas, podem retardar o tempo de pega em 1 a 3 horas quando usados em temperaturas entre 18 e 38° (ACI 212.3R-91).

Este efeito decorre da variação na composição destes aditivos, principalmente dos lignossulfonatos que, por serem sub-produtos, se torna difícil a remoção completa de açúcares e outras impurezas e estes compostos interferem no processo de hidratação do cimento, inibindo a nucleação e o crescimento dos produtos de hidratação. (JOLICOEUR et al., 2003).

Com a dispersão dos grãos de cimento expõe maior superfície à hidratação, a velocidade de reação é acelerada nas primeiras idades e existe alteração da natureza dos produtos hidratados. (COLLEPARDI; MAILVAGANAM, 1999). Devido à melhoria do processo de hidratação, há um aumento de resistência quando se utiliza aditivo plastificante, independente da melhora obtida pela redução da relação a/c. (ACI 212.3R-91).

2.3.4.1.4 Método de adição

Para um aditivo plastificante, um atraso de apenas 29 segundos após o contato da água com o cimento melhora seu desempenho. (NEVILLE, 1997). Outros autores sugerem que um atraso de 1 ou 2 minutos para a adição do aditivo e, que bons resultados podem ser obtidos com a adição do aditivo ao final do período de mistura do cimento, agregados e água, ou adição.

2.3.5 Propriedades do concreto

2.3.5.1 Concreto fresco

O período em que a mistura apresenta consistência plástica é definido como estado fresco do concreto. Existem duas razões principais que revelam a importância de se controlar as propriedades do concreto neste estado. Uma delas é que o concreto deve ser facilmente lançado e a outra é que, quando as propriedades no estado fresco estão sob controle, provavelmente no estado endurecido se terá um material com as propriedades também de acordo com o desejado. (AÏTCIN, 2000b).

a - Trabalhabilidade

A trabalhabilidade do concreto está relacionada ao esforço para manipular uma quantidade de concreto com uma perda mínima de homogeneidade (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Segundo Prudêncio Jr. (2005), a trabalhabilidade é a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor aptidão para ser empregado com determinada finalidade, sem perda de homogeneidade. Na abordagem da trabalhabilidade deve-se avaliar os fatores internos que caracterizam a reologia do concreto. Estes fatores são a consistência (oposto da fluidez) e coesão (oposto de segregação). A consistência é função da quantidade de água adicionada ao concreto, ou da presença de alguns tipos de aditivos (plastificantes e superplastificantes). A coesão é a propriedade que reflete a capacidade do concreto de manter sua homogeneidade durante o processo de adensamento, sendo função da quantidade de finos presente na mistura, da presença de alguns tipos de aditivos (promotores de viscosidade, por exemplo) bem como da granulometria dos agregados graúdo e miúdo e da proporção entre eles.

Neville (1997), comenta que não existe um ensaio aceitável que determine diretamente a trabalhabilidade. Têm sido realizadas inúmeras tentativas para correlacionar a trabalhabilidade com alguma grandeza física, fácil de ser determinada. Entretanto, todas as tentativas têm limitações por não conseguir introduzir todas as variáveis no fenômeno embora possam proporcionar informações úteis.

Assim, a maioria dos métodos conhecidos para medir a trabalhabilidade, na verdade restringem-se a medir a consistência e se baseiam na medida da deformação causada a uma massa de concreto fresco, pela aplicação de força ou energia determinada.

No Brasil, a consistência do concreto fresco é usualmente avaliada pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test) criado por Abrams e descrito pela NBR NM 67 (1998) da ABNT.

O ensaio consiste em encher-se uma forma metálica tronco cônica de diâmetro superior de 10cm, inferior de 20 cm e altura de 30 cm, com uma massa de concreto, em três camadas de alturas aproximadamente iguais, adensadas cada uma com 25 golpes com uma barra de 16mm de diâmetro. Logo após, retira-se lentamente o molde (5 a 10s), verticalmente, e determina-se a diferença entre a altura do molde e da massa de concreto, depois de assentada.

Apesar de ser um método prático, rápido e de uso fácil tanto em canteiro quanto em laboratório, este método apresenta, segundo Neville (1997), restrições para concretos secos ou pobres. Além disso, este ensaio não avalia a facilidade de adensamento do concreto, não refletindo as condições da mistura quando está submetida a condições dinâmicas (vibração, acabamento, bombeamento). Apesar destas restrições, este autor recomenda o uso em canteiro uma vez que este ensaio pode mostrar variações circunstanciais na mistura causadas, por exemplo, por variações de materiais ou na relação água/materiais secos. A figura 14 mostra algumas formas características de abatimento do concreto fresco em função do tipo de mistura.

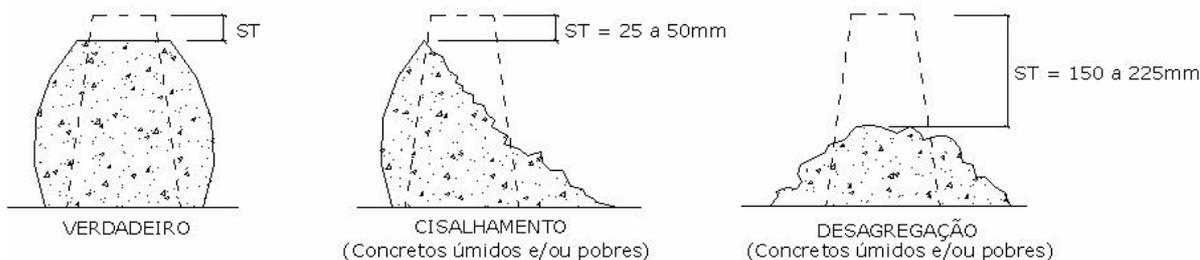


Figura 14: Formas de abatimento do concreto fresco.
Fonte: Neville (1997).

b – Massa específica

A massa específica do concreto fresco pode ser um parâmetro importante para, entre outras coisas, avaliar indiretamente o teor de ar incorporado/aprisionado no material. Este teor, se elevado, pode levar a reduções significativas na resistência do concreto. (PRUDÊNCIO JUNIOR., 2005).

A massa específica do concreto (γ) pode ser determinada através de um ensaio bastante simples. Basta preencher um recipiente indeformável de volume conhecido com concreto, adensando-o em condições similares a obra. A razão entre a massa do concreto e o volume de recipiente fornecerá o valor de γ .

c – Segregação e exsudação

Segregação é a separação dos constituintes do concreto fresco de modo que sua distribuição deixa de ser uniforme. As principais causas da segregação, além do excesso de água, são as diferenças de tamanho das partículas e das massas específicas dos constituintes da mistura e dos métodos impróprios de manuseio e adensamento. (RAMACHANDRAN; FELDMAN, 1984).

Outra forma de segregação, a exsudação, é a separação da água do concreto, onde parte da água de mistura tende a subir para a superfície de um concreto recém aplicado. É resultado do fato que os constituintes sólidos da mistura são incapazes de reter a água quando tendem a descer, pois, de todos os constituintes, a água é a que tem a menor massa específica. (NEVILLE, 1997). Este mesmo autor afirma que a exsudação pode causar o enfraquecimento da aderência pasta agregado e parte da armadura, além de aumentar a permeabilidade e formação de nata de cimento sobre a superfície de concreto.

Obviamente, o simples excesso de água de amassamento na elaboração do concreto poderá ocasionar a segregação do mesmo.

2.3.5.2 Concreto endurecido

De acordo com Mehta; Monteiro (1994), a escolha de um material de engenharia, para uma aplicação específica, deve levar em conta a sua capacidade de resistir a uma força aplicada. Tradicionalmente, a deformação decorrente de cargas aplicadas é expressa em deformação específica, definida como a mudança do comprimento por unidade de comprimento. A carga é expressa em tensão, definida como a força por unidade de área.

a - Resistência do concreto

Neville (1997), define a aderência entre o agregado e a pasta de cimento como um importante fator da resistência do concreto, especialmente da resistência a flexão. A natureza desta aderência ainda não é bem conhecida. A aderência é devida, em parte, ao intertravamento do agregado e da pasta de cimento hidratada, propiciada pela aspereza da superfície das partículas de agregado. Uma superfície mais áspera resulta numa melhor aderência, devido ao intertravamento mecânico. É muito difícil a determinação da qualidade da aderência do agregado. Quando a aderência é boa, o corpo de prova rompido deverá apresentar algumas partículas de agregado rompidas, porém, se a quantidade de partículas rompidas foi muito grande, pode significar baixa resistência do concreto.

Segundo Mehta (1996), na dosagem do concreto e no controle de qualidade, a resistência à compressão axial é geralmente a única propriedade especificada porque sua determinação é relativamente simples e também porque se assume que as outras propriedades do concreto, como módulo de elasticidade, impermeabilidade e durabilidade, estão diretamente relacionadas com a resistência e, portanto, podem ser deduzidas a partir desta. A resistência à compressão axial, por ser maior que os outros tipos de resistência, é aceita universalmente como um índice geral de resistência do concreto.

Mehta; Monteiro (1994), entendem o concreto como um material complexo para o prognóstico da resistência, uma vez que esta propriedade está intimamente ligada à porosidade da matriz de cimento e a porosidade da zona de transição entre cimento e agregado.

Para Helene; Terzian (1993), vários são os fatores que podem interferir na resistência a compressão do concreto, dentre os quais relacionam a heterogeneidade dos materiais (cimento, água e aditivos), a variabilidade do proporcionamento destes materiais, a qualidade e operação dos equipamentos de dosagem e mistura e as eficiências das operações de ensaio e controle.

Segundo Neville (1997), quando um concreto está plenamente adensado, considera-se sua resistência como inversamente proporcional à relação água/cimento. Esta relação foi denominada “*Lei de Abrams*”. Na realidade, uma regra, estabelecida por *Duff Abrams* no ano de 1918.

$$f_{cf} = A / B^{a/c} \quad \text{Eq.(3)}$$

onde a/c representa a relação água/cimento da mistura e A e B são constantes empíricas.

Deve ser lembrado que a relação água/cimento determina a porosidade da pasta de cimento endurecida em qualquer estágio da hidratação. Assim, tanto a relação água/cimento quanto o adensamento, tem influência sobre o volume de vazios do concreto.

O mesmo autor afirma que a resistência para qualquer relação água/cimento depende do grau de hidratação do cimento, de propriedades físicas e químicas, da temperatura, do teor de ar incorporado ao concreto e, também das variações da relação água/cimento efetiva e da fissuração devido à exsudação.

Mehta; Monteiro (1994), observam que sob condições padrões de cura, a uma dada relação água/cimento e a pequenas idades (até 90 dias), diferentes tipos de cimentos apresentam diferentes graus de hidratação, conseqüentemente, apresentarão diferentes níveis de porosidade da massa endurecida. Também algumas características dos agregados como o tamanho, forma, textura da superfície, distribuição granulométrica e a mineralogia influem na resistência do concreto, por alterações na relação água/cimento e na zona de transição. Também o aditivo incorporador de ar diminui a resistência.

A cura do concreto é descrita pelos mesmos autores como “... procedimentos destinados a promover a hidratação do cimento, consistindo no controle do tempo, temperatura e condições de umidade, imediatamente após a colocação do concreto nas formas”. Para Levy; Helene (1996) a deficiência na cura do concreto significa reduções na resistência à compressão, sendo que o efeito disso poderá ser sentido na durabilidade do concreto, especialmente nas peças esbeltas confeccionadas com concretos com relação água/cimento elevada. Com relação ao tempo de cura, sugerem que os procedimentos de cura do concreto, utilizando a molhagem das peças, sejam mantidos no mínimo por dez dias consecutivos.

A resistência à compressão é um parâmetro que aponta para a aceitação ou rejeição de uma estrutura de concreto armado. Este parâmetro, no entanto, é avaliado por meio de corpos de prova obtidos de amostras de concreto fresco, estando sujeito às variações decorrentes das etapas do processo de coleta, moldagem, dentre outros. É a resistência potencial do concreto.

A igualdade entre a resistência potencial e a real, segundo Helene; Terzian (1993), nunca poderá ser obtida, dada à independência entre as operações de execução da estrutura e as operações de ensaio e controle.

A NBR 5739 (1994) prescreve o método pelo qual devem ser ensaiados à compressão dos corpos-de-prova, cilíndricos de concreto moldados, conforme o procedimento da NBR 5738 (1994).

b - Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade é obtido pela razão entre o gradiente de tensão aplicado e o respectivo gradiente de deformação específica. Como o concreto não é um material perfeitamente elástico, na determinação do módulo de elasticidade convencionou-se determinar estes gradientes em dois níveis de tensão pré-definidos: 0,5 MPa e 35% da tensão média de ruptura do material (módulo secante). (PRUDÊNCIO JUNIOR, 2005).

c - Permeabilidade e absorção

Permeabilidade é a possibilidade que tem um material de se deixar atravessar por um fluido (líquido ou gás) como consequência de uma diferença de pressão, entre as duas faces. A permeabilidade de uma amostra de material calcula-se medindo a quantidade de água que filtrou durante um certo tempo, sob pressão constante.

Por sua própria constituição o concreto é um material poroso, pois é quase sempre necessário utilizar uma quantidade de água superior a que se precisa para hidratar o aglomerante e está água, ao evaporar deixa vazios no concreto. Também a incorporação de ar na massa durante o amassamento do concreto e a diminuição dos volumes absolutos do cimento e da água após as combinações químicas contribuem para a porosidade. (PRUDÊNCIO JUNIOR, 2005).

Segundo este mesmo autor, baixas relações água/cimento, substituição parcial do cimento por pozolanas e a utilização de agregados com um teor maior de finos contribuem na obtenção de concretos com baixa absorção e permeabilidade.

d - Porosidade

É a relação entre o volume ocupado pelos vazios e poros com o volume total do concreto. Pode ser fechada, quando os poros não comunicam entre si e aberta quando os vazios são interligados por canais e com o meio externo, o que em períodos secos os vazios são preenchidos por ar, em períodos úmidos a água pode substituir o ar sob certas condições, até atingir um estado de equilíbrio.

A compactidade e a porosidade são complementares, tendo um papel importante no estudo dos materiais, com influência sobre o peso, a resistência mecânica, a absorção de água, a permeabilidade à água, o isolamento térmico e acústico.

e - Durabilidade

Neville (1997), comenta ser essencial que as estruturas de concreto armado consigam desempenhar as funções que lhe foram atribuídas, que mantenham a resistência e a utilidade que foram projetadas, durante um período de vida previsto. O concreto deve suportar o processo de deterioração, ao qual venha ser submetido. Nestas condições o concreto é considerado durável.

Mehta; Monteiro (1994), salientam que, “uma longa vida útil é considerada sinônimo de durabilidade”. O concreto durável conservará sua forma original, qualidade e capacidade de utilização, quando exposto ao meio ambiente.

A durabilidade das estruturas de concreto dependem da qualidade do concreto na espessura de cobrimento da armadura. A NBR 6118 (2003) especifica valores de cobrimentos nominais (C_{nom}), que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução (Δc).

A correspondência entre o desempenho da durabilidade do concreto frente ao tipo e nível de agressividade do meio ao qual a estrutura está exposta, também é apresentada pela norma.

Na falta de ensaios comprobatórios destes critérios a norma permite adotar os requisitos mínimos apresentados pelas tabelas 6 e 7.

Tabela 6: Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 7)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

1) O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
 2) CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
 3) CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT NBR 6118:2003

Tabela 7: Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10\text{mm}$.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/Pilar ²⁾	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

FONTE: ABNT NBR 6118 (2003).

Obs.: 1) Cobrimento nominal da armadura passiva em envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão e fragilizante sob tensão.

2) Para a face superior das lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamentos tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por $C_{nom} = \text{diâmetro da barra}$, respeitando um cobrimento nominal = 15mm.

3) Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal = 45mm.

2.3.6 Dosagem do concreto

O processo de dosagem do concreto consiste basicamente no estudo e obtenção da proporção mais adequada entre os materiais constituintes, de modo se alcançarem os requisitos exigidos a um custo minimizado. Geralmente, as misturas de concreto são dosadas para se obter uma determinada consistência no estado fresco e uma resistência à compressão mínima no estado endurecido. A maioria dos métodos de dosagem disponíveis para concretos convencionais cobre a batimentos de 25 a 150 mm e resistências à compressão aos 28 dias de 15 a 40 MPa. (MEHTA, 1996).

Conforme Helene; Terzian (1993), a dosagem deve ser feita visando o atendimento das exigências de projeto, as condições de exposição e operação, os tipos de agregados disponíveis, as técnicas de execução e o custo final do concreto a ser obtido.

Vários são os métodos de dosagem de concreto utilizados no Brasil. A seguir será descrito, resumidamente, o Método IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo / EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Método dos 4 Quadrantes), por ser um dos métodos mais utilizados no Brasil, ser didático e de fácil realização, e por isso adotado como referência para a confecção das curvas de dosagem neste trabalho.

2.3.6.1 Método IPT/EPUSP

Helene; Terzian (1993) justificam a criação deste método de dosagem como sendo uma forma de “[...] ensinar uma metodologia clara e precisa sobre dosagem de concreto [...]”. Neste sentido os autores propõem um roteiro que apresenta esta metodologia como um conjunto de etapas que simplificarmente, será apresentada a seguir.

a - Caracterização física dos materiais

Conhecer os materiais que farão a composição da mistura é fundamental, pois têm influência no processo de dosagem do concreto. Assim, é necessário identificar as características dos constituintes do concreto - cimento (finura, massa específica, resistência à compressão) e, granulometria, massa específica, massa unitária nas condições solta e compactada, inchamento da areia, dentre outros para os agregados.

b - Conceituação básica

Este método tem como parâmetros básicos as chamadas “Leis de Comportamento”, expressas pelas equações (4) à (6) e, também se utiliza a Eq. 7. sendo uma equação de concordância.

$$\text{a) } f_{cj} = \frac{K_1}{a/c} \quad (\text{Lei de Abrams}) \quad \text{Eq. (4)}$$

$$K_2$$

$$\text{b) } m = K_3 + K_4 \cdot a/c \quad (\text{Lei de Lyse}) \quad \text{Eq. (5)}$$

$$\text{c) } C = \frac{1.0000}{K_5 + K_6 \cdot m} \quad (\text{Lei de Priskulnik –Kirilos}) \quad \text{Eq. (6)}$$

$$\alpha = \frac{l + a}{l + m} \quad (\text{Teor de Argamassa Seca}) \quad \text{Eq. (7)}$$

Sendo:

f_{cj} = Resistência à compressão axial do concreto, à idade “j” (MPa).

(a/c) = Relação água/cimento (kg/kg).

a = Teor de agregado miúdo seco por quilograma de cimento, em massa (kg).

α = Teor de argamassa com materiais na condição seca (%).

m = Teor de agregado total por quilograma de cimento, em massa (kg).

C = Consumo de cimento por metro cúbico de concreto adensado (kg/m^3).

$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ = Constantes que dependem exclusivamente dos materiais.

Conhecidos os parâmetros relacionados às leis de Abrams, Lyse e Priskulnik –Kirilos, pode-se definir o Diagrama de Dosagem, que representa o modelo de comportamento para concretos confeccionados com uma dada consistência, medida pelo abatimento de tronco cone, e materiais estabelecidos. A figura 15 mostra o diagrama de dosagem estilizado do método.

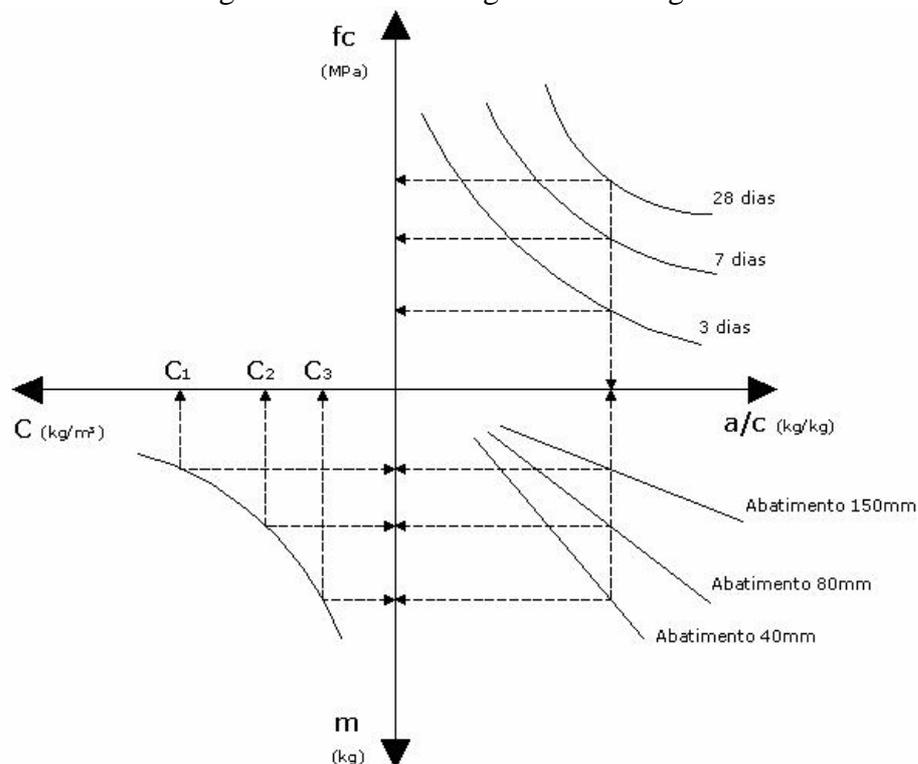


Figura 15: Diagrama de dosagem, Método IPT/EPUSP, Modelo de comportamento.
Fonte: Helene; Terzian (1993).

Para a estimativa dos consumos de cimento e água por metro cúbico de concreto, Helene; Terzian (1993), utilizam as equações (8), (9) e (10).

$$C = \frac{\gamma_{cf}}{1 + a + p + (a/c)} \quad \text{Eq. (8)}$$

$$C = \frac{(1000 - a_r)}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + a/c} \quad \text{Eq.(9)}$$

$$C_{ag} = C * (a/c) \quad \text{Eq.(10)}$$

Sendo:

C = Consumo de cimento por metro cúbico de concreto adensado (kg/m^3).

C_{ag} = Consumo de água por metro cúbico de concreto (kg/m^3).

γ_{cf} = Massa específica do concreto fresco (kg/m^3).

γ_c = Massa específica do cimento (kg/dm^3).

γ_a = Massa específica do agregado miúdo (kg/dm^3).

γ_p = Massa específica do agregado graúdo (kg/dm^3).

a = Teor de agregado miúdo por quilograma de cimento.

p = Teor de agregado graúdo por quilograma de cimento.

a_r = Teor de ar incorporado e/ou aprisionado por metro cúbico de concreto (dm^3/m^3).

Helene; Terzian (1993), relacionam algumas informações preliminares importantes e que auxiliam na definição do traço de concreto, como segue:

- Resistência característica do concreto à compressão (f_{ck});
- Determinação do espaçamento entre as barras;
- Escolha da dimensão máxima característica do agregado graúdo;
- Definição dos elementos estruturais a serem concretados;
- Escolha da consistência do concreto.

Normalmente, a avaliação da consistência é medida pelo ensaio do abatimento do tronco de cone (Slump Test), que permite a verificação da coesão e fluidez da mistura. A tabela 8

mostra alguns valores de consistência que podem ser adotados em função das peças a serem concretadas com utilização de adensamento mecânico.

Tabela 8: Consistência do concreto em função do elemento estrutural para o caso do adensamento mecânico.

ELEMENTO ESTRUTURAL	ABATIMENTO (mm)	
	POUCO ARMADA	MUITO ARMADA
- Laje	$\leq 60 \pm 10$	$\leq 70 \pm 10$
- Viga e parede armada	$\leq 60 \pm 10$	$\leq 80 \pm 10$
- Pilares de edifícios	$\leq 60 \pm 10$	$\leq 80 \pm 10$
- Paredes de fundação, sapatas, tubulões	$\leq 60 \pm 10$	$\leq 70 \pm 10$

OBSERVAÇÕES:

- 1 – Quando o concreto for bombeado a consistência deve estar entre 70 a 100mm, no máximo;
- 2 – Quando a altura para o bombeamento for acima de 30m, considerar o limite para a consistência na saída da tubulação.

Fonte: Helene; Terzian (1993).

c - Cálculo da resistência de dosagem

Este parâmetro é estimado pela equação constante na norma NBR 12655 (1996) da ABNT.

$$f_{cdj} = f_{ckj} + 1,65 \cdot S_{dj} \quad \text{Eq.(11)}$$

Sendo:

$f_{cdj} = f_{cmj}$ = resistência à compressão de dosagem, a j dias de idade, em MPa;

S_{dj} = desvio padrão de dosagem, a j dias de idade, em MPa.

Como desvio padrão de dosagem, pode-se adotar um dos valores sugeridos pelo método ou um valor calculado diretamente dos resultados da obra em questão, desde que se tenha, no mínimo, 20 resultados obtidos num intervalo máximo de 30 dias.

Quando não se dispõe de uma amostra compatível, a NBR 12655:1996 fixa valores para S_d , definidos em função da forma com que o concreto é proporcionado em obra, como é apresentado a seguir:

- Condição A: Proporcionamento em massa ; correção da umidade; assistência de profissional habilitado. $S_{dj} = 4$ MPa.
Aplicável às classes C10 à C80.
- Condição B: Cimento proporcionado em massa,; agregados em volume; correção da umidade assistência de profissional habilitado. $S_{dj} = 5,5$ MPa.
Aplicável às classes C10 à C20, aceitável para concretos de classe C25, quando os agregados sejam dosados em volume, mas com a massa verificada e corrigida com pesagens na obra.
- Condição C: Cimento proporcionado em massa; agregados em volume; controle de umidade feito de forma expedita. $S_{dj} = 7,0$ MPa.
Aplicável às classes C10 e C15.

Segundo a concepção da NBR 12655:1996, cada lote de concreto realizado comporta-se como um "universo" de distribuição gaussiana, onde a média é a resistência média (f_{cmj}) de todo o concreto do lote e o f_{ckj} é o valor acima do qual, devem ficar 95% dos resultados de resistência de qualquer parte do concreto, como apresenta a figura 16.

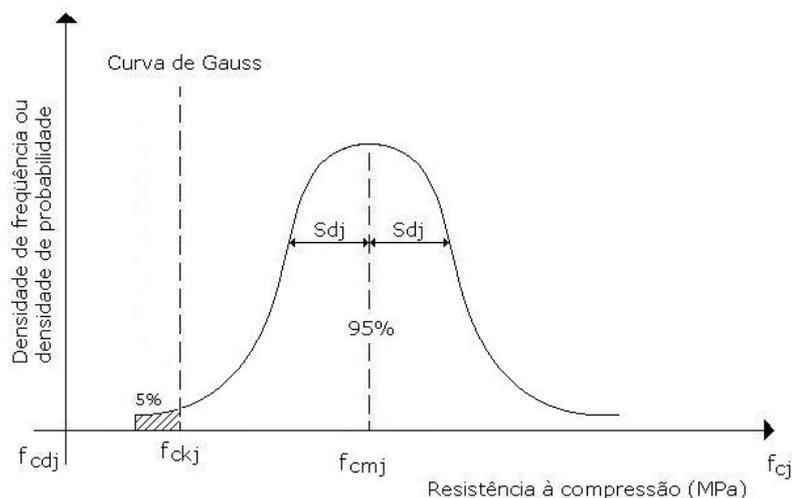


Figura 16: Distribuição da resistência à compressão do concreto (Helene, Terzian:1993)

d - Estimativa da relação água/cimento (a/c)

A definição da relação água/cimento do traço inicial deve ser determinada pela Curva de Abrams, confeccionada com o cimento e agregados da obra em questão. Sendo este um processo demorado, pode-se utilizar as correlações obtidas nos estudos feitos por Helene (1987) para vários tipos de cimentos nacionais. Essas curvas estão defasadas e não mais refletem o comportamento dos cimentos atuais.

Com relação à durabilidade, o meio em que está inserido o concreto é fator determinante, sendo recomendado pela norma que se adote os valores da água/cimento constantes na tabela 6 apresentada anteriormente relacionada com as classes de agressividade ambiental da tabela 9 reproduzida abaixo:

Tabela 9: Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito Forte	Industrial ^{1), 2)}	Elevado
		Respingos de maré	

1) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).
2) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.
3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT 6118:2003

A correspondência entre o desempenho da durabilidade do concreto frente ao tipo e nível de agressividade do meio ao qual a estrutura está exposta, também é apresentada pela norma NBR 6118 (2003). Na falta de ensaios comprobatórios destes critérios a norma permite adotar os requisitos mínimos apresentados anteriormente pelas tabelas 4 e 5.

e - Fase experimental do método IPT/EPUSP

Refere-se a obtenção experimental do Diagrama de Dosagem, que correlaciona resistência à compressão, relação água/cimento, traço e consumo de cimento por metro cúbico de concreto. Sucintamente, pode-se dividir esta fase experimental em quatro etapas, como segue:

1º – Utilizando-se dos materiais disponíveis na obra produz-se um traço piloto 1:5 (cimento:agregados totais, em massa) e determina-se o teor ideal de argamassa (α) para a obtenção de um concreto que apresente a consistência e trabalhabilidade requeridas;

2º – Conhecidos o teor de argamassa (α) e a relação água/mistura seca (H) do traço piloto, confecciona-se duas misturas, com traços definidos em 1:3,5 (traço rico) e 1:6,5 (traço pobre). As três misturas (piloto, pobre e rico) deverão ser confeccionadas com o mesmo teor de argamassa e a mesma consistência, medida pelo abatimento do tronco cone, especificada;

3º – Para cada um dos traços são moldados corpos-de-prova a serem ensaiados à compressão nas idades de interesse para o estudo, pelo menos nas idades 3, 7 e 28 dias de idade.

4º – Conhecidos os resultados dos ensaios de resistência à compressão, são traçadas as curvas de Abrams, Lyse e Priskulnik-Kirilos, que permitem a obtenção do diagrama de dosagem e o traço definitivo.

A seguir serão descritos os principais procedimentos da fase experimental para obtenção do proporcionamento de um concreto pelo método. (HELENE; TERZIAN, 1993 e HELENE,2005)

ETAPA 1: Determinação do teor de argamassa ideal (α) para o traço piloto 1:5

Procura-se nesta etapa, otimizar o proporcionamento entre a argamassa e o agregado graúdo, considerando-se que a falta de argamassa na mistura proporcionará porosidade no concreto, enquanto o excesso, além de elevar os custos, pode causar fissuras de origem térmica e por retração de secagem em função da necessidade de maior consumo de cimento por metro cúbico de concreto.

O objetivo é determinar o teor mínimo ou ideal de argamassa para obter um concreto trabalhável e com a consistência requerida. Esta determinação é iterativa sendo recomendados incrementos no teor de argamassa de 2% em 2%, partindo-se de um valor inicial.

O ajuste é procedido na mistura de traço 1:5 (1:m) (piloto), em massa. Assim, o desdobramento do traço em função do teor de argamassa (α) adotado será obtido, utilizando-se as equações (12) e (13).

$$a = \alpha \frac{(1 + m)}{100} - 1 \quad \text{Eq.(12)}$$

$$m = a + p \quad \text{Eq.(13)}$$

Sendo:

m = Teor de agregado total por quilograma de cimento

a = Teor de agregado miúdo por quilograma de cimento

p = Teor de agregado graúdo por quilograma de cimento

α = Teor de argamassa seca da mistura (%)

Com relação à estimativa inicial da quantidade de água o método é omissivo, entretanto pode ser feita com base nos valores fornecidos na tabela 10.

Tabela 10: Valores da relação água/mistura seca (H) em função da Dimensão Máxima Característica do agregado graúdo e do tipo de adensamento.

DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO	TIPO DE ADENSAMENTO	
	MANUAL	MECÂNICO
9,5mm	11,5%	11,0%
19mm	10,0%	9,5%
25mm	9,5%	9,0%
38mm	9,0%	8,0%
50mm	8,5%	7,0%

OBSERVAÇÃO:

Estes valores foram obtidos para agregados comuns (areia média de rio, brita de granito).

Para seixo rolado, diminuir 1% em cada valor.

Fonte: Prudêncio Junior (2005).

Definido o desdobramento dos agregados e a quantidade de água do traço 1:5 (piloto), inicia-se a primeira iteração para a verificação do teor de argamassa adotado inicialmente.

Com o material convenientemente pesado, procede-se a mistura, utilizando-se preferencialmente, equipamento similar ao que será usado no canteiro. A verificação do teor de argamassa (α) é feita de forma qualitativa e visual utilizando-se para tal, do artifício de passar uma colher de pedreiro sobre a superfície do concreto verificando-se a “aspereza” da superfície, presença de vazios e o poder de cobrimento da argamassa sobre o agregado graúdo.

Outra forma de verificação do teor de argamassa adotado é o ensaio de abatimento pelo tronco cone (Slump Test). Isto é feito observando se a superfície do concreto, após a retirada do cone, apresenta vazios. A coesão da mistura pode ser avaliada quando, ao golpear-se lateralmente o concreto com a haste de adensamento utilizada no ensaio, ocorre o desprendimento do agregado graúdo, o que indica falta de coesão da mistura.

Uma vez constatada a deficiência de argamassa na mistura e conhecidos os teores de cimento, agregados e água para se produzir, por exemplo, 15 litros de concreto, são realizados acréscimos de cimento, areia e água de modo a aumentar o teor de argamassa da mistura de 2% em 2%, mantendo-se o traço $m = 5$ (teor de agregado graúdo constante).

Este procedimento é proposto por HELENE (1993) como uma regra de três, expressa da seguinte forma:

$$\frac{\text{cimento}}{1,0} = \frac{\text{areia}}{a} = \frac{\text{brita}}{p_i} \quad \text{Eq.(14)}$$

Prudêncio Junior (2005) utilizando este mesmo procedimento generaliza o cálculo dos acréscimos de materiais (cimento, areia) por meio das equações (15), (16), (17) e (18).

$$Qa_i = \frac{a_i * \text{brita}}{p_i} \quad \text{Eq.(15)}$$

$$Qc_i = \frac{\text{brita}}{p_i} \quad \text{Eq.(16)}$$

$$QAad_i = Qa_i - Qa_{(i-1)} \quad \text{Eq.(17)}$$

$$QCad_i = Qc_i - Qc_{(i-1)} \quad \text{Eq.(18)}$$

Sendo:

Qa_i = Massa de areia para obter o teor de argamassa α_i ;

Qc_i = Massa de cimento para obter o teor de argamassa α_i ;

$QAad_i$ = Massa de areia seca a ser adicionada a cada betonada para obter o teor de argamassa α_i

$QCad_i$ = Massa de cimento a ser adicionada a cada betonada para obter o teor de argamassa α_i

Uma vez determinado o teor de argamassa ideal do traço 1:5 (piloto) os autores recomendam um acréscimo de 2 a 4% no teor de argamassa ideal a título de compensação de prováveis perdas que podem ocorrer nos processos de transporte e lançamento do concreto. Com o traço piloto ajustado, deve-se realizar uma nova mistura e determinar suas principais características, dentre as quais pode se relacionar:

- Relação água/cimento, necessária para a obtenção da consistência desejada;
- Consumo de cimento por metro cúbico de concreto;
- Consumo de água por metro cúbico de concreto;
- Massa específica do concreto fresco;
- Abatimento pelo tronco de cone (Slump Test) (ST);
- Resistência à compressão do concreto pelo menos nas idades 3, 7 e 28 dias.

ETAPA 2: Determinação dos traços auxiliares

Uma das características deste método é a determinação experimental do diagrama de dosagem, representando uma família de concreto. Para tal, se faz necessária a confecção de duas misturas auxiliares com teores de agregado total (m) variando de uma unidade e meia em relação ao traço 1:5, ou seja:

Traço auxiliar 1 - 1: 6,5 (cimento:agregado total, em massa)

Traço auxiliar 2 - 1: 3,5 (cimento:agregado total, em massa)

Estes traços auxiliares deverão apresentar o mesmo teor de argamassa (α) e o mesmo abatimento (ST) determinado para o traço piloto (1:5). O desdobramento dos traços auxiliares pode ser feito utilizando-se as equações (9) e (10). Conhecidos os traços auxiliares, deve-se confeccionar misturas experimentais e determinar suas principais características, conforme relacionadas para o traço piloto.

Em publicação recente, Helene (2005), sugere que a determinação dos traços auxiliares seja feita variando o teor de agregado total (m), apenas de uma unidade, para mais e para menos a partir do traço padrão.

ETAPA 3: Traço do diagrama de dosagem

A partir dos dados obtidos experimentalmente para os traços piloto (1:5kg) e auxiliares (1:3,5 e 1:6,5kg), é possível o traçado do diagrama de dosagem e o estabelecimento das correlações matemáticas entre a resistência à compressão axial e a relação água/cimento $f_{c_j} = f(a/c)$; traço e relação água/cimento $m = f(a/c)$; consumo de cimento e traço $C = f(m)$ e resistência à compressão e consumo de cimento $f_{c_j} = f(C)$. O diagrama de dosagem é válido somente para o mesmo tipo e classe e marca de cimento utilizado no estudo da dosagem.

A construção gráfica do diagrama de dosagem é feita em escala apropriada, enquanto que a determinação analítica das expressões que regem as leis de comportamento, pode ser feita por meio de regressões matemáticas.

ETAPA 4: Obtenção do traço definitivo

O traço definitivo é obtido em função do teor de agregado total (m) e da relação água/cimento (a/c), obtidos no diagrama de dosagem para uma dada resistência de dosagem (f_{c_j}). Conhecido o traço definitivo, Helene; Terzian (1993) recomendam a verificação experimental da mistura.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Considerações iniciais

Objetiva-se, com a fase experimental do presente trabalho, a produção de concretos convencionais, com o uso de dois tipos de areia de britagem (basáltica) em substituição parcial da areia natural utilizada na região de Chapecó – SC, buscando-se otimizar seus custos.

A pesquisa aqui proposta sendo essencialmente experimental, uma vez que pretende medir o desempenho dos concretos a partir de diferentes misturas, visa à obtenção de agregados miúdos a partir da mistura de finos de britagem e areia natural para utilização em concretos convencionais executados em obra, objetivando também determinar as influências da forma dos grãos e da granulometria no concreto fresco e endurecido.

Todo programa laboratorial foi executado no Laboratório de Materiais de Construção Civil, da Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, utilizando-se os equipamentos disponíveis no mesmo. A figura 17 apresenta fluxograma das etapas metodológicas realizados no presente trabalho:

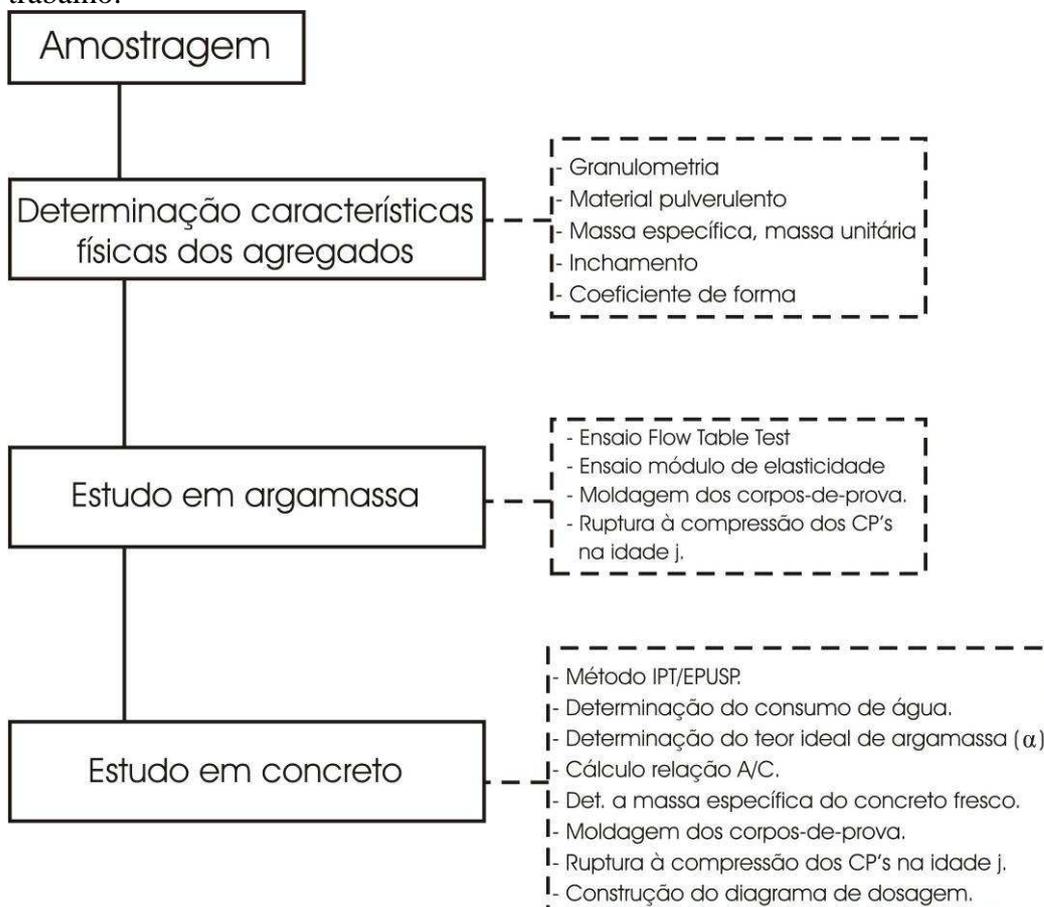


Figura 17: Fluxograma das etapas metodológicas

3.2 Amostragem

A determinação das propriedades físicas dos agregados deve ser procedida em amostras representativas de um lote, isto é, deve possuir todas as características do mesmo, principalmente no que se refere a granulometria. Neste sentido, para a formação das amostras de agregados, tomou-se o cuidado de coletar material em diversos pontos do depósito, agrupando-os e homogeneizando-os. Todos procedimentos para a formação das amostras foram realizados em concordância com a NBR NN 26 (2001) e NBR NM 27 (2001).



Figura 18: Armazenamento das amostras.

Após coleta dos materiais sempre em quantidades superiores às mínimas estabelecidas, estes foram transportados e bem acondicionados em laboratório, evitando sua descaracterização.

3.2.1 Cimento

Foi escolhido o cimento portland tipo CP II Z – 32 Votoran, por ser o cimento comumente encontrado no comércio da região de Chapecó-SC. Foram adquiridos cinco sacos de cinquenta quilos cada, quantidade estimada para a realização dos ensaios. Todos os sacos do mesmo lote, produzidos no mês de dezembro de 2005, foram estocados em estrado de madeira.

As características físicas, químicas e mecânicas exigidas para o cimento utilizado nesta pesquisa, constam na tabela 11. Estes resultados foram fornecidos em laudo técnico emitido pelo fabricante no mês de maio de 2006 apresentados na íntegra na tabela 12.

Tabela 11: Requisitos físicos e mecânicos do cimento CP II – Z – 32.

Tipos	Classe (MPa)	Finura		Tempo de pega		Expans. Frio ou Quente (mm)	Resistência à Compressão			
		#200	Blaine (m ² /kg)	Início (h)	Fim (h)		1 dia (Mpa)	3 dias (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)
CP II-Z	32	≤ 12.0	≥ 260	≥ 1	≤ 10	≤ 5,0	-	≥ 10.0	≥ 20.0	≥ 32.0

Fonte: Votorantin Cimentos (Valores Médios) .

Tabela 12: Ensaio físicos e químicos do cimento CP II – Z – 32.

DISCRIMINAÇÃO	UNID	MESES – 2005						
		JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
ENSAIOS FÍSICOS								
- Massa específica	g/cm ³	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97
-Mat. Ret. #200 (75µ)	%	1,82	1,95	1,75	1,47	1,48	1,45	1,45
-Mat. Ret. #200 (75µ)	%	9,77	9,50	9,25	8,38	8,33	8,89	9,12
- Finura Blaine	m ² /kg	354	335	339	340	351	403	386
- Água de Consistência	%	28,4	28,5	28,2	27,6	27,9	28,6	28,6
- Início de Pega	H	4:41	4:22	3:56	3:51	3:45	3:32	4:14
- Fim de Pega	H	5:55	5:34	5:07	5:03	4:56	4:41	5:25
- Expansibilidade a Quente	mm	0,30	0,50	0,42	0,26	0,14	0,23	0,29
- Resistência à Compressão								
Idade: 03 dias	MPa	23,7	25,5	22,9	24,0	24,0	25,9	26,2
Idade: 07 dias	MPa	28,3	29,8	27,7	28,5	28,4	29,5	30,3
Idade: 28 dias	MPa	39,7	40,5	38,6	39,5	39,4	38,6	39,8
ENSAIOS QUÍMICOS								
- Perda ao fogo	%	4,98	5,15	4,93	4,96	5,22	5,03	4,97
- Teor de ácido de silício (SiO ₂)	%	23,33	22,81	23,02	23,41	23,65	22,91	23,45
- Teor de óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	%	7,37	6,69	6,97	7,43	7,31	7,13	7,46
- Teor de óxido férrico (Fe ₂ O ₃)	%	3,08	3,11	3,10	3,17	3,20	3,14	3,22
- Teor de óxido de cálcio total (CaO)	%	52,57	54,44	52,78	51,93	52,86	53,80	52,76
- Teor de óxido de magnésio (MgO)	%	5,39	5,60	5,36	5,25	5,40	5,45	5,40
- Teor de óxido de potássio (K ₂ O)	%	1,34	1,27	1,19	1,32	1,35	1,29	1,38
- Teor de óxido de sódio (Na ₂ O)	%	0,09	0,03	0,07	0,04	0,02	0,01	0,12
- Teor de óxido de enxofre (SO ₃)	%	2,89	2,90	2,92	3,05	2,97	3,08	2,94
- Teor de óxido de carbono (CO ₂)	%	4,18	4,41	4,19	4,06	4,41	4,30	4,26
- Resíduo Insolúvel	%	13,22	11,33	12,34	13,54	13,42	11,86	13,41

Fonte: Votorantin Cimentos (Valores Médios) .

3.2.2 Agregados miúdos

Os agregados miúdos empregados no presente trabalho foram uma areia natural e dois tipos de areia de britagem. Os materiais foram coletados junto aos produtores e enviados ao LMCC-UFSC onde foram armazenados em tonéis de duzentos litros. Anteriormente ao seu uso, eram secos em estufa à temperatura de 100° C durante 24 horas obtendo-se constância de peso dos materiais.

3.2.2.1 Areia natural

A areia natural com cristais de quartzo, utilizada na região de Chapecó-SC é produzida e transportada da cidade de União da Vitória-PR. Normalmente a areia natural fina é dragada de cavas submersas nas derivações do rio Iguaçu, sendo utilizada após passar por processo de peneiramento estático para separar possível cascalho, enquanto a areia média é retirada de cavas próximas ao rio, passando por processo de lavagem, sendo esta areia a utilizada neste trabalho. A figura 19 mostra o processo de extração e lavagem e estocagem da areia natural.



Figura 19: Extração e depósito da areia após a lavagem.

3.2.2.2 Areia de britagem Tipo A

O material caracterizado como areia de britagem tipo A é proveniente de rocha basáltica, que passou por um processo de produção tipo VSI, sendo produzida pela empresa Britadora Planaterra Ltda de Chapecó – SC.

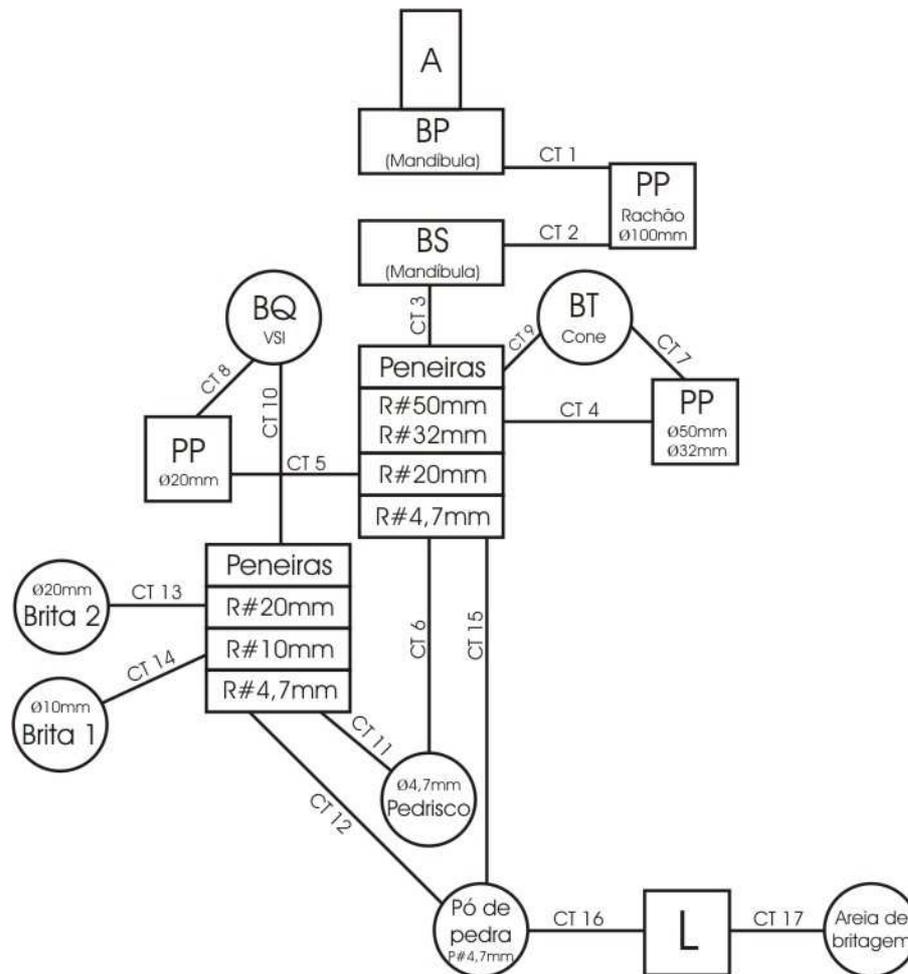
A fornecedora da areia de britagem tipo A, na rebritagem utiliza britador de impacto com eixo vertical VSI com capacidade nominal 10 t/h, tipo Barmac, o que produz partículas com forma arredondada, pois parte do trabalho de redução de tamanho é feito pelo impacto de partícula contra partícula.

A figura 20 mostra uma vista geral dos equipamentos da unidade produtora da areia de britagem tipo A, na cidade de Chapecó – SC.



Figura 20: Vista Geral britador Planaterra - Chapecó – SC.

Apresenta-se a seguir, resumidamente, uma descrição de todo o processo de obtenção da areia de britagem do tipo A, sendo também representado pelo fluxograma da figura 21.



LEGENDA:

A: Alimentação pedras	PP: Pilha pulmão
BP: Britador primário	L: Lavagem
BS: Britador secundário	CT: Correia transportadora
BT: Britador terciário	PE1: Peneira grande
BQ: Britador quaternário	PE2: Peneira pequena

Figura 21: Esquema de obtenção da areia de britagem tipo A.

Após a passagem pelos britadores primário e secundário o material é classificado pelo primeiro conjunto de peneiras. Neste primeiro conjunto de quatro decks de peneiras, o material retido nas peneiras 50 mm e 33 mm é transportado para uma pilha pulmão e depois encaminhado para o britador terciário; o material retido na peneira 20 mm é encaminhado para outra pilha pulmão e desta para o britador quaternário; o material retido na peneira 4.7 mm (pedrisco) é armazenado para expedição. Após a britagem quaternária o material segue para um segundo conjunto de decks de três peneiras, sendo os materiais retidos nas peneiras de 20 mm, 10 mm e 4.8 mm originam a brita 1, brita 2 e o pedrisco respectivamente. O material que passa na peneira 4.7 mm (pó de brita) é encaminhado para lavagem que origina a areia natural de britagem tipo A.

3.2.2.3 Areia de britagem Tipo B

O material caracterizado como areia de britagem tipo B é proveniente de rocha basáltica, que passou por um processo de produção equipado com britador primário de mandíbula, que efetua a fragmentação da rocha com movimentos alternados e com britador secundário girosférico de movimentação contínua, sendo produzida pela empresa Britaxan Ltda de Xanxerê – SC. A figura 22 mostra uma vista geral da produtora de areia de britagem tipo B.

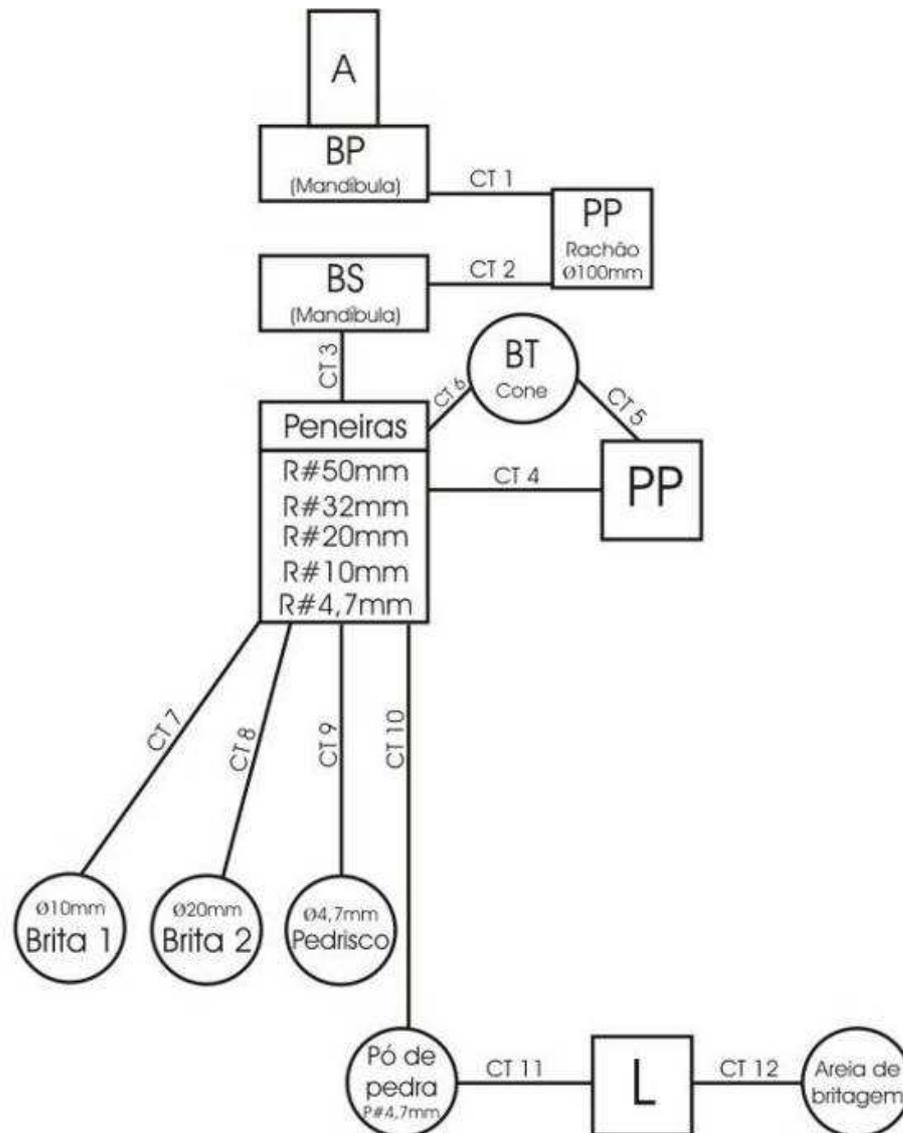


Figura 22: Vista geral do britador Britaxan - Xanxerê – SC.

Após a passagem pelos britadores primário e secundário o material é classificado pelo conjunto de peneiras. Neste conjunto de cinco decks de peneiras, o material retido é transportado para uma pilha pulmão e depois encaminhado para o britador terciário do tipo cone. Após a britagem terciária os materiais retidos nas peneiras de 20 mm, 10 mm e 4.8 mm originam a brita 1, brita 2 e o pedrisco respectivamente. O material que passa na peneira 4.7 mm (pó de brita) é encaminhado para lavagem que origina a areia natural de britagem tipo B, produzindo partículas com alta rugosidade, baixo arredondamento e alta angulosidade lamelar.

Os grãos maiores são drenados pela peneira da câmara existente na roda de água, sendo conduzidos por gravidade a uma esteira e desta à pilha de estoque, enquanto a água contaminada pelos finos é conduzida a um decantador.

A figura 23 mostra o fluxograma do processo de obtenção da areia de britagem tipo B.



LEGENDA:

A: Alimentação pedras
 BP: Britador primário
 BS: Britador secundário
 BT: Britador terciário

PP: Pilha pulmão
 L: Lavagem
 CT: Correia transportadora
 PE1: Peneira grande

Figura 23: Esquema de obtenção da areia de britagem tipo B.

3.2.3 Agregado graúdo

Utilizou-se como agregado graúdo a brita 1, originada de rocha basáltica, também fornecida pela empresa Planaterra Ltda. Foi condicionada em um tonel metálico de duzentos litros e também armazenada próxima às dependências do laboratório.

Antes da realização dos ensaios de caracterização as amostras foram secas ao ar livre.

3.2.4 Água

A água utilizada nos ensaios foi da rede de abastecimento do laboratório da Universidade Federal de Santa Catarina.

3.2.5 Aditivos

Foi utilizado o aditivo MIRA 76, plastificante, redutor de água polifuncional fabricado pela empresa Grace Construction Products, que se apresenta de forma líquida, de cor castanho escuro, de baixa viscosidade. Sua massa específica é de 1,19 kg/litro, conforme manual de utilização do fabricante.

A dosagem utilizada foi de 0,75% de material líquido por massa de cimento, devendo ser adicionado após a mistura prévia dos demais constituintes do concreto, com exceção de uma pequena parcela da água de amassamento que é adicionada ao final.

3.3 Determinação da composição granulométrica

3.3.1 Granulometria

A determinação da composição granulométrica foi feita através de procedimento da NBR NM 248 (2001).

3.3.2 Material pulverulento

Antes de realizar o ensaio de granulometria foi realizado o ensaio de material pulverulento (passante na peneira 0,075 mm) sendo este procedimento realizado conforme NBR 7219 ABNT 1987, da seguinte forma:

- Formou-se uma amostra representativa de agregado (NBR NM 26:2001), com material úmido a fim de evitar a segregação da fração pulverulenta. Secou-se a amostra em estufa (105 a 110° C).
- Determinou-se a massa seca do agregado (m);
- Colocava-se o material num recipiente e adicionava-se água em abundância, que após mistura vertia-se a solução sobre um conjunto de peneiras superpostas (#1,2 e #0,075mm). Colocava-se nova porção de água e repetia-se a operação de lavagem até obter-se uma solução praticamente limpa;

- Coletou-se o material restante no recipiente e retido nas duas peneiras para uma bandeja metálica e secou-se em estufa até a constância de massa (m_{sf});
- O material pulverulento da amostra (M_p) será determinado pela seguinte expressão:

$$M_p = (m - m_{sf}) / m \times 100 \quad \text{Eq.(19)}$$

3.4 Determinação da massa específica do agregado miúdo

A NBR NM 52 (2002) apresenta definições de vários parâmetros relativos à massa específica dos agregados. Adotou-se, no presente trabalho, um procedimento alternativo para a determinação da massa específica aparente seca (d_1) dos agregados miúdos recomendado por Prudêncio Junior (2005), conhecido como método do picnômetro.

Picnômetro é um recipiente de vidro que possui uma rolha esmerilhada com um tubo capilar. Quando repleto por um líquido, obtém-se um volume bem definido e preciso. O processo de determinação da massa específica por este processo pode assim ser resumido:

- Pesa-se o picnômetro com água (P_{ag});
- Retira-se um pouco de água do picnômetro e pesa-se (m_A);
- Coloca-se uma pequena quantidade de amostra com auxílio de um funil e pesa-se (m_B);
- Remove-se o ar aderido nas partículas do agregado por agitação e completa-se o restante do espaço com água;
- Pesa-se o picnômetro com a amostra e água (P_{ag+a});
- Determina-se a massa específica do agregado seco (d_1):

$$d_1 = \frac{m}{(P_{ag} - (P_{ag+a} - m))} \quad \text{Eq.(20)}$$

$$m = m_B - m_A \quad \text{Eq.(21)}$$

Onde:

m = massa seca

P_{ag} = massa do picnômetro com água

P_{ag+a} = massa do picnômetro com água mais amostra

3.5 Determinação da massa específica do agregado graúdo

Utilizou-se o ensaio preconizado pela norma NBR NM 53 (2002), que determina a massa específica aparente seca (d_1) por meio da balança hidrostática.

$$d_I = \frac{m}{m_s - m_a} \quad \text{Eq.(22)}$$

Onde:

m = massa seca

m_s = massa saturada superfície seca

m_a = massa imersa

3.6 Determinação da massa unitária

Massa unitária é a relação entre a massa de um agregado no estado seco e seu volume compreendendo o volume aparente e o volume de vazios intergranulares (V_{unit}). Na prática, é a relação entre a massa de um agregado seco e o volume do recipiente que o contém.

$$\delta = m / V_{unit} \quad \text{Eq.(23)}$$

O processo para determinação é preconizado pela NBR 7251 (1982). Utiliza-se um recipiente com forma de paralelepípedo de volume conhecido e com mínimo definido pela norma. O enchimento do volume V_{rec} foi feito com uma altura de lançamento não superior a 10 cm da borda, tentando simular as condições de obra. Enche-se o recipiente em demasia e com uma régua metálica fizemos o nivelamento da superfície eliminando o excesso (agregado miúdo) e faz-se uma compensação entre as partes que se sobressaem do recipiente com as que ficam abaixo da borda (agregado graúdo).

A seqüência do ensaio corresponde em: - pesar o recipiente vazio (m_{rec});
- pesar o recipiente com o agregado seco (m_{ra});
- determinamos o valor da massa unitária (δ).

$$\delta = (m_{ra} - m_{rec}) / V_{rec} \quad \text{Eq.(24)}$$

3.7 Inchamento das areias

O coeficiente de inchamento das areias é entendido como a relação entre o volume unitário de uma amostra no estado úmido e seu volume unitário no estado seco.

$$i = V_{unith} / V_{unit} \quad \text{Eq.(25)}$$

O procedimento do ensaio realizado pode assim ser descrito:

- Preenche-se uma caixa padronizada (Volume = Vc e Massa = Mc) com agregado miúdo seco segundo procedimento descrito para determinação da massa unitária.
- Determina-se a massa do conjunto (Mc+a).

- Determina-se a massa da amostra (m): $m = (M_{c+a}) - M_c$.
- Calcula-se a massa de água necessária pra obter-se 1% de umidade (m/100).
- Coloca-se a amostra do agregado em uma caixa de grandes dimensões e adicionamos a água e homogeneizamos o conjunto.
- Preenche-se a caixa padronizada com agregado úmido, procedendo o nivelamento. O material excedente é recolocado na caixa maior. Pesa-se a caixa contendo a amostra úmida (M_{c+ah}).
- Determina-se a massa da amostra úmida presente na caixa (m_{hl}): $m_{hl} = (M_{c+ah}) - (M_c)$.
- Calcula-se o coeficiente de inchamento (i) pela fórmula abaixo:

$$i = m / m_{hi} \cdot (h + 100) / 100 \quad \text{Eq.(26)}$$

- Repetem-se os procedimentos 4 a 8 para teores crescentes de umidades de 1 em 1% até que o valor do coeficiente de inchamento apresente uma diminuição em duas determinações consecutivas.
- Traça-se o gráfico de inchamento determinando a umidade crítica, que é o teor de umidade acima da qual o inchamento permanece praticamente constante, e o coeficiente de inchamento médio.

A representação gráfica do fenômeno do inchamento, onde na abscissa são marcados os teores de umidade e na ordenada são marcados os coeficientes de inchamento (i), definido como sendo a relação entre os volumes unitários, úmido e seco de uma mesma massa de areia. Para a determinação gráfica da umidade crítica, traçamos uma tangente à curva paralela ao eixo das abscissas; traçamos uma nova tangente à curva, paralela à corda que une a origem ao ponto de tangência da reta anterior; a umidade correspondente ao ponto de interseção das duas tangentes é a umidade crítica. A média dos coeficientes de inchamento no ponto correspondente à umidade crítica e o coeficiente máximo observado, é definido como coeficiente médio de inchamento.

3.8 Coeficiente de forma dos agregados miúdos

Apesar de não existir normalização brasileira para a determinação de um parâmetro que caracterize a forma de agregados miúdos, é consenso na literatura que a forma dos grãos influencia a trabalhabilidade e resistência de concretos. Por esta razão optou-se em avaliar a forma dos grãos por um procedimento desenvolvido por Oliveira (2004) e aperfeiçoado por Weidmann (2005). Este procedimento é baseado na norma AFNOR XP P18-540 (1997) e a determinação do comprimento do grão é realizada digitalmente em imagens escaneadas utilizando-se um programa computacional UTHSCSA ImageTool acessível gratuitamente na Internet. Resumidamente o procedimento de ensaio é o seguinte:

1. Peneirar o agregado, segundo recomendações da NBR 7211 (2005), determinando as porcentagens retidas de cada fração;
2. Determinar a massa específica de cada fração ($d_{\text{fração}}$) pelo processo do picnômetro para frações passantes na peneira 6.3 mm e pelo processo da balança hidrostática para peneiras acima da malha mencionada;
3. Pesquisar certo número de grãos (≥ 100) de determinada fração anotando-se a massa ($m_{\text{fração}}$);
4. Despejar com cuidado os grãos pesados na etapa 3 sobre uma chapa de vidro evitando contato entre os grãos;
5. Colocar chapa de vidro no *scanner* e posicionar a escala métrica para posterior calibração no programa de análise;
6. Posicionar a câmara escura ou o aparato para a iluminação dos grãos e digitalizar a imagem;
7. Carregar a imagem no programa de análise de imagens procedendo-se a calibração da mesma com auxílio de escala métrica;
8. Recortar a imagem retirando-se a escala métrica, de modo que a nova imagem contenha apenas os grãos a serem analisados, procedendo-se com a definição do *threshold*, levando em consideração a definição dos contornos.
9. Proceder a análise dos dados;
10. Exportar ao dados de maior dimensão (L) de cada grão para a planilha eletrônica;
11. Calcular o coeficiente de forma de cada fração, com base na AFNOR XP P18-540 (1997), conforme seguinte equação:

$$C_{f_{\text{fração}}} = \frac{m_{\text{fração}}}{d_{\text{fração}} \cdot \pi/6 \cdot \sum L^3} \quad \text{Eq.(27)}$$

onde:

$m_{\text{fração}}$ = massa de todos os grãos contidos na imagem;

$d_{\text{fração}}$ = massa específica da fração analisada;

L = comprimento de cada grão determinado com auxílio do programa de análise de imagens;

12. Calcular o coeficiente de forma do agregado definido pela seguinte expressão:

$$cf_{\text{agregado}} = \frac{\sum (\text{cf de cada fração} * \text{respectiva \% ret})}{\sum \text{das \% ret}} \quad \text{Eq.(28)}$$

São apresentadas a seguir, nas figuras 24 à 26, fotos de algumas frações digitalizadas para determinação do coeficiente de forma da areia natural e das areias de britagem.

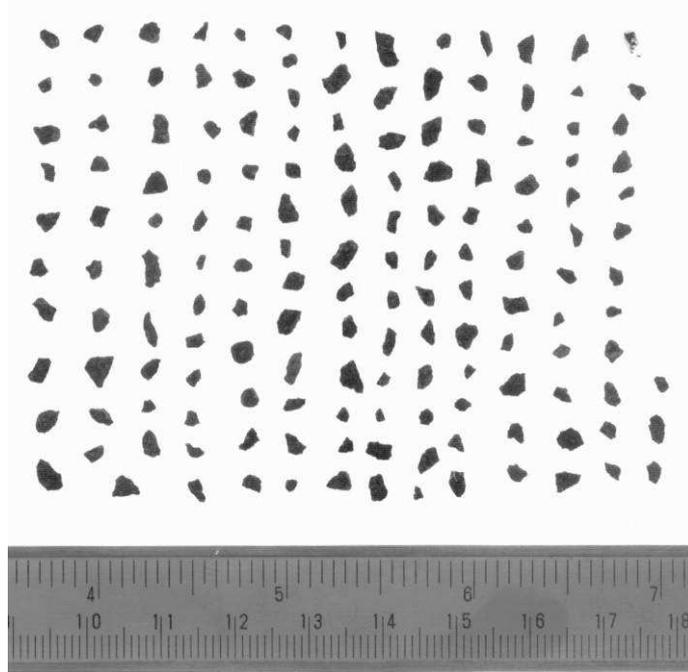


Figura 24: Fotos digitalizadas grãos passantes na #2,4 mm e retidos #1,2mm, areia de britagem Tipo A.

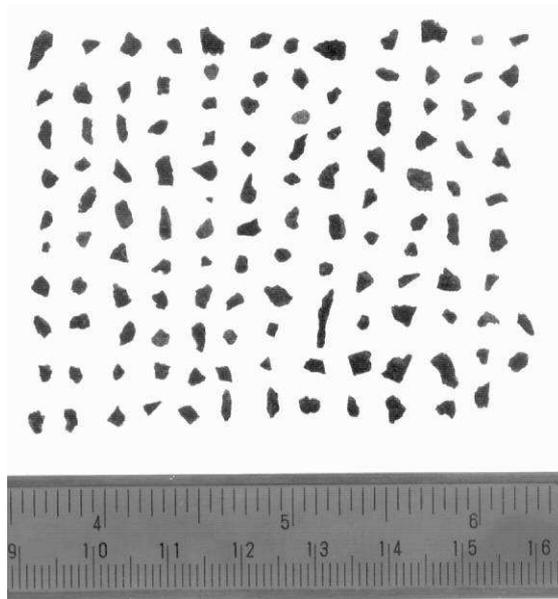


Figura 25: Fotos digitalizadas grãos passantes na #2,4mm e retidos #1,2mm, areia de britagem Tipo B.

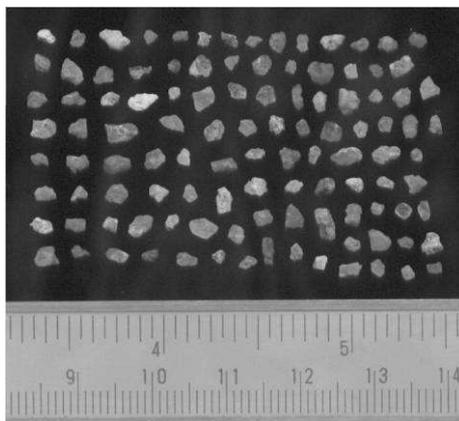


Figura 26: Fotos digitalizadas grãos passantes na # 2,4 mm e retidos #1,2mm, areia natural.

3.9 Estudo em argamassa

Baseando-se na hipótese da existência de correlação entre os resultados obtidos em concreto e argamassa em termos de fluidez e resistência à compressão aos 28 dias, foram realizadas várias misturas com diferentes proporções entre as areias. A partir de 100% de areia natural, estudou-se proporções de substituições em volume de 25%, 50%, 75% e 100% para areia de britagem basáltica lavada tipo A e tipo B.

Todas as misturas foram realizadas no traço com teor de agregado total por quilograma de cimento (m) igual a 3.

O estudo com argamassas foi realizado para agilizar e dinamizar a presente pesquisa no sentido de determinar quais seriam as proporções mais indicadas para utilização em concreto.

Para a produção das argamassas, utilizou-se o misturador mecânico, que possui duas velocidades de rotação da pá: baixa – (140 +/- 5) rpm – e alta – (285 +/- 10) rpm; e duas velocidades de rotação do planetário: baixa – (62 +/- 5) rpm – e alta – (125 +/- 10) rpm.

O procedimento de mistura adotado foi o seguinte:

- 1) Colocava-se na cuba o cimento e 90% da água;
- 2) Misturava-se em velocidade baixa por 30 segundos;
- 3) Colocavam-se as areias úmidas, sem paralisar a operação de mistura, em 30 segundos;
- 4) Misturava-se com velocidade baixa por 30 segundos;
- 5) Desligava-se o misturador por 1 minuto: nos primeiros 30 segundos, retirava-se com o auxílio de uma espátula, a argamassa aderida às paredes da cuba e à pá e colocava-se no interior da cuba; no tempo restante, deixava-se a mistura em repouso, coberta com um pano úmido;

- 6) Ligava-se o misturador com velocidade baixa e colocava-se o aditivo plastificante com o restante da água, deixando misturar por 1 minuto.

Terminada a mistura, media-se sua consistência por meio do ensaio da mesa para índice de consistência – *flow table test*, segundo procedimento descrito pela NBR 7215 (1996) (Índice de Consistência na mesa ABNT). Este ensaio consiste na medida de espalhamento (diâmetros) de uma porção de argamassa inicialmente moldada em uma forma tronco-cônica sobre uma mesa de ensaio. A argamassa moldada é forçada a deformar-se mediante quedas padronizadas desta mesa e são medidos dois diâmetros ortogonais da base do tronco de cone de argamassa após a deformação, sendo a média aritmética dessas medidas o chamado índice de consistência, expresso em milímetros. No presente estudo, foram determinados os espalhamentos inicial, sem aplicação de quedas na mesa, e com 5 e 10 quedas. Optou-se em utilizar estes valores de quedas, diferentemente do que recomenda a referida norma, pois as argamassas possuíam uma fluidez elevada.

Após realização do ensaio de consistência das argamassas, foram determinadas as massas específicas e então eram moldados corpos de prova de dimensões (5 cm de diâmetro x 10 cm de altura), para a ruptura a compressão e ensaios de módulo de elasticidade aos 28 dias. A moldagem foi feita em 2 camadas, com aplicação de 10 golpes cada diferentemente da recomendação de norma NBR 5739 (1994) por se tratarem de misturas muito fluidas.

3.10 Execução do ensaio da dosagem do concreto

Foi realizada inicialmente a pesagem de todos os materiais a serem usados: cimento, areia natural, areia de britagem tipo A e tipo B, brita n° 1, água e aditivo.

A seguir foi realizado o estudo do teor de argamassa ideal segundo a seqüência de atividades abaixo discriminada, baseada na orientação de Helene; Terzian, como segue:

- 1) Imprimava-se a betoneira com uma porção de concreto (≥ 3 kg) com o mesmo traço 1:5 e com relação água/materiais secos $H = 10\%$. Deixava-se o material excedente cair livremente, com a betoneira com a abertura para baixo e em movimento.
- 2) Como os materiais foram pesados antecipadamente, foram lançados na betoneira e misturados por cinco minutos, com uma parada intermediária para limpeza das pás da betoneira. A introdução dos materiais dentro da betoneira seguiu a seguinte ordem: água (80%); agregado graúdo (100%); cimento (100%), agregado miúdo (100%); restante da água e aditivo.
Após mistura verificava-se a possibilidade de realização do ensaio de abatimento do tronco cone, ou seja, se o teor de argamassa, a coesão e a plasticidade estavam adequadas.
- 3) Após este procedimento, eram realizados os acréscimos sucessivos de argamassa na mistura através do lançamento de cimento e areia, ficando inalterada a quantidade de agregado graúdo.
- 4) Para a definição do teor ideal de argamassa realizava-se os procedimentos seguintes:

- com a betoneira desligada, retirava-se todo material retido nas pás e superfície interna;
- com colher de pedreiro, centralizava-se todo o material para a região inferior da cuba da betoneira, introduzindo os agregados soltos no interior mistura;
- passando a colher de pedreiro sobre a superfície do concreto fresco, introduzindo-a dentro da massa e levantando-a no sentido vertical verificava-se se a superfície exposta estava com vazios, o que indicaria falta de argamassa (Figura 27).



Figura 27: Verificação de vazios no concreto.

- introduzindo novamente a colher de pedreiro no concreto e retirando uma parte do mesmo, levantando-o até a região superior da cuba da betoneira, podia-se verificar se ocorria desprendimento de agregado graúdo da massa, indicando falta de argamassa na mistura. Após esta verificação, soltava-se a porção de concreto e verificava-se se a queda do concreto se apresentava compacta e homogênea, confirmando o teor adequado de argamassa (Figura 28).



Figura 28: Verificação do teor adequado de argamassa.

- as misturas que apresentaram superfície sem vazios e sem desprendimento de agregados com queda de concreto de modo homogêneo e compacto permitiam a determinação do abatimento do tronco de cone. No caso de o mesmo não atingir a faixa estabelecida, acrescentava-se água na quantidade necessária; Para a realização do ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone utilizou-se os procedimentos da ABNT NBR 7223 (1982);

- Após a realização do ensaio de abatimento, estando o concreto ainda com o formato de tronco cone, batia-se suavemente na base junto à lateral inferior do mesmo, com auxílio da haste de adensamento, objetivando a verificação de sua queda. Se a queda se realizasse de forma homogênea, sem desprendimento de porções, indicaria que o teor de argamassa estava bom;
- durante o ensaio de abatimento, observava-se se a superfície lateral do concreto estava compacta, sem vazios, também indicando o bom teor de argamassa;
- outra análise efetuada era se ao redor da base de concreto com formato de tronco cone aparecia uma camada de água oriunda da mistura, evidenciando uma tendência de exsudação de água nesta mistura por falta de finos, sendo corrigida com mudança na granulometria ou aumentando o teor de argamassa;
- o teor final depende do fator externo que é a possibilidade de perda de argamassa no processo de transporte e lançamento, sendo este valor usualmente estimado em 2 a 4% de perdas;

A proporção inicial entre os agregados foi de 25% e 75%, baseada no estudo de argamassa. Ao final, para que se obtivesse coesão adequada no concreto a proporção efetivamente utilizada entre agregados miúdos foi de 35% e 65 %

Nas tabelas 13 a 15 abaixo, estão apresentados os valores das massas dos materiais acrescidos nos concretos para determinação dos teores ideais de argamassa.

Tabela 13: Acréscimos de massa de areia natural, determinação teor ideal de argamassa.

Determinação	Material Seco			Umidade	AN	Água	α	Aspecto da mistura
	Cimento	AN	Brita	AN	Corrigida			
1	5,50	9,68	17,82	-	-	3,11	46%	C
Adicionado	0,21	1,06	-	2,00%	1,08	-	-	
2	5,71	10,74	17,82	-	-	-	48%	

Traço Final	1,000	1,880	3,120
-------------	-------	-------	-------

alfa final: 48%

m real: 5,00

m equivalente a AN: 5,00

Notas:

A : Pouco Argamassado

B : Baixa Coesão

C : Bom teor de argamassa. Apenas acréscimo do teor extra.

- A quantidade de água adicionada foi em função da consistência.

Tabela 14: Acréscimos de massa de areia natural e areia de britagem Tipo A, determinação teor ideal de argamassa.

Determinação	Material Seco				Umidade Areias		Material Úmido		Água	α	Aspecto da mistura
	Cimento	AN	AB A	Brita	AN	AB A	AN	AB A			
1	5,70	2,34	7,75	19,15	-	-	-	-	3,08	44,0%	A B
Adicionado	0,18	0,56	0,45	-	2,58%	5,86%	0,57	0,47	-	-	
2	5,88	2,90	8,20	19,15	-	-	-	-	-	45,8%	B
Adicionado	-	0,97	-	-	2,58%	-	1,00	-	-	-	
3	5,88	3,87	8,20	19,15	-	-	-	-	-	47,2%	C
Adicionado	0,63	0,83	1,48	-	2,58%	5,86%	0,85	1,57	-	-	
4	6,51	4,70	9,68	19,15	-	-	-	-	-	51,0%	

Traço Final em Massa	1,000	0,722	1,487	2,942
----------------------	-------	-------	-------	-------

Proporção Volumétrica Final das Areias:

AN = 35%

AB A = 65%

alfa final (equivalente a AN): 51%

m real: 5,15

m equivalente a AN: 5,00

Notas:

A : Pouco Argamassado

B : Baixa Coesão

C : Bom teor de argamassa. Apenas acréscimo do teor extra.

- A quantidade de água adicionada foi em função da consistência.

Tabela 15: Acréscimos de massa de areia natural e areia de britagem Tipo B, determinação teor ideal de argamassa.

Determinação	Material Seco				Umidade Areias		Material Úmido		Água	α	Aspecto da mistura
	Cimento	AN	AB B	Brita	AN	AB B	AN	AB B			
1	5,70	3,27	6,90	19,15	-	-	-	-	3,08	44,0%	A B
Adicionado	-	0,77	-	-	5,78%	-	0,81	-	-	-	
2	5,70	4,04	6,90	19,15	-	-	-	-	-	45,2%	A
Adicionado	0,64	-	1,62	1,01*	-	5,48%	-	1,71	-	-	
3	6,34	4,04	8,52	20,16	-	-	-	-	-	47,0%	C
Adicionado	0,51	0,90	1,90	-	5,78%	5,48%	0,95	2,00	-	-	
4	6,85	4,94	10,41	20,16	-	-	-	-	-	51,0%	

Traço Final em Massa	1,000	0,721	1,520	2,943
----------------------	-------	-------	-------	-------

Proporção Volumétrica Final das Areias:

AN = 35%

AB B = 65%

alfa final (equivalente a AN): 51%

m real: 5,18

m equivalente a AN: 5,00

Notas:

A : Pouco Argamassado

B : Baixa Coesão

C : Bom teor de argamassa. Apenas acréscimo do teor extra.

* Correção proporcionamento dos materiais

- A quantidade de água adicionada foi em função da consistência.

- 5) Para a determinação de todas as características do concreto fresco e endurecido necessárias à construção do diagrama de dosagem, confeccionava-se uma nova mistura com o mesmo traço e com o teor de argamassa definitivo.
- 6) Moldagem de 6 corpos-de-prova cilíndricos, sendo 2 para ruptura na idade de 7 dias, 2 para ruptura na idade de 28 dias e os demais para determinação do módulo de elasticidade também aos 28 dias. Os corpos de prova foram moldados e rompidos segundo procedimentos da ABNT 5738 (1994) – moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto (Figura 29).



Figura 29: Moldagem de corpos-de-prova.

- 7) Produção de mais dois traços auxiliares, para possibilitar a montagem do diagrama de dosagem. Os traços escolhidos apresentam uma variação de uma unidade e meia no teor de agregado total, para mais e para menos, em relação ao traço 1:5. Na obtenção dos novos traços manteve-se fixos o teor de argamassa (α) e o abatimento do tronco cone, determinados para o traço 1:5.

3.11 Ensaios de compressão

Vários são os parâmetros que influenciam no ensaio de resistência à compressão:

- forma e dimensão dos corpos de prova: As dimensões dos corpos de prova cilíndricos devem sempre obedecer a relação $d \geq 3D$, onde d = dimensão máxima – diâmetro do corpo de prova cilíndrico e D = dimensão máxima característica do agregado (neste caso 19mm). Os corpos-de-prova cilíndricos devem ter diâmetro igual a d e a altura de $2d$. Segundo a norma ABNT NBR 5738 (1994), para corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 100mm x 200 mm e com adensamento manual, a moldagem deverá ser feita com duas camadas apiloadas com quinze golpes cada uma.
- velocidade de aplicação de carga: a ABNT NBR 5739 (1994) – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, normaliza a velocidade, pois velocidades maiores tendem a gerar valores de resistência mais elevada, pois em velocidade mais baixa existe um tempo para a propagação de fissuras, que ocorre durante o carregamento, levando o corpo-de-prova ao colapso, em níveis de carga inferiores. Esta norma preconiza que “a carga de ensaio deve ser aplicada continuamente e sem choques), com velocidade de carregamento 0,3 a 0,8 MPa. Nenhum ajuste deve ser efetuado nos controles da máquina, quando o corpo-de-prova estiver se deformando rapidamente ao se aproximar de sua ruptura [...]”.

Os corpos-de-prova permaneceram submersos em solução de água e cal até a data da realização ensaio, quando eram levados à prensa para serem rompidos.

A carga do ensaio foi aplicada continuamente com velocidade de 0,5 MPa por meio de programação prévia da prensa.

O módulo de elasticidade foi determinado a partir da curva tensão x deformação específica conforme prescreve a NBR 8522:2003. Estas curvas foram construídas medindo-se a deformação dos corpos-de-prova no sentido de aplicação da carga, utilizando-se para tal, relógios comparadores analógicos com precisão de 0,001 mm. Os relógios eram acoplados em posições diametralmente opostas com auxílio de anéis que envolviam o corpo de prova. Desta forma, a média da leitura dos dois relógios representava a deformação do centro do corpo-de-prova para cada nível de aplicação de carregamento. Para o cálculo da deformação específica, determinava-se a distância inicial entre os anéis em 3 pontos opostos. Em cada ensaio, cuidava-se para colocar os anéis em nível para que a medida dos relógios representasse a deformação longitudinal.

A figura 30 apresenta a prensa realizando ensaio de resistência à compressão e módulo de elasticidade dos corpos de prova de concreto aos 28 dias, enquanto a figura 31 apresenta os corpos de prova antes e depois do rompimento.



Figura 30: Ensaio de resistência à compressão e módulo de elasticidade dos corpos-de-prova.



Figura 31: Corpos-de-prova antes e depois do rompimento.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos experimentos descritos no capítulo 3, utilizando tabelas e figuras. Os ensaios foram realizados nos Laboratórios de Construção Civil da Universidade Federal de Santa Catarina durante o período de janeiro a abril de 2006.

4.1 Caracterização dos agregados

A seguir, nas tabelas 16 à 21, e nas figuras 32 e 33, estão apresentadas as principais características físicas dos agregados utilizados no presente trabalho.

Tabela 16: Características físicas da areia natural.

Peneira (mm)	% Retida Acumulada - NBR 7211:2005				
	Areia Natural	Zona Utilizável Inferior	Zona Ótima Inferior	Zona Ótima Superior	Zona Utilizável Superior
6,3	0	0	0	0	7
4,8	0	0	0	5	10
2,4	3	0	10	20	25
1,2	11	5	20	30	50
0,6	23	15	35	55	70
0,3	63	50	65	85	95
0,15	92	85	90	95	100
0,075	97	-	-	-	-
Fundo	100	-	-	-	-

Módulo de Finura: 1,91
Material Pulverulento: 2,70
Dimensão Máxima (mm): 2,4
Dimensão Mínima (mm): 0,075

Massa Específica (Kg/dm³): 2,65
Massa Unitária (Kg/dm³): 1,57
Coeficiente de Inchamento: 1,34

Tabela 17: Características físicas da areia de britagem Tipo A

Peneira (mm)	% Retida Acumulada - NBR 7211:2005				
	Areia de Britagem Tipo A	Zona Utilizável Inferior	Zona Ótima Inferior	Zona Ótima Superior	Zona Utilizável Superior
6,3	0	0	0	0	7
4,8	1	0	0	5	10
2,4	24	0	10	20	25
1,2	48	5	20	30	50
0,6	65	15	35	55	70
0,3	74	50	65	85	95
0,15	80	85	90	95	100
0,075	83	-	-	-	-
Fundo	100	-	-	-	-

Módulo de Finura: 2,93
 Material Pulverulento: 16,70
 Dimensão Máxima (mm): 4,8
 Dimensão Mínima (mm): 0,075

Massa Específica (Kg/dm³): 2,95
 Massa Unitária (Kg/dm³): 1,79
 Coeficiente de Inchamento: 1,28

Tabela 18: Características físicas da areia de britagem Tipo B.

Peneira (mm)	% Retida Acumulada - NBR 7211:2005				
	Areia de Britagem Tipo B	Zona Utilizável Inferior	Zona Ótima Inferior	Zona Ótima Superior	Zona Utilizável Superior
6,3	0	0	0	0	7
4,8	0	0	0	5	10
2,4	21	0	10	20	25
1,2	54	5	20	30	50
0,6	72	15	35	55	70
0,3	81	50	65	85	95
0,15	86	85	90	95	100
0,075	89	-	-	-	-
Fundo	100	-	-	-	-

Módulo de Finura: 3,13
 Material Pulverulento: 11,09
 Dimensão Máxima (mm): 4,8
 Dimensão Mínima (mm): 0,075

Massa Específica (Kg/dm³): 3,01
 Massa Unitária (Kg/dm³): 1,72
 Coeficiente de Inchamento: 1,33

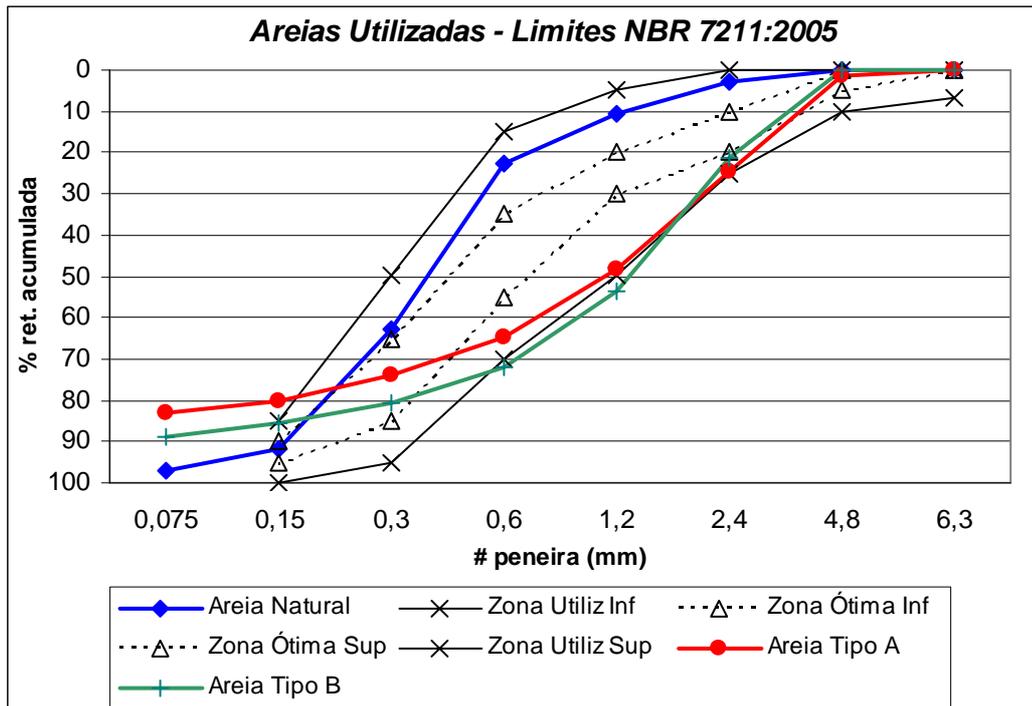


Figura 32: Granulometria dos agregados miúdos.
Fonte: NBR 7211 (2005).

Analisando os resultados dos ensaios de caracterização física dos agregados miúdos, pode-se verificar que a areia natural possui granulometria na zona utilizável da NBR7211 (2005).

As areias de britagem tipo A e B são semelhantes, entretanto a do tipo A possui uma fração muito fina passante na peneira 0,15 mm, enquanto a do tipo B está muito grossa na região intermediária, entre as peneiras 0,6 mm e 1,2 mm, em função disso, os dois tipos de areia de britagem estão fora dos limites de norma.

As diferenças entre as quantidades de material pulverulento entre as areias de britagem justifica a pequena diferença entre as suas curvas granulométricas. Apesar de lavadas, a areia de britagem tipo A apresentou teor de material pulverulento de 16,70 %, ultrapassando os limites de norma fixados em 12% para concretos convencionais e 10% para concretos sujeitos ao desgaste superficial. A areia de britagem tipo B apresentou teor de material pulverulento de 11,09%.

Com relação à massa unitária e inchamento das areias de britagem, conforme pode ser verificado na tabela 19, para cada 1000 litros areia, depois de efetuada a secagem e retirado o inchamento das areias, a areia de britagem do tipo A apresenta um volume de material seco maior (9,4%), sendo esta uma significativa vantagem econômica.

Tabela 19: Comparativo de volume efetivo das areias de britagem

Areia	Volume (litros)		Massa Seca (kg)	Volume de Areia (litros)
	Unitário Úmido	Unitário Seco		
Tipo A	1000	781,3	1398,4,	474,0
Tipo B	1000	751,9	1293,2	429,6

Com relação à forma dos grãos, apesar de ter sido determinado apenas em três frações, a areia de britagem do tipo A de grãos mais arredondados, apresentou coeficiente de forma $CF = 0,195$, enquanto a areia de britagem do tipo B, com grãos mais lamelares, o coeficiente encontrado foi de $CF = 0,126$ conforme evidencia a tabela 20.

Tabela 20: Coeficientes de forma dos agregados miúdos.

Fração Retida na Peneira (mm)	% Retida e Coeficiente de Forma de cada Fração					
	Areia A		Areia B		Natural	
	% Ret	CF	% Ret	CF	% Ret	CF
2,40	23,13	0,1703	21,00	0,1163	2,82	0,2295
1,20	23,96	0,1885	32,52	0,1157	7,65	0,2266
0,60	16,28	0,2391	18,42	0,1559	11,89	0,2147
Soma	63,37	-	71,94	-	22,36	-
CF da Areia	0,195		0,126		0,221	

Como não existe um critério normalizado para classificação de agregados miúdos quanto à forma, adotou-se o critério da AFNOR XP P18-540 (1997) para agregado graúdo, que define que o coeficiente de forma deverá ser maior ou igual a 0,2. Para agregados miúdos, não existem na literatura estudos que definam valores limites.

Tabela 21: Características físicas do agregado graúdo.

Peneira (mm)	% Retida Acumulada - NBR 7211:2005		
	Brita	Limite Inferior	Limite Superior
25	0	0	5
19,5	5	2	15
12,5	56	40	65
9,5	85	80	100
6,3	100	92	100
4,8	100	95	100
2,4	100	-	-
Fundo	100	-	-

Módulo de Finura: 6,89
 Material Puerulento: 0,76
 Dimensão Máxima (mm): 19
 Dimensão Mínima (mm): 6,3
 Massa Específica (Kg/dm³): 2,90
 Massa Unitária (Kg/dm³): 1,69
 Classificação: 9,5 / 25

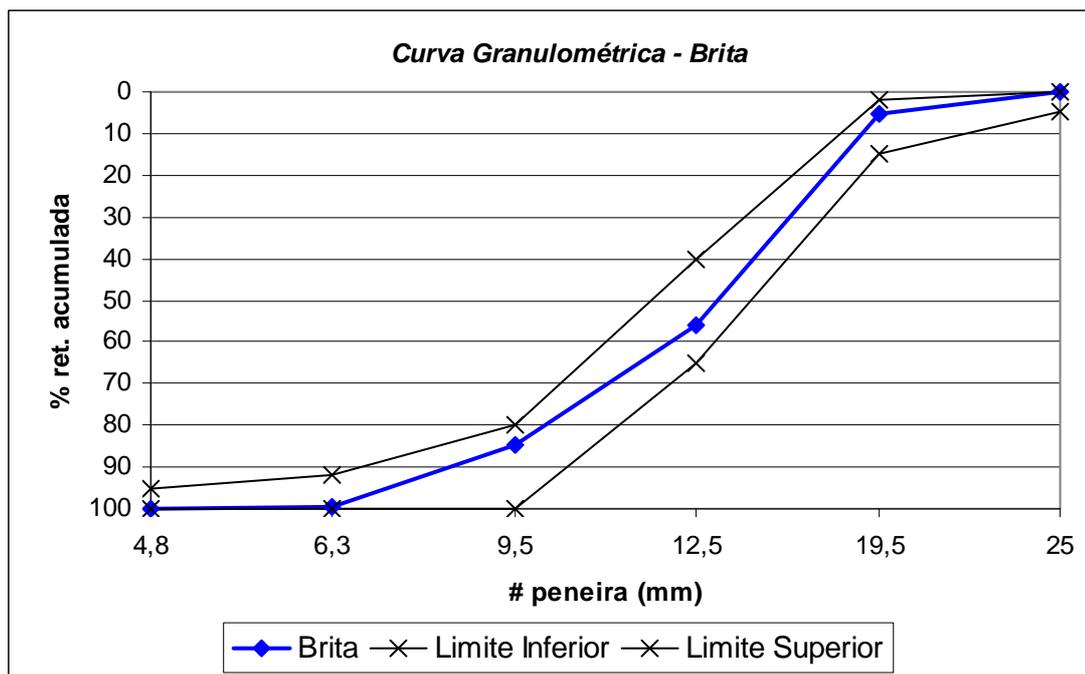


Figura 33: Granulometria do agregado graúdo.
 Fonte: NBR 7211 (2005).

Analisando os resultados dos ensaios de caracterização física dos agregados graúdos, pode-se verificar que o agregado graúdo possui granulometria na zona utilizável da NBR7211 (2005), na faixa 9,5/25mm.

4.2 Ensaio em argamassas

Como já citado anteriormente, o estudo realizado em argamassas visou determinar a proporção ideal entre as areias de britagem e natural. O critério para essa escolha foi prioritariamente a consistência medida pelo ensaio de flow table, no qual se fixou a relação água/cimento (quanto maior o flow, mais trabalhável seria a argamassa, conduzindo a uma potencial de economia de cimento no concreto com ela produzido). Paralelamente determinou-se o teor de ar incorporado, a resistência e módulo de elasticidade das argamassas que também serviram de subsídio para a escolha do teor ideal das areias. No estudo, a substituição das areias se deu em volume através do conhecimento de suas massas específicas. Na escolha das proporções ideais, levou-se em conta também critérios econômicos, ou seja, se proporções distintas da ótima possuísem um desempenho ligeiramente inferior, optava-se por misturas que contivessem a maior quantidade de areia de britagem.

Como os agregados miúdos compostos possuem massas específicas ligeiramente distintas, é aconselhável que se realize uma correção da curva granulométrica da composição levando em conta essa diferença. Nas figuras 34 e 35 são apresentadas as curvas granulométricas das mesclas contemplando essa correção. As indicações apresentadas na legenda das respectivas figuras correspondem as proporções volumétricas entre os agregados miúdos.

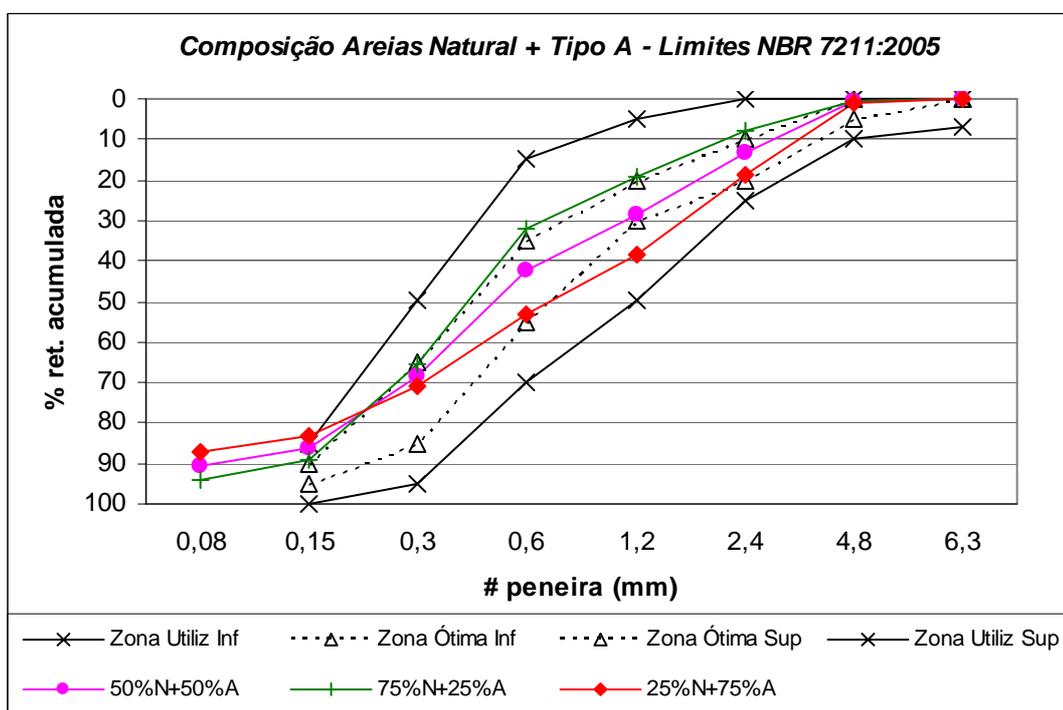


Figura 34: Composição areias natural e Tipo A – Limites.
Fonte: NBR 7211 (2005).

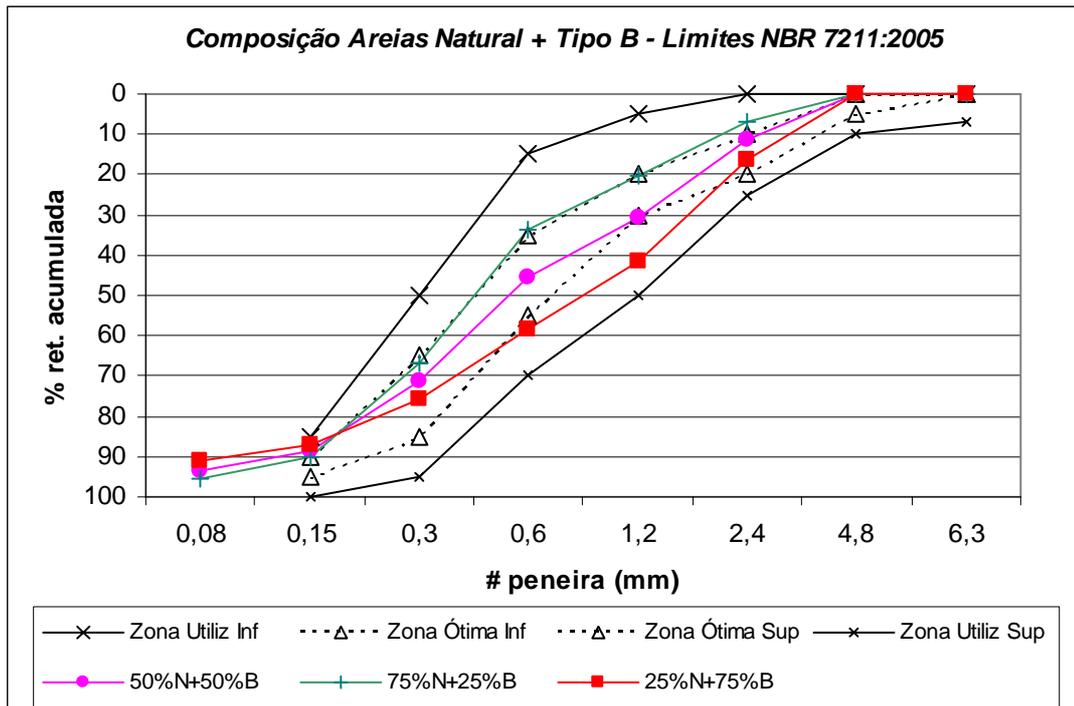


Figura 35: Composição areias natural e Tipo B – Limites.
 Fonte: NBR 7211 (2005).

Nas tabelas 22 à 26 e nas figuras 36 à 39 são apresentados os resultados dos ensaios no estado fresco e endurecido para cada uma das mesclas de areias propostas para a produção das argamassas.

Obteve-se a porcentagem de ar incorporado das argamassas diminuindo-se da unidade o valor da relação entre a massa específica real e a massa específica teórica.

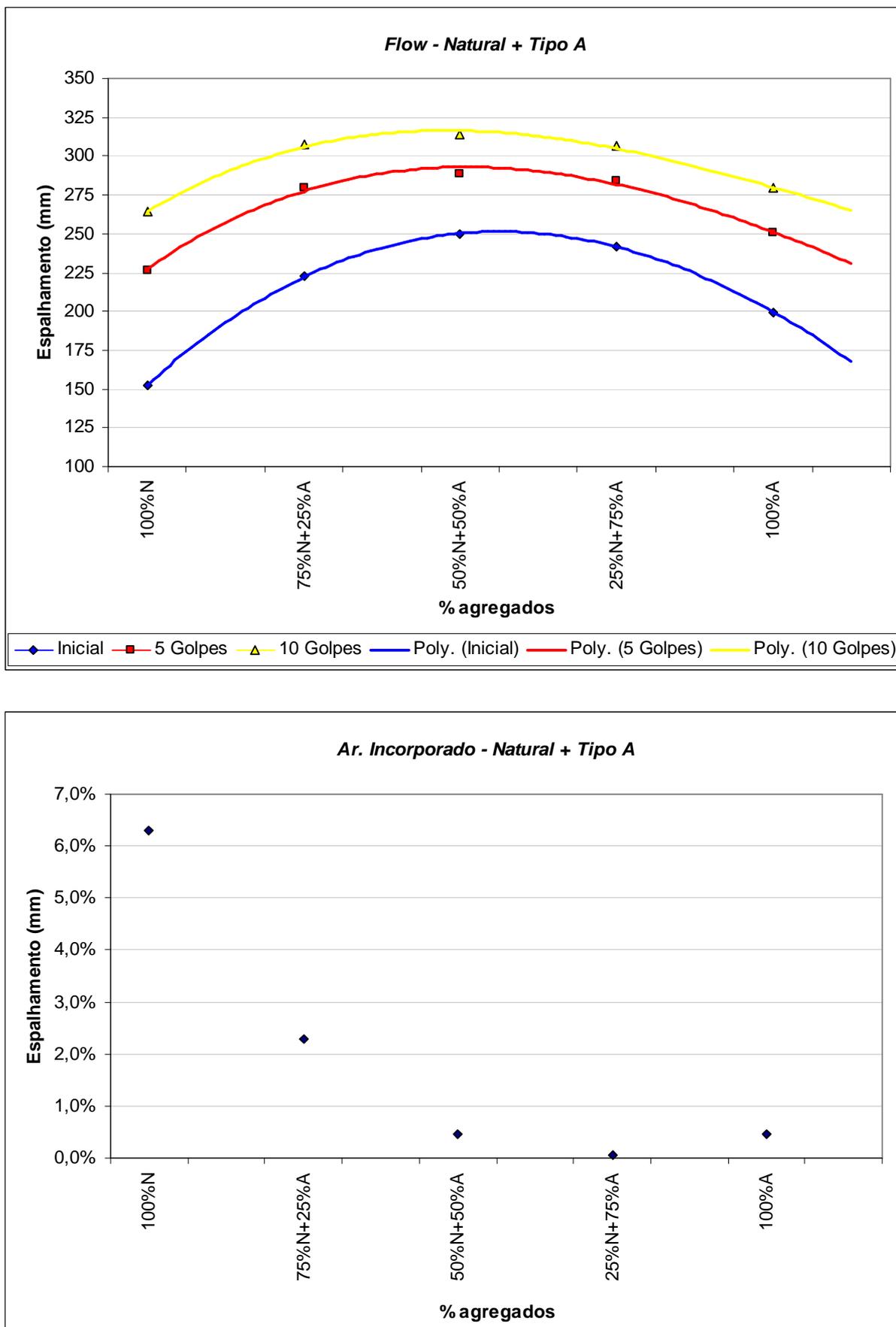


Figura 36: Ensaio Flow e ar incorporado, areia natural e areia de britagem Tipo A.

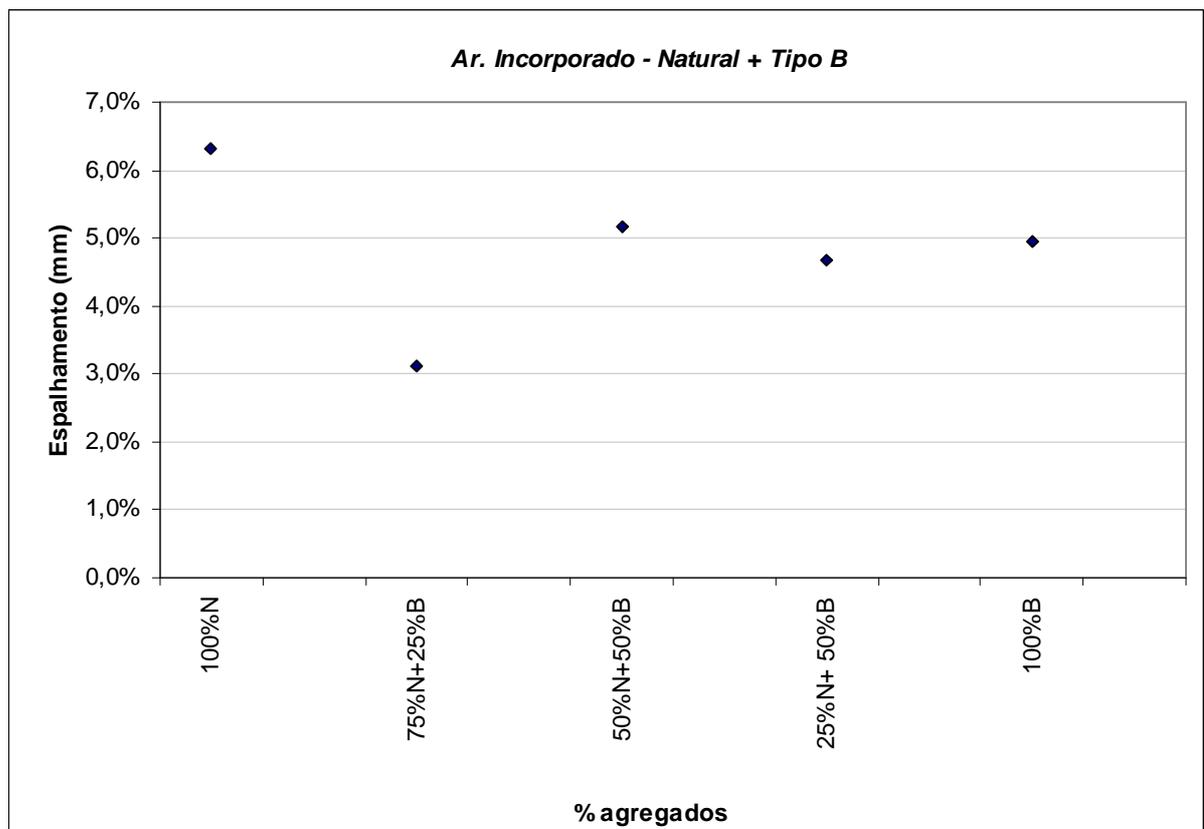
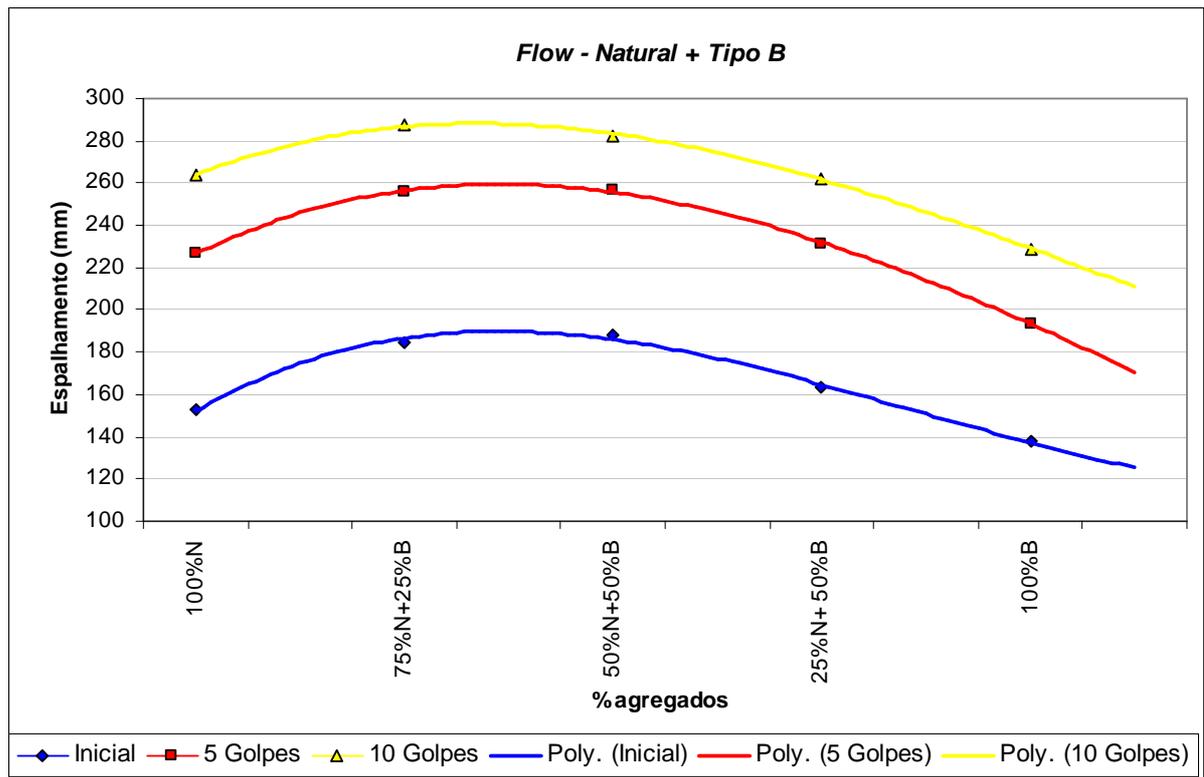


Figura 37: Ensaio Flow e ar incorporado, areia natural e areia de britagem Tipo B.

Com relação a areia de britagem tipo A, observou-se que a faixa de proporção ideal, com respeito ao flow, foi em torno de 50% de substituição. Se for levada em conta a resistência à compressão, o melhor teor de substituição foi o de 75%, que levou a uma resistência de 41,76MPa. Esse melhor desempenho pode ser creditado principalmente ao baixo teor de ar incorporado na mistura (próximo a zero). Assim sendo, o teor escolhido para a dosagem de concreto foi o de 65% pois, além do bom desempenho técnico, seria o melhor sob o ponto de vista econômico.

Com relação a areia de britagem tipo B, observou-se que a faixa de proporção ideal, com respeito ao flow, foi entre 25% e 50% de substituição. Ao analisarmos os resultados da resistência à compressão, o melhor teor de substituição foi o de 50%, que levou a uma resistência de 34,28MPa. Entretanto os valores de resistência obtidos com as outras substituições ficaram muito próximos, sendo esta aproximação de valores creditada ao teor de ar incorporado nas misturas ter se aproximado de um valor médio de 5%. Assim sendo, o teor escolhido para a dosagem de concreto também foi o de 65%, pelas mesmas razões já apresentadas acima.

Vale aqui ressaltar que as composições escolhidas se enquadraram nos limites granulométricos da NBR 7211 (2005).

Tabela 22: Resultados rompimento corpos-de-prova aos 28 dias, misturas em argamassa.

Combinação	Carga Máxima (KN)	Resistência Potencial (MPa)
100N	62,00	31,6
75N+25A	76,30	38,9
50N+50A	76,60	39,0
25N+75A	82,00	41,8
100A	79,25	40,4
75N+25B	63,95	32,6
50N+50B	67,30	34,3
25N+75B	66,10	33,7
100B	59,70	30,4

Os resultados de todos os corpos-de-prova ensaiados estão apresentados detalhadamente no anexo 2.

Tabela 23: Ensaios em argamassas, areia natural e areia Tipo A, determinação Flow Table Test, massa específica e ar incorporado.

Composição das Areias	Flow (mm)			Massa Espec. Real (Kg/dm³)	Massa Espec. Teórico (Kg/dm³)	Ar incorporado (%)
	Inicial	5 golpes	10 golpes			
100%N	152,5	226,8	264,0	2,054	2,192	6,3%
75%N+25%A	222,5	280,0	307,5	2,181	2,232	2,3%
50%N+50%A	249,5	289,0	314,0	2,260	2,271	0,5%
25%N+75%A	242,0	284,5	306,5	2,309	2,310	0,1%
100%A	199,5	250,5	279,5	2,338	2,349	0,5%

Tabela 24: Ensaios em argamassas, areia natural e areia britagem Tipo A, determinação módulo de elasticidade.

Tensão (Mpa)	Deformação Específica Média				
	100N	75N+25A	50N+50A	25N+75A	100A
0,0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
2,5	7,45E-05	1,19E-04	7,95E-05	8,75E-05	8,40E-05
5,1	1,90E-04	2,19E-04	1,92E-04	1,90E-04	2,28E-04
7,6	3,01E-04	3,46E-04	3,21E-04	3,16E-04	3,11E-04
10,2	4,09E-04	4,57E-04	4,31E-04	4,27E-04	4,39E-04
12,7	5,25E-04	5,89E-04	5,65E-04	5,52E-04	5,98E-04
15,3	6,58E-04	7,21E-04	6,99E-04	6,85E-04	7,17E-04
17,8	8,01E-04	8,74E-04	8,67E-04	8,36E-04	8,66E-04
20,4	9,61E-04	1,04E-03	1,03E-03	9,75E-04	1,06E-03
fc,média	26,3	37,4	36,4	40,6	39,33
E (MPa)	11378	9541	9366	9487	8881

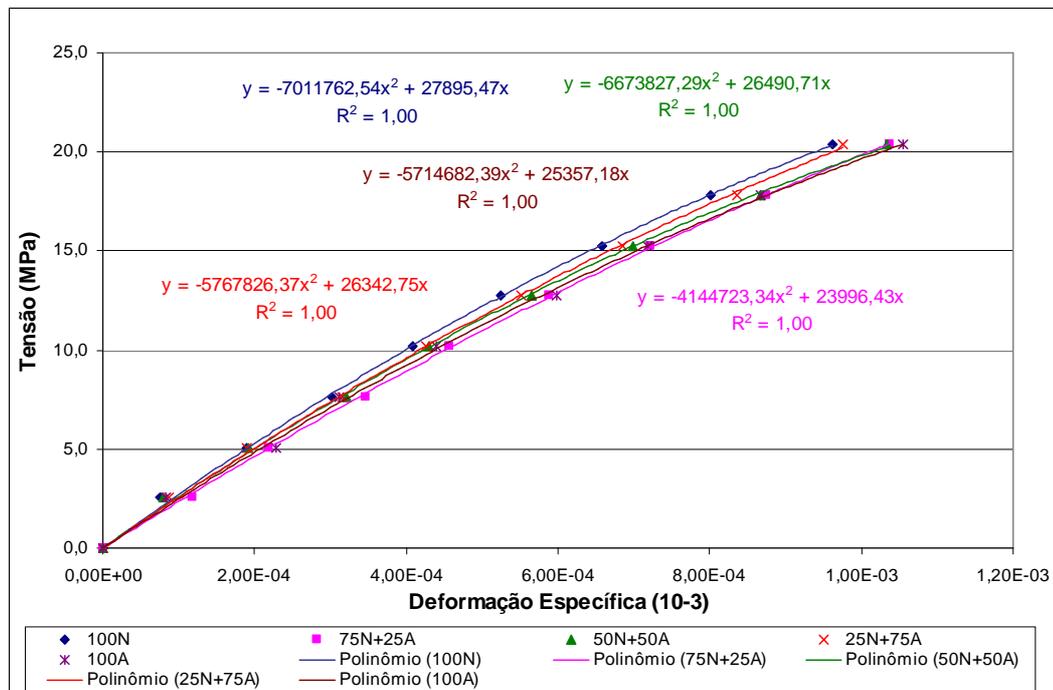


Figura 38: Ensaio módulo de elasticidade areia natural e areia de britagem Tipo A

Tabela 25: Ensaio em argamassas, areia natural e areia Tipo B, determinação Flow Table Test, massa específica e ar incorporado.

Composição das Areias	Flow (mm)			Massa Espec. Real (Kg/dm³)	Massa Espec. Teórico (Kg/dm³)	Ar incorporado (%)
	Inicial	5 golpes	10 golpes			
100%N	152,5	226,8	264,0	2,054	2,192	6,3%
75%N+25%B	185,0	256,0	287,5	2,105	2,241	3,1%
50%N+50%B	188,5	256,5	282,5	2,171	2,289	5,2%
25%N+ 50%B	163,0	231,5	262,5	2,228	2,337	4,7%
100%B	137,5	193,5	229,0	2,267	2,385	4,9%

Tabela 26: Ensaio em argamassas, areia natural e areia britagem Tipo B, determinação módulo de elasticidade.

Tensão (Mpa)	Deformação Específica Média				
	100N	75N+25B	50N+50B	25N+75B	100B
0,0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
2,5	7,45E-05	9,14E-05	1,33E-04	1,16E-04	1,01E-04
5,1	1,90E-04	1,99E-04	2,65E-04	2,47E-04	2,17E-04
7,6	3,01E-04	3,36E-04	4,18E-04	3,79E-04	3,91E-04
10,2	4,09E-04	4,46E-04	5,68E-04	5,12E-04	5,29E-04
12,7	5,25E-04	5,88E-04	7,48E-04	6,53E-04	6,89E-04
15,3	6,58E-04	7,38E-04	9,28E-04	8,09E-04	8,54E-04
17,8	8,01E-04	9,01E-04	1,17E-03	9,75E-04	1,04E-03
20,4	9,61E-04	1,09E-03	1,39E-03	1,27E-03	1,24E-03
fc,média	26,3	32,1	32,2	33,3	29,93
E (MPa)	11378	9531	7426	8296	7881

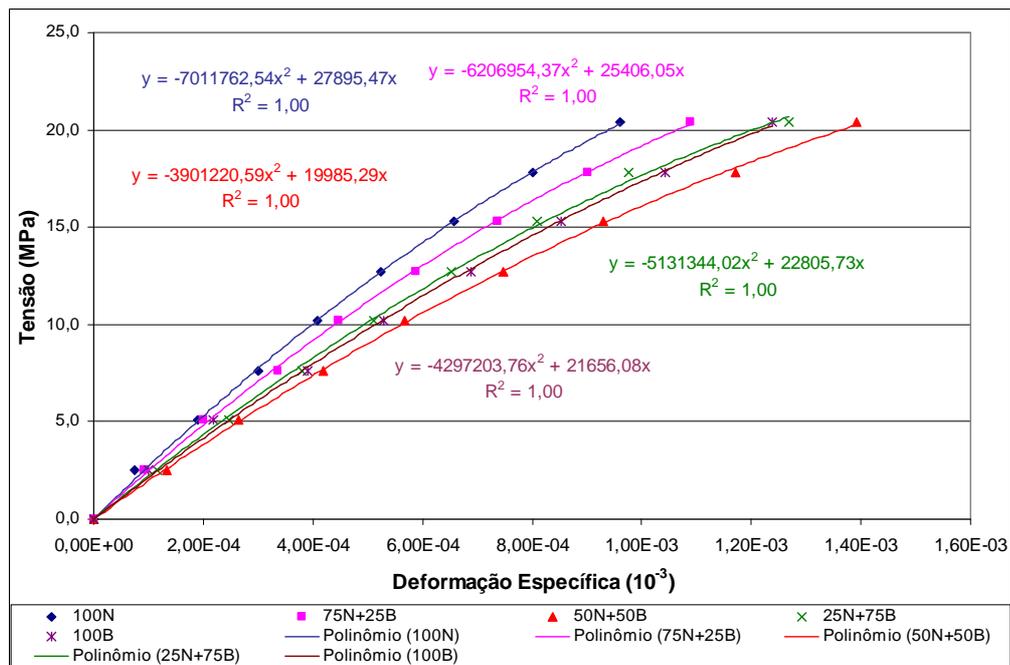


Figura 39: Ensaio módulo de elasticidade areia natural e areia de britagem Tipo B.

Em relação ao módulo de elasticidade, notou-se que a substituição da areia natural por areia de britagem basáltica ocasionou uma diminuição, que foi mais significativa para a areia B.

Estranhamente, a maior densidade da areia de britagem tipo B não proporcionou módulos de elasticidade mais elevados.

4.3 Ensaios em concreto

Neste item, são apresentados os resultados do estudo de dosagem dos concretos empregando a areia natural e as areias de britagem A e B em substituição parcial.

Inicialmente, durante o estudo para a determinação do teor ideal de argamassa, adotou-se a proporção 75% das areias de britagem e 25% de areia natural, considerados os mais promissores sob o ponto de vista econômico e de resistência, determinados no estudo em argamassa. Observou-se que essa proporção não conduzia a bons resultados de trabalhabilidade, pois os concretos apresentavam baixa coesão. Por tentativas, nessa fase do estudo de dosagem, foi sendo acrescentada areia natural à mistura e chegou-se a uma proporção otimizada no concreto de 65% de areias de britagem e 35% de areia natural. Esses valores poderiam ter sido um pouco mais refinados, pois a areia B conduzia a misturas com menor coesão do que as da areia A, mas considerou-se mais adequado manter as duas proporções iguais para facilitar as comparações realizadas posteriormente. A seguir, as tabelas 27 à 29 e figuras 40 à 42, apresentam os dados originadas dos estudos de dosagem das diferentes composições. A tabela 30 condensa as três tabelas anteriores.

Tabela 27: Dados determinação curvas de dosagem, método IPT/EPUSP -100%, areia natural.

Traço: 1:3,5

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 3,5)	
Cimento	516,25	Cimento	1,000
Areia Natural	598,83	Areia Natural	1,160
Brita	1208,02	Brita	2,340
Água	202,09	Água	0,391
Aditivo	3,93	Aditivo	0,0075
H (%)	8,70%		
Slump (cm)	8,5	Ar incorporado	2,2%
Massa Específica (kg/dm ³)	2,529		
Módulo de Elasticidade (MPa): 42329,16			

Resistências - 1:3,5

Carga (KN)		Resistência (MPa)	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
353,20	457,10	45,1	58,6
357,70	476,10	45,6	61,1

Traço 1:5,0

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 5,0)	
Cimento	384,80	Cimento	1,000
Areia Natural	723,44	Areia Natural	1,880
Brita	1200,59	Brita	3,120
Água	181,00	Água	0,470
Aditivo	2,89	Aditivo	0,0075
H (%)	7,84%	Ar incorporado 0,5%	
Slump (cm)	12		
Massa Específica (kg/dm ³)	2,506		
Módulo de Elasticidade (MPa): 41270,50			

Resistências - 1:5,0			
Carga (KN)		Resistência (MPa)	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
300,90	400,20	38,5	51,1
299,90	397,20	38,4	51,0

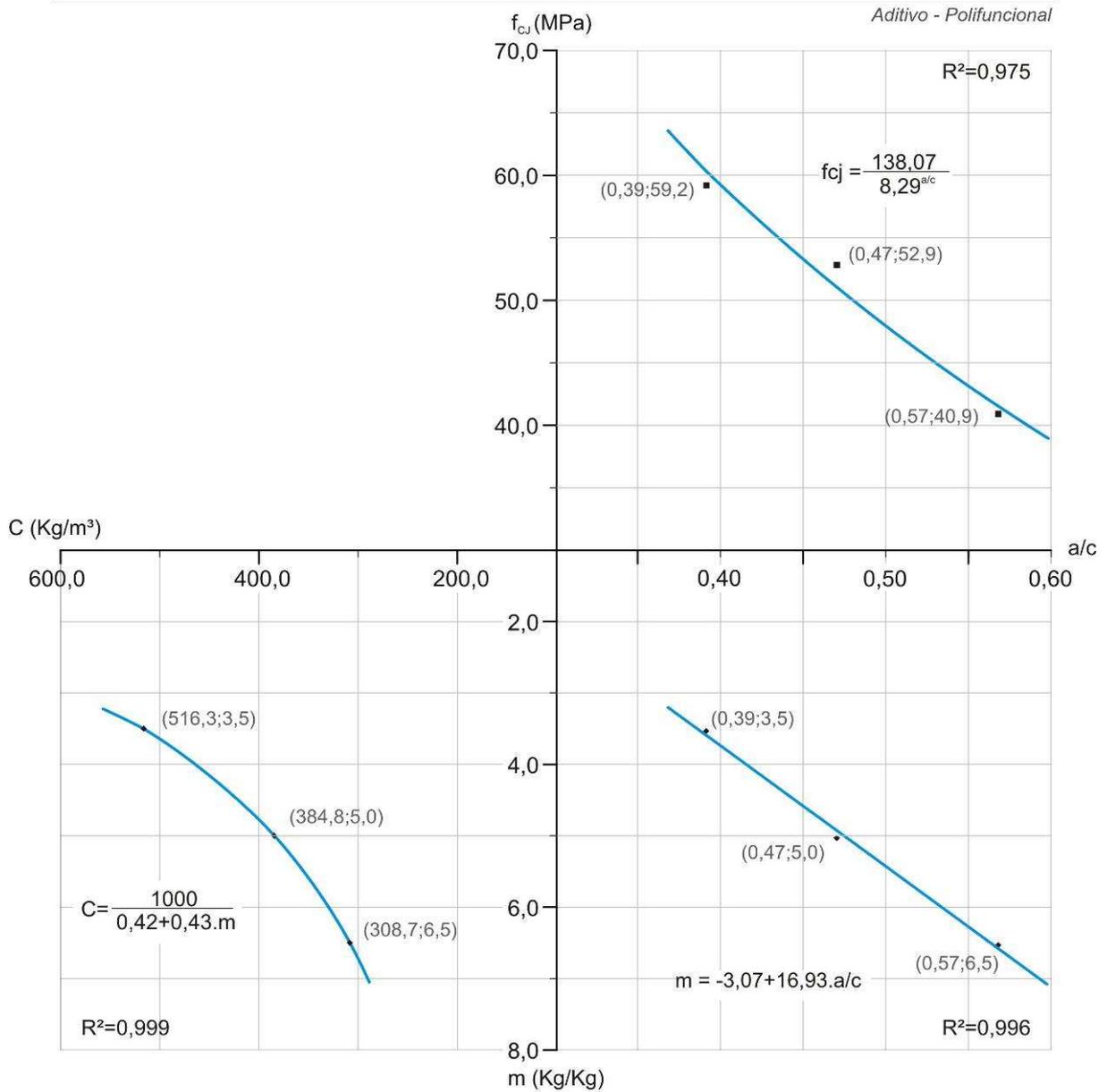
Traço 1:6,5

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 6,5)	
Cimento	308,67	Cimento	1,000
Areia Natural	804,81	Areia Natural	2,607
Brita	1203,81	Brita	3,900
Água	175,33	Água	0,568
Aditivo	2,28	Aditivo	0,0075
H (%)	7,57%	Ar incorporado -0,3%	
Slump (cm)	10,5		
Massa Específica (kg/dm ³)	2,489		
Módulo de Elasticidade (MPa): 39139,58			

Resistências - 1:6,5			
Carga (KN)		Resistência (MPa)	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
231,90	317,20	29,6	40,5
239,90	321,20	30,2	41,1

Diagrama de Dosagem

Agregados utilizados		ABATIMENTO	TEOR DE ARGAMASSA	TIPO DE CONCRETO
Areia Lavada Natural, quartzosa MÉDIA	Pedra Britada de Basalto BRITA 1	10±2cm	α=48,0%	Convencional



MATERIAL	Massa Específica (Kg/dm³)	Diâmetro Máximo Característica - Ømáx (mm)	Módulo de Finura
Cimento Portland (CPII - Z 32)	2,97	-	-
Areia Média de rio - Natural	2,65	2,40	1,95
Pedra Britada - Brita 1 - Basalto	2,90	19,50	6,89

Obs.: O aditivo utilizado foi MIRA-76 da empresa GRACE com teor fixado em 0,75% da massa de cimento

Figura 40: Curva de dosagem – 100% areia natural.

Tabela 28: Dados determinação curvas de dosagem, método IPT/EPUSP - 35%, areia natural + 65% areia britagem Tipo A.

Traço: 1:3,5

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 3,5)	
Cimento	504,85	Cimento	1,000
Areia Natural	228,83	Areia Natural	0,453
Areia A	471,47	Areia A	0,934
Brita	1113,20	Brita	2,205
Água	212,04	Água	0,420
Aditivo	3,79	Aditivo	0,0075
H (%)	9,15%		
Slump (cm)	8,0		
Massa Específica (kg/dm ³)	2,534		
Módulo de Elasticidade (MPa): 42302,71			

Ar incorporado	1,6%
----------------	------

Resistências - 1:3,5

Carga (KN)		Resistência (MPa)	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
354,20	485,60	44,5	61,1
351,70	449,60	44,9	56,3

Traço 1:5,0

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 5,0)	
Cimento	382,98	Cimento	1,000
Areia Natural	275,77	Areia Natural	0,720
Areia A	567,98	Areia A	1,483
Brita	1125,97	Brita	2,940
Água	201,47	Água	0,526
Aditivo	2,78	Aditivo	0,0075
H (%)	8,56%		
Slump (cm)	8,0		
Massa Específica (kg/dm ³)	2,557		
Módulo de Elasticidade (MPa): 38450,59			

Ar incorporado	1,8%
----------------	------

Resistências - 1:5,0

Carga (KN)		Resistência (MPa)	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
258,00	393,70	34,4	49,6
260,00	409,60	32,5	52,4

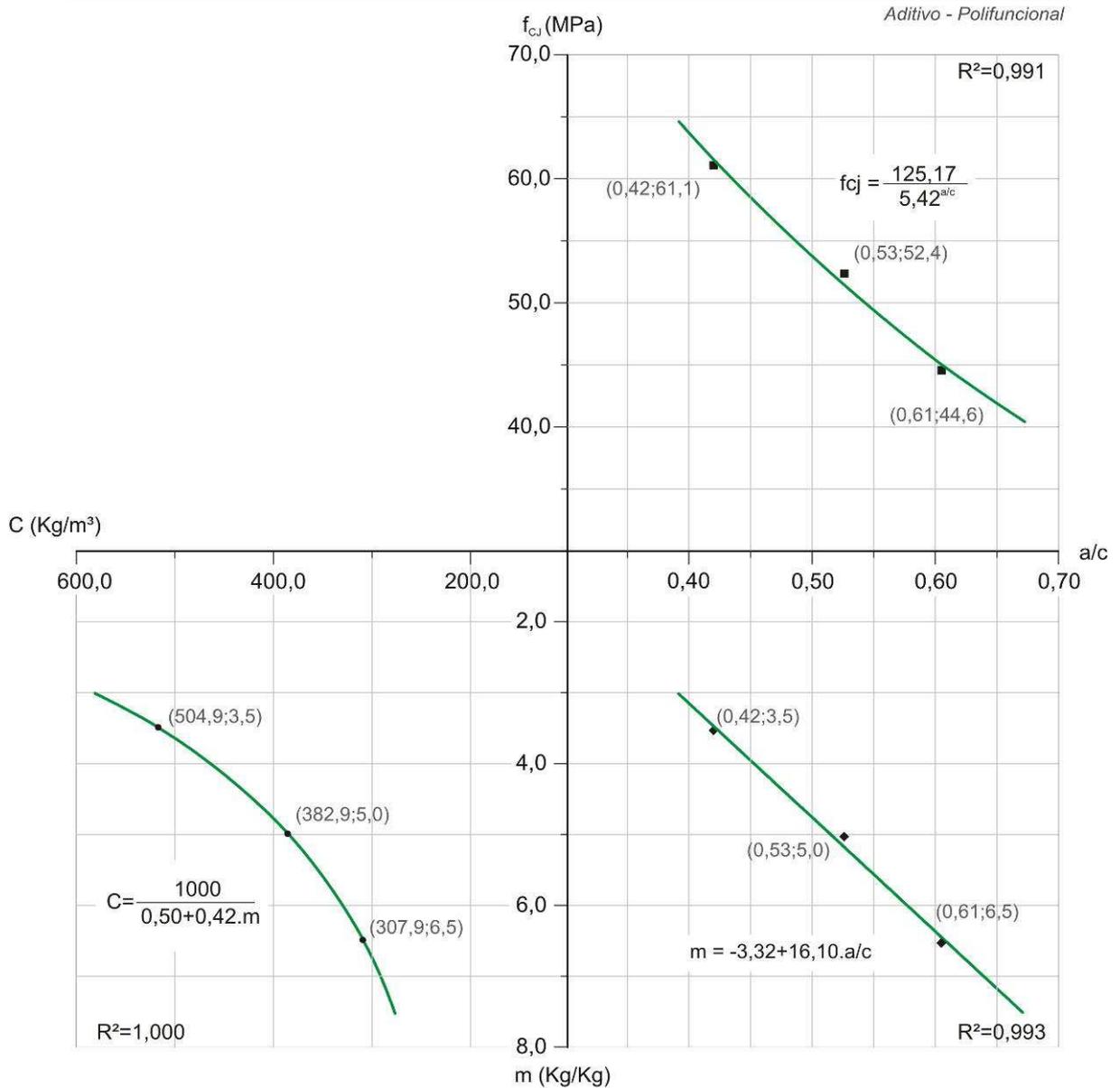
Traço 1:6,5

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 6,5)	
Cimento	307,89	Cimento	1,000
Areia Natural	304,43	Areia Natural	0,989
Areia A	629,61	Areia A	2,045
Brita	1131,51	Brita	3,675
Água	186,28	Água	0,605
Aditivo	2,31	Aditivo	0,0075
H (%)	7,85%		
Slump (cm)	8,0		
Massa Específica (kg/dm ³)	2,562	Ar incorporado	1,2%
Módulo de Elasticidade (MPa): 37513,12			

Resistências - 1:6,5			
Carga (KN)		Resistência (MPa)	
<i>7 dias</i>	<i>28 dias</i>	<i>7 dias</i>	<i>28 dias</i>
239,40	346,20	30,5	44,1
237,40	352,20	30,3	44,6

Diagrama de Dosagem

Agregados utilizados			ABATIMENTO (Slump)	TEOR DE ARGAMASSA	TIPO DE CONCRETO
Areia Lavada Natural, quartzosa	Areia Industrial Artificial, Basalto	Pedra Britada de Basalto	10±2cm	α=51,0%	Convencional
MÉDIA	MÉDIA (Arredondada)	BRITA 1			



MATERIAL	Massa Específica (Kg/dm³)	Diâmetro Máximo Característica - Ømáx (mm)	Módulo de Finura
Cimento Portland (CPII - Z 32)	2,97	-	-
Areia Média de rio - Natural	2,65	2,40	1,95
Areia Média Industrial Arredondada - Basalto	2,94	4,80	3,34
Pedra Britada - Brita 1 - Basalto	2,90	19,50	6,89

Obs.: O aditivo utilizado foi MIRA-76 da empresa GRACE com teor fixado em 0,75% da massa de cimento

Figura 41: Curva de dosagem – 35% areia natural + 65% areia de britagem Tipo A.

Tabela 29: Dados determinação curvas de dosagem, método IPT/EPUSP - 35%, areia natural + 65% areia britagem Tipo B.

Traço: 1:3,5

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 3,5)	
Cimento	505,24	Cimento	1,000
Areia Natural	229,00	Areia Natural	0,453
Areia B	483,06	Areia B	0,956
Brita	1114,05	Brita	2,205
Água	214,22	Água	0,424
Aditivo	3,79	Aditivo	0,0075
H (%)	9,19%		
Slump (cm)	8,0	Ar incorporado	1,9%
Massa Específica (kg/dm ³)	2,549		
Módulo de Elasticidade (MPa): 41846,84			

Resistências - 1:3,5			
Carga (KN)		Resistência (MPa)	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
306,70	431,10	39,1	55,0
299,40	436,60	38,2	55,7

Traço 1:5,0

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 5,0)	
Cimento	380,50	Cimento	1,000
Areia Natural	274,34	Areia Natural	0,721
Areia B	578,70	Areia B	1,521
Brita	1118,66	Brita	2,940
Água	200,65	Água	0,527
Aditivo	2,85	Aditivo	0,0075
H (%)	8,53%		
Slump (cm)	8,0	Ar incorporado	1,3%
Massa Específica (kg/dm ³)	2,556		
Módulo de Elasticidade (MPa): 37493,33			

Resistências - 1:5,0			
Carga (KN)		Resistência (MPa)	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
235,40	329,20	30,1	42,0
233,90	349,70	29,7	44,9

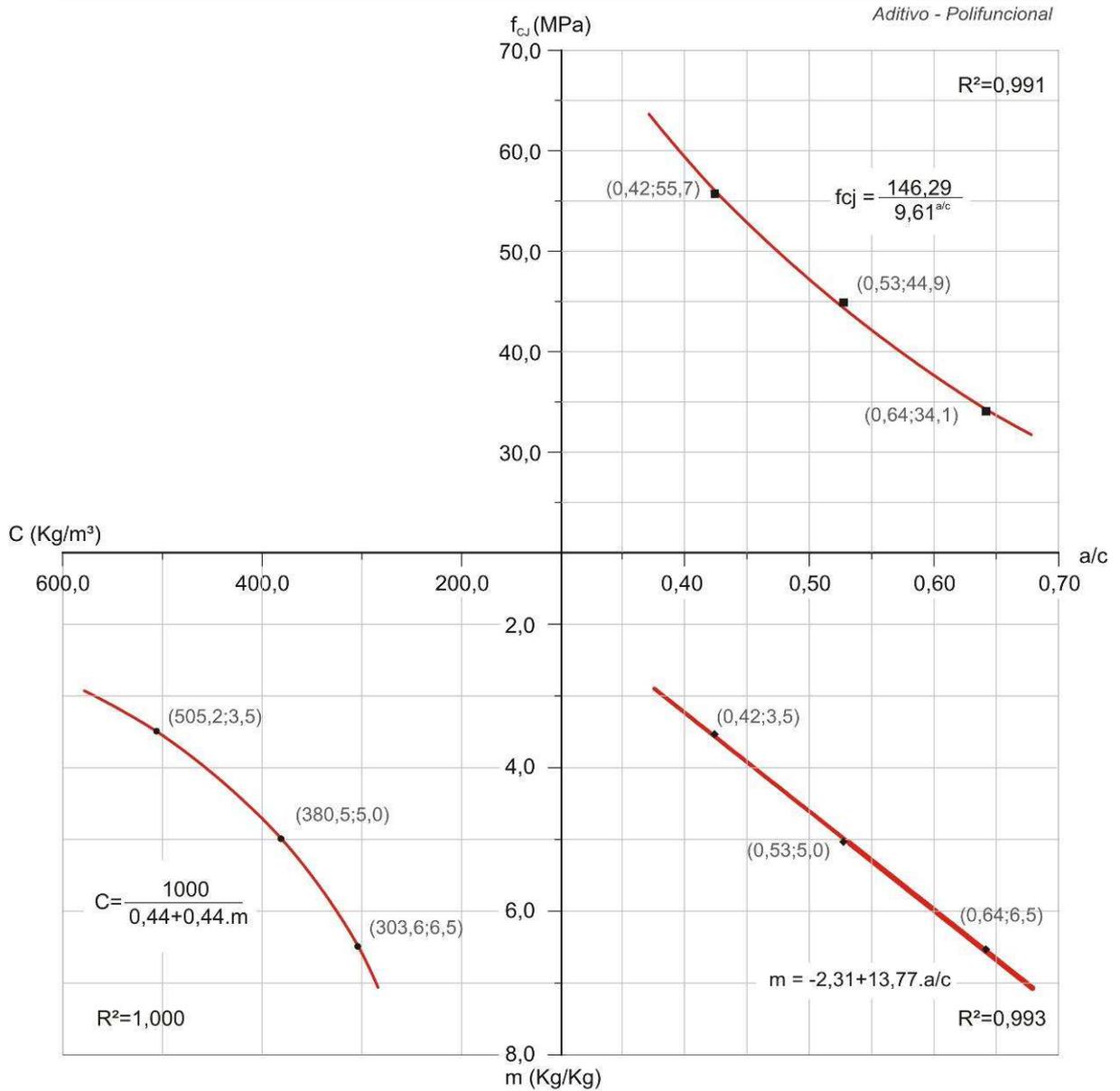
Traço 1:6,5

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 6,5)	
Cimento	303,55	Cimento	1,000
Areia Natural	300,13	Areia Natural	0,989
Areia B	633,11	Areia B	2,086
Brita	1115,53	Brita	3,675
Água	194,78	Água	0,642
Aditivo	2,28	Aditivo	0,0075
H (%)	8,28%		
Slump (cm)	8,0	Ar incorporado	0,7%
Massa Específica (kg/dm ³)	2,549		
Módulo de Elasticidade (MPa): 36925,87			

Resistências - 1:6,5			
Carga (KN)		Resistência (MPa)	
<i>7 dias</i>	<i>28 dias</i>	<i>7 dias</i>	<i>28 dias</i>
180,50	256,50	23,0	32,8
179,00	268,50	22,7	33,9

Diagrama de Dosagem

Agregados utilizados			ABATIMENTO (Slump)	TEOR DE ARGAMASSA	TIPO DE CONCRETO
Areia Lavada Natural, quartzosa	Areia Industrial Artificial, Basalto	Pedra Britada de Basalto	10±2cm	α=51,0%	Convencional
MÉDIA	MÉDIA	BRITA 1			



MATERIAL	Massa Específica (Kg/dm³)	Diâmetro Máximo Característica - Ømáx (mm)	Módulo de Finura
Cimento Portland (CPII - Z 32)	2,97	-	-
Areia Média de rio - Natural	2,65	2,40	1,95
Areia Média Industrial - Basalto	3,01	4,80	3,47
Pedra Britada - Brita 1 - Basalto	2,90	19,50	6,89

Obs.: O aditivo utilizado foi MIRA-76 da empresa GRACE com teor fixado em 0,75% da massa de cimento

Figura 42: Curva de dosagem – 35% areia natural + 65% areia de britagem Tipo B.

Tabela 30. Determinação curvas de dosagem, método IPT/EPUSP

100% Areia Natural

Traço: 1:3,5

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 3,5)	
Cimento	516,25	Cimento	1,000
Areia Natural	598,83	Areia Natural	1,160
Brita	1208,02	Brita	2,340
Água	202,09	Água	0,391
Aditivo	3,93	Aditivo	0,0075
H (%)	8,70%		
Slump (cm)	8,5	Ar incorp.	2,2%
M. Espec. (kg/dm ³)	2,529		
Módulo de Elasticidade (MPa): 42329,16			
Resistências – 1:3,5			
Carga (KN)		Resistência (MPa)	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
353,20	457,10	45,10	58,60
357,70	476,10	45,60	61,10

Traço 1:5,0

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 5,0)	
Cimento	384,80	Cimento	1,000
Areia Natural	723,44	Areia Natural	1,880
Brita	1200,59	Brita	3,120
Água	181,00	Água	0,470
Aditivo	2,89	Aditivo	0,0075
H (%)	7,84%		
Slump (cm)	12	Ar incorp.	0,5%
M. Espec. (kg/dm ³)	2,506		
Módulo de Elasticidade (MPa): 41270,50			
Resistências – 1:5,0			
Carga (KN)		Resistência (MPa)	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
300,90	400,20	38,50	51,10
299,90	397,20	38,40	51,00

Traço 1:6,5

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 6,5)	
Cimento	308,67	Cimento	1,000
Areia Natural	804,81	Areia Natural	2,607
Brita	1203,81	Brita	3,900
Água	175,33	Água	0,568
Aditivo	2,28	Aditivo	0,0075
H (%)	7,57%		
Slump (cm)	10,5	Ar incorp.	-0,3%
M. Espec. (kg/dm ³)	2,489		
Módulo de Elasticidade (MPa): 39139,58			
Resistências – 1:6,5			
Carga (KN)		Resistência (MPa)	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
231,90	317,20	29,60	40,50
239,90	321,20	30,20	41,10

35% Areia Natural + 65% Areia de Britagem Tipo A

Traço: 1:3,5

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 3,5)	
Cimento	504,85	Cimento	1,000
Areia Natural	228,83	Areia Natural	0,453
Areia A	471,47	Areia A	0,934
Brita	1113,20	Brita	2,205
Água	212,04	Água	0,420
Aditivo	3,79	Aditivo	0,0075
H (%)	9,15%		
Slump (cm)	8,0	Ar incorp.	1,6%
M. Espec. (kg/dm ³)	2,534		
Módulo de Elasticidade (MPa): 42302,71			
Resistências – 1:3,5			
Carga (KN)		Resistência (MPa)	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
354,20	485,60	44,50	61,10
351,70	449,60	44,90	56,30

Traço 1:5,0

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 5,0)	
Cimento	382,98	Cimento	1,000
Areia Natural	275,77	Areia Natural	0,720
Areia A	567,98	Areia A	1,483
Brita	1125,97	Brita	2,940
Água	201,47	Água	0,526
Aditivo	2,78	Aditivo	0,0075
H (%)	8,56%		
Slump (cm)	8,0	Ar incorp.	1,8%
M. Espec. (kg/dm ³)	2,557		
Módulo de Elasticidade (MPa): 38450,59			
Resistências – 1:5,0			
Carga (KN)		Resistência (MPa)	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
258,00	393,70	34,40	49,60
260,00	409,60	32,50	52,40

Traço 1:6,5

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 6,5)	
Cimento	307,89	Cimento	1,000
Areia Natural	304,43	Areia Natural	0,989
Areia A	629,61	Areia A	2,045
Brita	1131,51	Brita	3,675
Água	186,28	Água	0,605
Aditivo	2,31	Aditivo	0,0075
H (%)	7,85%		
Slump (cm)	8,0	Ar incorp.	1,2%
M. Espec. (kg/dm ³)	2,562		
Módulo de Elasticidade (MPa): 37513,12			
Resistências – 1:6,5			
Carga (KN)		Resistência (MPa)	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
239,40	346,20	30,50	44,10
237,40	352,20	30,30	44,60

35% Areia Natural + 65% Areia de Britagem Tipo B

Traço: 1:3,5

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 3,5)	
Cimento	505,24	Cimento	1,000
Areia Natural	229,00	Areia Natural	0,453
Areia B	483,06	Areia B	0,956
Brita	1114,05	Brita	2,205
Água	214,22	Água	0,424
Aditivo	3,79	Aditivo	0,0075
H (%)	9,19%		
Slump (cm)	8,0	Ar incorp.	1,9%
M. Espec. (kg/dm ³)	2,549		
Módulo de Elasticidade (MPa): 41846,84			
Resistências – 1:3,5			
Carga (KN)		Resistência (MPa)	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
306,70	431,10	39,10	55,00
299,40	436,60	38,20	55,70

Traço 1:5,0

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 5,0)	
Cimento	380,50	Cimento	1,000
Areia Natural	274,34	Areia Natural	0,721
Areia B	578,70	Areia B	1,521
Brita	1118,66	Brita	2,940
Água	200,65	Água	0,527
Aditivo	2,85	Aditivo	0,0075
H (%)	8,53%		
Slump (cm)	8,0	Ar incorp.	1,3%
M. Espec. (kg/dm ³)	2,556		
Módulo de Elasticidade (MPa): 37493,33			
Resistências – 1:5,0			
Carga (KN)		Resistência (MPa)	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
235,40	329,20	30,10	42,00
233,90	349,70	29,70	44,90

Traço 1:6,5

Consumo de Materiais/m ³		Traço (1 : 6,5)	
Cimento	303,55	Cimento	1,000
Areia Natural	300,13	Areia Natural	0,989
Areia B	633,11	Areia B	2,086
Brita	1115,53	Brita	3,675
Água	194,78	Água	0,642
Aditivo	2,28	Aditivo	0,0075
H (%)	8,28%		
Slump (cm)	8,0	Ar incorp.	0,7%
M. Espec. (kg/dm ³)	2,549		
Módulo de Elasticidade (MPa): 36925,87			
Resistências – 1:6,5			
Carga (KN)		Resistência (MPa)	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
180,50	256,50	23,00	32,80
179,00	268,50	22,70	33,90

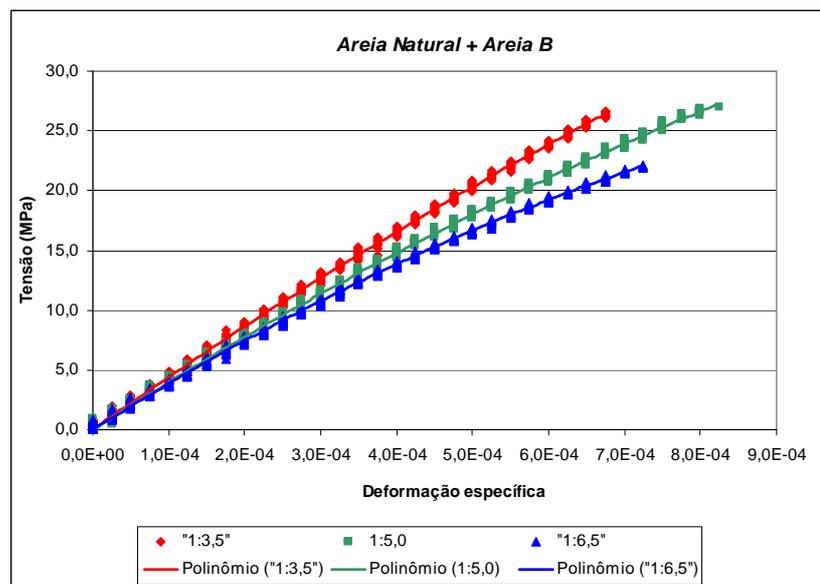
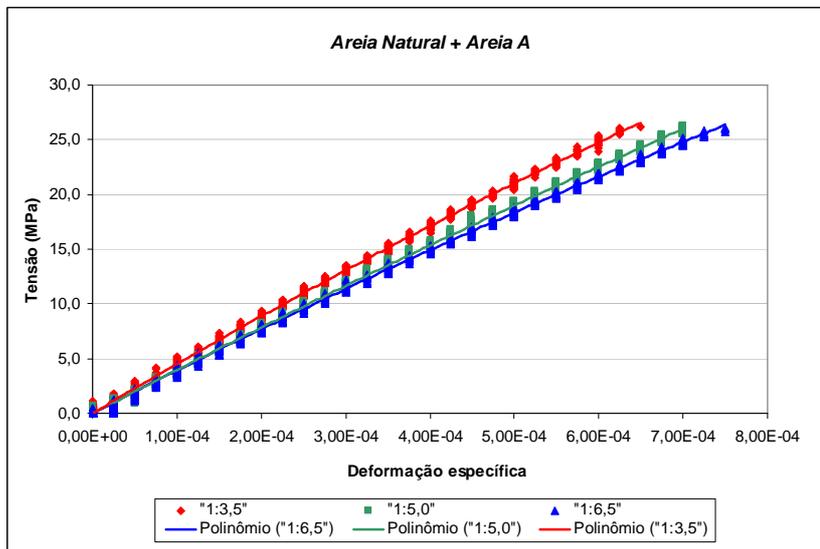
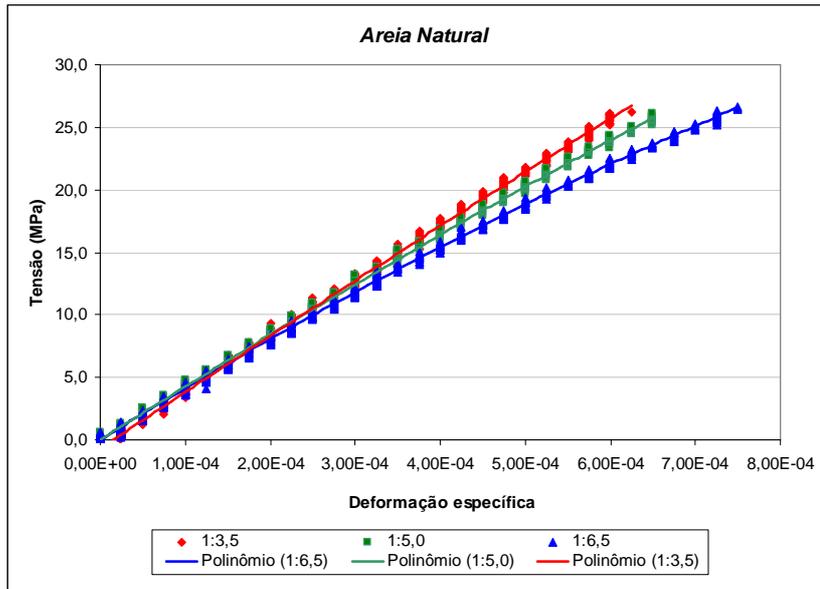


Figura 43: Comparativo dos módulos de elasticidade.

Analisando-se os gráficos da figura 43 que apresenta um comparativo entre os módulos de elasticidade dos concretos elaborados, repetiu-se a tendência já verificada no estudo das argamassas, onde a substituição parcial da areia natural pela areia de britagem tipo A apresentou maior módulo de elasticidade em relação a do tipo B.

Tabela 31: Comparativo do módulo de elasticidade obtido experimentalmente e o calculado segundo prescrições da NBR 6118:03

Composição das Areias	Experimental			Teórico - E_{ci} (NBR 6118)		
	1:3,5	1:5,0	1:6,5	1:3,5	1:5,0	1:6,5
100% AN	42.329	41.270	39.140	43.066	39.814	35.605
65%AA + 35%AN	42.303	38.451	37.513	43.745	39.827	37.209
65%AB + 35%AN	41.847	37.494	36.926	40.089	36.601	32.452

Conforme pode ser observado na Tabela 31, os valores de módulo de elasticidade calculados segundo equação prevista na NBR 6118:03 (E_{ci}) aproximam-se bastante daqueles obtidos experimentalmente. Para os traços 1:3,5 e 1:5,0, estas diferenças foram inferiores a 5%. No entanto, para os concretos confeccionados com o traço 1:6,5, todos os valores experimentais foram superiores aos calculados e as diferenças chegaram a 12,1%, em relação ao valor experimental, para a composição 65%AB e 35%AN.

Verificou-se também que nem sempre existe linearidade entre a resistência a compressão e o módulo de elasticidade, o que não confirma as prerrogativas da norma NBR 6118 (2003).

Surpreendentemente, os resultados obtidos para a resistência a compressão dos corpos de prova foram muito elevados para o tipo de cimento empregado, no caso CP II – Z.

O consumo de água para um mesmo traço apresentou correspondência com o coeficiente de forma, não repetindo a tendência da argamassa, isto pode ser atribuído ao fato dos grãos lamelares produzirem um atrito maior com os grãos de brita do concreto, como pode ser verificado na tabela 32.

Tabela 32: Consumo de água para concretos obtidos por meio das curvas de dosagem

m	100% Areia Natural		65% A + 35% Nat		65% B + 35% Nat	
	Água / m ³	H (%)	Água / m ³	H (%)	Água / m ³	H (%)
5	185,5	7,85	198,8	8,61	201,1	8,85
6	178,6	7,65	191,7	8,27	195,9	8,62
7	173,0	7,42	186,0	8,01	192,0	8,45

Considerando um desvio padrão de 5,5 MPa, conforme recomendações normativas para concreto misturado em obra e obedecendo as diretrizes da NBR 6118 (2003) de resistência e durabilidade, foram realizadas algumas comparações entre os concretos estudados. Essas comparações foram realizadas de dados obtidos por meio das equações de ajuste das curvas de dosagem de cada concreto.

Para uma mesma relação água/cimento, o concreto realizado com a composição de areia natural mais a areia de britagem tipo A apresentou valores de resistência à compressão bem superiores aos demais, repetindo a tendência encontrada no estudo de argamassas, como apresentado na tabela 33.

Tabela 33: Relação água cimento x resistência à compressão.

a/c	fcj (MPa)		
	100% Areia Natural	65% A + 35% Nat	65% B + 35% Nat
0,45	53,2	58,5	52,8
0,55	43,2	49,4	42,2
0,65	34,9	41,7	33,6

Com relação ao consumo de cimento por metro cúbico de concreto, a composição de areia de areia natural com areia de britagem do tipo A, também foi a que apresentou melhor desempenho, seguida pelo concreto com 100% de areia natural, conforme tabela 34. Para concretos de maiores resistências observou-se um aumento no consumo de cimento, ficando o concreto de resistência 30 MPa o de maior viabilidade econômica.

Tabela 34: Relação consumo de cimento x resistência à compressão.

Resistências		Consumo Cimento / m ³ de concreto			Kg de cimento / MPa (fcj)		
fck (MPa)	fcj (MPa)	100% Natural	65% A + 35% Nat	65% B + 35% Nat	100% Natural	65% A + 35% Nat	65% B + 35% Nat
20,0	29,1	224,1	202,2	266,7	7,71	6,95	9,17
25,0	34,1	255,4	232,0	300,8	7,49	6,81	8,83
30,0	39,1	290,3	265,7	338,0	7,43	6,80	8,65
40,0	49,1	375,9	350,7	425,9	7,66	7,14	8,67
50,0	59,1	494,6	474,0	540,1	8,37	8,02	9,14
60,0	69,1	674,0	673,8	697,9	9,75	9,75	10,10

Assim, fica confirmada a viabilidade técnica e econômica da substituição da areia natural pela areia de britagem, entretanto a areia de britagem do tipo A apresentou melhores resultados em termos técnicos e econômicos, conforme pode ser avaliado na tabela 33, que apresenta um comparativo de custos considerando os preços dos insumos da região de Chapecó-SC, da tabela 35.

Tabela 35: Preço dos insumos consumo Chapecó-SC.

Material	Unidade	Custo Unitário (R\$)
Cimento	Saco 50kg	19,00
Areia Natural	m ³	60,00
Areia Tipo A	m ³	28,00
Areia Tipo B	m ³	28,00
Brita	m ³	28,00
Aditivo	litro	1,50

Utilizando-se uma relação água cimento $a/c = 0,65$ para atender o critério de durabilidade da NBR 6118 (2003) para aquela região, ter-se-iam os custos de materiais para confecção de 1m³ de concreto conforme apresentados na Tabela 36. O aumento de resistência nos concretos estudados ocasionou um aumento no custo final.

Tabela 36: Preços dos materiais por m³ de concreto.

Preço dos Materiais para 1m ³ de concreto (R\$)							
Resistências		Composição das Areias			Custo (R\$) / MPa (fcj)		
f _{ck} (MPa)	fcj (MPa)	100% Natural	65% A + 35% Nat	65% B + 35% Nat	100% Natural	65% A + 35% Nat	65% B + 35% Nat
20,0	29,1	153,20	129,96	152,85	5,27	4,47	5,26
25,0	34,1	163,87	140,52	165,04	4,81	4,12	4,84
30,0	39,1	175,79	152,49	178,37	4,50	3,90	4,56
40,0	49,1	205,01	182,61	209,79	4,18	3,72	4,27
50,0	59,1	245,52	226,35	250,65	4,15	3,83	4,24
60,0	69,1	306,77	297,22	307,10	4,44	4,30	4,44

Para atender as recomendações da NBR 12655 (1996), a resistência do concreto (f_{ck}), deverá ser maior de 25 MPa para o caso de concreto virado em obra, a tabela 37 apresenta o comparativo de custos final para os concretos analisados. Convém salientar que para a areia de britagem do tipo B, o determinante para a utilização foi a resistência, pois com a relação água cimento $a/c = 0,65$ não se atingiu o f_{ck} de 25 MPa.

Tabela 37: Custo dos concretos estudados.

Composição das Areias	a/c mínimo	f _{ck} (MPa)	fcj (MPa)	Custo (R\$/m ³)
100% Natural	0,65	25,8	34,9	165,67
65% A + 35% Nat	0,65	32,6	41,7	159,55
65% B + 35% Nat	0,64	25,0	34,1	165,04

Finalmente, verifica-se que na substituição de areia natural por areia britagem do tipo A, em concretos usinados, poderão ser utilizados valores de resistência à compressão (f_{ck}) maiores, potencializando a capacidade de resistência do concreto, o que ocasionará uma diminuição na quantidade de armaduras no concreto armado e diminuição de custo final.

No caso de concreto virado em obra, para seguir as exigências de norma, praticamente descaracteriza-se a vantagem econômica da utilização da areia de britagem, o que evidencia o a influência corporativista das concreteiras na elaboração das normas técnicas.

5 CONCLUSÕES

5.1 Considerações iniciais

Fundamentado na revisão bibliográfica apresentada e nos resultados expostos nos capítulos anteriores, a seguir apresenta-se as conclusões finais desta pesquisa. Salienta-se que as conclusões apresentadas têm caráter indicativo, visto terem sido utilizados materiais e técnicas específicas como descrito nos procedimentos metodológicos.

Finalmente, são sugeridos novos trabalhos que venham complementar esta pesquisa, incentivando o aprimoramento da tecnologia do concreto.

Os experimentos realizados com concretos confeccionados a partir do uso de areias de britagem, em substituição à areia natural, para produção de concretos convencionais com aditivo polifuncional, nos permite apresentar as conclusões a seguir:

5.2 Conclusões relativas aos agregados

- A areia natural utilizada para confecção de concreto e argamassa na região de Chapecó apresenta uma granulometria considerada como areia média;
- As areias de britagem tipo A (grãos arredondados) e tipo B (grãos lamelares), apresentam granulometria mais grossa que a areia natural;
- A substituição em massa de areia natural, pelas areias de britagem tipo A ou tipo B, nas proporções estudadas, trouxe melhoria na distribuição granulométrica das misturas;
- A areia natural apresentou um coeficiente de inchamento ($i_N=1,33$) e porcentagem de material pulverulento de 2,7 % enquanto as areias de britagem tipo A e tipo B, apresentaram coeficientes de inchamento $i_A=1,27$, $i_B =1,32$ e, porcentagem de material pulverulento 16,69% e 11,09% respectivamente;
- O teor de material pulverulento da areia de britagem tipo A (16,69%), ultrapassou os limites da ABNT NBR 7211:2005, que permite um máximo de 12% para concretos com proteção ao desgaste superficial. A areia de britagem tipo B (11,09%) ficou muito próximo deste limite. O limite desta mesma norma, para concreto sem proteção ao desgaste superficial é de 10%;

- A brita ficou classificada pela ABNT NBR 7211:2005 como brita 19mm. A quantidade de material pulverulento (0,8%), não excedeu os limites da referida norma, sendo no máximo de 1%;

5.3 Conclusões relativas aos ensaios com argamassa

- O estudo em argamassa permitiu a definição da composição entre as areias que apresentou o melhor desempenho com relação à resistência à compressão axial e ao módulo de elasticidade. A mistura de 25% de areia natural com 75% de areia de britagem tipo A foi a de melhor desempenho ($f_{c_{28}} = 41,76$ MPa). Para a areia de britagem tipo B, a mistura de 50% de areia natural com 50% de areia de britagem foi a de melhor desempenho ($f_{c_{28}} = 34,28$ MPa); Entretanto, para levarmos em consideração o aspecto econômico, utilizou-se proporções de 35% de areia natural e 65 % de areia de britagem, para os dois tipos de areia;
- Quanto maior a substituição de areia de britagem tipo A, menor é a quantidade de ar incorporado, passando de 6,3% para 0,1%;
- Na substituição de areia de britagem tipo B, a quantidade de ar incorporado diminuiu, mas em proporções bem menores, sendo de 6,3% para um mínimo de 3,1%;

5.4 Conclusões relativas ao concreto fresco

- Nas misturas a partir de 25% de areia natural e 75% de areias de britagem, para os dois tipos o concreto ficou muito áspero e menos trabalhável, motivo pelo qual adotou-se a proporção 35% areia natural e 65% areias de britagem para o estudo em concreto;
- A areia de britagem tipo A, pela forma arredondada de seus grãos devido o tipo de equipamento utilizado na sua obtenção, ocasionou concretos com melhor trabalhabilidade que a areia de britagem tipo B;
- O valor do ar incorporado nas misturas com areia natural foi em média menor do que o observado com as areias A e B, havendo uma tendência à diminuir com a redução do consumo de cimento. Cabe salientar que os resultados extremamente baixos e negativo em uma das misturas deveu-se ao fato de que não se levou em conta no cálculo a absorção de água dos agregados;

5.5 Conclusões relativas ao concreto endurecido

- Houve diminuição de consumo de cimento na substituição da areia natural pelas areias de britagem tipo A e tipo B.

- O melhor desempenho com relação a resistência à compressão axial ocorreu na mistura de 35% de areia natural e 65% de areia de britagem tipo A;
- Nos traços com utilização das areias de britagem ocorreu um aumento da relação água/cimento em média de aproximadamente 9%, para uma mesma resistência;
- Para os dois tipos de areia de britagem avaliados, o módulo de elasticidade dos concretos obtidos diminuiu em média aproximadamente 6%;
- A areia de britagem tipo A, apresentou melhor desempenho com relação à resistência à compressão axial e ao módulo de elasticidade, que a areia de britagem tipo B;

5.6 Conclusões relativas ao meio ambiente e a viabilização econômica

- A substituição parcial de areias de britagem pela areia natural, como agregado miúdo na confecção de concretos e argamassas, reduz a demanda de areia natural e, em decorrência diminui a degradação das áreas de exploração;
- As areias de britagem, sendo um resíduo do processo de beneficiamento de rocha em agregados graúdos, apresenta viabilidade econômica quando utilizada em substituição a areia natural nos concretos convencionais;
- A partir dos preços dos insumos da região de Chapecó, com a utilização das areias de britagem utilizadas, verificou-se uma diminuição de custo final do concreto, quando utilizamos areia de britagem tipo A.

5.7 Conclusões finais

- A utilização de areias de britagem do tipo A, de origem basáltica, em substituição parcial à areia natural, permite a elaboração de concretos convencionais mais resistentes e mais econômicos.

5.8 Sugestões para trabalhos futuros

- Confeccionar concretos com diferentes abatimentos com enfoque ao concreto auto adensável utilizando de areia de britagem;
- Confeccionar concreto de alto desempenho utilizando areia de britagem;
- Avaliar a possibilidade de ocorrência de reações álcali-agregados nos concretos com areia de britagem de origem basáltica;

- Ajustar a moagem no processo de obtenção da areia de britagem, objetivando melhora na sua curva granulométrica e diminuição de material pulverulento;
- Avaliar a porosidade e a durabilidade do concreto elaborado com areia de britagem.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÏTCIN, P. Cements of yesterday and today: Concrete of tomorrow. **Cement and Concrete research**, v. 30, n. 9, p. 1349-59, sep. 2000.

ALMEIDA, S. L. M. **Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de Santo Antônio de Pádua, RJ para produção de brita e areia**. 2000. 118 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas, São Paulo, 2000.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Comitee 212.3R-91. **Chemical admixtures for concrete**. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Materials and general properties of concrete. Farmington Hills, Michigan, 1996.31 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL **ASTM C 33**. Specification for Concrete Aggregates. West Conshohocken: 2001.

_____ **ASTM C 123**: Standard test method for lightweight particles in aggregates. West Conshohocken: 1998

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5738**: moldagem corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 1994.

_____ **NBR5739**: concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____ **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR 6467**: determinação do inchamento de agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1987.

_____ **NBR 7211**: agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2005.

_____ **NBR7215**: cimento Portland - determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro. 1996.

_____ **NBR 7216**: amostragem de agregados. Rio de Janeiro, 1987.

_____ **NBR 7217**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

_____ **NBR 7218**: agregados: determinação do teor de torrões de argila e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 1987.

_____ **NBR 7219**: agregados determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1987.

_____ **NBR 7221**: ensaio de qualidade de areia: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

_____ **NBR 7223**: determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone. Rio de Janeiro, 1982.

_____ **NBR 7251**: agregados em estado solto: determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

_____ **NBR 7252**: agregados em estado solto: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1982.

_____ **NBR 7253**: concreto: determinação dos módulos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR 8522**: agregados em estado solto: determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 1982.

_____ **NBR 9917**: agregados para concreto: determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

_____ **NBR 9776**: agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

_____ **NBR 12655**: Concreto: preparo, controle e recebimento: procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

_____ **NBR NM 26**: agregados: amostragem. Rio de Janeiro, 2000.

_____ **NBR NM 27**: agregados: redução de amostra de campo para ensaio laboratório. Rio de Janeiro, 2000.

_____ **NBR NM 30**: agregado miúdo: determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2000.

_____ **NBR NM 46**: agregados: determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro, 2001.

_____ **NBR NM 49**: agregados miúdo: determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

_____ **NBR NM 53**: agregado graúdo: determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR NM 67**: concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone. Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR NM 248**: agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____**NBR NM ISO 3310-1**: peneiras de ensaio: requisitos técnicos - Verificação. Parte 1: peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 1996.

ASSUNÇÃO, J. W. **Curvas de dosagem para concretos convencionais e aditivados confeccionados com materiais da região nordeste do Paraná**. 2002. 233 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2002.

BASTOS, S. R. B. **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para produção de concretos convencionais**. 2002. 119 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação, Florianópolis, 2002.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979. 529 p.

COLLEPARDI, S. et al. Mechanisms of action of different superplasticizers for high-performance concrete. In: CANMET/ACI INTERNATIONAL CONFERENCE IN HIGH-PERFORMANCE CONCRETE, PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES, 2., 1999, Gramado. **Proceedings...** Gramado: ACI SP-186, 1999. p. 503-523.

DAVIT.T.A.; CUNHA, E. R.; TAVARES, L. M. M. Produção de areia artificial em usina piloto na Pedra Sul Mineração. In: ENTMME, 20, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s. n.], 2004. v.1. p. 105-112.

Desempenho do Classificador Pneumático Sturtevant na produção de areia artificial. In: ENTMME, 20, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s. n.], 2004. v.1., p. 241- 248.

GASTALDINI, A. L. G. **Caracterização tecnológica e obtenção de curvas granulométricas de referência para agregados de Campo Grande-MS**. Mato Grosso do Sul: UFMS: Departamento de Construção Civil, 1986. 86 p.

HELENE, P. R. I. **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. Ed. G.C.Isaía. São Paulo: IBRACON, 2005. 2 v. 1600p.

HELENE, P. R. I.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle de concreto**. São Paulo: Pini, 1992. 349 p.

JOLICOEUR, C. et al. Chemical admixtures: essential components of quality concrete. In: NEW SPIRATOS SYMPOSIUM ON SUPERPLASTICIZERS, 2003, Bucharest, România. **Proceedings...** Bucharest, România: CANMET/ACI, 2003. p. 37-68.

JOLICOEUR, C.; MACGREGOR, J. G. Superplasticizers: how they work and why they occasionally don't. **Concrete International**, v. 16, n. 5, p. 45-52, may 1994.

MAILVAGANAM, N. P. Admixture compatibility in special concretes. In: CANMET/ACI INTERNATIONAL CONFERENCE IN HIGH-PERFORMANCE CONCRETE, PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES, 2., 1999, Gramado. **Proceedings...** Gramado: ACI SP-186, 1999. p. 615-34.

MARTINS, V. C. **Otimização dos processos de dosagem e proporcionamento do concreto dosado em central com utilização de aditivos**: estudo de caso. 2005. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994. 573 p.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do concreto**. São Paulo : Pini, 1997.

OLIVEIRA, A. L. **Contribuição para dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação**. 2005. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R. **Materiais de construção civil I**. Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Notas de aula.

RAMACHANDRAN, V. S.; FELDMAN, R. F. Cement science. In: _____ (Ed.). **Concrete admixtures handbook**: properties, science and technology. 1. ed. Park Ridges, NJ, USA: Noyes Publications, 1984. p. 1-53.

_____ et. al. **Superplasticizers**: properties and applications in concrete. 1. ed. Ottawa, Canada: CANMET, 1998. 404 p.

SAMPAIO, J. A. Obtenção de areia artificial com base em finos de pedreiras. **Revista Areia & Brita**, out./dez. 2002.

SBRIGHI NETO, C. **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. Ed. G.C.Isaía. São Paulo: IBRACON, 2005. 2 v. 1600p.

SILVA, V. S. Produção de areia artificial em uma pedreira do Rio de Janeiro - Brasil. In: Jornadas Argentinas de Tratamiento de Minerales, 7., 2004. Buenos Aires, Argentina. **Anais...** Buenos Aires: [s. n.], 2004. p. 265-274.

SPONHOLZ, I. **Avaliação do desempenho de aditivos redutores de água em concreto de alto desempenho**. 1998. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 1998.

VALVERDE, F. M. **Sumário Mineral 2003**: agregados para a construção civil, p. 32-33. Disponível em URL: < www.dnpm.gov.br >. Acesso em: 10 abr. 2004.

WEIDMANN, D. F. **Contribuição para determinação de metodologia de avaliação da forma de agregados e análise da influência desta propriedade em argamassas**. 2005. Monografia (Conclusão de Curso de Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ANEXOS

ANEXO 1: CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Tabela 1: Resultados ensaio massa específica areia natural.

	Massa Específica		
	1	2	3
$M_{\text{pic} + \text{água}} \text{ (g)}$	350,80	350,70	603,80
$M_{\text{amostra}} \text{ (g)}$	113,70	99,50	339,90
$m_{\text{pic} + \text{água} + \text{amostra}} \text{ (g)}$	421,60	412,70	815,40
Massa específica (kg/dm ³)	2,650	2,653	2,649
Valor adotado (kg/dm³)	2,651		

Tabela 2: Resultados ensaio massa unitária areia natural.

Massa Unitária	
$M_{\text{amostra}} \text{ (kg)}$	23,72
$V_{\text{caixa}} \text{ (dm}^3\text{)}$	15,10
M.unitária (kg/dm³)	1,571

Tabela 3: Resultados ensaio material pulverulento areia natural.

Material Pulverulento	
$M_{\text{inicial}} \text{ (g)}$	1000
$M_{\text{final}} \text{ (g)}$	981,90
% pulverulento	2,7

Tipo de Material	Origem	Fornecedor
AREIA NATURAL	QUARTZOSA	SUPERMIX S.A.
	Cidade	Cidade
	UNIÃO DA VITÓRIA - PR	CHAPECÓ-SC

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

# (mm)	massa retida (g)	%retida	%retida acumulada
6,3	0,00	0,00	0,00
4,8	1,60	0,16	0,16
2,4	28,20	2,82	2,98
1,2	76,40	7,65	10,63
0,6	118,80	11,89	22,52
0,3	404,70	40,51	63,03
0,15	285,60	28,59	91,62
0,075	56,70	5,68	97,30
fundo	27,00	2,70	100,00
Soma	999,0	100	

<i>MF</i>	1,910
-----------	-------

<i>Dimensão Máxima (mm)</i>	2,4
<i>Dimensão Mínima (mm)</i>	0,075

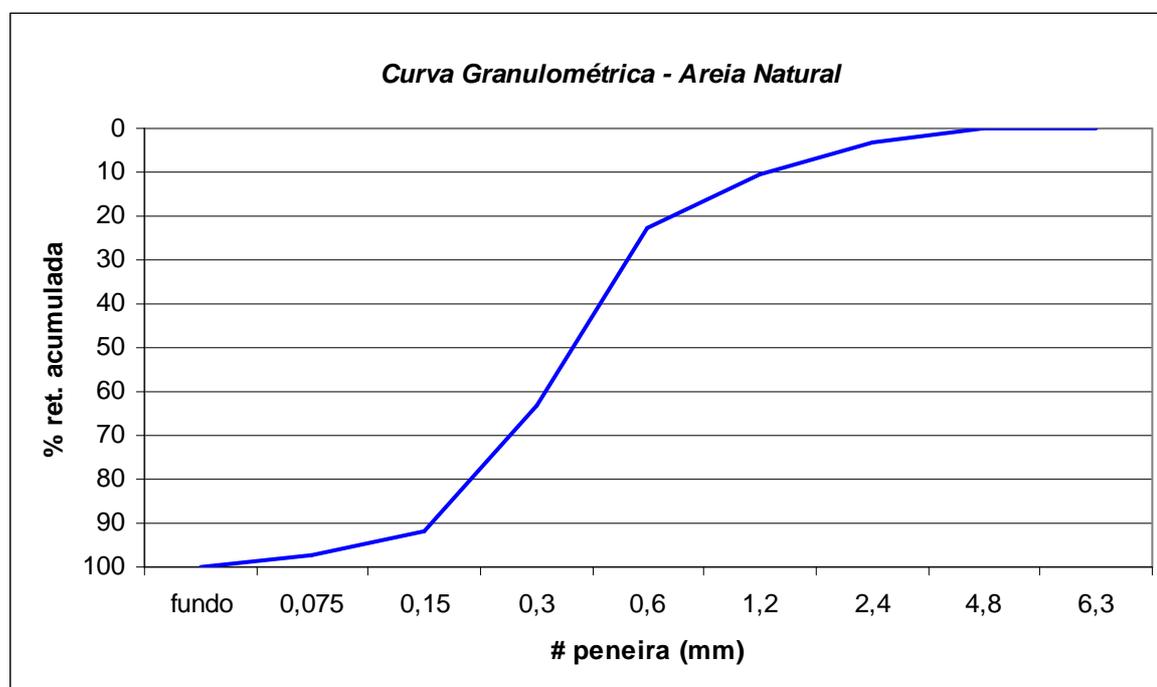


Figura 1: Ensaios de caracterização física do agregado miúdo – areia natural.

Tipo de Material AREIA NATURAL	Origem QUARTZOSA	Fornecedor SUPERMIX - SA
	Cidade UNIÃO DA VITÓRIA - PR	Cidade CHAPECÓ -SC

AVALIAÇÃO DO INCHAMENTO DA AREIA NATURAL

<i>umidade (%)</i>	<i>água adicionada (dm³)</i>	<i>mh (Kg)</i>	<i>i</i>
0	0,0000	23,72	1,000
1	0,2372	20,35	1,177
2	0,4744	18,38	1,316
3	0,7116	18,46	1,323
4	0,9488	18,45	1,337
5	1,1860	19,13	1,302
6	1,4232	19,13	1,314

Umidade critica (%)	3,4
Inchamento médio	1,34

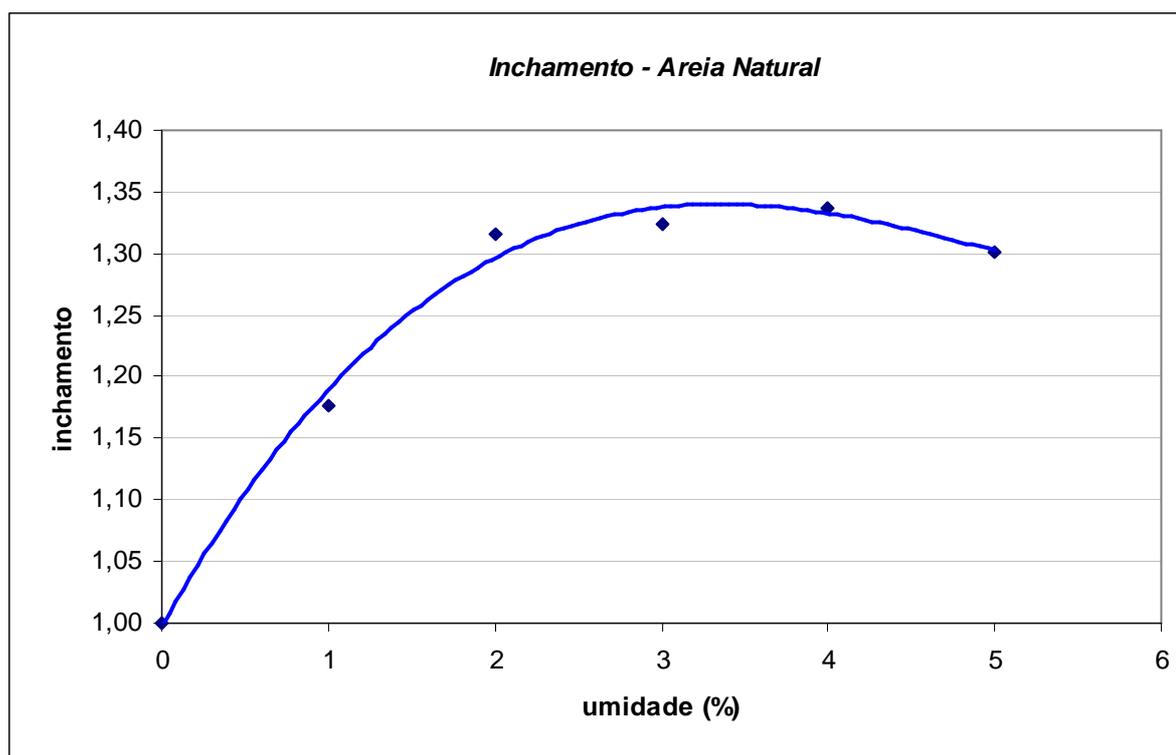


Figura 2: Avaliação do inchamento da areia natural.

Tabela 4: Resultados ensaio massa específica areia de britagem Tipo A.

	Massa Específica		
	1	2	3
$m_{\text{pic} + \text{água}} \text{ (g)}$	604,20	603,90	603,60
$m_{\text{amostra}} \text{ (g)}$	262,00	400,20	378,30
$m_{\text{pic} + \text{água} + \text{amostra}} \text{ (g)}$	777,20	868,00	854,00
Massa específica (kg/dm ³)	2,944	2,940	2,958
Valor adotado (kg/dm³)	2,945		

Tabela 5: Resultados ensaio massa unitária areia de britagem Tipo A.

Massa Unitária	
$M_{\text{amostra}} \text{ (kg)}$	26,30
$V_{\text{caixa}} \text{ (dm}^3\text{)}$	14,67
M.unitária (kg/dm³)	1,793

Tabela 6: Resultados ensaio material pulverulento areia de britagem Tipo A.

Material Pulverulento	
$M_{\text{inicial}} \text{ (g)}$	1000
$M_{\text{final}} \text{ (g)}$	878,30
% pulverulento	16,70

Tipo de Material AREIA DE BRITAGEM TIPO A	Origem ROCHA BASÁLTICA Cidade CHAPECÓ - SC	Fornecedor PLANATERRA LTDA Cidade CHAPECÓ - SC
---	---	---

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

# (mm)	massa retida (g)	%retida	%retida acumulada
6,3	2,40	0,24	0,24
4,8	10,80	1,08	1,32
2,4	231,10	23,13	24,45
1,2	239,40	23,96	48,41
0,6	162,70	16,28	64,69
0,3	94,20	9,43	74,12
0,15	58,90	5,89	80,01
0,075	32,80	3,28	83,30
fundo	166,90	16,70	100,00
Soma	999,2	100	

<i>MF</i>	2,930
-----------	-------

<i>Dimensão Máxima (mm)</i>	4,8
<i>Dimensão Mínima (mm)</i>	0,075

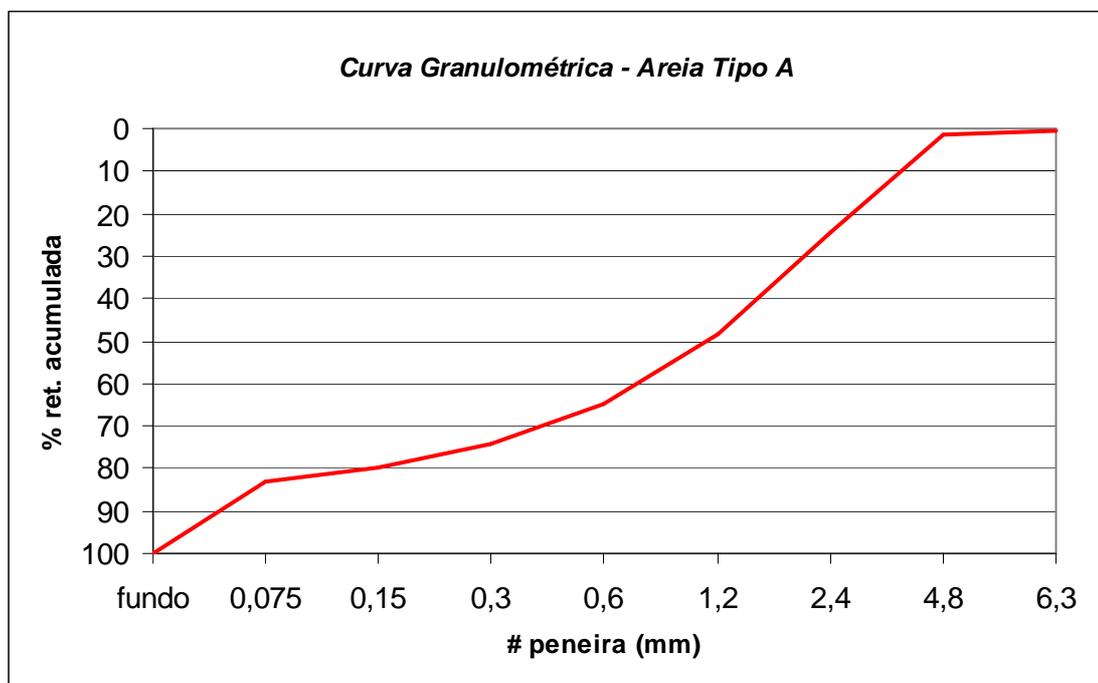


Figura 3: Ensaios de caracterização física do agregado miúdo areia de britagem Tipo A.

Tipo de Material AREIA DE BRITAGEM TIPO A	Porto de Origem ROCHA BASÁLTICA Cidade CHAPECÓ SC	Fornecedor PLANATERRA LTDA Cidade CHAPECÓ - SC
---	--	---

AVALIAÇÃO DO INCHAMENTO DA AREIA TIPO A

<i>umidade (%)</i>	<i>água adicionada (dm³)</i>	<i>mh (Kg)</i>	<i>i</i>
0	0,0000	26,30	1,000
1	0,2630	25,81	1,029
2	0,5260	23,32	1,150
3	0,7890	22,62	1,198
4	1,0520	22,11	1,237
5	1,3150	21,53	1,283
6	1,5780	21,67	1,286
7	1,8410	23,48	1,199

Umidade critica (%)	5,3
Inchamento médio	1,28

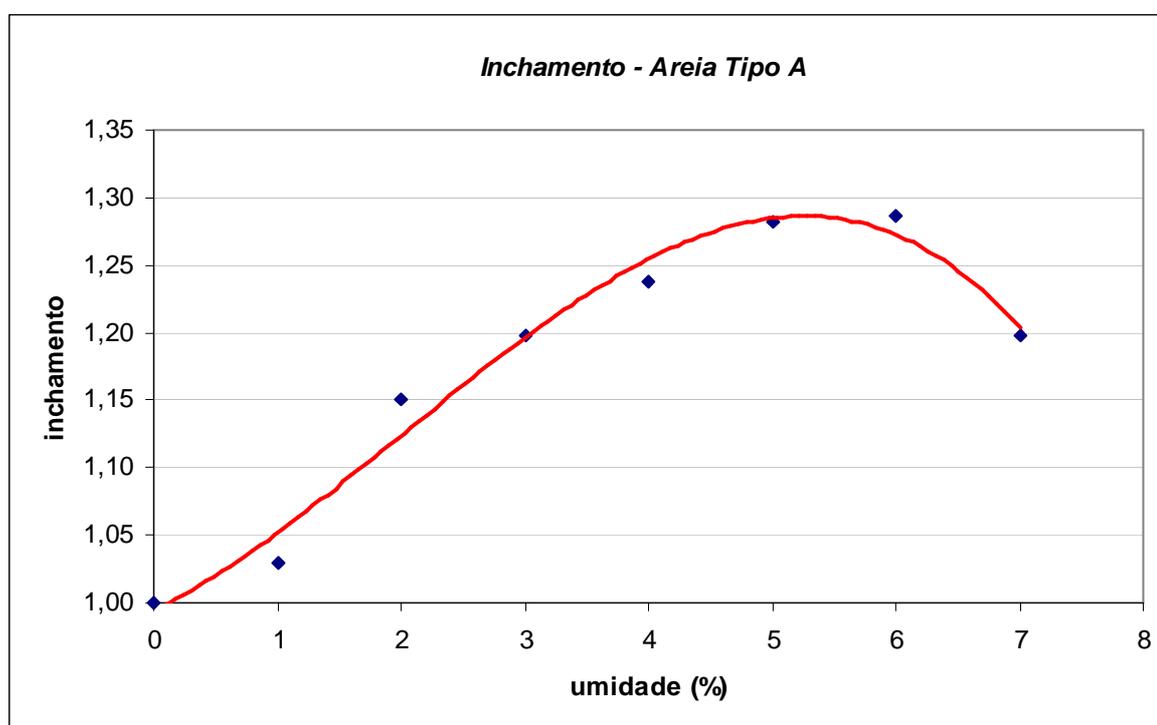


Figura 4: Avaliação do inchamento da areia de britagem Tipo A.

Tabela 7: Resultados ensaio massa específica: areia de britagem Tipo B.

	Massa Específica		
	1	2	3
$m_{\text{pic} + \text{água}} \text{ (g)}$	350,80	350,80	604,10
$m_{\text{amostra}} \text{ (g)}$	102,90	92,90	338,50
$M_{\text{pic} + \text{água} + \text{amostra}} \text{ (g)}$	419,60	412,80	830,30
Massa específica (kg/dm ³)	3,018	3,006	3,014
Valor adotado (kg/dm³)	3,013		

Tabela 8: Resultados ensaio massa unitária: areia de britagem Tipo B.

Massa Unitária	
$M_{\text{amostra}} \text{ (kg)}$	25,18
$V_{\text{caixa}} \text{ (dm}^3\text{)}$	14,67
M.unitária (kg/dm³)	1,716

Tabela 9: Resultados ensaio material pulverulento: areia de britagem Tipo B.

Material Pulverulento	
$M_{\text{inicial}} \text{ (g)}$	1000
$M_{\text{final}} \text{ (g)}$	902,7
% pulverulento	11,09

Tipo de Material AREIA DE BRITAGEM TIPO B	Origem	Fornecedor
	ROCHA BASÁLTICA Cidade XANXERÊ - SC	BRITAXAN LTDA Cidade XANXERÊ - SC

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

# (mm)	massa retida (g)	%retida	%retida acumulada
6,3	0,00	0,00	0,00
4,8	0,70	0,07	0,07
2,4	210,00	21,00	21,07
1,2	325,20	32,52	53,59
0,6	184,20	18,42	72,01
0,3	86,00	8,60	80,61
0,15	50,80	5,08	85,69
0,075	32,20	3,22	88,91
fundo	110,90	11,09	100,00
Soma	1000	100	

<i>MF</i>	3,130
-----------	-------

<i>Dimensão Máxima (mm)</i>	4,8
<i>Dimensão Mínima (mm)</i>	0,075

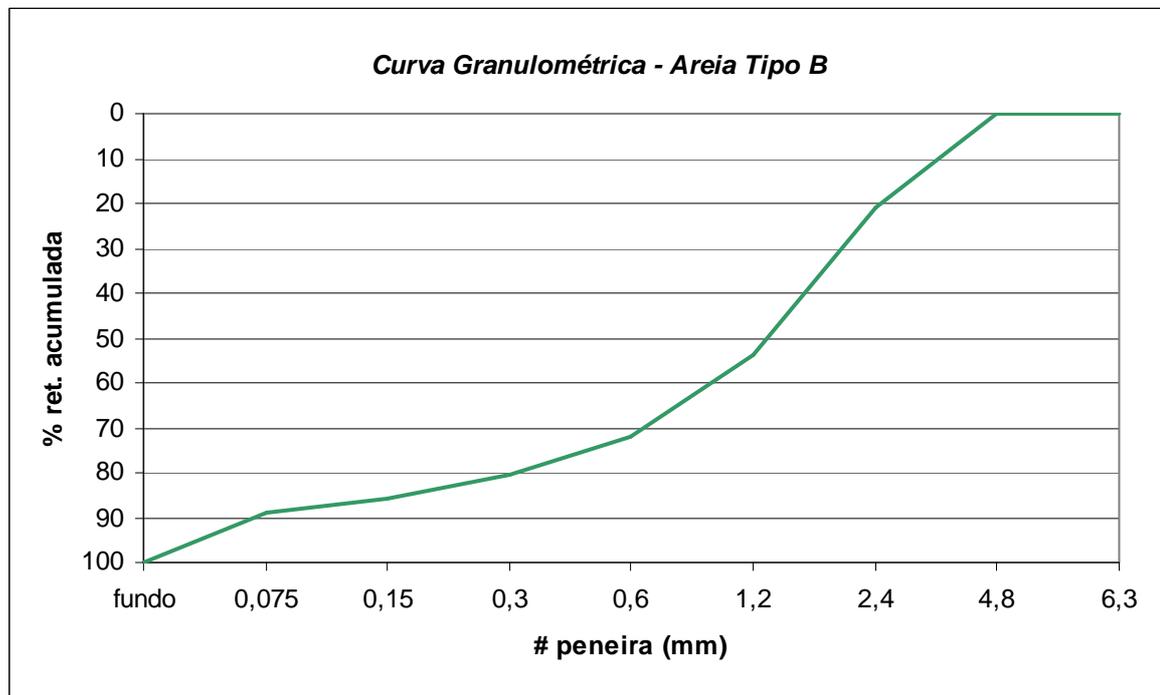


Figura 5: Ensaio de caracterização física do agregado miúdo areia de britagem Tipo B.

Tipo de Material AREIA DE BRITAGEM TIPO B	Origem ROCHA BASÁLTICA	Fornecedor BRITAXAN LTDA
	Cidade XANXERÊ - SC	Cidade XANXERÊ - SC

AVALIAÇÃO DO INCHAMENTO DA AREIA TIPO B

<i>umidade (%)</i>	<i>água adicionada (dm³)</i>	<i>mh (Kg)</i>	<i>i</i>
0	0,0000	25,18	1,000
1	0,2518	25,12	1,012
2	0,5036	22,85	1,124
3	0,7554	21,51	1,206
4	1,0072	20,94	1,251
5	1,2590	20,44	1,293
6	1,5108	20,31	1,314
7	1,7626	20,35	1,324
8	2,0144	20,90	1,301
9	2,2662	21,42	1,281

Umidade crítica (%)	7,0
Inchamento médio	1,33

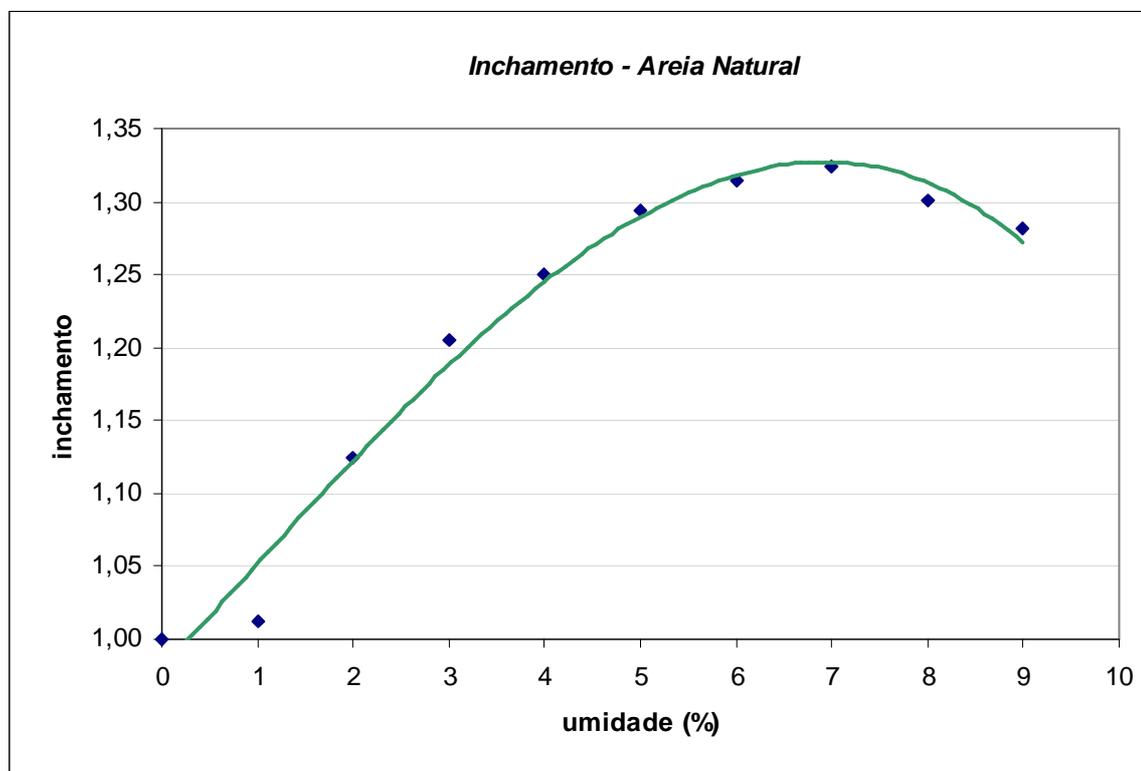


Figura 6: Avaliação do inchamento da areia de britagem Tipo B.

Tabela 10: Resultados ensaio massa específica: Brita 1.

	Massa Específica		
	1	2	3
m_{amostra} (g)	885,40	394,80	669,40
m_{imersa} (g)	580,80	258,40	438,40
Massa específica (kg/dm ³)	2,907	2,894	2,898
Valor adotado (kg/dm³)	2,900		

Tabela 11: Resultados ensaio massa unitária: Brita 1.

Massa Unitária	
M_{amostra1} (kg)	33,89
M_{amostra2} (kg)	34,37
V_{caixa} (dm ³)	20,15
M.unitária 1 (kg/dm ³)	1,682
M.unitária 2 (kg/dm ³)	1,706
M.unitária (kg/dm³)	1,694

Tabela 12: Resultados ensaio material pulverulento: Brita 1.

Material Pulverulento	
M_{inicial} (g)	7000
M_{final} (g)	6950
% pulverulento	0,8

Tipo de Material BRITA Nº 01	Origem ROCHA BASÁLTICA	Fornecedor Planaterra Ltda
	Cidade CHAPECÓ - SC	Cidade CHAPECÓ - SC

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

# (mm)	massa retida (g)	%retida	%retida acumulada
32	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00
19,5	350,00	5,06	5,06
12,5	3540,00	51,15	56,21
9,5	1980,00	28,61	84,82
6,3	1033,80	14,94	99,75
4,8	8,80	0,13	99,88
2,4	0,70	0,01	99,89
1,2	0,00	0,00	99,89
0,6	0,00	0,00	99,89
0,3	0,00	0,00	99,89
0,15	0,00	0,00	99,89
0,075	4,5	0,07	99,96
Fundo	3,00	0,04	100,00
Soma	6920,80	100,00	

MF	6,892
----	-------

Dimensão Máxima (mm)	19,5
Dimensão Mínima (mm)	6,3

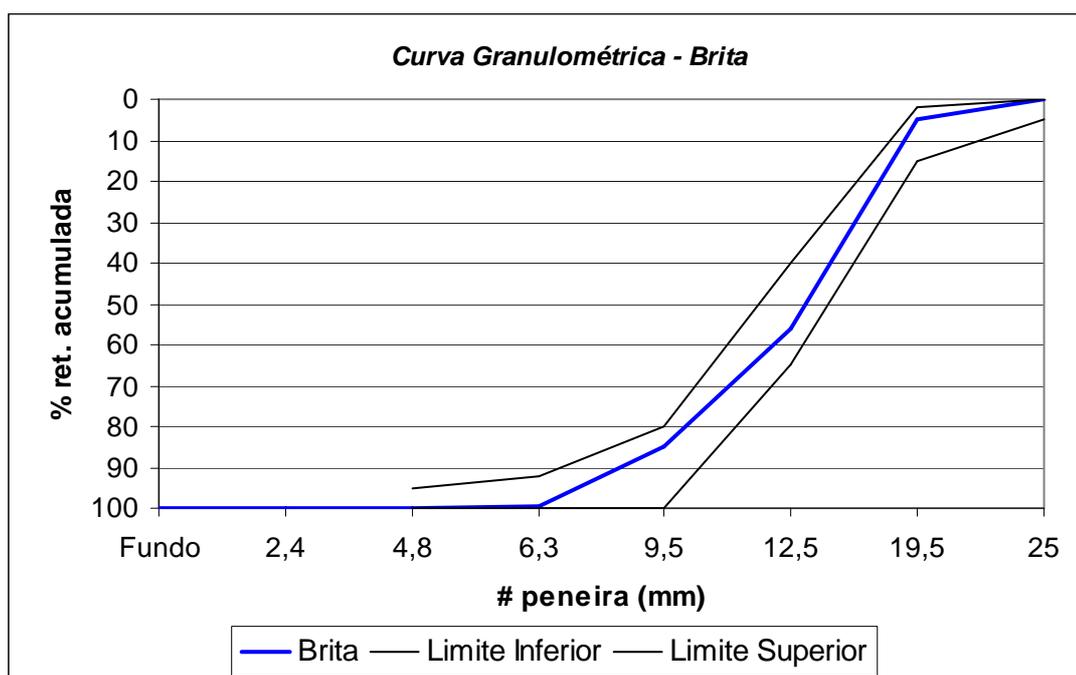


Figura 7: Ensaio de Granulometria Pedra Britada de Basalto – Brita 1 Limites NBR 7211(2005).

NBR7211:2005				
# (mm)	% Retida Acumulada			
	Zona Utiliz Inf	Zona Ótima Inf	Zona Ótima Sup	Zona Utiliz Sup
6,3	0	0	0	7
4,8	0	0	5	10
2,4	0	10	20	25
1,2	5	20	30	50
0,6	15	35	55	70
0,3	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100

# (mm)	Areia Natural %retida acumulada	Areia Tipo A %retida acumulada	Areia Tipo B %retida acumulada
6,3	0,00	0,24	0,00
4,8	0,16	1,32	0,07
2,4	2,98	24,45	21,07
1,2	10,63	48,41	53,59
0,6	22,52	64,69	72,01
0,3	63,03	74,12	80,61
0,15	91,62	80,01	85,69
0,075	97,30	83,30	88,91
Fundo	100,00	100,00	100,00

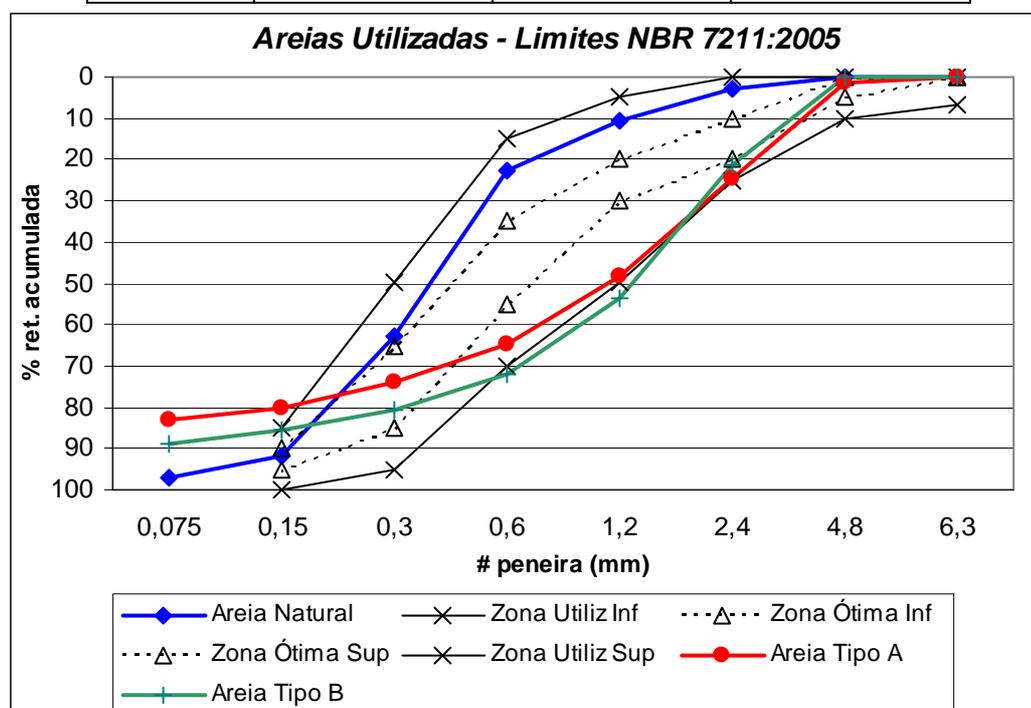


Figura 8: Comparativo de Granulometria: Areias/ NBR 7211(2005).

ANEXO 2: ESTUDOS EM ARGAMASSAS

Tabela 1: Composições granulométricas misturas areia natural e areia de britagem Tipo A .

NBR7211:2005				
# (mm)	% Retida Acumulada			
	<i>Zona Utiliz Inf</i>	<i>Zona Ótima Inf</i>	<i>Zona Ótima Sup</i>	<i>Zona Utiliz Sup</i>
6,3	0	0	0	7
4,8	0	0	5	10
2,4	0	10	20	25
1,2	5	20	30	50
0,6	15	35	55	70
0,3	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100

# (mm)	Areia Natural	Areia Tipo A
	<i>%retida acumulada</i>	<i>%retida acumulada</i>
6,3	0,00	0,24
4,8	0,16	1,32
2,4	2,98	24,45
1,2	10,63	48,41
0,6	22,52	64,69
0,3	63,03	74,12
0,15	91,62	80,01
0,075	97,30	83,30
<i>fundo</i>	100,00	100,00

Areia Natural	25%	50%	75%	35%
Areia Tipo A	75%	50%	25%	65%
# (mm)	%retida acumulada			
6,3	0,175	0,114	0,055	0,150
4,8	1,007	0,710	0,428	0,886
2,4	18,640	13,141	7,930	16,404
1,2	38,184	28,508	19,336	34,251
0,6	53,279	42,478	32,240	48,888
0,3	71,119	68,279	65,588	69,964
0,15	83,156	86,129	88,947	84,364
0,075	87,086	90,672	94,071	88,544

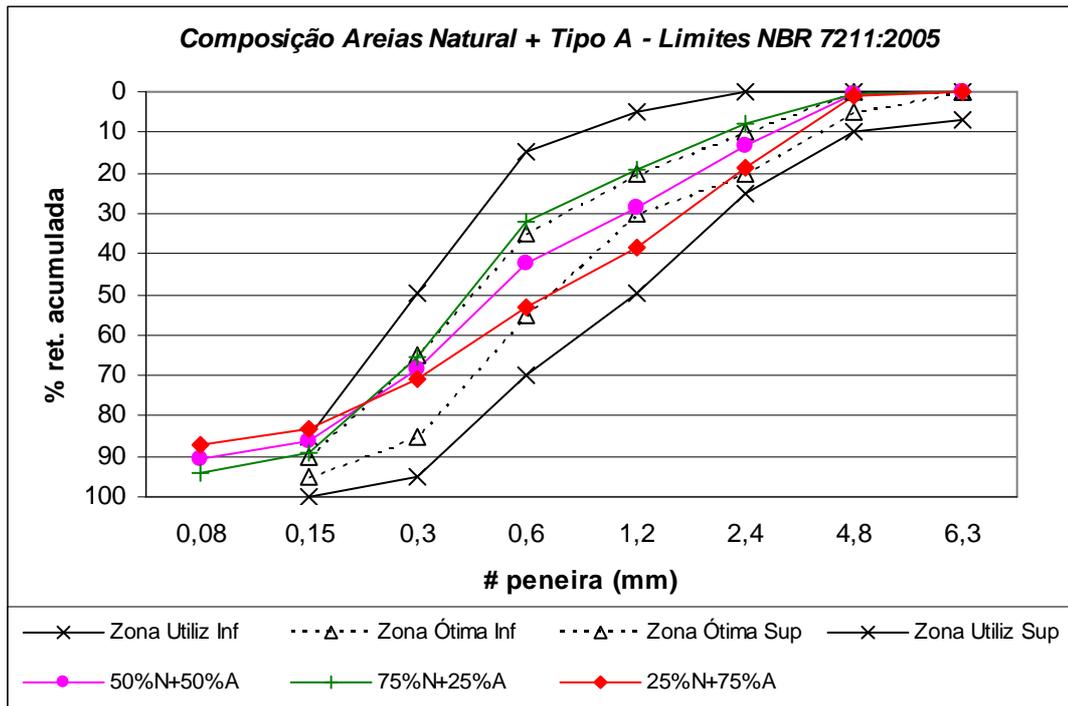


Figura 1: Composições granulométricas misturas areia natural e areia de britagem Tipo A, comparativo de granulometria: areias / NBR 7211.

Tabela 2: Composições granulométricas misturas areia natural e areia de britagem Tipo B.

# (mm)	NBR7211:2005			
	% Retida Acumulada			
	<i>Zona Utiliz Inf</i>	<i>Zona Ótima Inf</i>	<i>Zona Ótima Sup</i>	<i>Zona Utiliz Sup</i>
6,3	0	0	0	7
4,8	0	0	5	10
2,4	0	10	20	25
1,2	5	20	30	50
0,6	15	35	55	70
0,3	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100

# (mm)	Areia Natural	Areia Tipo B
	<i>%retida acumulada</i>	<i>%retida acumulada</i>
6,3	0,00	0,00
4,8	0,16	0,07
2,4	2,98	21,07
1,2	10,63	53,59
0,6	22,52	72,01
0,3	63,03	80,61
0,15	91,62	85,69
0,075	97,30	88,91
<i>fundo</i>	100,00	100,00

Areia Natural	25%	50%	75%	35%
Areia Tipo B	75%	50%	25%	65%
# (mm)	<i>%retida acumulada</i>			
6,3	0,00	0,00	0,00	0,00
4,8	0,09	0,12	0,14	0,10
2,4	16,10	11,45	7,09	14,21
1,2	41,79	30,74	20,38	37,29
0,6	58,42	45,69	33,75	53,23
0,3	75,78	71,26	67,02	73,94
0,15	87,32	88,84	90,28	87,94
0,075	91,21	93,37	95,39	92,09

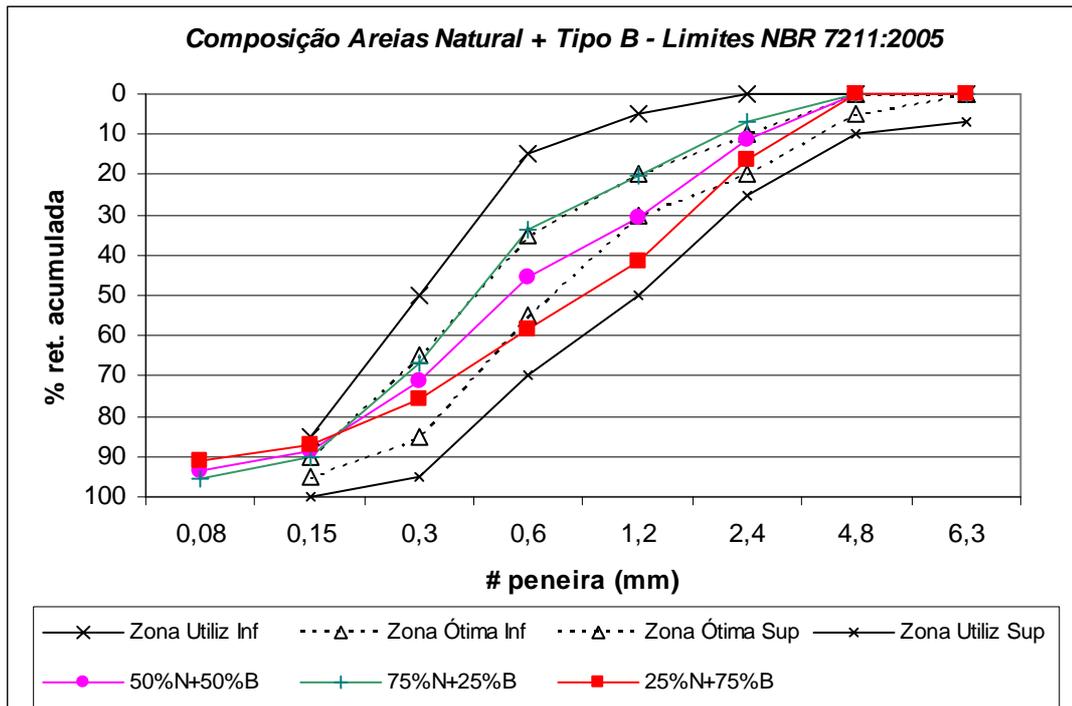


Figura 2: Composições granulométricas misturas areia natural e areia de britagem Tipo B, comparativo de granulometria: areias / NBR 7211.

Tabela 3: Ensaio em argamassas Flow Table Test/massa específica.

Argamassas - m=3,0					
Natural - Traço Referência					
	Traço	Mistura	Massa		
		Seco (g)	Específica	Volume	
Cimento	1	600,0	2,97	202,0	
Areia N	3,000	1800,0	2,651	679,0	
Água	0,649	389,6		389,6	
Aditivo	0,008	4,800	1,2	4,000	
	Total	2794,4	-	1274,6	
H =	16,23%				
Flow Inicial	Flow 5 golpes	Flow 10 golpes	Massa Esp	Moldar 4 Cp's	
	152,0	228,5	267,0	3758,9	
	153,0	225,0	261,0		
Proporções	Natural	Tipo A - Arredondada			
	75	25			
	Traço	Mistura	Massa		
		Seco (g)	Específica	Volume	
Cimento	1	600,0	2,97	202,0	
Areia N	2,250	1350,0	2,651	509,2	679,0
Areia A	0,833	499,9	2,945	169,7	
Água	0,649	389,6		389,6	
Aditivo	0,008	4,800	1,2	4,000	
	Total	2844,3	-	1274,6	
H =	15,90%				
Flow Inicial	Flow 5 golpes	Flow 10 golpes	Massa Esp	Moldar 4 Cp's	
	223	279	307	3820,4	
	222	281	308		
Proporções	Natural	Tipo A - Arredondada			
	50	50			
	Traço	Mistura	Massa		
		Seco (g)	Específica	Volume	
Cimento	1	600,0	2,97	202,0	
Areia N	1,500	900,0	2,651	339,5	679,0
Areia A	1,666	999,8	2,945	339,5	
Água	0,649	389,6		389,6	
Aditivo	0,008	4,800	1,2	4,000	
	Total	2894,2	-	1274,6	
H =	15,59%				
Flow Inicial	Flow 5 golpes	Flow 10 golpes	Massa Esp	Moldar 4 Cp's	
	241	284	310	3859,0	
	258	294	318		
Proporções	Natural	Tipo A - Arredondada			
	25	75			
	Traço	Mistura	Massa		
		Seco (g)	Específica	Volume	
Cimento	1	600,0	2,97	202,0	
Areia N	0,750	450,0	2,651	169,7	679,0
Areia A	2,500	1499,7	2,945	509,2	
Água	0,649	389,6		389,6	
Aditivo	0,008	4,800	1,2	4,000	
	Total	2944,1	-	1274,6	

H =	15,28%				
Flow Inicial	Flow 5 golpes	Flow 10 golpes	Massa Esp	Moldar 4 Cp's	
242	287	308	3882,6		
242	282	305			
Proporções	Natural	Tipo A - Arredondada			
	0	100			
	Traço	Mistura	Massa		
		Seco (g)	Específica	Volume	
Cimento	1	600,0	2,97	202,0	
Areia N	0,000	0,0	2,651	0,0	679,0
Areia A	3,333	1999,6	2,945	679,0	
Água	0,649	389,6		389,6	
Aditivo	0,008	4,800	1,2	4,000	
	Total	2994,0	-	1274,6	
H =	14,99%				
Flow Inicial	Flow 5 golpes	Flow 10 golpes	Massa Esp	Moldar 4 Cp's	
204	252	283	3896,9		
195	249	276			
Argamassas - m=3,0					
Proporções	Natural	Tipo B - Lamelar			
	75	25			
	Traço	Mistura	Massa		
		Seco (g)	Específica	Volume	
Cimento	1	600,0	2,97	202,0	
Areia N	2,250	1350,0	2,651	509,2	679,0
Areia B	0,852	511,4	3,013	169,7	
Água	0,649	389,6		389,6	
Aditivo	0,008	4,800	1,2	4,000	
	Total	2855,9	-	1274,6	
H =	15,83%				
Flow Inicial	Flow 5 golpes	Flow 10 golpes	Massa Esp	Moldar 4 Cp's	
185	256	286	3783,5		
185	256	289			
Proporções	Natural	Tipo B - Lamelar			
	50	50			
	Traço	Mistura	Massa		
		Seco (g)	Específica	Volume	
Cimento	1	600,0	2,97	202,0	
Areia N	1,500	900,0	2,651	339,5	679,0
Areia B	1,705	1022,9	3,013	339,5	
Água	0,649	389,6		389,6	
Aditivo	0,008	4,800	1,2	4,000	
	Total	2917,3	-	1274,6	
H =	15,44%				
Flow Inicial	Flow 5 golpes	Flow 10 golpes	Massa Esp	Moldar 4 Cp's	
189	254	286	3815,6		
188	259	279			
Proporções	Natural	Tipo B - Lamelar			
H = 15,08%	25	75			
	Traço	Mistura	Massa		
		Seco (g)	Específica	Volume	
Cimento	1	600,0	2,97	202,0	
Areia N	0,750	450,0	2,651	169,7	679,0
Areia B	2,557	1534,3	3,013	509,2	
Água	0,649	389,6		389,6	
Aditivo	0,008	4,800	1,2	4,000	
	Total	2978,8	-	1274,6	

Flow Inicial	Flow 5 golpes	Flow 10 golpes	Massa Esp	Moldar 4 Cp's	
164	233	265	3843,3		
162	230	260			
Proporções	Natural	Tipo B - Lamelar			
	0	100			
	Traço	Mistura	Massa		
		Seco (g)	Específica	Volume	
Cimento	1	600,0	2,97	202,0	
Areia N	0,000	0,0	2,651	0,0	679,0
Areia B	3,410	2045,8	3,013	679,0	
Água	0,649	389,6		389,6	
Aditivo	0,008	4,800	1,2	4,000	
	Total	3040,2	-	1274,6	
H =	14,73%				
Flow Inicial	Flow 5 golpes	Flow 10 golpes	Massa Esp	Moldar 4 Cp's	
139	196	234	3862,5		
136	191	224			

Tabela 4: Misturas em argamassa, resultados rompimento corpos de prova.

Resistencia				
Série	Carga1 (KN)	Carga2 (KN)	Carga3 (KN)	Carga4 (KN)
100N	60,0	62,0	51,05	52,40
75N+25A	74,4	70,9	76,30	70,70
50N+50A	75,8	76,6	72,85	69,90
25N+75A	77,1	82,0	81,10	78,40
100A	77,5	75,7	79,25	75,20
75N+25B	56,6	63,0	63,95	62,05
50N+50B	59,8	67,3	61,00	65,60
25N+75B	63,3	56,0	66,10	64,65
100B	59,7	53,0	59,10	58,45

ANEXO 3: DOSAGEM DO CONCRETO

Tabela 1: Acréscimos de massa de areia natural para determinação do teor ideal de argamassa.

Traço 1:5		Areia natural 100%			Hestimada = 10%		
	Cimento	Areia Natural	Areia B	Brita	Água	Adit (%)	Σ
d = m/v	2,97	2,65	-	2,90	1,0		
$\alpha = 46\%$							
Traço massa	1	1,76	-	3,24	0,6	0,75	
d = m/v	2,97	2,65	-	2,90	1,0		
Traço volume	0,337	0,664	-	1,117	0,6		2,718
Massa p/ vol 15l	5,5	9,68	-	17,82	3,3		
$\alpha = 48\%$							
Traço massa	1	1,88	-	3,12	-		
Massa p/ vol 15l	17,82/3,12 = 5,71	5,71x1,88 = 10,74	-	17,82	-		
Adicionar	5,71-5,50 = 0,21	10,74 - 9,68 = 1,06	-	-	-		

Tabela 2: Acréscimos de massa de areia de britagem Tipo A para determinação do teor ideal de argamassa.

Traço 1:5		Prop. Vol. Inicial: AN = 25% e AB _A = 75%			Hestimada = 9%		
	Cimento	Areia Natural	Areia A	Brita	Água	Adit (%)	Σ
d = m/v	2,97	2,65	2,94	2,90	1,0		
$\alpha_{eq} = 44\%$							
Traço	1	5 - 3,36 = 1,64		6x0,56=3,36	0,09x6=0,54	-	
Traço massa	1	0,25x1,64 =0,41	0,75x1,64x (2,94/2,65) =1,36	3,36	0,54	0,75	
Traço volume	0,337	0,155	0,463	1,159	0,54	-	2,653
Massa p/ vol 15l	15/2,653 =5,70	5,7x0,41 =2,34	5,7x1,36 =7,75	5,7x3,36= 19,15	5,7x0,54 =3,08	-	
Adições Estabelecidas Subjetivamente para Correção da Trabalhabilidade do Concreto							
Adições	0,18	0,56	0,45	-	-	-	
Massa Acumulada	5,70+0,18 =5,88	2,34+0,56 =2,90	7,75+0,45 = 8,20	19,15	-	-	
$\alpha_{eq} = [5,88+2,90+(8,20*2,65/2,94)] /$ $[5,88+2,90+(8,20*2,65/2,94)+19,15] = 45,8\%$				%AN = 2,90 / (2,90+8,20*2,65/2,94) = 28,2%		%AB = 71,8%	
Adições Estabelecidas Subjetivamente para Correção da Coesão do Concreto							
Adições	-	0,97	-	-	-	-	
Massa Acumulada	5,88	2,90+0,97 =3,87	8,20	19,15	-	-	
$\alpha_{eq} = [5,88+3,87+(8,20*2,65/2,94)] /$ $[5,88+3,87+(8,20*2,65/2,94)+19,15] = 47,2\%$				%AN = 3,87 / (3,87+8,20*2,65/2,94) = 34,4%		%AB = 65,6%	
Definido: $\alpha_{eq} = 51\%$ e Proporção Volumétrica entre Agregados Miúdos AN = 35% e AB = 65%							
Traço	1	5 - 2,94 = 2,06		6x0,49 = 2,94	-	-	
Traço massa	1	0,35x2,06 =0,721	0,65x2,06x (2,94/2,65) =1,486	2,94	-	-	
Massa p/ vol 15l	19,15/2,94 =6,51	0,721*6,51 = 4,70	1,486*6,51 = 9,68	19,15	-	-	
Adições	6,51-5,88 =0,63	4,70-3,87 =0,83	9,68-8,20 = 1,48	-	-	-	
Massa Acumulada	6,51	4,70	9,68	19,15	-	-	

α_{eq} – teor de argamassa (em massa) convertendo volumetricamente o agregado miúdo de britagem em agregado miúdo natural;

* Fixada a quantidade de areia natural para correção dos demais materiais;

Tabela 3: Acréscimos de massa de areia de britagem Tipo B para determinação do teor ideal de argamassa.

Traço 1:5		Prop. Vol. Inicial: AN = 35% e AB _B = 65%			Hestimada = 9%		
	Cimento	Areia Natural	Areia B	Brita	Água	Adit (%)	Σ
d = m/v	2,97	2,65	3,01	2,90	1,0		
$\alpha_{eq} = 44\%$							
Traço	1	5 - 3,36 = 1,64		6x0,56=3,36	0,09x6=0,54	-	
Traço massa	1	0,35x1,64 =0,574	0,65x1,64x (3,01/2,65) =1,211	3,36	0,54	0,75	
Traço volume	0,337	0,217	0,402	1,159	0,54	-	2,655
Massa p/ vol 15l	15/2,655 =5,7	5,7x0,574 =3,27	5,7x1,211 =6,90	5,7x3,36= 19,15	5,7x0,54=3,0 8	-	
Adições Estabelecidas Subjetivamente para Correção da Coesão do Concreto							
Adições	-	0,77	-	-	-	-	
Massa Acumulada	5,70	3,27+0,77 =4,04	6,90	19,15	-	-	
$\alpha_{eq} = [5,70+4,04+(6,90*2,65/3,01)] /$ $[5,70+4,04+(6,90*2,65/3,01)+19,15] = 45,2\%$				%AN = 4,04 / $(4,04+6,90*2,65/3,01) = 39,9\%$		%AB = 60,1%	
Definido: $\alpha_{eq} = 47\%$ e Proporção Volumétrica entre Agregados Miúdos AN = 35% e AB = 65%							
Traço	1	5 - 3,18 =1,82		6x0,53 = 3,18	-	-	
Traço massa	1	0,35x1,82 =0,637	0,65x1,82x (3,01/2,65) =1,344	3,18	-	-	
Massa p/ vol 15l	4,04/0,637 =6,34	4,04*	1,344*6,34 = 8,52	3,18*6,34 =20,16	-	-	
Adições	6,34-5,70 =0,64	-	8,52-6,90 = 1,62	20,16-19,15 =1,01	-	-	
Massa Acumulada	6,34	4,04	8,52	20,16	-	-	
Definido: $\alpha_{eq} = 51\%$ e Proporção Volumétrica entre Agregados Miúdos AN = 35% e AB = 65%							
Traço	1	5 - 2,94 =2,06		6x0,49 = 2,94	-	-	
Traço massa	1	0,35x2,06 =0,721	0,65x2,06x (3,01/2,65) =1,521	2,94	-	-	
Massa p/ vol 15l	20,16/2,94 =6,85	0,721*6,85 = 4,94	1,521*6,85 = 10,42	20,16	-	-	
Adições	6,85-6,34 =0,51	4,94-4,04 =0,90	10,42-8,52 = 1,90	-	-	-	
Massa Acumulada	6,85	4,94	10,42	20,16	-	-	

α_{eq} – teor de argamassa (em massa) convertendo volumetricamente o agregado miúdo de britagem em agregado miúdo natural;

* Fixada a quantidade de areia natural para correção dos demais materiais;