



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS DE MARABÁ
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

SUELEN MENDONÇA CAMARGO

**EFEITO DA ADIÇÃO DO RESÍDUO DE CALCÁRIO NAS PROPRIEDADES
TECNOLÓGICAS DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO**

MARABÁ
2012

SUELEN MENDONÇA CAMARGO

**EFEITO DA ADIÇÃO DO RESÍDUO DE CALCÁRIO NAS PROPRIEDADES
TECNOLÓGICAS DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Materiais,
Campus de Marabá, Universidade Federal
do Pará. Orientadora Prof.^a Dr.^a Rosane
Maria Pessoa Betânio Oliveira.

MARABÁ
2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca II da UFPA. CAMAR, Marabá, PA

Camargo, Suelen Mendonça

Efeito da adição do resíduo de calcário nas propriedades tecnológicas do concreto pré-moldado / Suelen Mendonça Camargo ; orientadora, Rosane Maria Pessoa Betânio Oliveira. — 2012.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Materiais, Marabá, 2012.

1. Calcário - Reaproveitamento. 2. Usinas siderúrgicas - Eliminação de resíduos - Marabá (PA). 3. Agregados (Materiais de construção). 4. Concreto pré-moldado. I. Oliveira, Rosane Maria Pessoa Betânio, orient. II. Título.

SUELEN MENDONÇA CAMARGO

**EFEITO DA ADIÇÃO DO RESÍDUO DE CALCÁRIO NAS
PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado para obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia de
Materiais, Campus de Marabá,
Universidade Federal do Pará.
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rosane Maria
Pessoa Betânio Oliveira.

Data de aprovação: 14 de novembro de 2012

Banca examinadora:


_____- Orientadora
Prof.^a Dr.^a Rosane Maria P. B. Oliveira - UFPA


_____- Membro interno
Prof. Dr. Adriano Alves Rabelo – UFPA


_____- Membro interno
Prof. Dr. Elias Fagury Neto – UFPA

Dedico aos meus pais e família, aos meus amigos, aos meus mestres e educadores!

AGRADECIMENTOS

À DEUS, o grande criador e responsável pelo acontecimento de tudo.

Aos meus pais, meu chão.

À turma da FEMAT 2007, aos meus amigos o meu muito obrigada, sem vocês nada disso seria possível com leveza.

A todos os meus amigos que me ajudaram com quaisquer dúvidas e eventuais problemas, principalmente ao Milton Adalberto, que por intermédio do mesmo foi possível conseguir o material de adição usado neste trabalho.

À SINOBRAS, que doou o resíduo de calcário.

A todos os professores que contribuíram para minha formação profissional, em principal à minha orientadora Rosane Oliveira.

A minha sobrinha e afilhada Sophia Louise Camargo Leal, que sempre me tirava do stress nos dias de angústia.

A minha gratidão a todo apoio que tive na UFRN, em especial ao professor Martinelli e Andreza, meu muito obrigada!

Ao Engenheiro Rodrigo Rodrigues da Cunha, sempre que possível, tirando as minhas dúvidas.

Aos colaboradores da Goiás Concreto, que possibilitaram boa parte dos experimentos. Em especial ao Sr Carlos Costa, Artur Medeiros, Paulo Roberto.

“Bom mesmo é ir à luta com determinação, abraçar a vida com paixão, perder com classe, e vencer com ousadia, porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é "muito" para ser insignificante.” (Augusto Branco)

RESUMO

A adequação de um resíduo que poderia ser descartado no meio ambiente em novas técnicas de trabalho e aplicações pode ser considerada como o grande impulso para o crescimento sustentável. O concreto é o segundo material mais consumido no mundo, além disso, trata-se de um produto que permite bastante inovação tecnológica por ser eficaz em diversas condições. O Município de Marabá é rodeado por indústrias do polo siderúrgico e, portanto, grande geradora de resíduos tais como o mineral calcário. O crescimento no ramo da construção civil da região é notável e medidas como a utilização de pré-moldados para a aceleração das obras aumenta a cada dia. O objetivo deste trabalho é adequar o resíduo de calcário para a dosagem de concreto com agregados regionais, podendo ser utilizado em peças pré-moldadas. Foram dosados três traços de referência com baixo, médio e alto teor de cimento. Em cada teor de cimento foram calculados mais três traços com resíduo de calcário sendo com 5%, 10% e 15% em substituição parcial da areia, identificando quatro traços por teor de cimento, totalizando doze traços realizados. Foi realizada a caracterização dos materiais individualmente. A conferência da trabalhabilidade, indicada pelo teste de abatimento, e resistência à compressão foram as propriedades tecnológicas avaliadas do concreto dosado. Os resultados mostraram melhorias significativas em todos os casos tanto para trabalhabilidade quanto para resistência.

Palavras-Chaves: calcário, concreto, pré-moldado.

ABSTRACT

The adequacy of waste that could be disposed in the environment into new working techniques and applications can be considered as the major thrust for sustainable growth. Concrete is the second most common material consumed in the world, moreover, it is a product technological innovation that allows enough to be effective in different conditions. The city of Marabá is surrounded by several steel industries and thus generating large waste such as limestone. Growth in the construction business in the region is remarkable and measures such as the use of precast for acceleration of works increases every day. The aim of this work is to incorporate this residue to the concrete in association with regional aggregates to produce precast pieces. Three formulations developed, using low, medium and high cement content. In each formulation it was calculated over three lines with material being added at 5%, 10% and 15% in partial substitution of the sand, identifying four strokes per amount of cement totaling twelve strokes performed. The characterization was carried out separately. The workability and compressive strength properties were analyzed. The results showed significant improvements in all cases for both workability and resistance.

Keywords: limestone, concrete, precast.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma de fabricação de cimento.....	20
Figura 2 - Processo de fabricação do cimento.....	20
Figura 3 - Material de teste de slump.	31
Figura 4 – Ensaio de abatimento.....	31
Figura 5 - Resíduo de Calcário.....	34
Figura 6 – Agregado miúdo utilizado.	37
Figura 7 - Agregado graúdo utilizado.	37
Figura 8 - Misturador mecânico.	39
Figura 9 - Mistura homogeneizada.	40
Figura 10 - Preenchimento de molde para ensaio de índice de consistência.....	40
Figura 11 - Mesa de determinação do índice de consistência de argamassa.....	41
Figura 12 - Medida do abatimento obtido.....	41
Figura 13 - Perda de trabalhabilidade, traço rico.	50
Figura 14 - Perda de trabalhabilidade, traço básico.	50
Figura 15 - Perda de trabalhabilidade, traço pobre.....	51
Figura 16 - Resistência à compressão do traço rico e seus respectivos traços auxiliares.....	53
Figura 17 - Resistência à compressão do traço básico e seus respectivos traços auxiliares.....	54
Figura 18 - Resistência à compressão do traço pobre e seus respectivos traços auxiliares.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de cimento Portland.	22
Tabela 2 - Teores dos componentes de cimento Portland composto.....	24
Tabela 3 - Exigências químicas.	24
Tabela 4 - Exigências físicas e mecânicas.	24
Tabela 5 - Principais tipos de concreto e sua aplicação.	29
Tabela 6 – Série normal e intermediária de peneiras.	36
Tabela 7 - Ensaio químicos do cimento.....	44
Tabela 8 - Resistência a compressão (MPa).	44
Tabela 9 - Ensaio físicos e mecânicos.	45
Tabela 10 - Dados técnicos do aditivo.....	45
Tabela 11 - Estudo do teor de argamassa para traço experimental.	46
Tabela 12 - Traços auxiliares.....	47
Tabela 13 – Slump inicial e secundário, análise da perda de trabalhabilidade, traço rico.....	48
Tabela 14 – Slump inicial e secundário, análise da perda de trabalhabilidade, traço básico.....	48
Tabela 15 – Slump inicial e secundário, análise da perda de trabalhabilidade, traço pobre.....	48
Tabela 16 - Análise química do resíduo de calcário.	49
Tabela 17 – Módulo de finura e densidade real de alguns materiais.....	49
Tabela 18 – Ensaio de compressão para traço rico (MPa).	52
Tabela 19 - Ensaio de compressão para traço básico (MPa).	52
Tabela 20 - Ensaio de compressão para traço pobre (MPa).....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABESC	Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Concretagem
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
CP	Cimento Portland
A/C	Fator água cimento
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivos Gerais	15
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	17
2.1.1 Cimento e adições	18
2.1.2 Agregados	25
2.1.3 Água.....	27
2.1.4 Aditivos	28
2.2 CLASSIFICAÇÃO DO CONCRETO	28
2.3 CONCRETO NO ESTADO FRESCO	30
2.3.1 Trabalhabilidade	30
2.4 CONCRETO PRÉ-MOLDADO	32
2.5 RESÍDUO MINERAL DE CALCÁRIO.....	33
3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL	35
3.1 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS.....	35
3.1.1 Caracterização dos Materiais	35
3.1.1.1 Caracterização do Cimento CP II F -32.....	35
3.1.1.2 Caracterização do Agregado Miúdo	36
3.1.1.3 Caracterização do Agregado Graúdo.....	37
3.1.1.4 Aditivo Polifuncional	38
3.1.1.5 Resíduo Mineral de Calcário	38
3.1.1.6 Caracterização da pasta utilizada.....	38
3.1.2 Estudo de Dosagem.....	42
3.1.2.1 Determinação do Teor de Argamassa.....	42
3.1.2.2 Determinação dos traços auxiliares	42
3.1.3 Ensaio de concreto	42
3.1.3.1 Ensaio no concreto fresco – Trabalhabilidade.....	42
3.1.3.2 Ensaio de concreto endurecido – Resistência à compressão axial	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44

5 CONCLUSÕES.....	56
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1 INTRODUÇÃO

O uso de adições minerais na construção civil é um importante exemplo de prática sustentável, uma vez que as adições minerais normalmente utilizadas são resíduos provenientes de outras indústrias, os quais seriam descartados em grandes quantidades em locais impróprios, gerando riscos de contaminação do solo e fontes de água [1]. Todo resíduo sólido industrial deve apresentar os dados de geração e destinação dos resíduos gerados além de informações de armazenamento, transporte, reutilização, reciclagem, recuperação e disposição final dos resíduos sólidos gerados pelas indústrias do país [2].

A ação de disposição de resíduos no meio pode acarretar não somente um grave dano ao equilíbrio ecológico como também uma perda inconsciente de matéria-prima. Ações de correções ou de alternativas ecologicamente corretas são cada vez mais recorrentes e alvos de estudo promissor, como no caso da construção civil: o uso de pó de pedra que é um rejeito da indústria de britagem de rochas, com destino ainda não totalmente definido pelas pedreiras produtoras, na produção de concreto [3].

O calcário é uma matéria-prima comumente utilizadas nas etapas de refino do aço. Em sua primeira etapa de refino (refino primário) o mineral bruto passa por uma série de processos dos quais é necessário a utilização de um fundente para a obtenção do chamado ferro gusa. Porém, para que haja rendimento do ferro gusa, por uma questão de disposição das matérias-primas dentro do alto-forno, o calcário deve possuir uma granulometria ótima afim de que seja evitado o engaiolamento dos materiais dispostos em seu interior. Evitando assim, uma perda de material, acidentes de trabalho gravíssimos e parada de produção. Sendo assim, o calcário que estiver com a faixa granulométrica não desejável deve ser descartado desta etapa de processo, passando a constituir uma classe de materiais na forma de resíduo industrial.

Há a possibilidade de destinação deste resíduo que pode voltar como produto para o processo novamente, desde que este passe por uma etapa de sinterização por exemplo. Porém, é necessário que a empresa gere uma quantia significativa de resíduos e possua capital para investir.

O consumo mundial total de concreto em 1993 foi estimado em três bilhões de toneladas, correspondendo a uma tonelada por ser humano vivo [4]. Após este estudo, obteve-se novos dados que estimam que o patamar de consumo anual de concreto por habitante se manteve, o que significa em termos atuais que a produção mundial de

concreto é da ordem de 6,5 bilhões de toneladas [5]. Em 2009, estudos indicaram que eram produzidos em média 20 bilhões de toneladas de concreto por ano, ultrapassando o dobro da faixa de 1 ton/per capita [4], tornando o concreto, o segundo material mais consumido pelo homem, depois da água.

Uma proposta já bastante difundida é a utilização desses finos na indústria da construção civil, especificadamente em concreto estrutural. O desempenho de calcário de adição de carga para cimento Portland tem sido amplamente estudado em pastas, argamassas e concretos. Em geral, a pedra calcária de enchimento melhora a taxa de hidratação de compostos de cimento e, conseqüentemente aumenta a resistência em idades precoces. Para concretos contendo blenda de cimento e calcário em teores até 18%, as propriedades no estado fresco como trabalhabilidade, acabamento e coesão atingiram bons resultados [6]. Para o calcário com elevada área superficial, quando utilizado em concreto, produz um aumento da retração autógena, reduz a evaporação diminuindo a fissuração plástica [7].

Neste caso, a proposta será a adição do resíduo de calcário proveniente da indústria siderúrgica SINOBRÁS – Siderúrgica Norte Brasil S. A., localizada no distrito industrial de Marabá, para avaliação de algumas propriedades de interesse tecnológico em concreto bombeável.

Marabá é uma cidade rodeada por indústrias, sendo elas, parte do polo siderúrgico. Notavelmente são geradores de resíduos sólidos que sem destinação correta, podem acarretar não somente em danos ecológicos como também em perda de matéria-prima inconsciente. O calcário trata-se de um material com uma vasta aplicação e deve ser reutilizado de maneira a continuar desenvolvendo incentivo no ramo do crescimento sustentável.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos Gerais

O objetivo deste trabalho seria a utilização de resíduo mineral de calcário provenientes da produção interna do ramo siderúrgico, para a tentativa de dar uma destinação sustentável para o mesmo e avaliar algumas propriedades do concreto obtido, tais como, resistência à compressão e trabalhabilidade.

1.2.2 Objetivos Específicos

Este trabalho, visa a melhoria das propriedades tecnológicas do concreto, através da adição do resíduo mineral de calcário, de maneira a atingir resistência inicial elevada (até 3 dias de moldagem), devido seu potencial de hidratação, e, com facilidade em aplicação do concreto obtido, tornando mais viável a construção de obras de grande porte em menor tempo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

O concreto é o material mais largamente utilizado em construção, sendo normalmente constituído de uma mistura de cimento Portland, agregados (grãos e miúdos), água, aditivos e adições minerais. Sendo assim, tem sua aplicação nos mais variados tipos de estruturas, desde grandes barragens até sofisticados edifícios com estruturas pré-tensionadas. Comparado aos metais, cerâmicas e materiais poliméricos, o concreto é sempre o menos dispendioso, apresenta resistência e durabilidade adequadas e requer menos energia para ser produzido [8].

O concreto também pode ser definido como um compósito comum com partículas grandes, onde a fase matriz e dispersa são materiais cerâmicos [9].

O proporcionamento dos materiais que envolvem o concreto é conhecido como dosagem ou traço, sendo um fator muito importante, pois através destes, pode-se obter concretos mais ou menos resistentes e com particularidades especiais, ao acrescentar-se à mistura aditivos.

O concreto é o mais pesquisado entre os materiais da construção civil, seja na forma de concreto armado, ou seja, análise estrutural, ou na forma de concreto simples, seu processo de produção e seus componentes. Trata-se de um dos elementos de maior importância que compõem as estruturas presentes na construção civil, daí a necessidade de conhecer profundamente seu processo de produção, bem como seus materiais componentes, principalmente o cimento, por ser o mais relevante entre todos [10].

Na elaboração do concreto deve-se levar em consideração a qualidade e a quantidade de água a ser utilizada pois está diretamente ligada a reação química que transforma o cimento em uma pasta aglomerante. Se sua quantidade e ou qualidade forem inadequadas a reação poderá não ocorrer por completo, afetando a resistência e a permeabilidade do concreto.

Os materiais a serem utilizados na dosagem deverão ser analisados no laboratório (conforme as normas da ABNT), com o propósito de verificar a qualidade e obter os dados para a elaboração do traço.

2.1.1 Cimento e adições

Cimento Portland é a denominação convencionada mundialmente para o material usualmente conhecido na construção civil como cimento. O cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que adquire coesão sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à hidratação, o cimento não se decompõe mais [11].

O cimento atua como uma fase de união, que aglutina quimicamente agregados particulados em uma única estrutura coesa. Sob essas circunstâncias, o papel do cimento é semelhante ao da fase vítrea de união, que se forma quando produtos à base de argila e alguns tijolos refratários são cozidos. Uma diferença importante, no entanto, é o fato de que, no cimento, a ligação se desenvolve à temperatura ambiente [9].

A resistência à compressão é uma das propriedades mecânicas mais importantes do concreto e se destaca por ser a que mais reflete o seu comportamento mecânico [12]. A resistência à compressão está diretamente ligada à segurança estrutural das edificações e recebe influência de vários fatores, como, por exemplo, a heterogeneidade dos materiais, o transporte, lançamento, adensamento e cura.

O cimento é constituinte responsável pela plasticidade e coesão, e influencia diretamente na variação volumétrica, calor de hidratação e resistência do concreto por exemplo, tornando-o imprescindível nesta mistura. Porém, vale ressaltar que além de representar o constituinte de maior custo, é também, responsável por uma emissão extremamente agressiva ao meio de gás carbônico.

A indústria do cimento é responsável por 5% da emissão de CO₂ produzido pelo homem em escala mundial [13]. Sendo assim, um dos maiores desafios das concreteiras acaba sendo diminuir o uso de cimento.

Os sítios de produção de cimento são constituídos por duas grandes atividades: a mineração de calcário e a fabricação de cimento, em plantas que estão interligadas fisicamente por correias transportadoras ou teleféricas que transportam o calcário extraído das minas até a área industrial [14].

O cimento Portland é composto de clínquer e de adições. O clínquer é o componente obrigatório e está presente em todos os tipos de cimento Portland. As adições podem variar de um tipo de cimento para outro, e são principalmente as que definem os diferentes tipos de cimento [11].

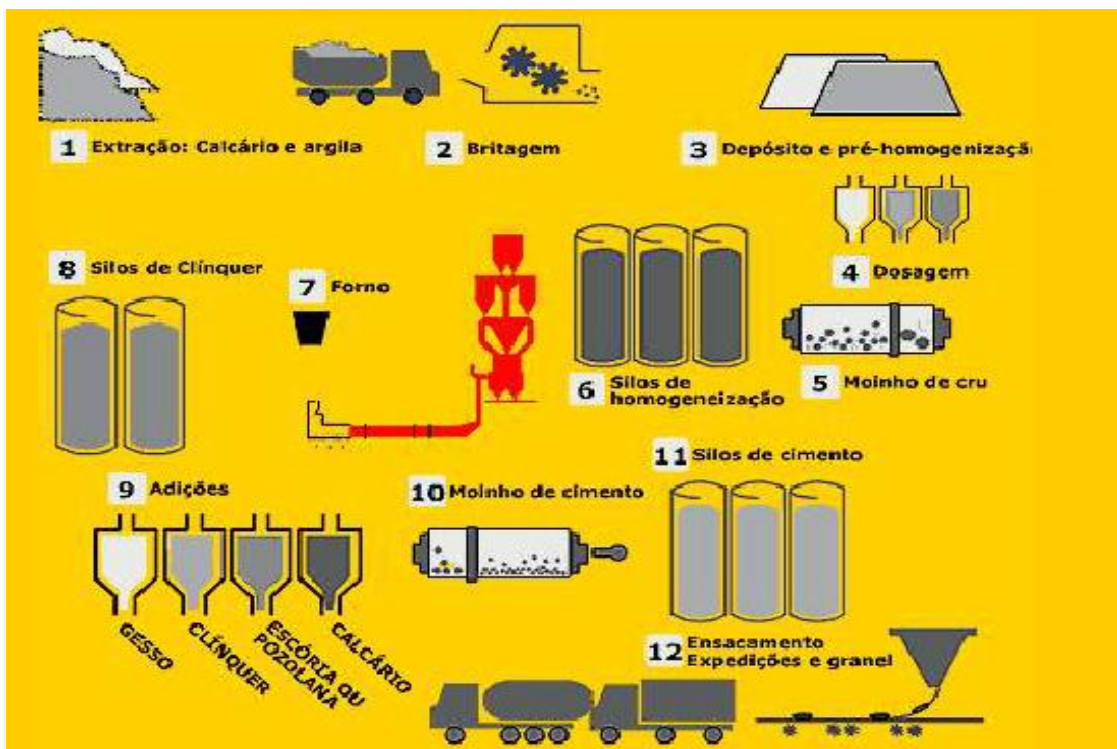
O cimento Portland é produzido em instalações industriais complexas, dotadas de equipamentos apropriados à obtenção do produto final dentro dos parâmetros especificados e pode conter, além do clínquer Portland e do sulfato de cálcio para regular a pega, a adição de uma ou mais matérias primas (escória granulada de alto-forno, materiais pozolânicos ou filler de calcário), dependendo do tipo de cimento [11].

A fabricação do cimento Portland se inicia com a extração das materiais primas para a obtenção do clínquer. Há, primeiramente, o desmonte de rocha em uma jazida de calcário, que ao ser extraído é transportado para a unidade de britagem. Após a britagem é então submetido à moagem para a obtenção da farinha, denominação dada ao calcário moído e já misturado com argila e, eventualmente, com minério de ferro. Na sequência é feita a homogeneização da farinha em silos apropriados, que vai permitir a alimentação do forno [15].

Tratando-se de um trabalho contínuo, a fabricação do cimento segue com a entrada da farinha em um forno rotativo, o qual possui um equipamento de pré-calculação, no sentido de diminuir o consumo de energia térmica. O material cru, ou farinha, segue por gravidade em direção à parte mais quente do equipamento [15]. Este pó é introduzido no forno, passando por etapas de aquecimento, até chegar à zona de máxima temperatura (aproximadamente 1450 °C), onde acontece a clinquerização, processo no qual 30% da mistura é convertida em fase líquida. O resultado do processo é o clínquer, em forma de pelotas [16]. Ao sair do forno, o clínquer é submetido a resfriamento rápido, de 1450 °C a 80 °C, através de resfriadores industriais. O clínquer resfriado é transportado para a moagem final em moinho de bolas de aço que auxiliam na obtenção da finura conveniente. Nessa fase, são incorporadas as demais matérias primas em função do tipo de cimento, (escória granulada de alto-forno, materiais pozolânicos e materiais carbonáticos) que vão conferir propriedades adicionais ao clínquer [15]. Na moagem, é adicionada gipsita, para retardar a pega do cimento resultante. Assim, obtêm-se o cimento [16]. Na Figura 1 há um fluxograma da fabricação do cimento. A Figura 2 exibe uma imagem da fábrica real da Votorantim.

O transporte é feito mecânica ou pneumáticamente para os silos, onde é estocado. São feitos ensaios finais de qualidade para então ser enviado para expedição. A remessa de cimento pode ser feita a granel ou em sacos, geralmente de 50 Kg.

Figura 1 - Fluxograma de fabricação de cimento.



Fonte: [11].

Figura 2 - Processo de fabricação do cimento.



1 PRÉ-HOMO	2 MOINHO DE FARINHA	3 PRODUÇÃO DO CLÍNQUER	4 RESFRIAMENTO	5 MOINHO DE CIMENTO	6 EXPEDIÇÃO DE CIMENTO
------------	---------------------	------------------------	----------------	---------------------	------------------------

Fonte: [15].

A revista "International Cement Review", do Reino Unido, anunciou na publicação de seu último relatório global do setor de cimento (Global Cement Report), que, o crescimento do consumo mundial em 2009, atingiu a marca de 2998 Mt, e em 2010, com 3294 Mt, resultando em taxas de crescimento anual de 5,9 % e 9,9 % respectivamente, nesses dois últimos anos. Para 2012, as previsões de consumo de cimento no mundo indicam que será atingido o recorde de 3859 Mt [17].

Atualmente, no mercado brasileiro existem 8 tipos de cimentos normalizados que se diferenciam de acordo com a proporção de clínquer e sulfatos de cálcio, material carbonático e de adições, como, por exemplo, escórias, pozolanas e calcários, adicionadas durante a fase de moagem [18], como mostra a Tabela 1 seguir.

Tabela 1 – Classificação de cimento Portland.

NOME TÉCNICO		SIGLA	CLASSE	IDENTIFICAÇÃO DO TIPO DE CLASSE
Cimento Portland Comum (NBR 5732)	Cimento Portland comum	CP I	25	CP I-25
			32	CP I-32
			40	CP I-40
	Cimento Portland comum com adição	CP I-S	25	CP I-S-25
			32	CP I-S-32
			40	CP I-S-40
Cimento Portland Composto (NBR 11578)	Cimento Portland Composto com escória	CP II-E	25	CP II-E-25
			32	CP II-E-32
			40	CP II-E-40
	Cimento Portland Composto com pozolana	CP II-Z	25	CP II-Z-25
			32	CP II-Z-32
			40	CP II-Z-40
Cimento Portland Composto com fíler	CP II-F	25	CP II-F-25	
		32	CP II-F-32	
		40	CP II-F-40	
Cimento Portland de alto-forno (NBR 5735)	CP III	25	CP III-25	
		32	CP III-32	
		40	CP III-40	
Cimento Portland pozolânico (NBR 5736)	CP IV	25	CP IV-25	
		32	CP IV-32	
Cimento Portland de alta resistência inicial (NBR 5733)	CP V-ARI	-	CP V-ARI	
Cimento Portland resistente aos sulfatos (NBR 5737)	-	25	Acrescidos do sufixo	
		32	RS. Exemplo: CP I-32RS, CP	
		40	II-F-32RS, CP III-40RS etc.	
Cimento Portland de baixo calor de hidratação (NBR 13116)	-	25	Acrescidos do sufixo	
		32	BC. Exemplo: CP I-32BC,	
		40	CP II-F-32BC,etc.	
Cimento Portland Branco (NBR 12989)	Cimento Portland branco Estrutural	CP B	25	CPB-25
			32	CPB-32
			40	CPB-40
	Cimento Portland branco não estrutural	CP B	-	CPB

Fonte: [19].

A utilização de resíduos, como as escórias de alto-forno, nos diversos campos da engenharia, traz benefícios ao meio-ambiente, pois representa uma redução da quantidade de material a dispor em aterros ou estocar em pilhas, como também uma diminuição significativa do consumo de recursos naturais primários e não renováveis, como brita, areia, calcário, rocha fosfática e outros. Soma-se a isso a possibilidade de substituir parcialmente o clínquer (calcário calcinado) no processo de fabricação do cimento, reduzindo o consumo energético e as emissões de CO₂ na atmosfera.

Dentre os cimentos portland modificados podem ser citados os de pozzolana e de escória de alto-forno. Os cimentos de pozzolana tem adicionados a sua mistura 10% a 40% de pozzolana, e apresentam características como pequena velocidade na liberação de calor de hidratação e elevada resistência a águas sulfatadas e ácidas. Os cimentos de alto-forno possuem propriedades semelhantes a dos cimentos de pozzolana e são obtidos misturando-se ao clínquer escória de alto-forno granulada na proporção de 25% a 65% do peso do cimento [19].

Nota-se que, de acordo com estudos, há variações na composição do cimento e inserção de novas adições no concreto que podem garantir o seu bom desempenho mecânico e comercial. A Tabela 2 mostra os teores de cada componente do cimento composto. Os cimentos compostos também devem atender algumas exigências químicas, físicas e mecânicas, como mostram as Tabelas 3 e 4.

Tabela 2 - Teores dos componentes de cimento Portland composto.

SIGLA	CLASSE DE RESISTÊNCIA	COMPONENTES (% EM MASSA)			
		CLÍNQUE R + SULFATOS DE CÁLCIO	ESCÓRIA GRANULADA DE ALTO FORNO	MATERIAL POZOLÂNICO	MATERIAL CARBONÁTICO
CP – II – E	25	94-56	6-34	-	0-10
	32				
	40				
CP – II – Z	25	94-76	-	6-14	0-10
	32				
	40				
CP – II – F	25	94-90	-	-	6-10
	32				
	40				

Fonte: [20].

Tabela 3 - Exigências químicas.

DETERMINAÇÃO QUÍMICA	LIMITES (% DA MASSA)		
	CP II-E	CP II-Z	CP II-F
Resíduo Insolúvel (RI)	≤ 2,5	≤ 16,0	≤ 2,5
Perda ao Fogo (PF)		≤ 6,5	
Óxido de magnésio (MgO)		≤ 6,5	
Trióxido de enxofre (SO ₃)		≤ 4,0	
Anidrido carbônico (CO ₂)		≤ 5,0	

Fonte: [20].

Tabela 4 - Exigências físicas e mecânicas.

CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES		UNIDADE	LIMITES DE CLASSE		
			25	32	40
Finura	Resíduo na peneira 75 µm	%	≤12	≤12	≤10
	Área específica	m ² /kg	≥240	≥260	≥280
	Tempo de início de pega	h	≥1	≥1	≥1
	Expansibilidade a quente	mm	≤5	≤5	≤5
Resistência a compressão	3 dias	MPa	≥8	≥10	≥15
	7 dias	MPa	≥15	≥20	≥25
	28 dias	MPa	≥25	≥32	≥40

Fonte: [20].

O gesso tem como função básica controlar o tempo de pega, isto é, o início do endurecimento do clínquer moído quando este é misturado com água. Caso não se adicionasse o gesso à moagem do clínquer, o cimento, quando entrasse em contato com a água, endureceria quase que instantaneamente, o que inviabilizaria seu uso nas obras. As escórias de alto-forno são obtidas durante a produção de ferro-gusa nas indústrias siderúrgicas e se assemelham aos grãos de areia. Estas possuem a característica de reagir em presença de água, geralmente, desenvolvendo características aglomerantes de forma muito semelhante à do clínquer. A escória de alto-forno quando adicionada à moagem do clínquer com gesso, guardadas certas proporções, obtém como resultado um tipo de cimento que, além de atender plenamente aos usos mais comuns, apresenta melhoria de algumas propriedades, como maior durabilidade e maior resistência final [11].

As pozolanas, quando usadas em substituição parcial do cimento, aumentam a plasticidade do concreto e diminuem a segregação. Essa melhoria dependerá diretamente da finura do produto e da porcentagem substituída. A substituição ao cimento tem sido na proporção de 15% a 40% no concreto [21].

Os materiais carbonáticos são rochas moídas, que apresentam carbonato de cálcio em sua constituição, tais como o próprio calcário. Quando presentes no cimento são conhecidos como fíler calcário.

2.1.2 Agregados

Agregados são materiais que, no início do desenvolvimento do concreto, eram adicionados à massa de cimento e água, para dar-lhe “corpo”, tornando-a mais econômica. Hoje, representam cerca de oitenta por cento do peso do concreto e sabe-se que, além de sua influência benéfica quanto à retração e à resistência, o tamanho, a densidade e a forma dos seus grãos, podem definir várias das características desejadas em um concreto. As propriedades do concreto, em ambos os estados, fresco e endurecido, estão intimamente associadas às características e proporções relativas de seus componentes.

Agregado é um material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa de concreto, podendo ser: rochas britadas, seixos rolados, areias naturais, pedregulhos, cascalho. São quimicamente inertes, fisicamente compatíveis com o cimento e a armadura, duráveis

(podendo ser expostos à solicitação de esforços), tem boa aderência com a pasta (cimento e água) com formas e dimensões definidas [11].

A produção nacional de agregado chega a superar 300 milhões de toneladas por ano. Tem um custo muito menor que o cimento e ocupam de 60 a 80% do volume do concreto. Influenciam em muitas propriedades do concreto em estado fresco e endurecido, tais como: trabalhabilidade, retração por secagem, propriedades mecânicas e desgaste por abrasão [11].

Os agregados, dentro desta filosofia de custo-benefício, devem ter uma curva granulométrica variada e devem ser provenientes de jazidas próximas ao local da dosagem. Isto implica em uma regionalização nos tipos de pedras britadas, areias e seixos que podem fazer parte da composição do traço.

Há uma variação grande de classificação de agregados. Podem ser agregados de origem natural ou artificial e são classificados também de acordo com sua dimensão, [11]:

- grão: cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm [22].
- miúdos: cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m [22].
- pedrisco: resultante da britagem de rocha, cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 12,5 mm e ficam retidos na peneira de malha de 4,75 mm, correspondente à zona granulométrica 4,75/12,5 [22].
- Pó de pedra: material granular resultante da britagem de rocha que passa na peneira de malha 6,3 mm.
- finos: material granular que passa na peneira com abertura de malha de 150 μ m e fica retido na peneira com abertura de malha de 75 μ m.
- materiais pulverulentos: partículas com dimensões inferiores a 75 μ m, inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados.

Há diferentes densidades de agregados, caracterizando-os assim como: agregado de densidade normal (massa específica entre 2000 kg/m³ e 3000 kg/m³), denso ou pesado, acima de 3000 kg/m³, tais como: magnetita, hematita, lemonita e agregado leve de baixa massa específica, abaixo de 2000 kg/m³, tais como: vermiculita, argila expandida, entre outros.

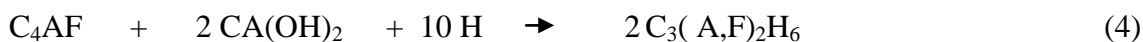
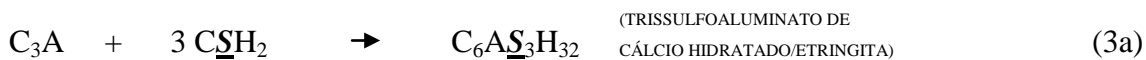
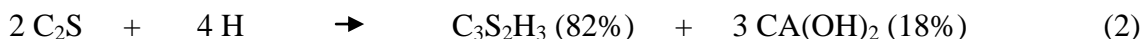
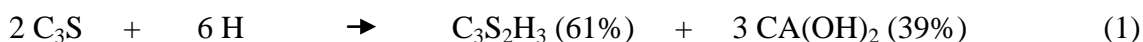
2.1.3 Água

A água tem a função de promover a reação de hidratação ou do endurecimento do cimento, homogeneização da mistura e de dar trabalhabilidade ao concreto [11].

A água é o componente fundamental do concreto, chega a representar 15% do seu volume, deve ser isenta de substâncias agressivas dissolvidas, para que haja conservação da integridade do concreto.

O cimento e a água formam uma pasta, que na mesma ocorrem reações químicas determinantes para que haja resistência necessária à solicitação desejada, para uma dada aplicação e dosagem. A quantidade de água utilizada influencia diretamente na resistência adquirida e na trabalhabilidade do concreto produzido. A partir do fator a/c (água/cimento) consegue-se definir traços com menor a maior resistência.

De um modo geral, as principais fases sólidas (equações 1 a 4 mostradas a seguir) presentes na pasta de cimento formadas na hidratação são os silicatos de cálcio hidratados, sulfoaluminatos de cálcio, hidróxido de cálcio [23].



Uma ligação completa entre o cimento e as partículas do agregado depende da adição correta de água. Muito pouca água leva a uma ligação incompleta, enquanto que muita água leva a uma porosidade excessiva; em ambos os casos a resistência final é inferior à ótima [9].

O excesso de água de amassamento necessária a reação de hidratação é evaporado depois do concreto endurecido, gerando canalículos e poros interligados responsáveis pela permeabilidade do concreto. Maior permeabilidade significa menor durabilidade, e maior porosidade significa menor resistência.

2.1.4 Aditivos

O emprego de aditivos remonta à antiguidade: os romanos já utilizavam em suas obras determinadas substâncias (sangue, clara de ovos, álcalis, etc.) [6].

A tecnologia dos aditivos sofreu um grande desenvolvimento, acompanhando o avanço da construção civil. Sendo que, em 1904 os aditivos eram à base de lignossulfonato; em 1938 começou-se à utilizar policondensado de naftaleno nos Estados Unidos da América (EUA), ao fim dos anos 60 com melamina e naftaleno, chegando em 1990, através de pesquisas no Japão e EUA, a utilizar policarboxilatos como base química para a produção de aditivos [6].

Aditivo é um produto que, ao ser adicionado ao concreto, tem o objetivo de modificar certas propriedades, seja no estado fresco e/ou endurecido. Podem ser classificados de acordo com o tipo de aditivo, tais como:

- Modificadores de pega: retardadores, aceleradores. Retardadores aumentam o tempo de manuseio do concreto e aceleradores aumentam a resistência inicial do mesmo.
- Incorporadores de ar: aumentam a durabilidade do concreto, diminuindo a sua permeabilidade. Aumentam a coesão, mobilidade interna da massa, diminuem a exsudação e fissuração.
- Redutores de água: Plastificantes, Superplastificantes. Tem o objetivo de reduzir água; aumentar a resistência; diminuir a permeabilidade, retração hidráulica, exsudação. São aditivos que aumentam o índice de consistência do concreto mantendo a quantidade de água de amassamento, ou que possibilita a redução da quantidade de água de amassamento (para plastificantes mínimo de 6% e superplastificantes mínimo de 12%), para produzir um concreto com determinada consistência. Sem alterar a pega do cimento.
- Expansores: provocam a expansão do concreto.
- Impermeabilizantes: diminuem a permeabilidade do concreto.
- De ação combinada: plastificante retardador, plastificante acelerador.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DO CONCRETO

Os concretos comumente utilizados podem ser classificados de acordo com sua aplicação em obra, uma vez que o sucesso de uma construção dependerá da correta

definição do tipo de concreto a ser utilizado. Os principais tipos de concreto e suas características podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5 - Principais tipos de concreto e sua aplicação.

TIPO	APLICAÇÃO
Rolado	Barragens, pavimentação rodoviária (base e sub-base) e urbana (pisos, contrapisos)
Bombeável	De uso corrente em qualquer obra. Obras de difícil acesso. Necessidade de vencer alturas elevadas ou longas distâncias
Resfriado	Peças de elevado volume como bases ou blocos de fundações
Colorido	Estrutura de concreto aparente, pisos (quadras, pátios e calçadas), guarda-copo de pontes, etc.
Projetado	Reparo ou reforço estrutural, revestimento de túneis, monumentos, contenção de taludes, canais e galerias.
Alta Resistência Inicial	Estruturas convencionais ou protendidas, pré-fabricados (estruturas, tubos e etc.)
Fluido	Peças delgadas, elevada taxa de armada, peças de difícil acesso, para a vibração,
Pesado	Como lastro, contrapeso, barreira à radiação (câmaras de raios-x ou gama, paredes de reatores atômicos) ou lajes de subpressão.
Leve	Elementos de vedação (paredes, painéis, rebaixos de lajes, isolantes termoacústicos e nivelamento de pisos).
Pavimentos Rígidos	Pavimentos rodoviários e urbanos, pisos industriais e pátios de estocagem.
De Alto Desempenho	Elevada resistência (mecânica, química e física), pré-fabricados e peças protendidas.
Convencional	Uso corrente na construção civil
Com Fibras de Aço, Plásticas ou Polipropileno.	Reduz a fissuração
Grout	Agregados de diâmetro máximo de 4,8 mm

Fonte: [24].

A utilização de concretos bombeáveis se dá devido facilidade de aplicação e trabalhabilidade. Para se enquadrar em concreto do tipo bombeável, deve-se ter fluidez suficiente para que o concreto possa ser transportado por pressão através de tubos rígidos ou mangueiras flexíveis, e deve ser descarregado diretamente ou próximos dos pontos onde será aplicado. A pressão pode ser aplicada por meio de pistões, ar comprimido ou pela deformação de tubos flexíveis.

2.3 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Entende-se como concreto fresco, o concreto no estado plástico, antes do endurecimento. Ainda que suas propriedades no estado fresco sejam de maior interesse para a aplicação, sabe-se que estão relacionadas e têm grande implicação nas propriedades do concreto endurecido. Algumas propriedades do concreto endurecido dependem fundamentalmente de suas características enquanto no estado fresco.

O concreto fresco é constituído dos agregados miúdos e graúdos envolvidos por pasta de cimento e espaços cheios de ar. A pasta, por sua vez, é composta essencialmente de uma solução aquosa e grãos de cimento. O conjunto pasta e espaços cheios de ar é moderadamente chamado de matriz. Os valores da resistência e de outras propriedades do concreto endurecido são limitados pela composição da matriz, particularmente pelo seu teor de cimento. Na maioria dos casos, os vazios são ocupados principalmente por água, o que torna possível estabelecer a composição da matriz em termos de fator água/cimento [25].

2.3.1 Trabalhabilidade

O concreto é trabalhável à medida que pode ser adensado com facilidade, e seja de fácil lançamento com ausência de segregação, sendo estas as propriedades essenciais do concreto. A trabalhabilidade é uma das propriedades básicas que devem ser atendidas. Independente da sofisticação usada nos procedimentos de dosagem e outras considerações, tais como custo, uma mistura de concreto que não possa ser lançada facilmente ou adensada em sua totalidade provavelmente não fornecerá as características de resistência e trabalhabilidade esperadas [4].

A forma de adensamento do concreto deve ser considerada. Seja o adensamento feito por apiloamento ou por vibração, o processo consiste essencialmente na eliminação do ar aprisionado até se chegar a uma configuração mais próxima do que é possível se conseguir para a mistura. Assim, a energia é usada para anular o atrito entre as partículas que constituem o concreto, bem como entre estas e as superfícies da fôrma e da armadura. Essas forças podem ser denominadas atrito interno e atrito superficial, respectivamente. Além disso, parte da energia aplicada é usada para vibrar as fôrmas ou para abalar e, na verdade, vibrar as partes do concreto que já tenham sido plenamente adensadas. Assim, o trabalho aplicado tem uma parte “desperdiçada” e uma parte “útil”.

Como o atrito interno é uma propriedade intrínseca da mistura, a trabalhabilidade pode ser definida como a quantidade de trabalho interno útil necessário para produzir adensamento prévio [26].

A trabalhabilidade é realizada pelo abatimento (deformação) causado na massa de concreto pelo seu próprio peso. Pode ser mensurada pelo teste de slump. A Figura 3 mostra os equipamentos utilizados para efetivar o teste, como o molde no formato tronco cone oco, placa de base, haste de compactação e concha utilizada para coleta do material. A Figura 4 mostra um ensaio de abatimento sendo realizado.

Figura 3 - Material de teste de slump.



Fonte: Autor.

Figura 4 – Ensaio de abatimento.



Fonte: Autor.

A trabalhabilidade não é somente característica inerente, ao próprio concreto como a consistência; engloba ainda os entedimentos relativos à classe da obra, e ao procedimento de execução adotado. O concreto pode ser trabalhável num caso e não o ser em um outro. Há ainda casos em que o concreto não é trabalhável de forma alguma, como os utilizados para fabricação de blocos de concreto. Portanto, a natureza da obra e a intensidade adotada para o adensamento indicarão o grau de consistência mais conveniente. A trabalhabilidade do concreto é fundamental para se conseguir compactação que assegure a máxima densidade possível, com aplicação da quantidade de trabalho compatível com o processo de adensamento a ser empregado.

2.4 CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Os pré-moldados, são elementos concretados fora de seu lugar de uso na estrutura final. Este método construtivo é feito através de elementos ligados por articulações fixas ou móveis. As peças pré-moldadas são montadas a seco, sobre argamassa, sobre almofadas de elastômeros, livres para se movimentar, ou fixas através de pinos ou outro dispositivo. Outra alternativa é a solidarização, ou seja, as peças pré-moldadas são montadas na condição de articulação e posteriormente são ligadas entre si com o elemento de suporte através de concretagem no local, proporcionando continuidade da estrutura através de armadura passiva ou ativa de várias maneiras, dependendo da situação local. O elemento-chave do pré-moldado, de onde advêm suas vantagens, é a repetitividade do processo de construção das peças, que permite a racionalização da construção e, conseqüentemente, a redução de tempo e custos [27].

Estas estruturas são encontradas em empresas especializadas, ou feitas na própria obra, para serem montadas no momento oportuno. A decisão de produzi-las na própria obra depende sempre de características específicas de cada projeto, pois o grande empecilho de se trabalhar com este sistema é a movimentação das estruturas, que muitas vezes em função do tamanho e do peso das peças, só poderão ser movimentadas com equipamentos hidráulicos, o que poderá inviabilizar o uso de elementos pré-fabricados.

No município de Marabá, a demanda para este tipo de obra está cada vez mais recorrente. Obras que requerem menor tempo de fabricação estão sendo instaladas em uma escala muito maior. Sendo assim, o concreto utilizado neste tipo de obra necessita

de menor tempo para adquirir resistência necessária para dar continuidade a este processo dinâmico.

2.5 RESÍDUO MINERAL DE CALCÁRIO

O uso de finos de calcário na produção de cimento Portland é uma prática muito comum nos países da Europa, especialmente na França.

Em alguns estudos realizados por meio da aplicação de agregado de calcário, utilizar material de enchimento mineral na dosagem de cimento baixa (200 kg/m^3) é um passo necessário para a melhoria das propriedades técnicas do concreto devido às dificuldades que poderão ser encontradas no processamento do agregado natural ou britadas [28].

Determina-se que há uma melhoria na resistência à compressão e à flexão do cimento com a adição de carga mineral de finos de calcário para o concreto. Há também uma diminuição na permeabilidade, absorção de água e porosidade do concreto. Que há melhorias nas propriedades do concreto para os valores máximos de 7-10% de material de enchimento mineral. Com a porcentagem de material de enchimento superior a 10%, as propriedades podem permanecer constantes ou alteraram de um modo negativo [28].

Neste trabalho, o resíduo utilizado em questão foi doado pela empresa SINOBRAS S/A. Este material é utilizado como fundente no processo de obtenção do aço. Sua faixa granulométrica adotada para bom rendimento em alto-forno vai de $\frac{1}{2}$ à $1\frac{1}{2}$ polegadas, o material que excede ou não atinge essa faixa granulométrica, sendo descartado. No caso da SINOBRAS S/A, que é uma usina integrada com planta de sinterização e reaproveitamento de matérias-primas de descarte, este material vai para a planta de sinterização, para que faça parte de uma mistura e atinja granulometria desejável para retornar ao processo novamente. Porém, esta metodologia só foi possível na SINOBRAS a partir de 2011, e as demais empresas do ramo siderúrgico situadas em Marabá não possuem a planta de sinterização devidamente instalada, utilizando em seu processo somente a faixa granulométrica de calcário desejável, o restante é descartado e deve haver uma política de reaproveitamento do mesmo.

Surgiram outras adições que geralmente são obtidos por meio de subprodutos (resíduos), o que reduz a extração de matéria prima para fabricação de produtos cimentícios. Grande exemplo de subproduto da indústria que é utilizado como adição é a escória de alto forno e cinza da casca de arroz [1].

Dos materiais empregados nas adições em concreto, podemos destacar o fíler: é um material finamente moído com diâmetro médio próximo ao do cimento. Quando usado em pequenas quantidades, menor que 15% sobre a massa de cimento, devido à ação física traz melhorias a algumas propriedades do concreto como a trabalhabilidade, a permeabilidade, a exsudação e a tendência a fissuração. O fíler pode ser obtido de materiais inorgânicos processados. O material carbonático utilizado como fíler deve ter no mínimo 85% de CaCO_3 [29].

Na SINOBRAS, este material é fornecido pelo grupo Votorantim e vem da cidade de Xambioá – TO. Todo material para ensaio foi coletado do pátio de estocagem de matérias primas para sinterização. A Figura 5 exibe uma amostra do material.

Figura 5 - Resíduo de Calcário.



Fonte: Autor.

3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

As atividades práticas deste trabalho foram realizadas no Laboratório de Concreto e Argamassa do Departamento de Engenharia Civil da UFRN (determinação da massa específica da adição, consistência da pasta), Núcleo de Processamento Primário e Reúso de Águas Produzidas e Resíduos da UFRN (Análise química), Laboratório de ensaios de concreto da Goiás Serviços de Concretagem LTDA – Marabá-PA (Teste de slump e resistência à compressão) e com parceria da CIBRASA – Cimentos do Brasil S/A, em Capanema (granulometria dos agregados e da adição, determinação da massa específica dos agregados). Os ensaios do cimento são disponibilizados para clientes, neste caso, cedido pela Votorantim. O procedimento de ensaios foi organizado por: caracterizações dos materiais separadamente, estudo de dosagem, seguido de utilização de três traços divididos e nomeados de acordo com o teor de cimento em relação aos agregados: sendo pobre como baixo teor de cimento, básico de caráter intermediário em quantidade de cimento e rico com alta quantidade de cimento em relação aos agregados. A partir dos quais foram incorporados três teores de resíduo de calcário: 5%, 10% e 15% em substituição parcial da areia utilizada.

3.1.1 Caracterização dos Materiais

Conhecer as características dos materiais é de grande importância, pois estes influenciam diretamente no processo de dosagem do concreto tanto fresco como endurecido. A seguir, são mostradas as caracterizações dos materiais separadamente.

3.1.1.1 Caracterização do Cimento CP II F -32

Todos os ensaios realizados foram cedidos através do boletim de análises de cimento da Votorantim Cimentos referente ao lote de fabricação do mês de junho de 2012, exatamente o lote utilizado nas dosagens deste trabalho. Fábrica de Xambioá e cimento à granel.

3.1.1.2 Caracterização do Agregado Miúdo

a) Composição Granulométrica: O material utilizado é proveniente da extração do Rio Tocantins no próprio município de Marabá, de fornecedores do Grupo Goiás. Consiste em separar os grãos da areia conforme o tamanho, através do peneiramento, após pesado cada parte, faz-se a soma das porcentagens retidas acumuladas das peneiras da série normal e intermediária com tampa e fundo, chegando ao módulo de finura [30]. Pelo módulo de finura tem-se a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado nas peneiras da série normal dividida por 100. A Tabela 6 mostra a série normal e intermediárias de peneiras. A Figura 6 exibe o material utilizado.

Tabela 6 – Série normal e intermediária de peneiras.

SÉRIE NORMAL	SÉRIE INTERMEDIÁRIA
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: [30].

Figura 6 – Agregado miúdo utilizado.



Fonte: Autor.

b) Determinação da massa específica. Em média 500 g de areia é pesada e colocada no frasco aferido com capacidade de 500 cm³ com erro inferior a 0,15 cm³ a 20 °C. A massa do registro é anotada. O frasco é enchido com água até a marca de 500 cm³. Após 1 h enche-se o frasco até a marca de 500 cm³ e determina-se a massa total com precisão de 0,1 g. O agregado é retirado do frasco e seco à temperatura de 105 °C, e esfriado à temperatura ambiente em dessecador e pesado com precisão de 0,1 g [31].

3.1.1.3 Caracterização do Agregado Graúdo

a) Composição granulométrica [30]: Mesmo ensaio utilizado para agregado miúdo, com a mesma série de peneiras. Material utilizado como agregado graúdo mostrado na Figura 7 abaixo proveniente da extração que ocorre no Rio Tocantins em Marabá.

Figura 7 - Agregado graúdo utilizado.



Fonte: Autor.

b) Determinação da massa específica [32]: O material deve ser pesado e em seguida submerso em água por 24 horas à temperatura ambiente. Após o período de submersão, a amostra é retirada e a água visível deve ser eliminada com pano absorvente. Deve-se pesar novamente a amostra. Novamente a amostra é imersa em água à 23 °C e pesada em água. A amostra então é seca à temperatura em torno de 105 °C durante 1 a 3 horas, e pesado novamente. A partir dos dados pode-se determinar a massa específica.

3.1.1.4 Aditivo Polifuncional

O aditivo utilizado foi de ação combinada (retardante, plastificante) da marca BASF, sendo a base química de lignossulfatos e aditivos especiais. O teor utilizado foi de 0,6%, conforme sugestão do laudo técnico do produto, divulgado pelo fabricante.

3.1.1.5 Resíduo Mineral de Calcário

a) Composição granulométrica: O ensaio da composição granulométrica foi realizado pelo granulômetro de raios X marca MICROMERITIES, modelo SEDIGRAPH.

b) Determinação da massa específica [33]: Neste ensaio, foi utilizado o frasco de Le chatelier com 0,5 cm³ de querosene, exatamente entre os níveis de zero e 1 cm³. Foi adicionado 60 g de rejeito de calcário e o sistema foi submetido ao banho-maria de água em posição vertical por 30 minutos, sendo a temperatura do banho constante dentro dos limites estabelecidos. A leitura final do frasco foi de 22,7 cm³. Foi realizado a repetitividade do ensaio.

c) Análise Química - Ensaio realizado no Núcleo de Processamento Primário e Reúso de Águas Produzidas e Resíduos da UFRN através da Espectrometria de Fluorescência de raios X (FRX), utilizando espectrômetro da marca Shimadzu e modelo EDX-700 Rayny Instrument, em atmosfera à vácuo.

3.1.1.6 Caracterização da pasta utilizada.

Determinação do índice de consistência da argamassa: Realizado no Laboratório de Argamassas do Departamento de Engenharia Civil da UFRN. Definiu-se a

quantidade de água necessária para o mesmo abatimento entre pasta de traço normal e pasta de traço com adição [34].

O traço deveria atingir o abatimento de 225 ± 5 mm, determinado pela média entre os raios obtidos.

Primeiramente realizou-se a preparação do traço normal para o primeiro ensaio de determinação da consistência. O traço foi empregado no padrão de 1:3.

Foram utilizados 460 g de cimento e 1380 g de areia padronizada, sendo 25 % de cada fração. Logo, 345 g para cada fração: grossa (1,2 mm), média (0,6 mm), média fina (0,3 mm), fina (0,15 mm) respectivamente. Todos os materiais utilizados foram devidamente secos em estufa, peneirados (no caso da areia), pesados em balança de precisão e misturados com espátula em recipiente plástico.

Fez-se a mistura no misturador mecânico, exibido na Figura 8, fez-se a homogeneização da pasta, de acordo com a Figura 9.

Figura 8 - Misturador mecânico.



Fonte: Autor.

Figura 9 - Mistura homogeneizada.



Fonte: Autor.

O molde posto sobre a mesa é preenchido com a pasta por etapas, em três camadas golpeadas para empacotamento da mistura, observado na Figura 10.

Figura 10 - Preenchimento de molde para ensaio de índice de consistência.



Fonte: Autor.

Assim que se cessa o preenchimento, o molde é retirado. A pasta então é submetida à teste em mesa de determinação da consistência, como mostra a Figura 11.

Figura 11 - Mesa de determinação do índice de consistência de argamassa.



Fonte: Autor.

A mesa é submetida a vibrações repentinas exercidas pelo sistema montado da mesma através do movimento do círculo lateral. Após cessado os movimentos é medido o abatimento obtido, pela média em dois diâmetros exibido na Figura 12.

Figura 12 - Medida do abatimento obtido.



Fonte: Autor.

3.1.2 Estudo de Dosagem

Para conseguir misturas satisfatórias não basta calcular ou avaliar as quantidades dos materiais disponíveis, mas também é necessário que se façam misturas experimentais os quais auxiliam na dosagem ideal dos materiais [35].

3.1.2.1 Determinação do Teor de Argamassa

O teor de argamassa é de fundamental importância no estudo de dosagem, pois a falta da mesma pode ocasionar em falhas na concretagem ou porosidade no concreto, por outro lado o excesso de argamassa produz um concreto visivelmente melhor, no entanto seu preço é mais elevado e estando mais sujeito a fissuração por origem térmica e por retração de secagem [36].

O estudo experimental foi realizado a partir do traço 1:5, no qual através desta mistura foram realizadas observações práticas, a partir daí, verifica-se a trabalhabilidade com o objetivo de determinar o teor ideal de argamassa e um fator água/cimento (inicial). Estes serviram de apoio para a execução dos três traços auxiliares.

3.1.2.2 Determinação dos traços auxiliares

Com base nas informações obtidas (fator a/c e teor de argamassa) foram desenvolvidos mais dois traços auxiliares, dos quais a mistura era realizada utilizando seixo, areia, cimento e 80% da quantidade de água prevista, era então colocado o aditivo da BASF. Após miscigenação do aditivo com a mistura foi colocado os 20% restante da água do traço. A partir dos três traços auxiliares foram feitos as dosagens com teores de rejeito de calcário como adição, em teores de 5%, 10% e 15%, substituindo parcialmente a areia em relação aos traços de referência.

3.1.3 Ensaios de concreto

3.1.3.1 Ensaio no concreto fresco – Trabalhabilidade.

A determinação da trabalhabilidade foi feita através de um ensaio denominado Teste de Slump (Slump Teste). O aparelho utilizado consiste em uma forma tronco cônica de diâmetro de 10 a 20 cm e altura de 30 cm, mostrado na Figura 3 e seus

respectivos instrumentos de auxílio para o teste, dentro da qual é colocada uma massa de concreto em 3 camadas iguais, adensadas cada camada por uma barra de 16 mm com sucessivos 25 golpes. Cessado o adensamento da última camada, fez-se o nivelamento da mesma com a colher de pedreiro. O molde então foi retirado lentamente. Determinou-se a diferença entre a altura do molde e da massa de concreto, após assentada, como mostrado na Figura 4, permitindo-se identificar índices de trabalhabilidade em função da diferença entre alturas [37].

Todas as misturas foram submetidas a 20 minutos de rotação na betoneira. Nos primeiros 5 minutos de rotação, parava-se a betoneira e realizava-se o primeiro teste de abatimento. Por conseguinte, a mistura que ficava na betoneira era submetida a mais 15 minutos de rotação para verificar-se a perda de trabalhabilidade e então era feito novamente mais um teste de slump.

3.1.3.2 Ensaio de concreto endurecido – Resistência à compressão axial

Em todos os traços foram moldados 12 corpos de prova de 100x200 mm na forma cilíndrica para cada traço [38], verificando-se sua resistência em 1, 3, 7, 14, 21 e 28 dias. Para cada tempo de moldagem ensaiado, eram rompidos dois corpos de prova, um como prova, outro como contra prova. Todos os corpos de prova foram submetidos à cura em câmara úmida total. Antes de cada rompimento o corpo de prova era retirado da câmara com antecedência de um dia para que a água retida em seu interior fosse evaporada e garantisse resultados mais próximos do que seria a realidade da peça em obra. O concreto moldado foi submetido à ensaio de compressão em prensa manual contida no laboratório da Goiás Concreto Marabá, marca Contenco Indústria e Comércio LTDA [39].

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para caracterização do cimento segue os resultados obtidos nas Tabelas 7, 8 e 9. Os ensaios serviram de base para atestar que o cimento usado encontra-se na norma permitida.

Tabela 7 - Ensaio químicos do cimento.

ENSAIO	NBR Nº	RESULTADOS (%)	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 11578/91 [20]
Perda ao fogo – PF	NM18/04	4,63	≤ 6,5
Óxido de Magnésio – MgO	NM11-2/04	2,63	≤ 6,5
Anidrido Sulfúrico – SO ₃	NM16/04	3,02	≤ 4,0
Resíduo Insolúvel – RI	NM22/04	0,43	≤ 2,5
Equivalente Alcalino Na ₂ O – (0,658 x K20% + Na20%)	-	-	não aplicável
Anidrido Carbônico CO ₂	NBR 11578	4,68	≤ 5,0
Óxido de Cálcio Livre – CaO Livre	NM13/04	-	não aplicável

Fonte: Autor.

Tabela 8 - Resistência a compressão (MPa).

IDADE (DIAS) [41]	MÍN.	MÁX.	MÉDIA	DESVIO	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 11578/91 [20]
1	-	-	-	-	Não aplicável
3	23,0	26,0	24,5	0,86	≥ 10,0
7	29,2	32,9	31,0	1,10	≥ 20,0
28	37,8	42,8	40,7	1,26	≥ 32,0

Fonte: Autor.

Tabela 9 - Ensaio físicos e mecânicos.

ENSAIO	NBR Nº	UNIDADE	RESULTADOS	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 11578/91 [20]
Área Específica (Blaine)	NM76/98	cm ² /g	3411	não aplicável
Massa específica	NM23/01	g/cm ³	3,05	não aplicável
Densidade Aparente	-	g/cm ³	-	não aplicável
Finura - Resíduo na Peneira de 0,075mm (#200)	11579/91	%	2,06	≤ 12
Finura - Resíduo na Peneira de 0,044mm (#325)	12826/93	%	13,53	não aplicável
Água da Pasta de Consistência Normal	NM43/03	%	27,13	não aplicável
Íncio de pega	NM65/03	h	2:28	≤ 1
Fim de pega	NM65/03	H	3:17	≤ 10
Expansibilidade de Le Chatelier - a Quente	11582/91	Mm	0,00	≤ 5

Fonte: Autor.

A Tabela 10 exhibe os ensaios realizados no aditivo utilizado conforme laudo emitido pelo próprio fabricante.

Tabela 10 - Dados técnicos do aditivo.

TESTE	MÉTODO BASF	ESPECIFICAÇÃO
APARÊNCIA	TM 761B	Líquido castanho escuro
Ph	TM 112B	8 – 10
DENSIDADE	TM 103B	1,150 – 1,190
SÓLIDOS	TM 613B	35 – 37

Fonte: [40].

Para ensaio de determinação da consistência, na primeira tentativa pesou-se 270 g de água e no o primeiro abatimento obtido foi de 260 mm excedendo o estipulado pela norma.

Na segunda tentativa, fez-se novamente a mistura de materiais secos e pesou-se 240 g de água para a mistura em misturador mecânico. Na mesa de determinação da consistência obteve-se o resultado de 225 mm de abatimento.

Para determinação da consistência com pasta e adição há uma substituição de 35 % do teor de cimento para incorporação de material de adição. Logo, foi utilizado 299g de cimento, 1380 g de areia e para adição 161 g. Sendo que, esta quantia de 161 g deve ser multiplicada por um fator densidade real da adição dividida por densidade do cimento. Assim, a quantidade utilizada de adição será de:

$$\text{Qtd de adição} = 161 * \frac{\delta\rho(a)}{\delta c(a)} \quad (1)$$

$$\text{Qtd de adição} = 161 * \frac{2,702}{3,1}$$

$$\text{Qtd de adição} = 140,32$$

Definido então o traço com adição, procedeu o experimento. A quantidade de água utilizada para abatimento de 225 ± 5 mm foi de 265 g. Representando um aumento em torno de 10 % de água para o mesmo abatimento em relação ao traço sem adição.

Neste caso, a/c inicial é de 0,52 subindo para 0,88 para traço com adição em substituição parcial do cimento.

A Tabela 11 exhibe os resultados para determinação do teor de argamassa.

Tabela 11 - Estudo do teor de argamassa para traço experimental.

Traço Inicial	1:5
Teor Inicial (%)	58
Seixo	30
Fator A/C Inicial	0,4
Teor de argamassa adotado:	58
Fator a/c final:	0,4

Fonte: Autor.

O teor de argamassa utilizado foi de 58%; trata-se de um alto teor, porém, relativamente comum para o uso de seixo e para produção de concretos duráveis. Além disso, maior o teor de argamassa e menor a superfície total dos grãos contribui para um melhor envolvimento dos grãos pela pasta e uma redução do atrito interno da mistura; conseqüentemente o concreto fica mais plástico. Se a quantidade de agregado graúdo aumentar excessivamente, a falta de argamassa criará vazios na mistura permitindo o atrito direto dos grãos, resultando em grande perda da plasticidade com dificuldades para o adensamento [41].

A Tabela 12 exhibe os traços de referência e auxiliares utilizados além de todas as incorporações de adição e a/c utilizados.

Tabela 12 - Traços auxiliares.

TRAÇOS	TRAÇOS AUXILIARES UNITÁRIOS				A/C
	CIMENTO	AREIA	SEIXO	CALCÁRIO	
1:3,5 (rico)	1	1,61	1,98	-	0,315
1:5 (básico)	1	2,48	2,52	-	0,4
1:6,5 (pobre)	1	3,35	3,15	-	0,6175
1:3,5 (rico) 5%	1	1,5295	1,98	0,0805	0,315
1:5 (básico) 5%	1	2,356	2,52	0,124	0,4
1:6,5 (pobre) 5%	1	3,1825	3,15	0,1675	0,6175
1:3,5 (rico) 10%	1	1,449	1,98	0,161	0,315
1:5 (básico) 10%	1	2,232	2,52	0,248	0,4
1:6,5 (pobre) 10%	1	3,015	3,15	0,335	0,6175
1:3,5 (rico) 15%	1	1,3685	1,98	0,2415	0,315
1:5 (básico) 15%	1	2,108	2,52	0,372	0,4
1:6,5 (pobre) 15%	1	2,8475	3,15	0,5025	0,6175

Fonte: Autor.

Para ensaio de determinação da consistência pelo slump teste o intervalo do abatimento ficou em 16 ± 3 nos traços de referência. Nas Tabelas 13, 14 e 15 determinou-se a perda de trabalhabilidade no tempo de ensaio decorrido.

Tabela 13 – Slump inicial e secundário, análise da perda de trabalhabilidade, traço rico.

TRAÇO	1º SLUMP - 5 MIN. DE BETONEIRA (cm)	2 º SLUMP – 20 MIN. DE BETONEIRA. (cm)
Rico	16	15
Rico 5%	21,5	16,5
Rico 10%	21,5	17
Rico 15%	19,5	8,5

Fonte: Autor.

Tabela 14 – Slump inicial e secundário, análise da perda de trabalhabilidade, traço básico.

TRAÇO	1º SLUMP - 5 MIN. DE BETONEIRA (cm)	2 º SLUMP – 20 MIN. DE BETONEIRA. (cm)
Básico	17	15
Básico 5%	17	14,5
Básico 10%	20	17
Básico 15%	17	13,5

Fonte: Autor.

Tabela 15 – Slump inicial e secundário, análise da perda de trabalhabilidade, traço pobre.

TRAÇO	1º SLUMP - 5 MIN. DE BETONEIRA (cm)	2 º SLUMP – 20 MIN. DE BETONEIRA. (cm)
Pobre	17	14,5
Pobre 5%	22	20
Pobre 10%	23	20
Pobre 15%	22	20

Fonte: Autor.

Para a análise química realizada, tem-se como resultado a composição química exibida na Tabela 16.

Tabela 16 - Análise química do resíduo de calcário.

ANÁLISE	RESULTADO
CaO	90.760%
MgO	3.443 %
SiO ₂	2.416%
SO ₃	1.336 %
Al ₂ O ₃	0.889%
Fe ₂ O ₃	0.775%
SrO	0.220 %
K ₂ O	0.161%

Fonte: Autor.

A respeito do resíduo mineral de calcário a análise química exhibe teores de óxidos tais como CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂ que são os constituintes da matéria prima para o cimento. As demais composições não são características da composição do mesmo.

Segue a Tabela 17 com os resultados de módulo de finura e densidade real dos agregados e adição utilizado:

Tabela 17 – Módulo de finura e densidade real de alguns materiais.

MATERIAL	MÓDULO DE FINURA	DENSIDADE REAL (g/cm³)
AGREGADO MIÚDO	2,15	2,632
AGREGADO GRAÚDO	6,42	2,550
CALCÁRIO	3,80	2,702

Fonte: Autor.

A areia pode ser definida como areia média, e o seixo como seixo 1.

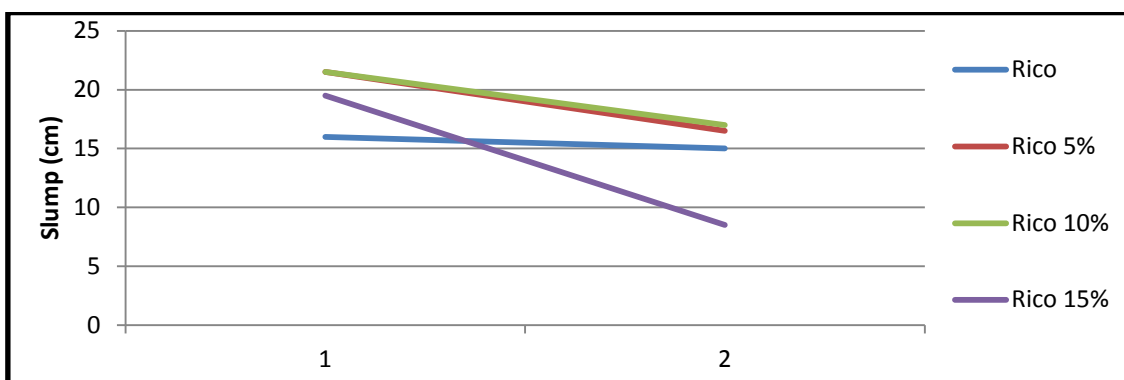
Os agregados miúdos exercem influência preponderante sobre a plasticidade do concreto, por possuírem elevada área específica. Dessa forma, qualquer alteração do seu teor na mistura provocará modificações significativas no consumo de água e, conseqüentemente, no de cimento [42]. A areia, como possui granulometria e densidade mais próxima à do calcário, foi substituída parcialmente pelo mesmo.

A composição granulométrica em que se encontram os grãos de certos agregados, tem importante influência sobre a qualidade dos concretos, agindo na compactidade e resistência [36].

Em geral, quanto maior a dimensão máxima do agregado, menor será a área superficial por unidade de volume, que tem de ser coberta pela pasta de cimento, para uma dada relação água/cimento [4].

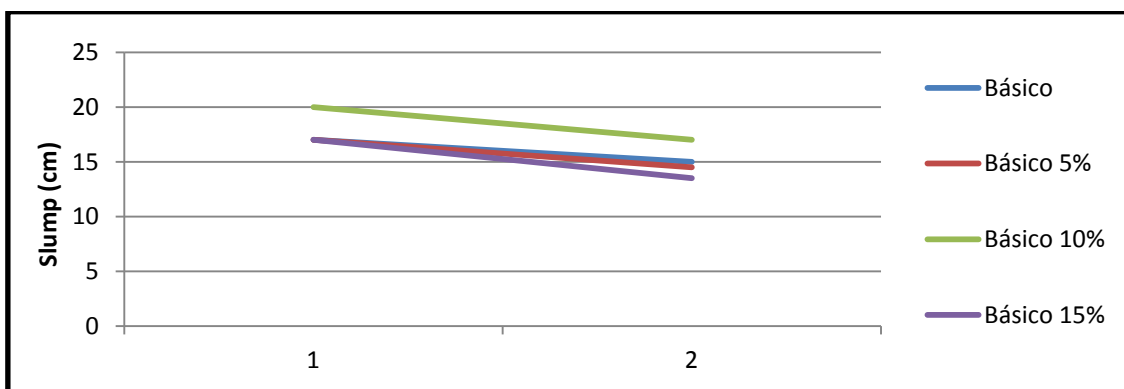
A trabalhabilidade do concreto é um fator determinante na produção e agilidade da obra, e é tão importante quanto à resistência à compressão. Foi estipulado a slump de 16 ± 3 para facilitar o espalhamento do material produzido na obra, no sentido de, também diminuir o tempo gasto de execução da construção, por se tratar de um concreto para pré-moldado. Seguem as Figuras 13, 14 e 15 os resultados obtidos em 1º slump e 2º slump.

Figura 13 - Perda de trabalhabilidade, traço rico.



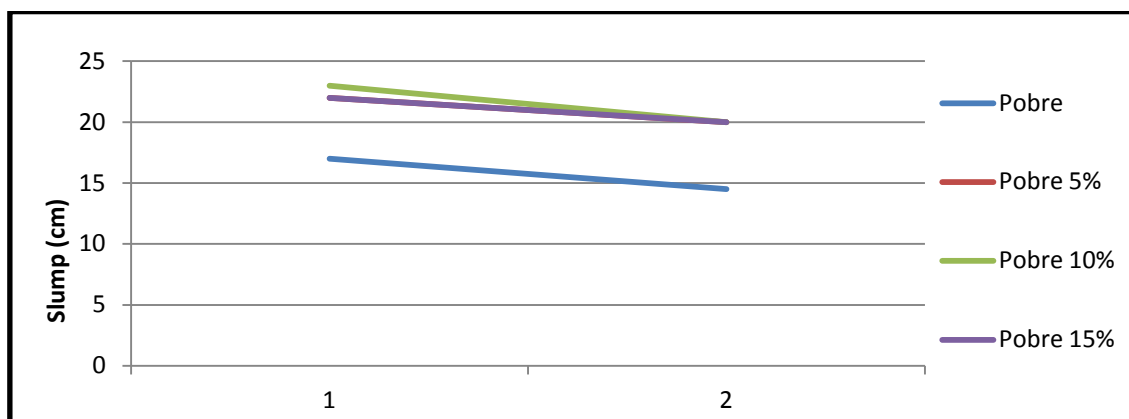
Fonte: Autor.

Figura 14 - Perda de trabalhabilidade, traço básico.



Fonte: Autor.

Figura 15 - Perda de trabalhabilidade, traço pobre.



Fonte: Autor.

Em traço rico todos os primeiros slumps retirados são superiores ao traço de referência e quando a adição aumenta para 15% tem-se uma grande instabilidade de trabalhabilidade.

Em traço básico, a melhor faixa de trabalhabilidade é obtida com o traço de 10% de adição, tanto em primeiro quanto em segundo slump retirado. Para as demais dosagens básicas, em primeiro slump, não houve diferença em consistência inicial. Para o segundo teste, o traço básico se mantém com índices superiores aos demais, com exceção do básico 10%. Os demais traços atingiram valores menores, porém as quedas variavam dentro da faixa pré determinada de 16 ± 3 cm.

Em traço pobre, é considerável a influência da adição neste experimento. Para o traço padrão, os valores atingidos são os menores: de 17 cm reduziu para 14,5 cm. Em todos os traços com adição, os resultados foram acima do estipulado para o ensaio, passando de 20 cm de abatimento. No teste de segundo slump, em todos os casos, houve uma queda de em média 3 cm. Mantendo a faixa de queda pré determinada.

Para ensaios de resistência à compressão segue, nas Tabelas 18, 19 e 20 os resultados obtidos.

Tabela 18 – Ensaio de compressão para traço rico (MPa).

TEMPO DE CURA		TRAÇO			
		RICO	RICO 5%	RICO 10%	RICO 15 %
1 dia	1	16,09	29,59	22,19	21,76
	2	19,75	28,86	24,60	26,11
3 dias	3	44,02	45,40	45,93	39,39
	4	43,62	46,26	44,51	43,02
7 dias	5	49,26	47,90	45,03	42,30
	6	51,48	54,05	46,43	48,55
14 dias	7	56,00	48,60	52,74	45,48
	8	54,91	51,41	50,89	52,78
21 dias	9	57,27	52,72	54,13	52,08
	10	53,87	51,92	53,64	49,15
28 dias	11	53,16	50,46	52,92	49,68
	12	52,27	48,42	49,83	50,50

Fonte: Autor.

Tabela 19 - Ensaio de compressão para traço básico (MPa).

TEMPO DE CURA		TRAÇO			
		BÁSICO	BÁSICO 5%	BÁSICO 10%	BÁSICO 15 %
1 dia	1	13,74	17,95	20,52	0,45
	2	13,61	15,84	18,83	0,48
3 dias	3	28,71	31,81	32,31	32,70
	4	29,56	30,76	34,98	32,49
7 dias	5	35,69	38,38	37,13	39,08
	6	32,39	40,39	33,87	40,41
14 dias	7	38,18	41,30	38,96	37,19
	8	33,77	41,85	41,38	39,61
21 dias	9	42,83	42,28	42,08	40,81
	10	36,92	45,70	46,07	42,00
28 dias	11	41,69	44,98	42,98	40,45
	12	42,41	45,94	43,42	43,96

Fonte: Autor.

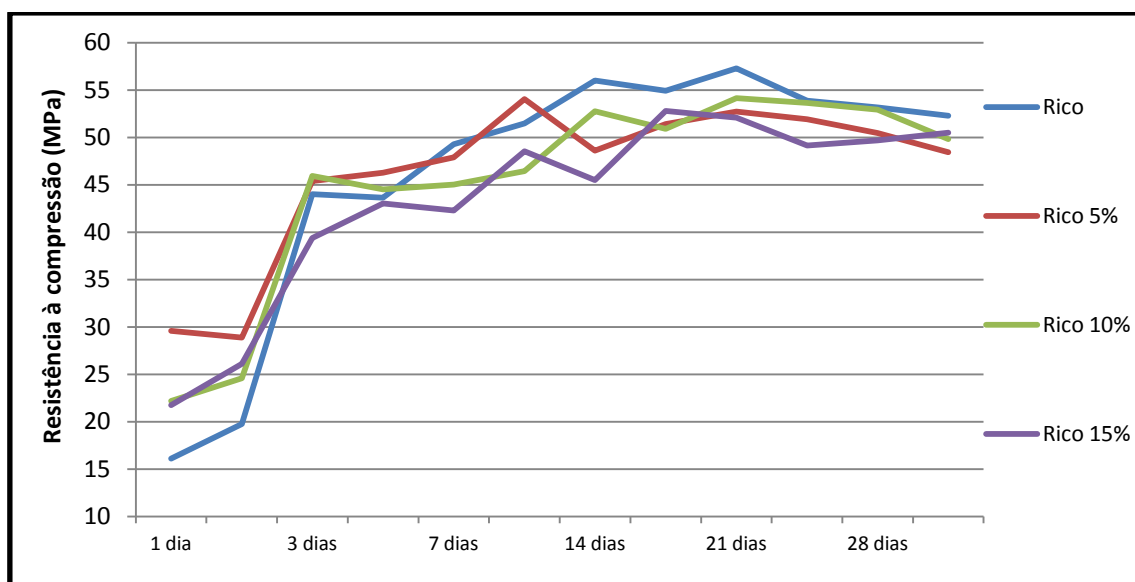
Tabela 20 - Ensaio de compressão para traço pobre (MPa).

TEMPO DE CURA		TRAÇO			
		POBRE	POBRE 5%	POBRE 10%	POBRE 15 %
1 dia	1	7,56	7,30	7,30	7,04
	2	6,95	8,38	7,98	7,32
3 dias	3	16,13	16,56	18,00	19,98
	4	17,29	15,66	19,96	19,25
7 dias	5	19,82	21,19	23,47	24,12
	6	21,59	23,43	24,89	21,15
14 dias	7	22,42	22,98	25,32	23,22
	8	23,67	26,08	24,71	25,86
21 dias	9	25,06	24,74	24,66	26,05
	10	25,77	26,90	25,81	29,36
28 dias	11	29,67	25,81	22,74	27,44
	12	27,07	28,85	26,11	23,96

Fonte: Autor.

Em relação aos resultados obtidos com resistência à compressão do concreto dosado, segue as figuras 16, 17 e 18.

Figura 16 - Resistência à compressão do traço rico e seus respectivos traços auxiliares.

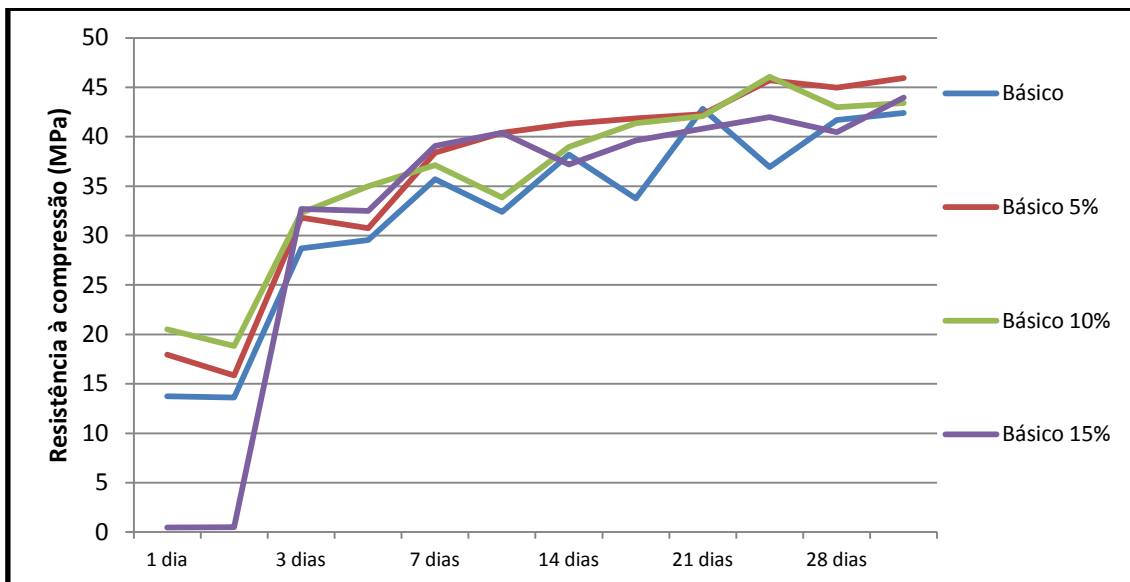


Fonte: Autor.

Para traço rico, o melhor resultado em 1 dia de cura é referente ao rico 5% com uma média de 29,225. Em 3 e 7 dias de cura, continua em relativa vantagem, mas com uma pequena diferença dos demais. Para os demais tempos de cura, os melhores valores

são exibidos no traço de referência. Mas, vale ressaltar que a diferença aos 28 dias é bastante pequena.

Figura 17 - Resistência à compressão do traço básico e seus respectivos traços auxiliares.

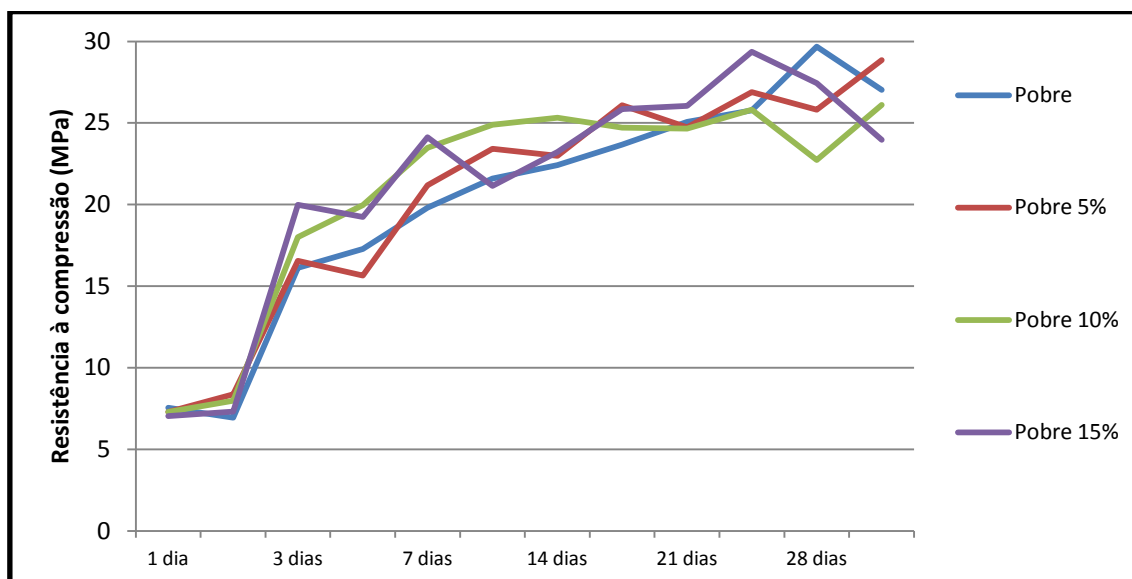


Fonte: Autor.

Para traço básico o melhor resultado em 1 dia de cura é caracterizado pelo traço 10 %. O valor médio do traço básico é de 13,675 MPa; para o traço básico 10 % a média sobe para 19,675 MPa. Em 28 dias as resistências de ambos se equiparam.

Para básico 15% em 1 dia de cura, a resistência é consideravelmente inferior às demais.

O melhor resultado atingido em 28 dias de cura é referente ao traço básico 5 %. Porém, ainda neste caso, todos os resultados atingidos neste período de moldagem estão dentro de uma faixa considerável.

Figura 18 - Resistência à compressão do traço pobre e seus respectivos traços auxiliares.

Fonte: Autor.

Para o traço pobre, os valores atingidos em 1 dia de cura, podem ser considerados comuns a todas as dosagens, a diferença não é significativa. Em 3 e 7 dias de cura os melhores valores obtidos são referente aos traço 10% e 15%. Para 28 dias de cura o melhor resultado é obtido com o traço pobre 5%.

5 CONCLUSÕES

A partir de ensaios como granulometria e densidade realizados pôde-se determinar a porção que, provavelmente, melhor seria substituída pelo calcário. Dedutivelmente o melhor constituinte inicial do concreto de traço de referência para ser substituído seria a areia natural. Outro fator é que, os resultados obtidos dos materiais através desses ensaios são mais próximos do que dos demais (agregado graúdo e cimento), possibilitando em empacotamento mais próximo do traduzido pelo traço de referência.

O teste que pode comprovar a melhor utilização do calcário para substituição parcial é o de determinação do índice de consistência da pasta. A quantidade de água excessiva para o mesmo abatimento para traço com adição é um fator que deve determinar a não utilização do resíduo como substituição parcial do cimento.

Considerando o aumento excessivo de a/c para traço com adição pode-se dizer que além de contribuir para a perda da trabalhabilidade, a substituição parcial do cimento pelo resíduo de calcário, contribui para a diminuição da resistência mecânica do concreto. Quanto maior o a/c menor a resistência do produto obtido.

Todas as dosagens exibiram uma melhoria com algum dos traços de adição.

Em traço rico, todos os casos de adição possuem primeiro slump com maior trabalhabilidade que o traço de referência. Porém em segundo slump, a queda para traço em 15% de adição é excessiva, caso que, em condições de grandes concretagens, ou obras que demandem mais tempo de execução, não é uma aplicação desejável.

Em relação à perda de trabalhabilidade para o traço básico, o que houve maiores perdas de trabalhabilidade foi o com 15% de adição. Pode-se então considerar que o excesso de adição implica em instabilidade de trabalhabilidade. A melhor faixa de trabalhabilidade é obtida com o traço de 10% de adição.

Em traço pobre, para o caso de perda de trabalhabilidade foi o traço que melhor se comportou. Ou seja, os traços com baixo peso de volume de cimento são mais estáveis à perda de trabalhabilidade com o uso da adição mineral. Este fato ocorre tanto em comparação com o traço de referência sem a adição, quanto em comparação com os demais traços com adição (rico e básico).

Para resistência à compressão houve um ganho significativo para o traço rico com 5%. Representando um ganho superior à 60% em relação ao traço de referência. em 1 dia de cura. Até o 3º dia de cura, os melhores resultados são referentes aos traço de

rico 5% seguido do rico 10%. Tratando-se dos melhores traços para peças pré-moldadas.

O traço básico 10% em 1 dia de cura exibe um ganho superior a 40% de resistência em relação ao traço de referência, representando o melhor resultado em idades precoces para traço básico. Exibindo o melhor comportamento para concreto pré-moldado. Em 28 dias de moldagem a resistência de ambos se equiparam.

Os melhores resultados até o 3º dia de moldagem é referente ao traço básico 10%, sendo que, com 1 dia de cura ele é seguido do básico 5%, representando os melhores traços para peças pré-moldadas.

Para básico 15% em 1 dia de cura, ocorreu um resultado bastante abaixo do esperado. Caso ocorrido devido alto teor de umidade no corpo de prova, ou seja, observou-se uma intensa dificuldade em perder água para o meio. Mostrando um bom comportamento do concreto, pois quanto maior esta propriedade, maior a facilidade em proporcionar meios adequados à peça concretada para concluir uma cura efetiva, garantindo que as reações de hidratação e ganho de resistência ocorram com facilidade. O fato é comprovado pela resistência atingida em 3 dias de moldagem, chegando próximo do maior valor atingido dentre os traços dosados para regime básico.

Para o traço pobre, não há ganhos significativos em 1 dia de cura. Notavelmente, os ganhos de resistência devem ser consideráveis à traços com proporções de 1:5 acima. Para idades de 3 dias o melhor desempenho foi observado no traço pobre 15% seguido do pobre 10%. Sendo assim, são os que melhor se comportam em obras para pré-moldados.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar testes de tração, podendo ser feito por compressão diametral (splitting test). Para a sua realização, um corpo-de-prova cilíndrico de 15 cm por 30 cm é colocado com o eixo horizontal entre os pratos da prensa, sendo aplicada uma força até a sua ruptura por tração indireta (ruptura por fendilhamento).
- Realizar testes de penetração de íons de cloreto, já que boa parte de pré-moldados são utilizados em concreto armado, e a penetração de íons de cloreto é uma patologia bastante registrada em concreto armado.
- Avaliação do calor de hidratação e sua influência na durabilidade da estrutura formada.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DAL MOLIN, D. **Durabilidade do concreto e sustentabilidade**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. IBRACON, 2011.
- [2] RESOLUÇÃO CONAMA, nº 313, de 29 de outubro de 2002 Publicada no DOU nº 226, de 22 de novembro de 2002, Seção 1, páginas 85-91.
- [3] GRIGOLLI, H. B.; FABRO, F.; GAVA, G. P.; MENEGHETTI, L. C. **Emprego do pó de pedra proveniente de diferentes britadores na produção de concreto**. Revista Concreto e Construções. Concreto e Arquitetura a plasticidade do material na ousadia da arquitetura contemporânea. Ano XXXIX, 65ª Ed. IBRACON, jan – fev – mar 2012.
- [4] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. Ed. São Paulo: IBRACON, 2008.
- [5] CALAES, G.D. **Bases para a conciliação da produção de agregados com o desenvolvimento urbano sustentável**. Rio de Janeiro, 2005. In: Programa de capacitação de gestores de empresas mineradoras de agregados para a construção civil. Gestão de Negócios. Disponível em: <<http://www.cetec.br/agregados/conteudo/Contribuição%20Gilberto%20Dias%20Calaes.PDF>>. Acesso em : 17/07/2012
- [6] BONAVETTI, V. DONZA, H. MENÉNDEZ, O. CABRERA, E.F., IRASSAR*. **Limestone filler cement in low w/c concrete: A rational use of energy**. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Avenida del Valle 5737, B7400JWI Olavarría, Buenos Aires, Argentina. 2002
- [7] ESPING, O. **Effect of limestone filler BET(H₂O)-area on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete**. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Sweden 2008.

[8] FONSECA, G. C.; GOMES, A.M. **A Visão de Sustentabilidade das Escórias de alto-forno no Brasil: Análise crítica DEMC** - UFMG. Belo Horizonte, 2010

[9] CALLISTER JR, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**. Sétima Edição. Rio de Janeiro, 2008.

[10] PILZ, S. E. **Produção de concreto: Verificação da variabilidade da resistência à compressão do concreto em empresas construtoras da cidade de Chapecó**. 2006. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

[11] CURTI, R. **Curso Intensivo de Tecnologia Básica do Concreto**. ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland Caderno do Aluno. Julho de 2012.

[12] DOURADO, A. A; COSTA, F. N. **Avaliação da influência do tipo de cimento na absorção capilar do concreto**. Salvador: Universidade Católica de Salvador, 2009. Disponível em: info.ucsal.br/banmon/Arquivos/Art3_0024.pdf Acesso em: 4 junho 2012.

[13] WBCSD. World Business Council for Sustainable Development. Disponível em < <http://www.wbcsd.org/home.aspx> >. Acesso em 23 de julho de 2012.

[14] SANTI, A.M.M. FILHO, A.O.S. **Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento; casos na Região do Calcário ao Norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações**. II ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE – ANPPAS Campinas, 26 a 29 de maio de 2004.

[15] Votorantim Cimentos. Disponível em: <<http://www.vcimentos.com.br/Default.htm>> Acesso em 19/10/2012.

[16] PRISZULNIK, S. Revista Concreto e Construções. **Passarela do garimpero, marco arquitetônico em concreto para Curitiba, projeto vencedor do concurso ousadia**. Ano XXXVII, 56ª Ed. IBRACON, Out – Nov – Dez, 2009.

- [17] INTERNATIONAL CEMENT REVIEW. Revista internacional de cimento, desde 1998. **Global Cement Consumption set to reach new highs**. Londres, 6 de abril de 2011.
- [18] BATTAGGIN, A. F.; BATTAGIN, I. L. S. O cimento Portland no Brasil. In: ISAIA, G. C. (org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. Ed. Atual. Ampl. São Paulo: IBRACON, 2010.
- [19] ANDOLFATO, R. P. **Controle Tecnológico Básico do Concreto**. Universidade Estadual de São Paulo – UNESP. Ilha Solteira, 2002.
- [20] ABNT____NBR 11578:1991 – Cimento: Cimento Portland Composto.
- [21] EL DEBS, M. K. **Concreto Pré-moldado: Fundamentos e Aplicações**. São Carlos.EESC-USP, 2000.
- [22] ABNT____NBR 7211:2009 – Agregados para concreto: Especificação.
- [23] LIMA, J. F. **Estudo de aproveitamento do resíduo do beneficiamento de caulim como matéria prima na produção de pozolanas para cimentos compostos e pozolânicos**. Universidade Federal do Pará. Programa da pós graduação em engenharia civil. Belém, 2004.
- [24] Manual do Concreto Dosado em Central. ABESC, Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem. 2007.
- [25] BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 1995. 529p.
- [26] NEVILLE, A. M., **Propriedades do Concreto**. São Paulo: PINI, 1997. 828p.
- [27] DINIZ, J. F. **Concreto: Material construtivo mais consumido do mundo**. IBRACON 2006.

- [28] TOPÇU^a, I. B. UGURLU^b, A. **Effect of the use of mineral filler on the properties of concrete.** ^aCivil Engineering Department, Osmangazi University, 26480, Batı Meselik, Eskişehir, Turkey. ^bTechnical Research and Quality Control Department, General Directorate of State Hydraulic Works, 06100, Yucetepe, Ankara, Turkey. 2003
- [29] AMORIM, A. A. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado Aparente.** Monografia. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia de Materiais e Construção. Belo Horizonte, 2010.
- [30] ABNT____NBR NM 248/03 – Agregados - Determinação da composição granulométrica.
- [31] ABNT____NBR 52:2003 – Agregados – Determinação de massa específica e massa específica aparente de agregado miúdo.
- [32] ABNT____NBR 53:2009 - Agregados – Determinação da massa específica, massa aparente e absorção de água do agregado graúdo.
- [33] ABNT____NBR NM 23-2000 - Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.
- [34] ABNT____NBR 13276:2005 – Argamassa – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.
- [35] FORMAGINI, S. **Dosagem Científica e Caracterização Mecânica de Concretos de Altíssimo Desempenho.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 2005.
- [36] HELENE, P. T. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto.** São Paulo. , Brasília, DF: SENAI. Pini, 1992.
- [37] ABNT____NBR NM 67:1998 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

[38] ABNT____NBR NM 5738:2008 – Concreto – Procedimento para modelagem e cura de corpos-de-prova.

[39] ABNT____NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

[40] GOUVEIA, S. M. F. LAUDO DA BASF. Disponível em <<http://www.basfcc.com.br/PT/produtos/aditivos/MASTERMIXBF30/Documents/MAS TERMIX%C2%AE%20BF%2030.pdf>>. Acesso em 22 de julho de 2012.

[41] MARTINS, P. B. M. **Influência da granulometria agregado miúdo na trabalhabilidade do concreto.** Universidade Estadual de Feira de Santana, Departamento de Tecnologia, Graduação em Engenharia Civil. Feira de Santana, 2008.