UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SALMA SELEME MARIANO

AVALIAÇÃO DO EFEITO DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA POR ESPUMAS RÍGIDAS PÓS-CONSUMIDAS DE POLIURETANO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

CURITIBA
2009

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

SALMA SELEME MARIANO

AVALIAÇÃO DO EFEITO DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA POR ESPUMAS RÍGIDAS PÓS-CONSUMIDAS DE POLIURETANO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Dissertação apresentado ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial para a obtenção de grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Helena Sydenstricker Flores-Sahagun
Co-Orientador: Prof.Mestre Gilberto Walter Gogola

CURITIBA
2009

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por colocar em meu caminho boas oportunidades e me dar força para seguir em frente nos momentos mais difíceis.

Agradeço especialmente à minha amada e linda filha Leila Seleme Mariano que por todos os momentos me incentivou, me acompanhando em todas as fases deste trabalho, dando apoio e não permitindo que eu desistisse.

A minha orientadora, Prof. Dr. Helena Sydenstricker Flores-Sahagun por sua recepção, colaboração apoio e paciência fornecidos durante a elaboração deste trabalho, e, também ao meu Co-Orientador Prof.Mestre Gilberto Walter Gogola, por destinar parte de seu precioso tempo para sanar minhas dúvidas e auxiliar na busca do conhecimento necessário para elaboração deste trabalho.

A todos os professores do PGMEC-UFPR que me receberam com atenção e carinho.

Aos técnicos do Laboratório da Bianco-Tecnologia dos Concretos pelo acompanhamento e preocupação na etapa experimental deste trabalho.

A empresa Electrolux do Brasil. pelo fornecimento do material principal para o desenvolvimento deste trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro. A bolsista Magda Carvalho da Silva que auxiliou da fase experimental deste trabalho.

À empresa JL Consultoria Engenharia Ltda por disponibilizar os materiais e instalações necessários para composição dos traços de concreto estudados.

Agradeço ao meu marido Luiz Carlos Mariano e aos meus filhos Jorge Luiz, Luiz Paulo e Andre Luiz pelo amor, paciência, amizade e compreensão em todos os momentos.

Muito difícil agradecer a todos sem esquecer, inevitavelmente, de alguém, mas aos que esqueci meu pedido de perdão e meus agradecimentos sinceros!

RESUMO

A espuma rígida de poliuretano (PU) é um excelente material para isolamento térmico apesar do polímero constituir um grande passivo ambiental após o seu descarte. O setor de refrigeração utiliza em grande escala a espuma rígida de PU para o isolamento térmico de congeladores, refrigeradores e outros sistemas térmicos. As empresas que o fabricam são responsáveis por seu descarte final em aterros especiais já que a legislação proíbe sua incineração ou descarte aleatório devido à sua toxidez. A utilização de espuma de PU pós-consumida no concreto, dá maior destinação final para este resíduo tóxico. A areia usada em concretos é uma matéria-prima de fonte não renovável cuja extração causa impactos ambientais. A substituição parcial de areia por espumas de PU pós-consumida em concretos constituiria um pequeno ganho também em termos de economia de areia, e, transporte deste material, principalmente nas grandes cidades. Neste trabalho, espumas rígidas de PU foram utilizadas na composição de concretos como alternativa de reintroduzir este material na cadeia produtiva com vantagens sociais, ambientais e econômicas. Espumas rígidas de PU pós-consumidas foram moídas e acondicionadas para substituir diferentes porcentagens de areia na composição de concretos. Na primeira etapa desta pesquisa foram determinados três traços piloto para os concretos com resistência à compressão de 20 MPa, 30 MPa e 40 MPa identificados como A, B e C respectivamente, sendo calculado a quantidade de areia, pedra brita, água, e cimento para a composição de cada traço. Em seguida, os mesmos traços foram preparados com a substituição de areia por espuma rígida de PU nas porcentagens de 75%, 50% e 25%. Corpos-de-prova cilíndricos foram avaliados através de ensaios de resistência à compressão, tração por compressão diametral, módulo de elasticidade, absorção de água máxima e índice de vazios no seu estado endurecido. No estado fresco os concretos foram avaliados pelo ensaio de abatimento do tronco de cone para verificação de sua consistência. Os resultados mostraram que a trabalhabilidade de todas as composições dos traços B e C ficaram dentro do valor estabelecido e para o traço A, apenas a composição com a substituição de 75% de PU não atingiu o mínimo requerido. Os resultados em todos os traços estudados revelaram que a substituição da areia natural por espuma rígida de PU, em até 25% é viável tecnicamente para a resistência à compressão axial. Nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral todos os traços alcançaram valores de 1/10 da resistência à compressão axial. Nos ensaios de índice de vazios e absorção de água, a substituição da areia pela espuma rígida de PU altera estas propriedades conforme o teor de substituição. Resultados encontrados para os ensaios de módulo de elasticidade foram satisfatórios, sendo que, quanto maior a porcentagem de substituição da areia pela espuma rígida de PU, menor foi o módulo de elasticidade. Apesar da perda da estrutura original da espuma de PU após a moagem, observado por microscopia eletrônica, os resultados permitem concluir que é possível utilizar parcialmente a substituição da areia pela espuma rígida de PU moída em concretos de cimento Portland.

Palavras - chave: espuma rígida de poliuretano (PU); concretos; areia; substituição

ABSTRACT

Polyurethane (PU) rigid foams are excellent materials for thermal insulation despite the fact that the polymer constitutes a hazardous environmental passive after its disposal. The refrigeration sector utilizes the ridid foam in great amounts for freezers, refrigerators and other thermal systems. All companies that produce it are responsible for its final disposal in special waste dumps because it is forbidden by the legislation its incineration or aleatory disposal due to its toxidity. The sand used in concretes is a raw-material of unreneawable source which extraction causes environmental impacts. The parcial substitution of sand for post-consumed PU foams in concretes would constitute a gain also in terms of sand economy and transportation specially in the big cities. In this work rigid polyurethane foams were utilized in concretes compositions as an alternative to introduce again this material into the productive chain with social, environmental and economic advantages.Rigid post-consumed PU foams were ground and conditioned to substitute different percentages of sand in concrete compositions. In the first stage of this research three standard concrete compositions with compression strenght of 20MPa, 30MPa and 40MPa were determined and identified as A,B and C respectively with the calculation of the amounts of brick stone, water and cement for each composition.Following, the same compositions were prepared with the substituition of sand for rigid PU foams in the percentages of 75%, 50% and 25%. Cylindrical specimens were evaluated in tests of compression strenght, tension in diametral compression, elasticity modulus, maximum water absorption and void index in their harden state. In the fresh state the concretes were evaluated through the slump test for consistency check. The results showed that the workability of all compositions of B and C concretes were within the stablished values and for the A concrete, only the composition with 75% substitution did not reach the minimum required. The results pointed out that in all compositions studied the substitution of sand for rigid PU foam up to 25% is technically acceptable for the axial compression strenght. In the tests of tensile strenght in diametral compression all compositions reached 1/10 of the axial compression strenght. Concerning the void índex and water absorption, the substitution of sand for rigid PU foam alter these properties according to the content of substitution.The results found for the elasticity modulus were satisfactory though the modulus are reduced with the increasing amount of the sand substitution.It can be concluded that it is possible to parcial substitute sand for rigid ground PU foams in concretes of Portland cement although the ground PU loses its foam pore characteristic(seen by scanning electronic microscopy).

Key words: rigid polyurethane foam, concretes, sand, substitution

.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 - PORTA DA GELADEIRA QUE CONTÉM POLIURETANO EXPANDIDO ____ *26*
FIGURA 3.2 - PU DA PORTA DE GELADEIRA SENDO MOÍDA ____ *28*
FIGURA 3.3 - ESPUMA RIGIDA EXPANDIDA DE POLIURETANO MOÍDA PROVENIENTE DE GELADEIRAS. ____ *28*
FIGURA 3.4 - CONE DE ABRAMS ____ *35*
FIGURA 3.5 - ENSAIO DE CONSISTÊNCIA ____ *36*
FIGURA 3.6 - ENSAIO DE CONSISTÊNCIA ____ *36*
FIGURA 3.7 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO ____ *37*
FIGURA 3.8 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR ____ *38*
COMPRESSÃO DIAMETRAL ____ *38*
FIGURA 3.9 - ENSAIO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE ____ *40*
FIGURA 4.1 - CURVA GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO ____ *43*
FIGURA 4.2 - CURVA GRANULOMÉTRICA DA AREIA ____ *46*
FIGURA 4.3 – HISTOGRAMA DE FREQUÊCIAS DO PU RÍGIDO MOÍDO ____ *48*
FIGURA 4.4 – PU RÍGIDO NATURAL – MEV 100X ____ *49*
FIGURA 4.5 – PU RÍGIDO MOÍDO – MEV 100X ____ *49*
FIGURA 4.6 – PU RÍGIDO NATURAL – MEV 400X ____ *49*
FIGURA 4.7 – PU RÍGIDO MOÍDO – MEV 400X ____ *49*
FIGURA 4.8 - GRÁFICO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE ____ *51*
FIGURA 4.9 - GRÁFICO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA Á COMPRESSÃO PARA O TRAÇO A EM FUNÇÃO DAS IDADES 7, 28 E 91 DIAS ____ *52*
FIGURA 4.10 - GRÁFICO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA Á COMPRESSÃO PARA O TRAÇO B EM FUNÇÃO DAS IDADES 7, 28 E 91 DIAS ____ *53*
FIGURA 4.11 - GRÁFICO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA Á COMPRESSÃO PARA O TRAÇO C EM FUNÇÃO DAS IDADES 7, 28 E 91 DIAS. ____ *54*
FIGURA 4.12 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL PARA OS TRAÇOS PILOTOS A, B E C ____ *56*
FIGURA 4.13 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL PARA O TRAÇOS A, A25%, A50% E A75% ____ *57*

FIGURA 4.14 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL PARA O TRAÇOS B ,B25%, B50% E B75% ____ *57*
FIGURA 4.15 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL PARA O TRAÇOS C ,C25%, C50% E C75% ____ *58*
FIGURA 4.16 - ÍNDICE DE VAZIOS, ABSORÇÃO DE ÁGUA MÁXIMA PARA TRAÇO A, TRAÇO B, TRAÇO C ____ *59*
FIGURA 4.17 - ÍNDICE DE VAZIOS, ABSORÇÃO DE ÁGUA MÁXIMA PARA TRAÇO A, A-25%, A-50% e A7-5% ____ *59*
FIGURA 4.18 - ÍNDICE DE VAZIOS, ABSORÇÃO DE ÁGUA MÁXIMA PARA TRAÇO B, B-25%, B-50% e B-75% ____ *60*
FIGURA 4.19 - ÍNDICE DE VAZIOS, ABSORÇÃO DE ÁGUA MÁXIMA PARA TRAÇO C, C-25%, C-50% e C-75% ____ *60*
FIGURA 4.20 - MÓDULO DE ELASTICIDADE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO A, B e C ____ *62*
FIGURA 4.21 - MÓDULO DE ELASTICIDADE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO A, A-25% e A-50% ____ *62*
FIGURA 4.22 - MÓDULO DE ELASTICIDADE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO B, B-25% e B-50% ____ *63*
FIGURA 4.23 - MÓDULO DE ELASTICIDADE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO C, C-25% e C-50% ____ *63*

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - CONSUMO DE ÁGUA APROXIMADO (litros/m³de concreto)__ 31
TABELA 3.2 – VOLUME COMPACTADO SECO DE AGREGADO GRAÚDO (m³ de brita / m³ de concreto).__ 32
TABELA 3.3 - CONSUMO DE MATERIAL POR M³ DE CONCRETO__ 33
TABELA 3.4 – CONSUMO DE MATERIAL PARA CORPOS DE PROVA TRAÇO A __ 33
TABELA 3.5 – CONSUMO DE MATERIAL PARA CORPOS DE PROVA TRAÇO B __ 33
TABELA 3.6 – CONSUMO DE MATERIAL PARA CORPOS DE PROVA TRAÇO C __ 34
TABELA 3.7 - QUANTIDADE DE CORPOS-DE-PROVA MOLDADOS PARA CADA TRAÇO__ 34
TABELA 4.1 - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA ___ 43
TABELA 4.2 - DETERMINAÇÃP DA ABSORÇÃO E DA MASSA ESPECÍFICA DE AGREGADO GRAÚDO__ 44
TABELA 4.3 - MASSA ESPECÍFICA NA CONDIÇÃO SECA __ 44
TABELA 4.4 - MASSA ESPECÍFICA NA CONDIÇÃO SATURADA SUPERFÍCIE SECA__ 44
TABELA 4.5 - ABSORÇÃO __ 44
TABELA 4.6 – DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA EM AGREGADO SOLTO__ 44
TABELA 4.7 - DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO 45
TABELA 4.8 - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA ___ 46
TABELA 4.9 - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DE AGREGADOS MIÚDOS POR MEIO DO FRASCO DE CHAPMAN __ 47
TABELA 4.10 - DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA EM AGREGADO SOLTO__ 47
TABELA 4.11 - DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS__ 47

TABELA 4.12 - DETERMINAÇÃO DE IMPUREZAS ORGÂNICAS HÚMICAS EM AGREGADO MIÚDO _____ *47*
TABELA 4.13 - DETERMINAÇÃO DA MASSA ÚNITÁRIA EM AGREGADO SOLTO APÓS MOAGEM _____ *48*
TABELA 4.14 - DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE- SLUMP TEST _____ *50*
TABELA 4.15 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO A _____ *52*
TABELA 4.16 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO B _____ *53*
TABELA 4.17 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO C _____ *54*
TABELA 4.18 - RELAÇÃO Rc/Rt _____ *55*
TABELA 4.19 - RESULTADO ENSAIOS ABSORÇÃO D`ÀGUA E ÍNDICE DE VAZIOS _____ *58*
TABELA 4.20 - RESULTADOS DO ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE *61*
TABELA 4.21 - ANALISE FINANCEIRA SIMPLIFICADA _____ *65*

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABCP	-	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/c	-	Fator água cimento
CFC	-	Clorofluorcarboneto
CONAMA	-	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DPNM	-	Departamento Nacional de Produção Mineral
Fcj	-	Resistência média do concreto
Fck	-	Resistência característica do concreto
HCFC's	-	Clorofluorcarbonos hidrogenados
PU	-	Poliuretano
ACI	-	American Concrete Institute
CP's	-	Corpos – de - prova
CPII – Z	-	Cimento Portland composto com Pozolana
MEV	-	Microscopia eletrônica por varredura
NBR	-	Norma Brasileira
UFPR	-	Universidade Federal do Paraná
USA	-	Estados Unidos da América

LISTA DE UNIDADES

mm	-	milímetro
cm	-	centímetro
m	-	metro
m^2	-	metro quadrado
m^3	-	metro cúbico
m^3/t	-	metro cúbico por tonelada
L	-	litro
g	-	grama
g/cm^3	-	grama por metro cúbico
kg	-	quilograma
t	-	tonelada
tf	-	tonelada força
MPa	-	megapascal
GPa	-	gigapascal

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS 1
RESUMO 2
ABSTRACT 3
LISTA DE FIGURAS 4
LISTA DE TABELAS 6
LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS 8
LISTA DE UNIDADES 9
1. INTRODUÇÃO 12
2. REVISÃO DA LITERATURA 16
3. MATERIAIS E MÉTODOS 25
3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS 25
3.2. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO 27
3.2.1. DOSAGEM E ELABORAÇÃO DO CONCRETO 28
3.2.1.1. Determinação da dosagem do traço piloto A, B e C 29
3.2.2. CONSISTÊNCIA DO CONCRETO-SLUMP-TEST 34
3.2.3. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL SIMPLES 37
3.2.4. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL 38
3.2.5. ENSAIO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTÁTICO 39
3.2.6. ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO E ÍNDICE DE 40
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS 42
4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS 42
4.1.1. AGREGADO GRAÚDO 42
4.1.2. AGREGADO MIÚDO 45
4.1.2.1. Areia 45
4.1.2.2. Espuma rígida de poliuretano 48

4.2. DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE 50

4.3. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 51

4.4. DETERMINAÇÃO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL 55

4.5. ABSORÇÃO D'ÁGUA E ÍNDICE DE VAZIOS 58

4.6. MÓDULO DE ELASTICIDADE 61

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES *67*

6. REFERÊNCIAS *70*

1. INTRODUÇÃO

A história do mundo parece estar acelerando, tudo se move com maior rapidez. Recordes estão sendo estabelecidos em tantas frentes que mal conseguimos acompanhar.

Desde a metade do século vinte, a população mundial saltou de 2,5 para 6,1 bilhões de pessoas, isto significa que duas gerações produziram mais seres humanos que todas as outras gerações juntas.

A humanidade enfrenta um desafio crescente: manter o planeta Terra apto para a sobrevivência e o desenvolvimento das próximas gerações. Trata-se de um desafio novo, pois nunca antes o ser humano preocupou-se com a preservação de seu entorno de forma global, como planeta.

A gravidade como se apresentam a depredação e a poluição, tem obrigado o desenvolvimento de novas tecnologias, políticas e regras de conduta para a contenção do processo de degradação ambiental.

Quanto à mudança ambiental induzida pela atividade humana, ela excede em muito o ritmo natural da evolução, e assim, temos que entrar numa corrida feroz para nos ajustarmos ao ritmo de problemas que estamos criando. Um dos maiores desafios do século XXI será a estabilização do clima, que exigirá uma transformação quase total dos sistemas energéticos mundiais.

Os custos de produção para qualquer processo devem contabilizar a degradação ambiental. Para isto será necessário rever os valores de cada produto que consumimos, pois todos direta ou indiretamente, industrializados, ou não, possuem materiais provenientes da natureza.

A agilidade do crescimento econômico trouxe ainda reflexos sobre outros recursos naturais, como o aumento da poluição e a maior exploração dos recursos hídricos, a extinção de espécies, a destruição de ecossistemas, o desflorestamento, a erosão, etc.

A redução da disponibilidade da água, tanto pelo desperdício quanto pela poluição, se configura entre as tendências mais graves, já que todas as atividades humanas e as formas de vida dependem da água.

A sustentabilidade das atividades econômicas é um dos principais desafios enfrentados pela humanidade neste século XXI. Ciente de seu papel, a indústria de um modo geral tem participado de inúmeros projetos voltados ao uso racional dos

recursos naturais ou à recuperação do meio ambiente. Essas ações visam, basicamente, satisfazer necessidades técnicas e sócio-econômicas partindo do princípio que, desenvolvimento sustentável foi definido pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Brasil, 2001, p.38) como sendo o "*desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades*".

Diante do exposto é certo de que a reciclagem é essencial para o desenvolvimento sustentável considerando que todo ser humano gera resíduos em sua vida.

Plásticos, metais, vidros e produtos orgânicos tem sido alvo de pesquisas para sua reciclagem, mas, ao lado do fator ambiental relacionado ao descarte de lixo, o fator econômico é fundamental para o sucesso de novos processos. Desta forma, o ideal é aliar benefícios ecológicos, sociais e econômicos na reciclagem de produtos amplamente utilizados pela sociedade.

Com uma grande demanda por produtos e processos concebidos com o conceito de sustentabilidade, e a pressão para que haja redução no desperdício nas construções, têm resultado na maior conscientização da população quanto às questões ambientais mundiais e da constituição de novas legislações, contemplando a questão ambiental.

Um dos problemas do uso de espumas rígidas de poliuretano (PU), material usado no revestimento térmico de refrigeradores e congeladores, é que após sua vida útil as empresas responsáveis por sua fabricação são obrigadas a providenciar o descarte final em locais apropriados pois o material confere danos ao meio ambiente se tratado como resíduo comum. Assim, as espumas rígidas de PU são normalmente enterradas em aterros especiais que têm custo elevado, já que a incineração deste polímero é tóxica e o seu descarte aleatório é proibido pela legislação, pois o material é agressivo ao meio ambiente.

Neste trabalho, espumas rígidas de poliuretano foram utilizadas na composição de concretos como alternativa de reintroduzir este material na cadeia produtiva com vantagens sociais, ambientais e econômicas.

Pode-se resumir as principais justificativas da reciclagem do poliuretano rígido expandido para aplicação como substituição do agregado miúdo natural ao concreto estrutural como sendo as seguintes:

1. alternativa tecnológica de insumo substituto à areia para o concreto;
2. redução da poluição ambiental e redução dos depósitos de rejeitos de poliuretano;
3. redução da degradação ambiental devido à extração de areia embora a porcentagem deste ganho seja pequena em função do volume de areia requerido na fabricação de concreto;
4. redução no consumo de materiais naturais (areia natural) do concreto que serão substituídos pelo poliuretano rígido expandido;
5. provável melhoria das características técnicas do concreto pelo uso desta substituição, principalmente no que tange ao desempenho do produto em aplicações especiais;
6. adequação do processo de uso do poliuretano rígido expandido pós-consumido com definição de destino após o seu prazo de utilização (retorno do produto após o final da sua vida útil);
7. provável redução do custo do concreto, viabilizando sua utilização na construção civil.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar as propriedades e o comportamento mecânico do concreto estrutural, com substituição parcial do agregado miúdo areia pela espuma rígida pós-consumida de poliuretano proveniente de descartes de refrigeradores e congeladores.

Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral deste trabalho devem-se atingir os seguintes objetivos específicos:

a) estudar as características físicas dos agregados utilizados;

b) estudar as propriedades e parâmetros da composição do concreto estrutural com a substituição da areia pela espuma rígida pós-consumida de poliuretano ;

c) avaliar a relação entre as características físicas e mecânicas do concreto produzido com e sem a substituição da areia pela espuma rígida pós-consumida de poliuretano ;

d) avaliar a viabilidade econômica da substituição da areia pelo espuma rígida de PU pós-consumida ;

2. REVISÃO DA LITERATURA

Na década de 30 era comum a utilização de lã de vidro ou lã de rocha na fabricação dos refrigeradores e congeladores para isolação do gabinete (LIMA, 2003).

Em 1937, o professor Otto Bayer e sua equipe desenvolveram um processo que, a partir da reação de dois compostos, resultava em produto de estrutura macromolecular, denominado de poliuretano. Este produto é composto pela reação de poliadição de um polisocianato (no mínimo bi-funcional) e um poliol ou outros reagentes, contendo dois ou mais grupos de hidrogênio reativos.

No Brasil, a indústria pioneira na substituição da lã de vidro pelo poliuretano foi a Brastemp (MATHIEU *et al*, 1992), quando entrou em funcionamento a fabrica nº 2 em São Bernardo do Campo no estado de São Paulo em 1975. Esta implantação foi feita gradativamente devido ao alto custo dos equipamentos de injeção da espuma e da própria espuma.

A espuma rígida de poliuretano é um produto celular termoestabilizado, de baixa densidade, altamente interligado e com células fechadas proporcionando excelentes características de isolamento térmico (VILAR, 2002).

O CFC (clorofluorcarboneto) contido nas espumas rígidas tornou-se foco de discussões para que sua utilização fosse reduzida devido às dificuldades de reciclagem, tendo como conseqüência a agressão à camada de ozônio e à alta toxicidade do componente quando incinerado.

Resíduos de espumas de poliuretano rígidas são classificados pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) como Classe I, considerados perigosos e têm tempo de decomposição elevadíssimo, sendo tóxicos, destruindo a camada de ozônio e provocando o aquecimento global (efeito estufa) (LIMA, 2003). O efeito estufa é a retenção desse calor por certos gases na atmosfera. Esse efeito aquece a Terra, como se o planeta todo estivesse dentro de uma imensa estufa. O oxigênio e o nitrogênio, os quais compõem aproximadamente 99% da atmosfera, não capturam o calor. O vapor de água e o CO_2 capturam-no. Esses dois gases possuem 1% da atmosfera, sendo calor suficiente para aumentar a temperatura da Terra para 33ºC.

Sem esse efeito estufa natural, a temperatura média na superfície da Terra seria bem abaixo do ponto de congelamento da água. A produção de espuma rígida de PU gera CO_2 em sua síntese, agravando o efeito estufa.

A camada de ozônio é uma "capa" desse gás que envolve a Terra e a protege de vários tipos de radiação, sendo que a principal delas, a radiação ultravioleta, é a principal causadora de câncer de pele. No último século, devido ao desenvolvimento industrial, passaram a ser utilizados produtos que emitem clorofluorcarbono (CFC), um gás que ao atingir a camada de ozônio destrói as moléculas que a formam (O_3), causando assim a destruição dessa camada da atmosfera. Sem essa camada, a incidência de raios ultravioletas nocivos à Terra fica sensivelmente maior, aumentando as chances de contração de câncer.

A resolução 267 do CONAMA (CONAMA, 2000), baseada no protocolo de Montreal, proíbiu a utilização de substâncias que destroem a camada de ozônio, no entanto, refrigeradores e congeladores que foram produzidos antes de 1998 utilizavam espuma rígida de poliuretano com CFC e ainda hoje são encontrados no mercado, mesmo após a sua proibição no Brasil.

Além de tóxico, durante o corte de espumas de PU, a poeira que é produzida pode irritar os olhos e as membranas mucosas do nariz e garganta.

Através de estudos feitos em laboratório, onde se utilizou ratos, mostrou-se que dificuldades respiratórias são causadas pelas grandes concentrações da poeira (VILAR, 2002).

Esta exposição à poeira pode ser controlada através de ventilação ou proteção com máscaras próprias. A poeira de PU, dispersa no ar, é inflamável e pode acarretar explosão devendo ser controlada (VILAR, 2002).

Nos países mais desenvolvidos como EUA, países da Europa e em menor quantidade no Brasil, as espumas rígidas são usadas como isolamento térmico e os exemplos mais comuns são de uso na construção civil como telhas metálicas com miolo de espumas de PU; placas de PU para isolamento térmico; spray de espuma, utilizada como selante e para fixação de caixilhos e espumas flexíveis para isolamento de tubulações aquecidas (API, 2000).

A espuma rígida de poliuretano apresenta as seguintes características (OERTEL, 1985) (SATO, 1998) (KOSSAKA, 2002).

- adequado para o enchimento de cavidades complexas;
- possui baixa condutividade térmica;

- possui resistência à compressão;
- tem estabilidade dimensional;
- permite processo automático de injeção;
- tem baixa densidade;
- possui estabilidade térmica no intervalo de -200ºC a + 130ºC;
- tem alta resistência à umidade;
- possui resistências a óleos e a solventes;
- possui resistência ao envelhecimento.

A espuma rígida de poliuretano tem sua aplicação executada com equipamentos automatizados que injetam e misturam os componentes da espuma, entre as paredes do refrigerador. A espuma se forma como resultado da reação exotérmica dos componentes no interior das paredes do refrigerador.

Atualmente, o PU produzido não utiliza CFC's, e sim HCFC's e HCF's, clorofluorcarbonos hidrogenados, sendo estes compostos menos poluentes e menos destruidores da camada de ozônio (OECD, 2001). A vida útil de refrigeradores e congeladores, segundo Kossaka (2002), está num intervalo de 15 a 20 anos. Considerando que a espuma rígida teve inicio de sua utilização no ano de 1980, deduz-se que a vida útil dos primeiros refrigeradores e congeladores esteja terminando.

O destino destes eletrodomésticos ao final de sua vida útil é a venda ou doação a empresas de reciclagem, sendo que após a separação das partes metálicas e plásticas, a espuma é encaminhada a aterros especiais. O destino de espumas rígidas de poliuretano, que são descartadas pelas fábricas devido a perdas e/ou ao controle de qualidade, é também os aterros especiais.

Com o crescimento da população ao longo dos anos, a aquisição dos eletrodomésticos será maior e conseqüentemente o descarte da espuma rígida nos aterros sanitários, especiais ou não, aumentará, causando ainda mais problemas devido a poluição, volume ocupado nos aterros e dificuldade de deterioração.

Segundo Kjeldsen e Jensen (2001) e Kossaka (2002), nos próximos anos, a camada de ozônio estará para sofrer sua maior deterioração, pois cerca de 40% do CFC's da espuma serão liberados para o meio ambiente e após a disposição final em aterro, esta continuará liberando toxinas na atmosfera por um período de 9 a 300 anos, e o impacto se torna maior devido ao esgotamento dos aterros sanitários.

Para a indústria da construção civil, os agregados (areia e pedra) são os insumos minerais mais consumidos e conseqüentemente os mais importantes em volume produzido no Brasil e no mundo.

As areias naturais têm sido utilizadas desde os primórdios da civilização atendendo às necessidades tecnológicas do concreto. Nos dias atuais com a demanda crescente de construção, quantidades cada vez maiores de consumo deste insumo têm ocorrido, tendendo a esgotar as reservas disponíveis.

As atividades de extração mineral são de grande importância para o desenvolvimento social, mas também são responsáveis por impactos ambientais negativos muitas vezes irreversíveis (BRANDT, 1998). Estes se tornam mais visíveis com a dinamização do processo de industrialização e o crescimento das cidades, que aceleram os conflitos entre a necessidade de buscar matérias-primas e a conservação do meio ambiente (POPP, 1992).

Segundo o Sumário Mineral/2001, publicado pelo DNPM (2002), a mineração em leitos de rios é responsável por 90% da produção brasileira de areia.

Considerada como uma ação altamente destruidora do meio ambiente, a atividade da extração da areia é discutida pelos ambientalistas como uma questão tão ou mais grave quanto à problemática da água (BRANDT, 1998).

Um problema atualmente discutido é que a atividade da extração das areias afeta nossos mananciais de coleta de água para abastecimento de cidades. A extração da areia por cavas agride o ecossistema em seu entorno, suas escavações chegam até 30 metros de profundidade e ocupam grandes extensões de várzeas que não podem ser recuperadas (JOHN, 2000).

O impacto mais sério diz respeito à própria extinção da areia como recurso natural finito e não renovável. Segundo informações da ANEPAC – Associação Nacional das Entidades Produtoras de Agregados para a Construção Civil, em 2002 (2002), foram produzidas 386 milhões de toneladas de agregados para a construção civil, cujo montante, é 3,36% inferior ao de 2001, em função da conjuntura econômica desfavorável. Deste total, 156,4 milhões de toneladas são de pedras britadas e 229,6 milhões de toneladas de areia.

Devido à exaustão das áreas de extração próximas aos grandes centros e à restrição imposta pelos órgãos ambientais, tem-se buscado a extração da areia em locais cada vez mais distantes dos consumidores. Considerando ainda que seu preço por volume seja baixo, a maior influência no preço final é o frete, pois a

exploração é feita a distâncias de 100 km a 200 km dos centros populacionais, onerando em 70% o preço do produto e resultando em um grande gasto de combustível de caminhões e das estradas.

A mineração de areia e brita é uma das mais importantes atividades extrativas do setor mineral brasileiro, pelo volume produzido, ultrapassando o minério de ferro, principal produto mineral brasileiro (POPP, 1992).

O concreto é considerado um dos materiais mais utilizados no mundo (MEHTA, 1994), e em razão disto, muitas pesquisas procuram maximizar o desempenho e minimizar o custo em obter composições que resultem em estruturas duráveis. Com a evolução dos materiais e equipamentos, deve-se utilizar metodologias de dosagem adequadas e processos de produção aprimorados para atender padrões de desempenho do concreto.

As propriedades de um concreto como a sua trabalhabilidade e resistência à compressão são influenciadas pelas características dos agregados que o constituem.

Agregados têm por definição material granular, sem forma ou volume definido, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para obras de engenharia. Eles desempenham uma importante função nas argamassas e concretos tanto economicamente como tecnicamente e ainda são importantes em propriedades como retração, aumento da resistência ao desgaste, etc. (PETRUCCI, 1980).

A granulometria dos agregados é muito importante, pois eles ocupam a maior porcentagem em volume do concreto ou argamassa, e ainda exercem influência no grau de compactação da mistura determinando o índice de vazios.

A argamassa, segundo a NBR 7200 (ABNT, 1998), é definida como a mistura de aglomerantes e agregados com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência (FIORITO, 1994). Desta forma, as argamassas são usadas na construção civil para revestimento, assentamento de materiais cerâmicos e pedras naturais, isolação térmica ou acústica, ou até como elemento decorativo.

Thomaz e Helene (2000) frisam a importância das argamassas de revestimento das paredes, serem eficientes tanto para a isolação térmica e acústica quanto para o desempenho sob a ação do fogo.

Diante disso, o uso de uma argamassa de areia e cimento utilizando espuma rígida de poliuretano reciclado pode ser efetivo como adição ou substituição,

produzindo um material isolante, em função de sua baixa condutividade térmica e sonora. Por tratar-se de uma argamassa com uma adição ou substituição pouco usual, há a necessidade de se obterem as características desta argamassa para estudar a possibilidade de seu uso na construção civil devido à facilidade de queima do poliuretano. O uso da espuma rígida de poliuretano reciclado, sendo triturado para substituir a areia, vem colaborar com a preservação do meio ambiente, visto que estes resíduos têm sido descartados sem nenhum controle (KOSSAKA, 2002).

Resistência ao fogo, isolamento térmico e acústico são requisitos inerentes à parede de alvenaria que precisam ser considerados globalmente para uma correta avaliação.

A capacidade de isolação acústica dos materiais varia de acordo com diferentes faixas de freqüência dos sons. De acordo com Thomaz e Helene (2000), considerando uma média ponderada dessas freqüências, a isolação dos sons aéreos para elementos maciços pode ser estimada pela massa da parede através da expressão $I_a = 12 + 5{,}3\sqrt{m}$, onde é m= massa da parede em kg/m².

O isolamento térmico dependerá da inércia térmica, função da massa da parede e do calor específico do material e da presença das camadas confinadas do ar.

Buscando reduzir os custos de produção de concretos e argamassas ou mesmo a dar uma destinação final a resíduos ou subprodutos de outras indústrias, muitos estudos são feitos utilizando materiais alternativos, com qualidade e características distintas das indicadas pela NBR 7211 (ABNT, 2005), tais como: resíduos de construção de demolição (SOUZA, 2001), poliestireno expandido (AGUIAR *et al*, 2001), cinza de casca de arroz (WEBER, 2001), resíduo vítreo (ARRUDA, PAMPLONA, PAMPLONA, 2001), fibras de sisal (OLIVEIRA *et al*, 2001), resíduo de couro curtido à base de cromo (RECENA, 2000), entre outros.

Bauer *et al* (2001), relata experiências em laboratório no preparo de concretos e argamassas com adição de aparas de pneus moídos, sem tratamento superficial. Foram utilizados pneus usados sem lona de aço e dotados de nylon, com granulometria compatível às de agregado miúdo e graúdo, sendo que a adição foi realizada substituindo parte dos agregados por aparas de pneus. Nas dosagens de argamassas, as substituições foram de 15, 30 e 40%, e, para o concreto, de 15% e 30%. Este trabalho teve como objetivo a verificação da resistência à compressão, tração por compressão diametral, tração na flexão, massa específica, modelo de

deformação, porosidade, absorção de água por capilaridade e permeabilidade a água sob pressão. Foram feitos dois traços padrão da argamassa, 1:4 (argamassa de regularização) e 1:3 (argamassa de contra-piso). Os autores constataram que com a adição das aparas de pneus, a resistência mecânica das argamassas e do concreto diminuiu sensivelmente. Concluíram também, que a adição de aparas nas argamassas de até 40%, não prejudica seu uso na construção civil, na aplicação de contra-pisos, regularizações e enchimentos de lajes, mas não recomendam seu uso para o tráfego pesado. No estado fresco, nas argamassas com adição de aparas, observaram menor exudação devido ao fato de que as argamassas com adição absorvem menos água para obtenção da mesma consistência. Verificaram perdas consideráveis na resistência à compressão do concreto, indicando seu uso no isolamento de dutos enterrados em valas.

Uma alternativa ecológica para recolocar a espuma rígida de poliuretano na cadeia produtiva e amenizar o problema da extração da areia é o seu uso na fabricação de concreto estrutural.

Siqueira, Stramari e Folgueras (2004), mostraram que é possível a fabricação de blocos de concreto leve, a partir da adição do resíduo de poliuretano expandido triturado. Os resultados do ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova (CP's) de concreto para a fabricação de blocos, incorporando o PU 2 e 3 (PU 2 e 3 é a identificação do tamanho dos grãos após a trituração), indicaram que os blocos de concreto com adição de 5% de PU 2, podem ser usados para alvenaria com fins estruturais, isto é, blocos com resistência mínima de 6,0 MPa, pois aos 28 dias a resistência alcançada foi de 6,11 MPa. Os CP's com 5% de adição do PU 3, chegaram a 4,45MPa aos 28 dias, sendo que a sua utilização é para produção de blocos sem fins estruturais, para os quais são determinados 2,5 MPa de resistência mínima. Para ambos, a redução de peso ficou em torno de 11,30%. Algumas considerações foram feitas em relação ao método de ensaio, pois os resultados obtidos são alterados pelas seguintes variáveis: o grau de compactação, a quantidade e o tamanho de PU, absorção dos grãos de PU, mudança dos agregados naturais, umidade da mistura e forma geométrica das peças. O método de produção pode ser melhorado, usando máquinas que proporcionem maior grau de compactação, usando aditivos que diminuam a absorção de água pelo PU e que melhore sua resistência, tornando-o menos poroso.

Grijó e Baasch (2003) mostram que a indústria do surf no Brasil e no mundo vem há mais de 30 anos gerando resíduos tóxicos e inflamáveis, em todos seus processos produtivos e pós-consumo, que são depostos em aterros ou “lixões”, sem qualquer tipo de tratamento específico.

Resíduos de poliuretano de pranchas de surf são materiais que possuem propriedades de isolamento termo-acústico e quando misturados junto com cimento Portland CP V-ARI e areia transferem esta característica aos blocos, que proporcionarão vedação com este diferencial em edificações. No trabalho de Grijó e Baasch (2003) foi necessário introduzir um elemento anti-chama, a fim de se anular a inflamabilidade. O componente utilizado foi a alumina hidratada, que com a presença de fogo ou calor faz com que o bloco fique umedecido eliminando riscos e possibilidade de combustão e incêndio. Os blocos de concreto com resíduos de poliuretano foram ensaiados após os 28 dias necessários para a cura do cimento. No ensaio realizado – resistência à compressão - foi possível constatar que duas formulações experimentadas na produção dos blocos apresentaram resistências individuais superiores a 2,0 MPa seguindo exigência da norma NBR 6136 (ABNT, 2007). Esta norma também prescreve que os blocos tenham uma absorção individual de no máximo 15%.

Lima (2003) pesquisou a viabilidade técnica e econômica do uso das espumas rígidas de poliuretano reciclado utilizada como isolantes térmicos de congeladores e refrigeradores, como adição ao concreto destinado a fabricação de blocos. Através de traço piloto pré-determinado e testado, foi adicionado espuma de poliuretano expandido em 5%, 7,5%, 10%, 15% e 20% do consumo de cimento e foram feitos todos os testes necessários para blocos de concreto para cada porcentagem. A apresentação dos resultados verificou a viabilidade técnica da utilização dos teores de adição que correspondem a 5% do consumo do cimento para cada traço de concreto adotado.

Em função destas várias situações apresentadas, realizaremos um estudo a fim de propor alternativas para composições de concreto estrutural utilizando a espuma de poliuretano rígida pós-consumida em substituição parcial ou total à areia. Com isso estaremos tentando reduzir problemas causados ao ecossistema que envolvam a areia e a destinação final das placas de espuma rígida de poliuretano, além de produzir materiais de menor custo e com propriedades interessantes.

Com a investigação sobre a influência da utilização do poliuretano rígido expandido pós-consumido em substituição à areia no desempenho do concreto espera-se definir um padrão ou padrões de comportamento potencial desses materiais, considerando as exigências usuais de emprego.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O método de pesquisa para o desenvolvimento deste trabalho teve seu ponto principal a determinação do traço piloto, onde se tem a dosagem dos materiais necessários para elaboração do concreto e posterior substituição da areia pela espuma rígida de poliuretano pós-consumido.

Foi usado o Método de Pesquisa Experimental, com as seguintes etapas:

3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados neste trabalho são:

- aglomerante:

  - cimento Portland: utilizou-se cimento CPII-Z 32, comercialmente encontrado na região e fornecido em sacos de 50 kg.

- agregados graúdos:

  - pedra britada de número 0 (zero), 1 (um) ou 2 (dois): são agregados com partículas maiores que 4,8 mm. Os concretos para este estudo foram dosados com brita 1 com diâmetro máximo 19 mm. Os ensaios para caracterização do agregado graúdo foram a determinação da composição granulométrica, determinação da absorção, determinação da massa específica, determinação da massa unitária e determinação do teor do material pulverulento.

- agregados miúdos:

  - areia natural, agregado com partículas menores que 4,8 mm: para confecção dos concretos foi utilizada areia natural média lavada. Os ensaios realizados para caracterização da areia natural foram a determinação da composição granulométrica, determinação de massa específica, determinação da massa unitária em agregado solto e determinação do teor de materiais pulverulentos;

  - espuma rígida de poliuretano expandido reciclado (FIGURA 3.1): este material foi fornecido pela empresa Electrolux do Brasil, a qual possui

sobras do material devido ao processo de fabricação. Os ensaios realizados para caracterização da espuma rígida pós - consumida de PU foram a determinação da massa unitária em agregado solto, a determinação da composição granulométrica, histograma de tamanho de partículas de PU após sua moagem e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Amostras de PU foram previamente recobertas com uma fina camada de ouro por deposição com um equipamento BALTEC para análise por MEV, PHILIPS XL 30, utilizando feixe de elétrons com potência de 15KV. Os ensaios foram realizados no Centro de Microscopia Eletrônica da UFPR. Por gentileza do Prof. Eduardo Fairbain micrografias de MEV de amostras de PU moído foram realizadas na COPPE/UFRJ usando 20KV e mesmos aumentos usados no ensaio do PU não moído.

- água de amassamento:

  - água potável obtida da rede de abastecimento da Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar.

FIGURA 3.1 - PORTA DA GELADEIRA QUE CONTÉM POLIURETANO EXPANDIDO

3.2. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO

O método proposto compreendeu os seguintes procedimentos de desenvolvimento com o objetivo de produzir um produto de boa qualidade e custo aceitável:

a) a espuma rígida de poliuretano foi moída e acondicionada para ser substituída pela areia na composição do concreto (FIGURA 3.2 e 3.3) ;

b) foram determinados três traços piloto ou traços experimentais para o concreto a serem utilizados, isto é, foi determinada a quantidade de areia, pedra, água, e cimento para sua composição, considerando a caracterização de cada componente realizada pelas normas da ABNT;

c) foram moldados corpos-de-prova para ensaios do concreto endurecido com cilindros de diâmetro de 100 mm por 200 mm de comprimento e cilindro com diâmetro de 150 mm por 300 mm de comprimento;

d) em seguida, utilizando o mesmo traço determinado para cada traço piloto, a areia foi substituída pela espuma rígida de PU expandido reciclado moído, nas porcentagens de 25%, 50% e 75%;

e) novos corpos-de-prova foram confeccionados a fim de avaliar as influências destas modificações em relação aos traços adotados como referência;

f) o concreto no estado fresco foi avaliado na sua trabalhabilidade através da sua consistência e os corpos de provas gerados foram testados à:
   - resistência à compressão simples;
   - resistência à tração por compressão diametral;
   - absorção e índice de vazios;
   - módulo de elasticidade.

Os valores obtidos, resultantes dos ensaios realizados com a substituição da areia pela espuma rígida expandida de PU, foram comparados com o resultado dos ensaios dos traços pilotos convencionais para verificação da viabilidade da substituição proposta.

FIGURA 3.2 - PU DA PORTA DE GELADEIRA SENDO MOÍDA

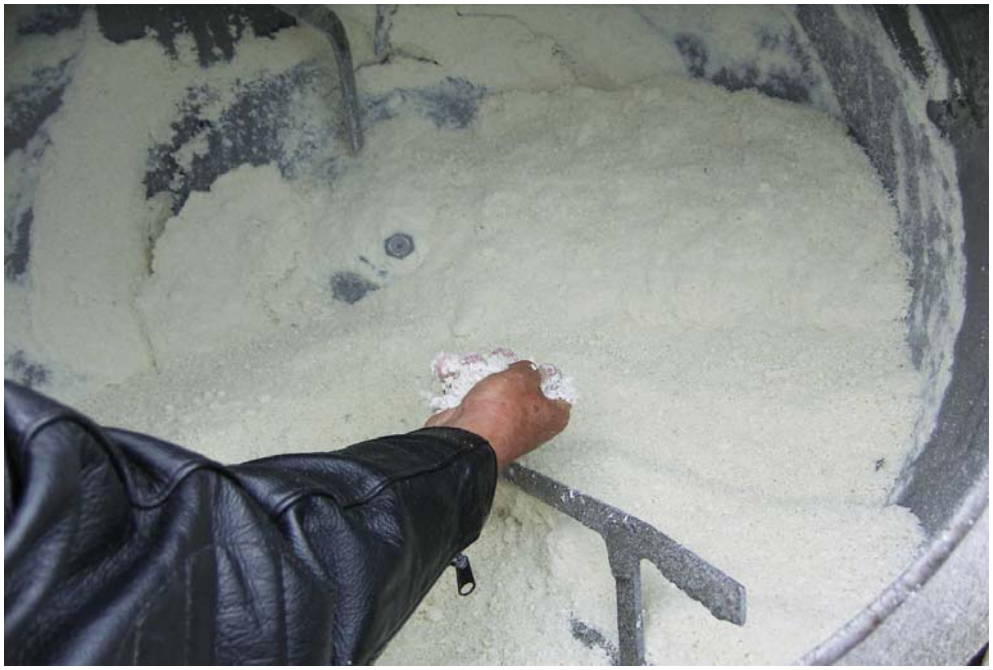

FIGURA 3.3 - ESPUMA RIGIDA EXPANDIDA DE POLIURETANO MOÍDA PROVENIENTE DE GELADEIRAS.

3.2.1. DOSAGEM E ELABORAÇÃO DO CONCRETO

Dosar concreto significa determinar as proporções em massa entre seus componentes (cimento, agregado graúdo, agregado miúdo, água e/ou aditivo). A

dosagem do concreto é feita em função das propriedades desejadas para o concreto para uma determinada aplicação.

Com a caracterização dos agregados graúdos e miúdos, foram definidos os traços piloto para elaboração dos concretos com base no método de dosagem da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). Os traços foram identificados como Traço A, Traço B, Traço C

Os concretos foram elaborados com os agregados na condição seca à temperatura ambiente. As quantidades dos materiais para cada traço foram determinadas para 1m³ e ajustados conforme o volume de concreto utilizado que foi suficiente para preencher 18 corpos-de-prova de 10 cm x 20 cm, 3 corpos de prova15 cm x 30 cm e 1 cone de Abrams.

3.2.1.1. Determinação da dosagem do traço piloto A, B e C

MÉTODO: ABCP / ACI

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
ACI _ American Concrete Institute

PROCEDIMENTO:

Dados fornecidos:

a) Fck – Resistência característica aos 28 dias em MPa

Escolhido 03 Fck para experimento 20 MPa, 30 MPa e 40 MPa denominados de A , B e C respectivamente.

b) Abatimento ou Slump – Trabalhabilidade e consistência em mm

Slump adotado 60±10mm

c) Classe de cimento – 32

d) Desvio padrão (standard deviation) “sd” , definido de acordo com as condições de trabalho, que previne distorções que podem ser ocasionadas devido a problemas de equipamentos e mão de obra, sendo que utiliza-se:

sd = 4,0 MPa quando se tem controle rigoroso ou total da qualidade;

sd = 5,5 MPa quando se tem controle razoável ou parcial da qualidade;

sd = 7,0MPa quando se tem controle regular ou deficiente da qualidade;

MEMÓRIA DE CÁLCULO:

1- Dimensão máxima do agregado graúdo:

Dimensão máxima do agregado graúdo para brita 1 resultado do ensaio para o agregado graúdo.

Brita 01 – 19 mm

2- Cálculo da resistência de dosagem F_{cj} para 20 MPa, 30 MPa e 40 MPa.

$F_{cj} = F_{ck} + 1,65\ sd$ (MPa)

Utilizamos sd (desvio padrão) = 0 (zero) por ser a pior condição de segurança, então :

Para	20 MPa	$F_{cj} = F_{ck} = 20$ MPa
	30 MPa	$F_{cj} = F_{ck} = 30$ MPa
	40 MPa	$F_{cj} = F_{ck} = 40$ MPa

3- Cálculo do fator água cimento - $F_{a/c}$

Com a classe de cimento 32 e o F_{cj} para 20 MPa , 30 MPa e 40 MPa, utiliza-se o ábaco das Curvas de Walz e encontramos os seguintes valores:

$F_{cj} = 20$ MPa	$F_{a/c} = 0,66$
$F_{cj} = 30$ MPa	$F_{a/c} = 0,52$
$F_{cj} = 40$ MPa	$F_{a/c} = 0,41$

4- Cálculo da quantidade de água $Q_{água}$ para o Slump dado de 60±10 mm e dimensão máxima do agregado graúdo de 19mm dado pela Tabela 3.1.

TABELA 3.1 - CONSUMO DE ÁGUA APROXIMADO (litros/m³de concreto)

[redacted]

Pela tabela temos 195 L / m³ de concreto.

5- Cálculo da quantidade de cimento $Q_{cimento}$:

$F_{a/c} = Q_{água} / Q_{cimento}$ logo

$Q_{cimento} = Q_{água} / F_{a/c}$ (kg de cimento / m³ de concreto)

Temos então:

20 MPa	294,56	kg/ m³
30 MPa	375,00	kg/ m³
40 MPa	469,87	kg/ m³

6- Cálculo do volume da brita V_b

O volume da brita é dada pela Tabela 3.2 sendo definido pelo módulo de finura da areia e a dimensão máxima característica do agregado graúdo

TABELA 3.2 – VOLUME COMPACTADO SECO DE AGREGADO GRAÚDO (m³ de brita / m³ de concreto).

[redacted]

Para o módulo de finura da areia de 3,2mm teremos

V_b = 0,630 m³ x m³ de concreto

7- Cálculo da quantidade de brita Q_{brita}:

A quantidade de brita é dado por :

$Q_{brita} = V \times \gamma_{apa}^{brita} \times 1000$ (kg de brita / m³ de concreto)

Para γ_{apa}^{brita} =1,51 teremos:

Q_{brita} = 951,30 kg brita/ m³ concreto.

8-Cálculo do volume de areia V_{areia} :

$$V_{areia} = 1 - \left(\frac{Q_{cimento}}{\gamma_{abs}^{cimento} \times 1000} + \frac{Q_{água}}{1000} + \frac{Q_{brita}}{\gamma_{abs}^{brita} \times 1000} \right)$$

Para 20 MPa V_{areia} = 0,363 m³ de areia / m³ de concreto

Para 30 MPa V_{areia} = 0,336 m³ de areia / m³ de concreto

Para 40 MPa V_{areia} = 0,304 m³ de areia / m³ de concreto

9-Cálculo da quantidade de areia Q_{areia} :

$Q_{areia} = V_{areia} \times \gamma_{apa}^{areia} \times 1000$ (kg de areia / m³ de concreto)

$\gamma_{apa}^{areia} = 2,62$

Para 20 MPa $Q_{areia} = 0,362 \times 2,62 \times 1000 = 948,44$ kg/m³

Para 30 MPa $Q_{areia} = 0,335 \times 2,62 \times 1000 = 877,70$ kg/m³

Para 40 MPa $Q_{areia} = 0,304 \times 2,62 \times 1000 = 796,48$ kg/m³

A Tabela 3.3 apresenta o resumo das quantidades de dosagem para os traços piloto A, B e C

TABELA 3.3 - CONSUMO DE MATERIAL POR M³ DE CONCRETO

[redacted]

Nas Tabelas 3.4, 3.5 e 3.6 temos o consumo de material para moldagem de 18 corpos de prova 10 x 20 cm, 03 corpos de prova de 15 x 30 cm e cone para medida do slump de 30 x 20 x 10 cm para os traços A,B e C respectivamente.

TABELA 3.4 – CONSUMO DE MATERIAL PARA CORPOS DE PROVA TRAÇO A

Traço	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	PU (Kg)	Água (L)
A-0%	24	75,87	76,1	-	15,6
A-25%	24	56,90	76,1	0,71	15,6
A-50%	24	37,93	76,1	1,42	15,6
A-75%	24	18,97	76,1	2,13	15,6

TABELA 3.5 – CONSUMO DE MATERIAL PARA CORPOS DE PROVA TRAÇO B

TraçoB	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	PU (Kg)	Água (L)
B-0%	30	70,21	76,1	0	15,6
B-25%	30	52,66	76,1	0,66	15,6
B-50%	30	35,09	76,1	1,32	15,6
B-75%	30	17,54	76,1	1,98	15,6

TABELA 3.6 – CONSUMO DE MATERIAL PARA CORPOS DE PROVA TRAÇO C

[redacted]

Na Tabela 3.7 temos a quantidade de corpos-de-prova necessários para ensaios de cada traço.

TABELA 3.7 - QUANTIDADE DE CORPOS-DE-PROVA MOLDADOS PARA CADA TRAÇO

Substituição	Ensaio de Resistência à compressão (10x20)cm			Ensaio de Tração por compressão diametral e ensaio de absorção por imersão,índice de vazios(15x30)cm (28 dias)	Módulo de elasticidade (28 dias) (10x20)cm
	7 dias	28 dias	91 dias		
0%	5	5	5	3	3
25%	5	5	5	3	3
50%	5	5	5	3	3
75%	5	5	5	3	3
Total			72 corpos-de-prova (10x20)cm 12 corpos-de-prova (15x30)cm		

O concreto foi testado pelo ensaio de abatimento do tronco de cone no estado fresco e no estado endurecido, pelos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade, índice de vazios e absorção de água.

3.2.2. CONSISTÊNCIA DO CONCRETO-SLUMP-TEST

Um dos métodos mais utilizados para determinar a consistência é o ensaio de abatimento do concreto feito através do abatimento do tronco de cone, normalizado pela NBRNM 67 (ABNT, 1998) também conhecido pela designação em inglês como Slump-test, e que tem o seguinte procedimento:

O equipamento utilizado para a verificação do abatimento do tronco de cone nas obras é o Cone de Abrams (FIGURA 3.4), que é constituído de um tronco de

cone de chapa metálica, semelhante a um funil, com 30 cm de altura, base maior de 20 cm e base menor de 10 cm. O ensaio é feito sobre uma base rígida (chapa metálica) nivelada. O cone de Abrams deve ser colocado sobre a chapa nivelada e com funil superior, pronto para receber as camadas de concreto.

Antes da colocação do concreto a fôrma tronco-cônica deve ser umedecida.

No estudo, a amostra de concreto foi recolhida direto da betoneira, em quantidade suficiente para o ensaio (aproximadamente 30 litros) e colocado num carrinho-de-mão. Depois de colocada no carrinho, a amostra foi remisturada com uma pá, de forma a assegurar sua homogeneidade.

FIGURA 3.4 - CONE DE ABRAMS

Com instrumentos como haste, colher, régua ou trena, apoiando os pés sobre os estribos do cone para que fique firme, coloca-se a primeira das três camadas de concreto, até atingir aproximadamente 1/3 da altura da fôrma (FIGURA 3.5). Com a haste metálica, apiloa - se a primeira camada de maneira uniforme por toda a seção do cone com 25 golpes para ter o correto adensamento da camada.

Em seguida, repete-se a operação de enchimento e adensamento, para as duas outras camadas, evitando no adensamento que a haste penetre na camada anterior já adensada e com a haste metálica ou a régua, retira-se o excesso de concreto da superfície superior deixando nivelado.

FIGURA 3.5 - ENSAIO DE CONSISTÊNCIA

Retira-se o cone, puxando para cima, verticalmente, com cuidado.

Imediatamente após a retirada do cone, o mesmo é colocado invertido ao lado da massa abatida e com auxílio da haste como referência de altura, mede-se com a régua (trena) a distância a parte inferior da haste entre o centro (ponto médio) da massa, expressando o resultado em centímetros (FIGURA 3.6). O valor obtido determina a consistência do concreto que tem a denominação de SLUMP.

FIGURA 3.6 - ENSAIO DE CONSISTÊNCIA

Em obras que utilizam concreto convencional, o slump varia de 40 mm a 60 mm, em obras que utilizam concreto bombeado ou com excesso de ferragem ou formas estreitas usam-se slump que varia de 70 mm a 90 mm, e, em obras de parede diafragma, barretes ou peças muito esbeltas, usam-se slumps de 150 mm a 220 mm.

Neste trabalho usamos no cálculo dos traços denominados A , B e C o slump de 60 $\pm$ 10 mm.

3.2.3. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL SIMPLES

Resistência à compressão axial é o ensaio mais usado para o controle do concreto, tanto pela facilidade de execução e baixo custo quanto pela sua importância na segurança das estruturas. A resistência à compressão é tomada como base para caracterizar a qualidade do concreto. Ela foi medida pelo ensaio de compressão axial simples, no qual, CPs cilíndricos foram carregados até a ruptura por uma máquina de compressão.

O procedimento utilizado para o ensaio de resistência à compressão foi realizado segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007) nas idades de 7, 28 e 91 dias.

Os corpos-de-prova foram nivelados, de modo que suas superfícies se tornassem planas e perpendiculares ao eixo longitudinal, sendo utilizado enxofre para este fim.

Os corpos-de-prova foram rompidos na prensa para concreto EMIC modelo PC 200 I, com capacidade nominal de 200 tf (FIGURA 3.7).

FIGURA 3.7 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados dos ensaios nas idades de 7, 28 e 91 dias, foram tomados como resistência a média dos cinco corpos-de-prova para cada traço e para cada idade.

3.2.4. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

A resistência à tração pode ser medida por 3 diferentes ensaios normalizados: tração direta, compressão diametral e tração na flexão. Para caracterizar a resistência à tração do concreto, é comum utilizar apenas os ensaios de compressão diametral e de flexão. Nesta pesquisa foi utilizado o ensaio de tração por compressão diametral. Este ensaio idealizado pelo brasileiro Lobo Carneiro, mede a resistência à tração simples do concreto, baseando-se no princípio de que um cilindro, carregado diametralmente, recebe tensões de tração, além das de compressão, sendo a resistência à tração do concreto menor que a de compressão.

Para a realização do ensaio de resistência à tração por compressão diametral, um corpo-de-prova cilíndrico, com dimensão de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura, foi colocado com o eixo horizontal entre os pratos da prensa com o auxílio de duas hastes de madeira, sendo aplicada uma força até sua ruptura por tração indireta. O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado segundo a NBR 7222 (ABNT, 1994).

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado no 28º dia de idade em corpos-de-prova cilíndricos de dimensão 15 x 30 cm na máquina Emic, sendo utilizadas três amostras e tendo como resultado a média entre elas (FIGURA 3.8).

FIGURA 3.8 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

3.2.5. ENSAIO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTÁTICO

O módulo de elasticidade estático é a relação entre a tensão aplicada e a deformação elástica ocorrida, aquela que deixa de existir se a tensão no concreto for eliminada. O seu valor é utilizado para caracterizar a deformabilidade do concreto no cálculo de pavimentos e estruturas.

Foram moldados e capeados com enxofre, seguindo a NBR 5738 (ABNT, 2008), 5 corpos-de-prova cilíndricos de 100 x 200 mm para cada traço. Inicialmente, 2 corpos-de-prova foram ensaiados para determinação da resistência à compressão aos 28 dias pelo ensaio recomendado na NBR 5739 (ABNT, 2007), em uma prensa com capacidade para 200 toneladas, para que se tivesse uma definição da tensão de ruptura à compressão, de acordo com a recomendação da NBR 8522 (ABNT, 2008). Foi aplicado um plano de carga variando de 20% até 80% da carga última, sendo utilizados 3 corpos-de-prova irmãos, de acordo com NBR 8522 (ABNT, 2008). A cura dos corpos-de-prova foi realizada em câmara úmida, seguindo a recomendação da NBR 5738 (ABNT, 2008), sendo os corpos-de-prova ensaiados saturados (até 2 horas depois de retirados da câmara úmida) aos 28 dias na mesma prensa onde foi feito o ensaio de resistência à compressão. A prensa possui um sistema de controle de carga aplicada, possibilitando uma maior precisão e facilidade na leitura das deformações.

Estas deformações foram obtidas através de um aparelho eletrônico, medidor de deformação mecânica (LVDT) acoplado aos corpos-de-prova por meio de anéis presos aos mesmos por dois pontos diametralmente opostos (02 bases de medidas independentes), em seguida foram feitas as conversões dos valores anotados para unidades de comprimento (mm) com o auxílio de um equipamento para aferição do aparelho (FIGURA 3.9).

FIGURA 3.9 - ENSAIO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE

3.2.6. ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO E ÍNDICE DE VAZIOS

Aos 28 dias, conforme especificações da NBR 9778 (ABNT, 2005) foram feitos os ensaios da absorção de água por imersão e índice de vazios concreto, constituído por três amostras e considerando como resultado final a média entre elas. O ensaio de absorção de água permite avaliar parcialmente a durabilidade dos concretos, visto que a impermeabilidade é uma das características de um concreto durável.

A durabilidade do concreto está diretamente ligada à porosidade, frente à penetração de umidade, dióxido de carbono e outros agentes agressivos (meio ambiente), portanto, a avaliação foi realizada pela determinação da absorção e índice de vazios do concreto.

Os procedimentos para os ensaios de absorção de água e índice de vazios são:

1. Secar a amostra em estufa na temperatura de 100°C a 110°C por no mínimo 3 dias;
2. Resfriá-la ao ar até a temperatura ambiente e determinar a massa (A);
3. A amostra deve ser mantida com 1/3 de seu volume imerso em água durante 4 horas, 2/3 por mais 4 horas e completamente imerso por mais 64 horas, totalizando 72 horas (3 dias) de imersão;
4. Secar a superfície da mostra com um pano e determinar a massa (B);

5. Determinar a massa da amostra imersa em água após a saturação utilizando a balança hidrostática (C);
6. Colocar a amostra em um recipiente e ferver por 5 horas. Deixar esfriar por no mínimo 14 horas até a temperatura ambiente;
7. Secar a superfície da amostra com um pano e determinar a massa (D);
8. Determinar a massa da amostra imersa em água após saturação e fervura utilizando a balança hidrostática (E).

Após a determinação das massas, efetuam-se os cálculos para a determinação da absorção de água e índice de vazios,com a média das três amostras de ensaio sendo que:

A = massa, em g, da amostra seca em estufa;

B = massa, em g, da amostra saturada em água com a superfície seca;

C = massa, em g, da amostra imersa em água após a saturação;

D = massa, em g, da amostra após saturação e fervura;

E = massa, em g, da amostra imersa em água após saturação e fervura;

Cálculos efetuados com a média de três amostras de ensaio com aproximação de 0,1%.

a) Absorção após imersão em água com temperatura ambiente

$$= (B – A)/A \times 100$$

b) Absorção após imersão e fervura

$$= (C – A)/A \times 100$$

c) Índice de vazios após saturação em água

$$= [(B – A)/(B – D)] \times 100$$

d) Índice de vazios após saturação e fervura

$$= [(C – A)/(C – E)] \times 100$$

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados das caracterizações dos materiais utilizados para as misturas e os resultados obtidos nos ensaios de determinação da consistência, resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, absorção de água índice de vazios e módulo de elasticidade do concreto gerado.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1. AGREGADO GRAÚDO

O material graúdo utilizado foi a brita 1, proveniente de rocha de quartzo, fornecido pela empresa Comercio de Pedra e Areia Gai. Foram realizados os ensaios de determinação da composição granulométrica (TABELA 4.1); determinação da absorção e da massa especifica (TABELA 4.2); massa especifica na condição seca (TABELA 4.3); massa específica na condição saturada superfície seca (TABELA 4.4); absorção (TABELA 4.5); determinação da massa unitário em agregado solto (TABELA 4.6) e determinação do teor do material pulverulento (TABELA 4.7).

TABELA 4.1 - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Peneiras		Amostra 1	Amostra 2	Média	Amostra 1	Amostra 2	Média	Média
ASTM	**Mm**	**Retida (g)**	**Retida (g)**	**Retida (g)**	**% Retida**	**% Retida**	**% Retida**	**% Acum.**
1 ½	38	0	0	0	0,0	0,0	0	0
1 ¼	32	0	0	0	0,0	0,0	0	0
1	25	0	0	0	0,0	0,0	0	0
¾	19	0	0	0	0,0	0,0	0	0
½	12,5	3563	3552	3558	71,3	71,1	71	71
3/8	9,5	1062	998	1030	21,3	20,0	21	92
¼	6,3	0	0	0	0,0	0,0	0	92
4	4,76	198	189	194	4,0	3,8	4	96
8	2,38	0	0	0	0,0	0,0	0	96
16	1,19	0	0	0	0,0	0,0	0	96
30	0,59	0	0	0	0,0	0,0	0	96
50	0,297	0	0	0	0,0	0,0	0	96
100	0,149	0	0	0	0,0	0,0	0	96
FUNDO		174	254	214	3,5	5,1	4	100
TOTAL		4997	4993	4995	100,0	100	100	666
MASSA INICIAL (g) =		**5001**	**5000**	**MÓDULO FINURA=**		**6,66**		
DIF.MASSA ≤ 0,3 (%) =		**0,08**	**0,14**	**DIÂM. MÁXIMO=**		**19 mm**		

FONTE: BIANCO TECNOLOGIA DO CONCRETO

Com os dados da Tabela 4.1 foi elaborada a curva de granulométrica da brita 1, apresentada na Figura 4.1, e comparada com curvas granulométricas ideais para brita.

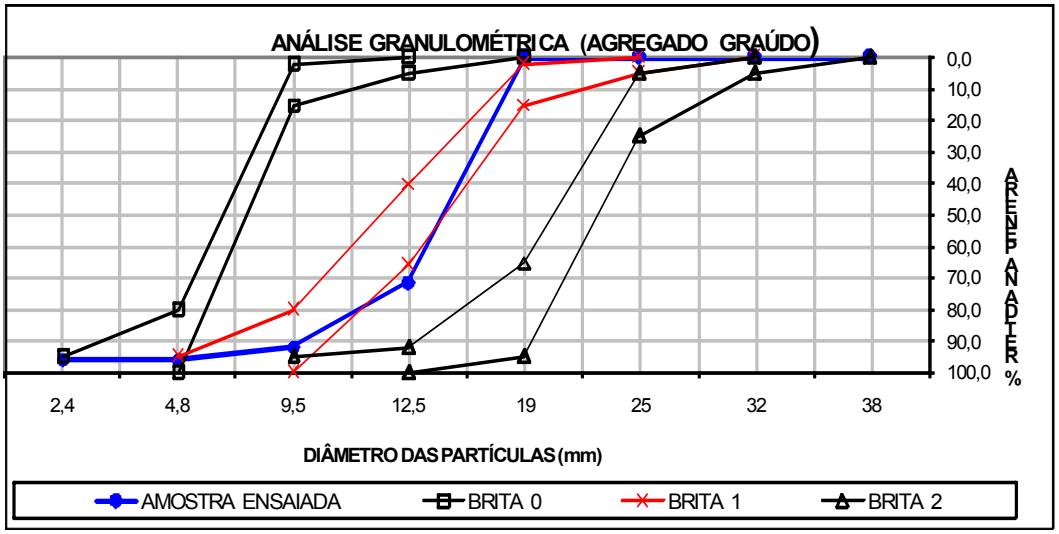

FIGURA 4.1 - CURVA GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO

FONTE: BIANCO TECNOLOGIA DO CONCRETO

TABELA 4.2 - DETERMINAÇÃP DA ABSORÇÃO E DA MASSA ESPECÍFICA DE AGREGADO GRAÚDO

Massa do agregado seco (g) =	2987	2983
Massa do agregado na condição Saturada Superfície Seca (g) =	3000	3001
Leitura correspondente ao agregado imerso em água =	1924	1921

FONTE:BIANCO TECNOLOGIA DO CONCRETO

TABELA 4.3 - MASSA ESPECÍFICA NA CONDIÇÃO SECA

1ª Determinação (g/cm³)=	2,78	Massa Específica =	2,77	g/cm³
2ª Determinação (g/cm³)=	2,76	Obs: Duas determinações não devem diferir entre si mais que 0,02g/cm³		
3ª Determinação (g/cm³)=	-	O resultado expresso deve ser expresso com três algarismos significativos.		

FONTE:BIANCO TECNOLOGIA DO CONCRETO

TABELA 4.4 - MASSA ESPECÍFICA NA CONDIÇÃO SATURADA SUPERFÍCIE SECA

1ª Determinação (g/cm³)=	2,79	Massa Específica =	2,78	g/cm³
2ª Determinação (g/cm³)=	2,78	Obs: Duas determinações não devem diferir entre si mais que 0,02g/cm³		
3ª Determinação (g/cm³)=	-	O resultado deve ser expresso com três algarismos significativos.		

FONTE: BIANCO TECNOLOGIA DO CONCRETO

TABELA 4.5 - ABSORÇÃO

1ª Determinação (%)=	0,44	Absorção =	0,52	%
2ª Determinação (%)=	0,60	Obs: Duas determinações não devem diferir entre si mais que 0,25%		
3ª Determinação (%)=	-	O resultado deve ser expresso com aproximação de 0,1%.		

FONTE: BIANCO TECNOLOGIA DO CONCRETO

TABELA 4.6 - DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA EM AGREGADO SOLTO

1ª Determinação (g/cm³)=	1,50	Massa Unitária =	1,51	g/cm³
2ª Determinação (g/cm³)=	1,52	Obs: Os resultados individuais não devem diferir em relação a média mais que 1%		
3ª Determinação (g/cm³)=	1,52	O resultado deve ser expresso com aproximação de 0,01kg/dm³.		

FONTE: BIANCO TECNOLOGIA DO CONCRETO

TABELA 4.7 - DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO

1ª Determinação (%)=	2,20	Teor de mat. Pulverulento	2,55	%
2ª Determinação (%)=	2,90	Obs: Os resultados individuais não devem diferir entre si mais que 0,5%.		
3ª Determinação (%)=	-	Exigências de Norma: ≤ 1,0%.		

FONTE: BIANCO TECNOLOGIA DO CONCRETO

Os resultados mostram que a pedra brita testada apresentou granulometria próxima à ideal e qualidade adequada para sua utilização na elaboração de concretos.

4.1.2. AGREGADO MIÚDO

4.1.2.1. Areia

O material miúdo utilizado foi a areia natural grossa, fornecida pela empresa Comercio de Pedra e Areia Gai.Foram realizados os ensaios de determinação da composição granulométrica (TABELA 4.8); determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman (TABELA 4.9); massa unitária em agregado solto (TABELA 4.10); determinação do teor do material pulverulento (TABELA 4.11) e determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo (TABELA 4.12)

TABELA 4.8 - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Peneiras		Amostra 1	Amostra 2	Média	Amostra 1	Amostra 2	Média	Média
ASTM	**Mm**	**Retida (g)**	**Retida (g)**	**Retida (g)**	**% Retida**	**% Retida**	**% Retida**	**% Acum..**
3/8	9,5	0	0	0	0,0	0,0	0	0
¼	6,3	0	0	0	0,0	0,0	0	0
4	4,76	16	19	18	4,6	5,4	5	5
8	2,38	58	60	59	16,6	17,1	17	22
16	1,19	81	91	86	23,1	26,0	25	46
30	0,59	72	70	71	20,6	20,0	20	67
50	0,297	62	57	60	17,7	16,3	17	84
100	0,149	40	36	38	11,4	10,3	11	95
FUNDO		21	17	19	6,0	4,9	5	100
TOTAL		350	350	350	100,0	100	100	318
MASSA INICIAL (g) =		**350**	**350**	**MÓDULO FINURA=**		**3,18**		
DIF.MASSA ≤ 0,3 (%) =		**0,00**	**0,00**	**DIÂM. MÁXIMO=**		**6,3mm**		

FONTE:BIANCO TECNOLOGIA DO CONCRETO

Com os dados da Tabela 4.8 foi elaborada a curva de granulométrica da areia, apresentada na Figura 4.2, e comparada com curvas granulométricas ideais para areia.

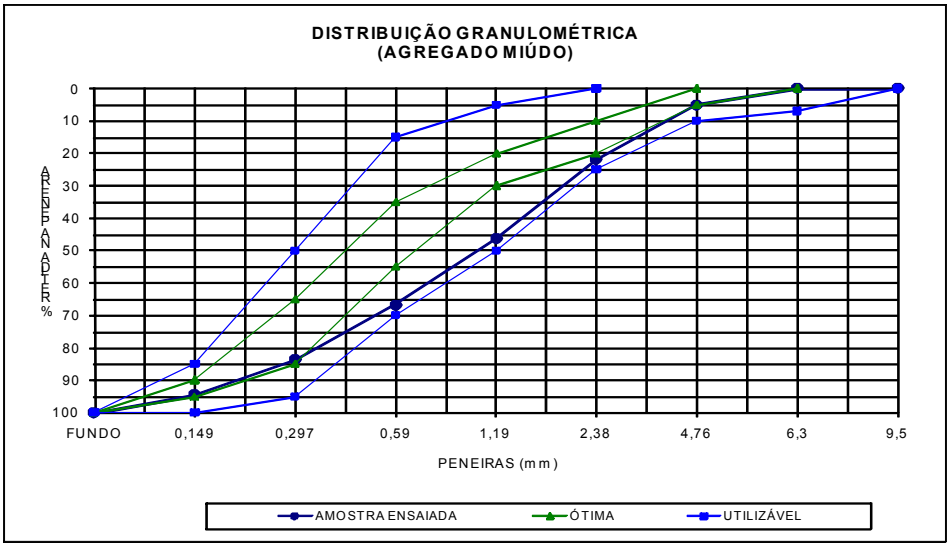

FIGURA 4.2 - CURVA GRANULOMÉTRICA DA AREIA

FONTE: BIANCO TECNOLOGIA DO CONCRETO

TABELA 4.9 - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DE AGREGADOS MIÚDOS POR MEIO DO FRASCO DE CHAPMAN

1ª Determinação (g/cm³)=	**2,62**	**Massa Específica =**	**2,62**	**g/cm³**
2ª Determinação (g/cm³)=	**2,62**	Obs: Duas determinações não devem diferir entre si mais que 0,05g/cm³		
3ª Determinação (g/cm³)=	**-**	O resultado deve ser expresso com três algarismos significativos.		

FONTE: BIANCO TECNOLOGIA DO CONCRETO

TABELA 4.10 - DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA EM AGREGADO SOLTO

1ª Determinação (g/cm³)=	**1,57**	**Massa Unitária =**	**1,58**	**g/cm³**
2ª Determinação (g/cm³)=	**1,58**	Obs: Os resultados individuais não devem diferir em relação a média mais que 1%		
3ª Determinação (g/cm³)=	**1,58**	O resultado deve ser expresso aproximação de 0,01kg/dm³.		

FONTE: BIANCO TECNOLOGIA DO CONCRETO

TABELA 4.11 - DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS

1ª Determinação (%)=	**1,90**	**Teor de mat. Pulverulento**	**1,85**	**%**
2ª Determinação (%)=	**1,80**	Obs: Os resultados individuais não devem diferir entre si mais que 1,0%.		
3ª Determinação (%)=	**-**	Exigências de Norma: $\leq$ 5,0% se natural e $\leq$ 12% se resultante de britamento.		

FONTE: BIANCO TECNOLOGIA DO CONCRETO

TABELA 4.12 - DETERMINAÇÃO DE IMPUREZAS ORGÂNICAS HÚMICAS EM AGREGADO MIÚDO

Mais clara que a padrão	**x**	Obs: Se o resultado do ensaio indicar mais escura que a padrão, submeter a amostra
Mais escura que a padrão		ao ensaio de qualidade de areia segundo a NBR-7221, para aprovação da mesma.

FONTE: BIANCO TECNOLOGIA DO CONCRETO

Através da curva granulométrica da areia e das Tabelas 4.8 a 4.12, os resultados apresentados mostraram que a areia utilizada para os concretos estão dentro dos valores aceitáveis por norma, sendo portando uma areia de boa qualidade para o uso a que se destinou.

4.1.2.2. Espuma rígida de poliuretano

Para a espuma rígida de PU, fornecida pela empresa Electrolux do Brasil foi feita a determinação da massa unitária em agregado solto (TABELA 4.13).

TABELA 4.13 - DETERMINAÇÃO DA MASSA ÚNITÁRIA EM AGREGADO SOLTO APÓS MOAGEM

1ª Determinação (g/cm³)=	**0,04**	**1 Massa Unitária =**	**0,04g/c m³**
2ª Determinação (g/cm³)=	**0,04**	Obs: Os resultados individuais não devem diferir em relação a média mais que 1%	
3ª Determinação (g/cm³)=	**0,04**	O resultado deve ser expresso aproximação de 0,01kg/dm³.	

FONTE: BIANCO TECNOLOGIA DO CONCRETO

Como o material é muito fino não foi possível realizar a composição granulométrica da espuma de PU, mas é possível observar seu histograma de tamanho de partículas, apresentado na Figura 4.3.

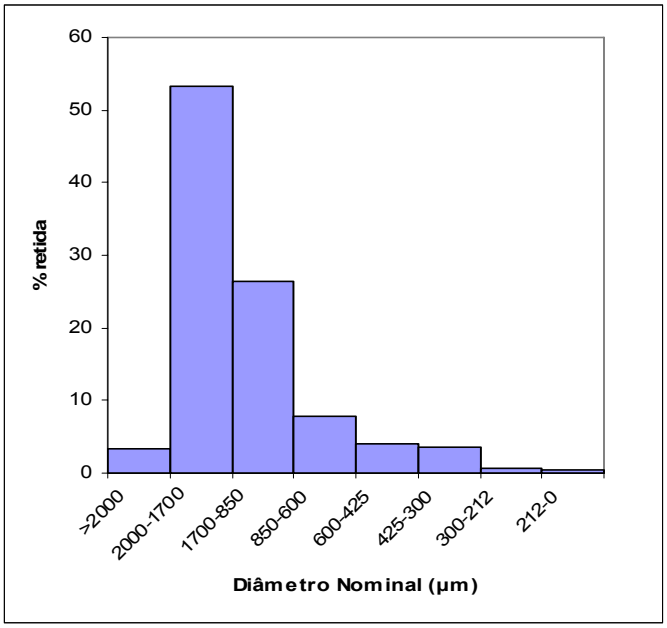

FIGURA 4.3 – HISTOGRAMA DE FREQUÊCIAS DO PU RÍGIDO MOÍDO

FONTE: PEROTA, L. RELATÓRIO TÉCNICO, PIBIC/UFPR, 2009

A Figura 4.3 apresenta o histograma de freqüências geral obtido após 30 minutos de peneiramento da espuma rígida de PU moída útilizando-se peneiras de

2,0mm; 1,7mm; 850µm; 600µm; 425µm; 300µm e 212µm. Observa-se que 53,4% das espumas moídas apresentaram granulometria entre 1,7 e 2,0mm, e 23,4% estiveram na faixa de 1,7mm a 850µm.

Com o objetivo de verificar a estrutura da espuma de PU após a sua moagem, foi feita a caracterização por microscopia eletrônica da espuma antes e após a sua moagem.

Microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Para comparar a microestrutura do PU rígido natural e moído foram estudadas imagens provenientes de microscopia eletrônica por varredura, apresentadas nas Figuras 4.4 a 4.7.

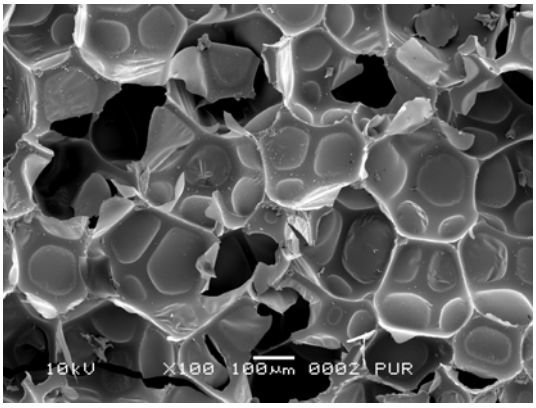

FIGURA 4.4 – PU RÍGIDO NATURAL – MEV 100X

FONTE: TESE TANOBE, V. O. A

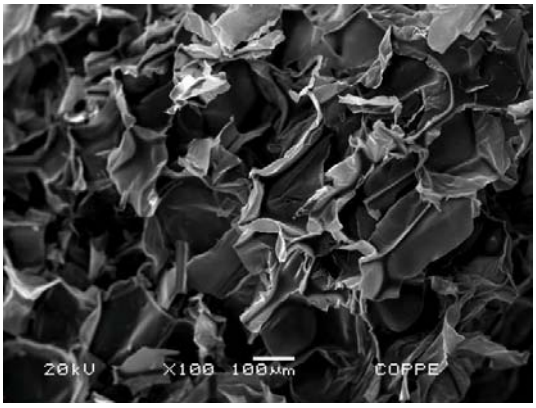

FIGURA 4.5 – PU RÍGIDO MOÍDO – MEV 100X

FONTE: COPPE – UFRJ

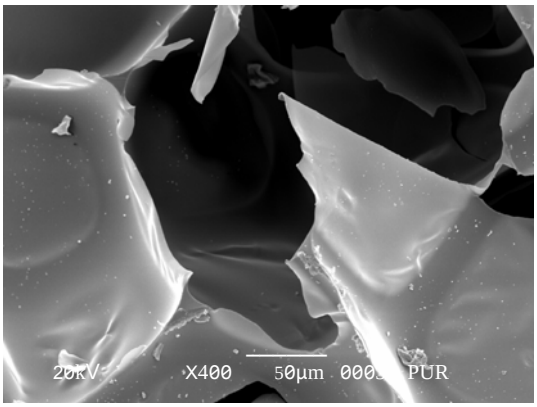

FIGURA 4.6 – PU RÍGIDO NATURAL – MEV 400X

FONTE: TESE TANOBE, V. O. A

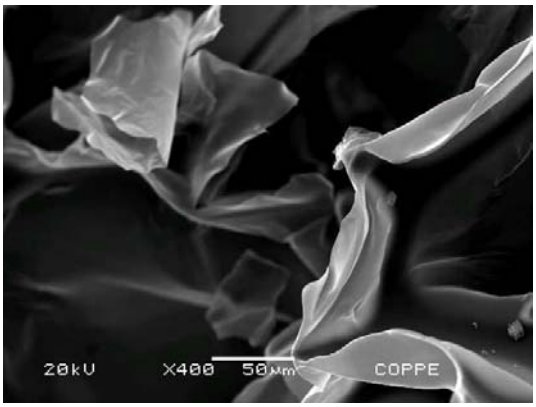

FIGURA 4.7 – PU RÍGIDO MOÍDO – MEV 400X

FONTE: COPPE – UFRJ

Na Figura 4.4 e 4.6 é possível observar os poros bem definidos com estrutura hexagonal da espuma rígida de PU antes da moagem. Na Figura 4.5 e 4,7, com a espuma rígida de PU moída, o material perde sua característica porosa, sendo constituída por filmes finos aglomerados de poliuretano.

4.2. DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

A consistência do concreto foi determinada conforme a NBRNM 67 (ABNT, 1998), sendo os resultados apresentados na Tabela 4.14.

O concreto apresentou homogeneidade e coesão, havendo um completo envolvimento dos agregados pela pasta.

TABELA 4.14 - DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE- SLUMP TEST

[redacted]

Sendo o slump adotado no cálculo dos traços A, B e C de 60+-10mm, podemos observar pela Tabela 4.14 e Figura 4.8 que a maior parte das misturas atingiram o slump desejado pois a água foi controlada na execução da mistura na betoneira. No traço A-75% foram necessárias adições mais controladas da água para buscar o abatimento do tronco de cone desejado, isto porque, observou-se brusca modificação de comportamento do concreto resultando no slump de 85 mm. Devido a esta dificuldade o teste foi executado duas vezes sendo que o slump não

se alterou, ficando em 85 mm. Analisando a provável causa desta diferença em relação aos outros resultados, conclui-se que o consumo de cimento no traço A é menor que no traço B e C, portanto, no traço A-75% o concreto ficou muito plástico devido ao fator água/cimento, considerando que a substituição de areia por PU é de 75% e o material de PU tem baixa absorção de água, resultando no alto valor de abatimento.

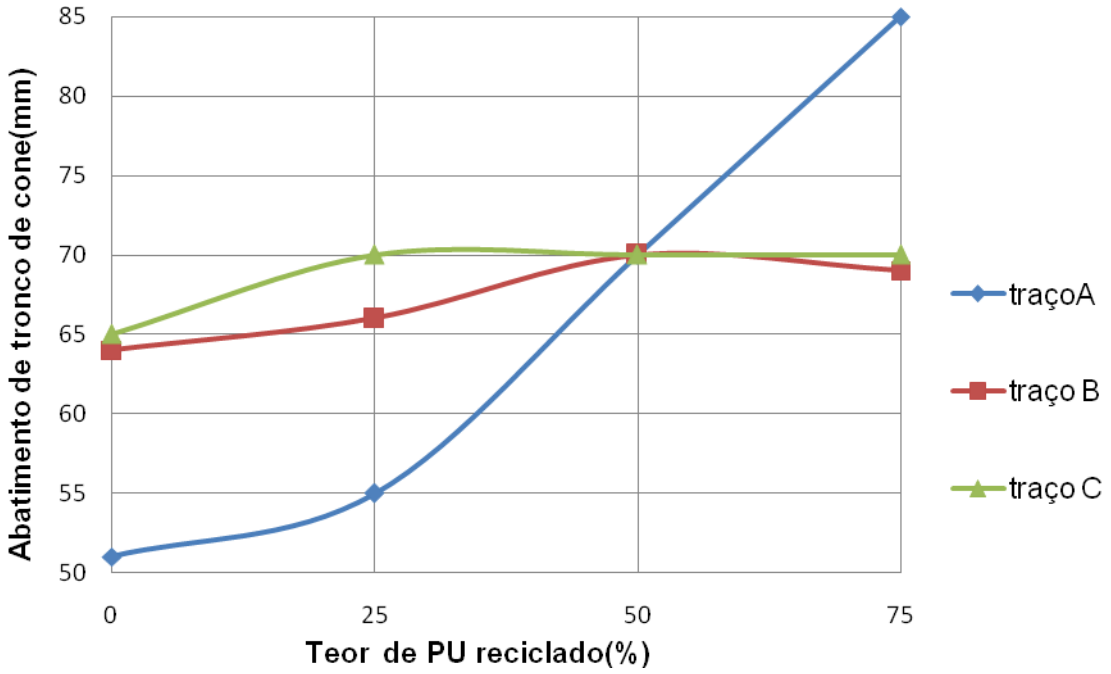

FIGURA 4.8 - GRÁFICO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

4.3. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

As resistências à compressão aumentaram significativamente a cada idade, de acordo com cada traço de concreto previamente estipulado. As resistências para cada classe de concreto diminuiu na medida em que houve aumento de substituição da areia pelo PU. Ensaios realizados conforme a norma de ensaio NBR 5739 (ABNT, 2007).

As Tabelas 4.15, 4.16 e 4.17 apresentam os resultados da resistência à compressão com o rompimento dos corpos-de-prova feito aos 7, 28 e 91 dias para os traços piloto A, B e C, e, substituições da areia pela espuma rígida de PU em 25%, 50% e 75% para cada traço.

TABELA 4.15 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO A

TRAÇO A	Rompimento (dias)	Resistência à Compressão (MPa)
0%(PU)	7	23,45
	28	27,05
	91	32,42
25%(PU)	7	16,70
	28	23,48
	91	27,10
50%(PU)	7	11,90
	28	17,10
	91	18,63
75%(PU)	7	7,44
	28	10,94
	91	12,70

Com os dados da Tabela 4.15 foi possível elaborar o gráfico de Resistência à Compressão Axial *versus* Tempo (FIGURA 4.9).

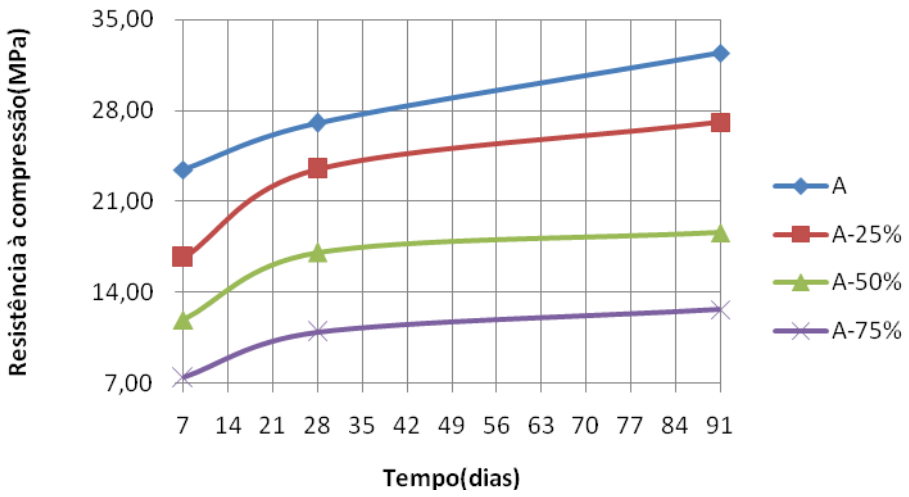

FIGURA 4.9 - GRÁFICO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA Á COMPRESSÃO PARA O TRAÇO A EM FUNÇÃO DAS IDADES 7, 28 E 91 DIAS

Observando o gráfico da Figura 4.4, verificamos que aos 28 dias a resistência à compressão para o traço A é maior que para o traço A-25% ,mas também podemos verificar que aos 91 dias o traço A-25% atinge valor ligeiramente maior que do traço piloto A aos 28 dias.

O traço A-50% e A-75% ficam muito abaixo do desejado.

TABELA 4.16 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO B

TRAÇO B	Rompimento (dias)	Resistência à Compressão(MPa)
0%(PU)	7	25,24
	28	31,16
	63	36,93
25%(PU)	7	21,00
	28	32,10
	91	35,52
50%(PU)	7	20,13
	28	26,03
	91	33,87
75%(PU)	7	13,80
	28	19,30
	91	22,92

Com os dados da Tabela 4.16 foi possível elaborar o gráfico de Resistência à Compressão Axial *versus* Tempo (FIGURA 4.10).

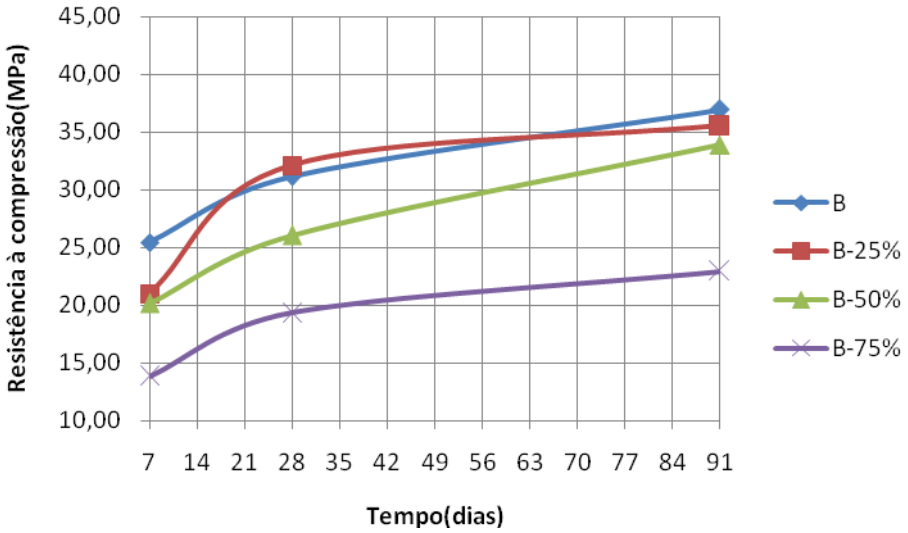

FIGURA 4.10 - GRÁFICO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA Á COMPRESSÃO PARA O TRAÇO B EM FUNÇÃO DAS IDADES 7, 28 E 91 DIAS

Analisando o gráfico da Figura 4.5 para o traço piloto B, temos um resultado muito melhor, pois aos 28 dias, o ensaio mostra que o traço B-25% ultrapassa os valores de resistência do traço piloto B e o traço B-50%, aos 91 dias, atinge valor ligeiramente superior comparado com o valor do traço piloto B.

TABELA 4.17 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO C

TRAÇO C	Rompimento (dias)	Resistência à Compressão(MPa)
0%(PU)	7	23,82
	28	36,52
	91	39,44
25%(PU)	7	24,53
	28	37,40
	91	41,30
50%(PU)	7	19,22
	28	26,46
	91	33,93
75%(PU)	7	14,43
	28	21,15
	91	28,95

Com os dados da Tabela 4.17 foi possível elaborar o gráfico de Resistência à Compressão Axial *versus* Tempo (FIGURA 4.11).

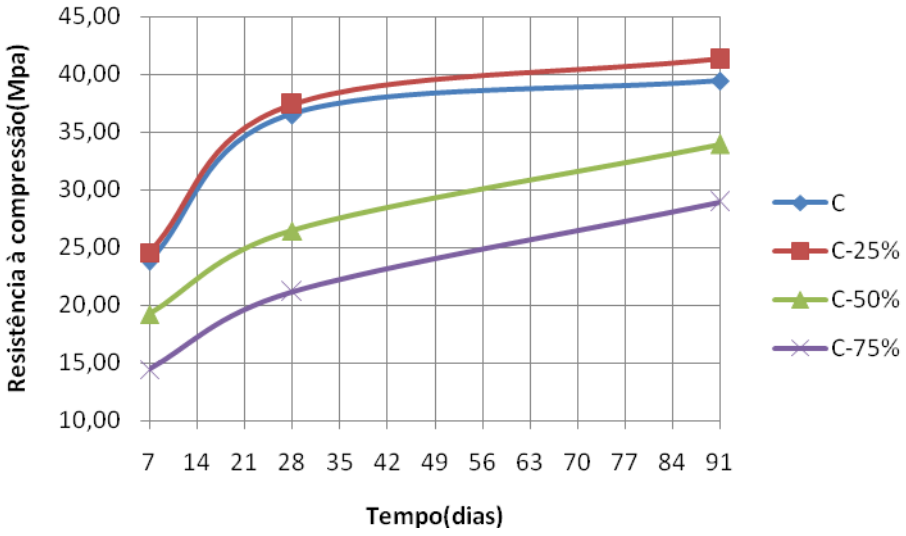

FIGURA 4.11 - GRÁFICO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA Á COMPRESSÃO PARA O TRAÇO C EM FUNÇÃO DAS IDADES 7, 28 E 91 DIAS.

Examinando o gráfico da Figura 4.6 onde temos os resultados do traço piloto C vemos que o traço C-25% ultrapassa os valores de resistência do traço piloto C aos 28 dias e aos 91 dias. O traço C-50% tem valores de resistência próxima ao encontrado para o traço piloto C aos 28 dias.

Para qualquer idade os valores medidos para o traço C-75% ficaram abaixo do desejado.

Observa-se que a evolução da resistência do concreto ao longo do tempo não se alterou significativamente nos concretos gerados com espuma rígida de PU. Na prática, é mais interessante que uma estrutura de concreto possa ser desenformada em menos tempo, ou seja, em até 28 dias, que é o tempo para que o concreto atinja a resistência de projeto. No entanto, pode ser economicamente vantajoso utilizar concretos com maiores teores de espuma de PU uma vez que em 91 dias a resistência desejada é obtida.

Analisando os resultados dos gráficos 4.15, 4.16 e 4.17 podem afirmar que, quanto maior a resistência à compressão axial desejada, melhores foram os resultados encontrados com os traços onde se utilizou a substituição da areia pela espuma rígida de PU.

Nas adições de 25% de PU os concretos testados tiveram seu melhor resultado em relação à compressão axial, sendo que o traço A-25% chegou a 87% do valor atingido no traço piloto A em 28 dias. Nos traços B-25% e C-25% o valor atingido aos 28 dias superou o traço piloto em 3%. Portanto, com um eficiente controle de produção, é possível produzir concretos com resistência estrutural, e, dependendo do traço utilizado, os concretos produzidos com PU atingirão resistência maior que concretos produzidos com agregados naturais.

4.4. DETERMINAÇÃO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

O valor usualmente adotado para a resistência a tração do concreto (Rt) é de 5% a 10% do valor atingido na resistência a compressão (Rc), isto porque o concreto não resiste bem à tração. Os concretos obtiveram resistência à tração por compressão diametral conforme Tabela 4.18.

TABELA 4.18 - RELAÇÃO Rc/Rt

%mistura	Resistência à Tração por Compressão diametral (Rt)			Resistência à compressão axial (Rc)			Relação Rc / Rt		
	Traço			Traço			Traço		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	4,40	3,90	4,00	27,05	31,16	36,52	6,15	7,99	9,13
25	2,63	3,35	3,96	23,48	32,10	37,40	8,93	9,58	9,44
50	2,20	2,75	3,13	17,10	26,03	26,45	7,77	9,47	8,45
75	1,50	2,03	3,13	10,94	19,30	21,15	7,29	9,51	6,76

Todas as composições com espuma rígida de PU apresentaram resultados de tração por compressão diametral inferior aos respectivos traços piloto.

Nos concretos com maior consumo de cimento, os teores de PU alteram em menor intensidade o comportamento da queda de resistência à tração.

Para todos os traços, à medida que se aumenta a substituição da areia por PU, a resistência à tração por compressão diametral diminui. Na medida em que se tem um concreto mais resistente, tem-se resistência à tração por compressão diametral menor, o que era esperado. Devemos ressaltar que, nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, todos os traços, analisando cada traço individualmente, alcançaram valores já consagrados na relação resistência à compressão axial pela resistência por compressão diametral, que é de 1/10.

Com os valores encontrados para o ensaio de resistência à compressão diametral da Tabela 4.18 foram elaborados os gráficos das Figuras 4.12 a 4.15.

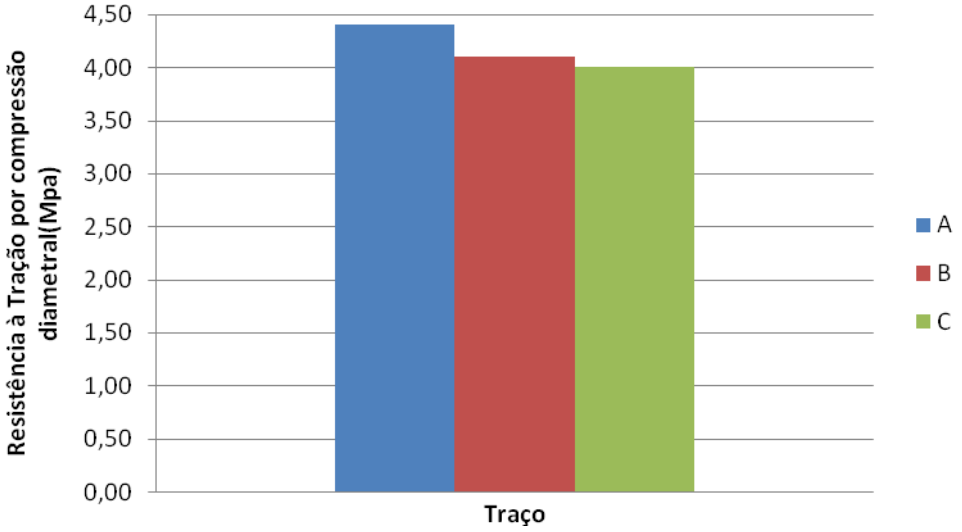

FIGURA 4.12 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL PARA OS TRAÇOS PILOTOS A, B E C

Analisando o gráfico da Figura 4.12 onde se tem o resultado dos ensaios de tração por compressão diametral para os traços piloto A, B e C, é possível visualizar que quanto maior foi a resistência desejada, menor foi a resistência a tração. Este comportamento pode ser relacionado à quantidade de cimento na mistura, pois o cimento é o material que de maior rigidez na mistura e dá resistência ao concreto.

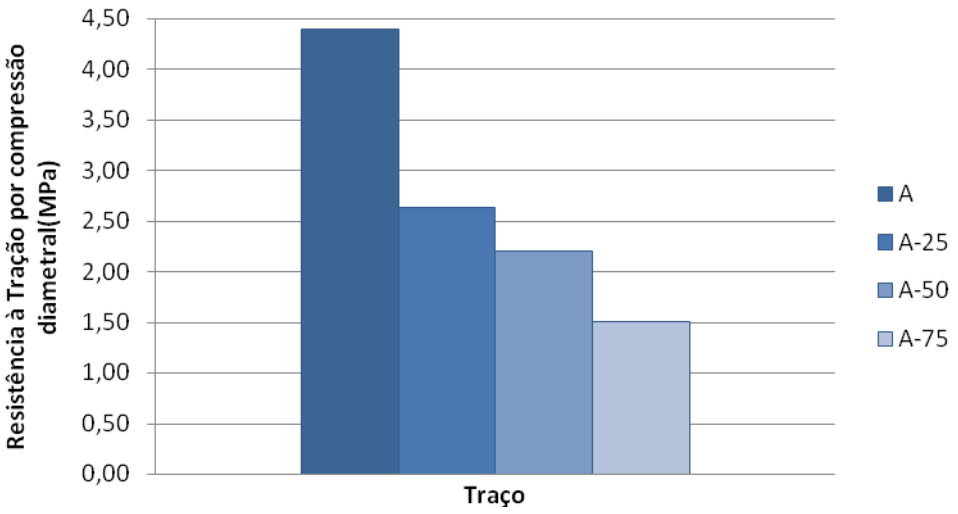

FIGURA 4.13 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL PARA O TRAÇOS A, A25%, A50% E A75%

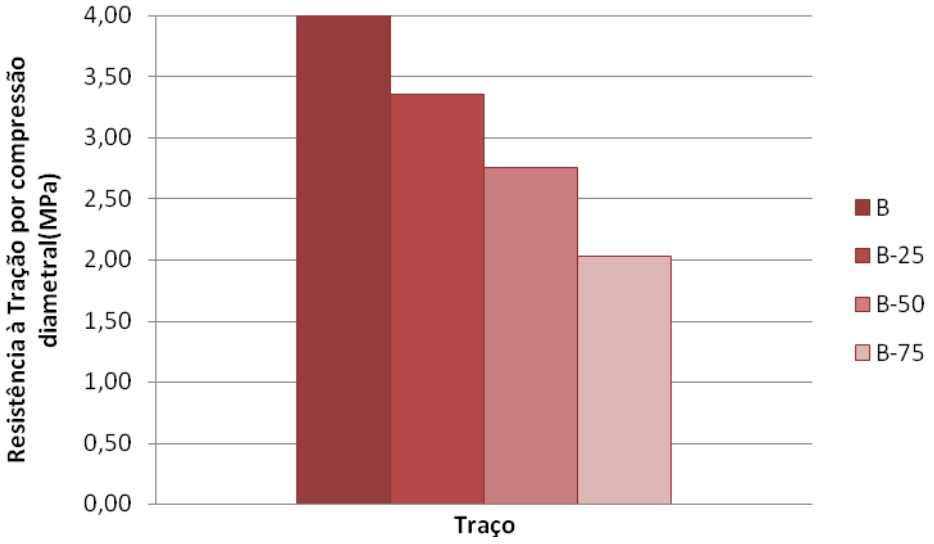

FIGURA 4.14 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL PARA O TRAÇOS B ,B25%, B50% E B75%

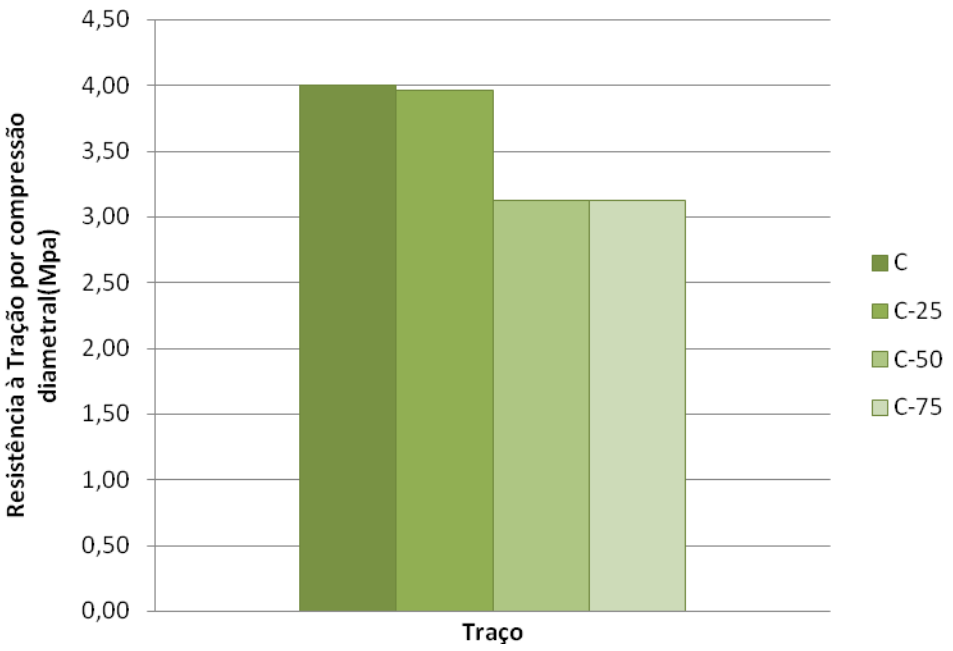

FIGURA 4.15 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL PARA O TRAÇOS C ,C25%, C50% E C75%

Analisando o gráfico das Figuras 4.13 a 4.15, onde se tem o resultado dos ensaios de tração por compressão diametral para os traços piloto A, B e C e suas substituições de areia por espuma rígida de PU, pode-se concluir que quanto maior quantidade de PU no traço, menor será a resistência à tração.

4.5. ABSORÇÃO D'ÁGUA E ÍNDICE DE VAZIOS

Os valores encontrados nos ensaios de absorção de água e índice de vazios estão apresentados na Tabela 4.19

TABELA 4.19 - RESULTADO ENSAIOS ABSORÇÃO D`ÀGUA E ÍNDICE DE VAZIOS

Mistura %	Absorção de água (%)			Índice de vazios (%)		
	Traço			Traço		
	A	B	C	A	B	C
0	5,15	3,79	4,38	12,04	9,18	8,60
25	5,95	6,66	6,16	13,96	14,80	18,78
50	6,74	4,12	5,99	15,54	9,56	13,78
75	9,31	7,06	4,79	19,60	15,56	11,18

Com os dados da Tabela 4.19 foram elaborados os gráficos da Figura 4.16 a 4.19.

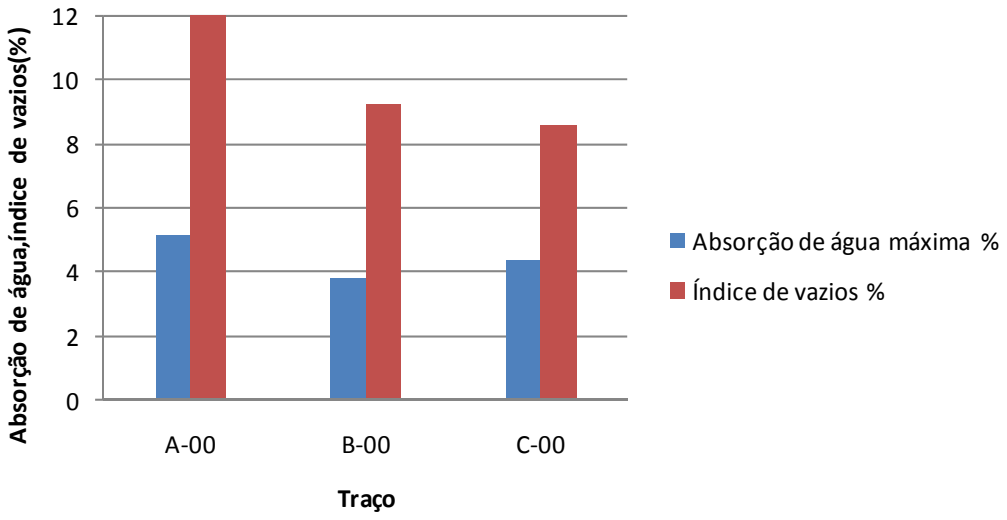

FIGURA 4.16 - ÍNDICE DE VAZIOS, ABSORÇÃO DE ÁGUA MÁXIMA PARA TRAÇO A, TRAÇO B, TRAÇO C

Com os dados do gráfico da Figura 4.16, quanto maior a resistência do concreto, menor será o índice de vazios, e, a absorção de água.

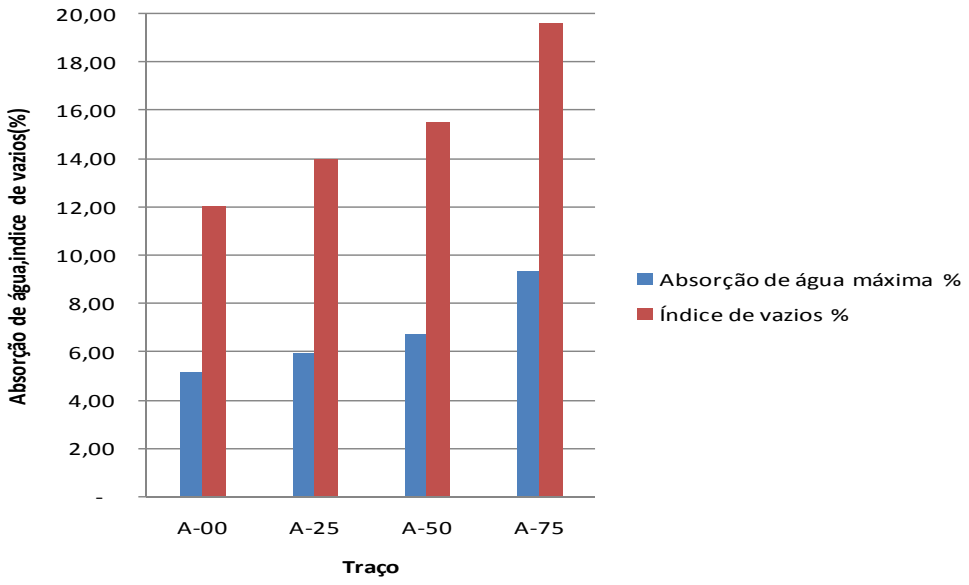

FIGURA 4.17 - ÍNDICE DE VAZIOS, ABSORÇÃO DE ÁGUA MÁXIMA PARA TRAÇO A, A-25%, A-50% e A7-5%

Analisando os dados da Figura 4.17, pode-se observar que quanto maior a porcentagem de substituição da areia pela espuma rigida de PU para o traços A,

maior foi índice de vazios e maior foi a absorção de água .Apesar da perda da estrutura porosa da espuma após a moagem, o poliuretano na forma de filme é também um material pouco denso, o que justifica o aumento do índice de vazios e absorção de água. É importante salientar, no entanto, que o poliuretano não tem afinidade pela água.

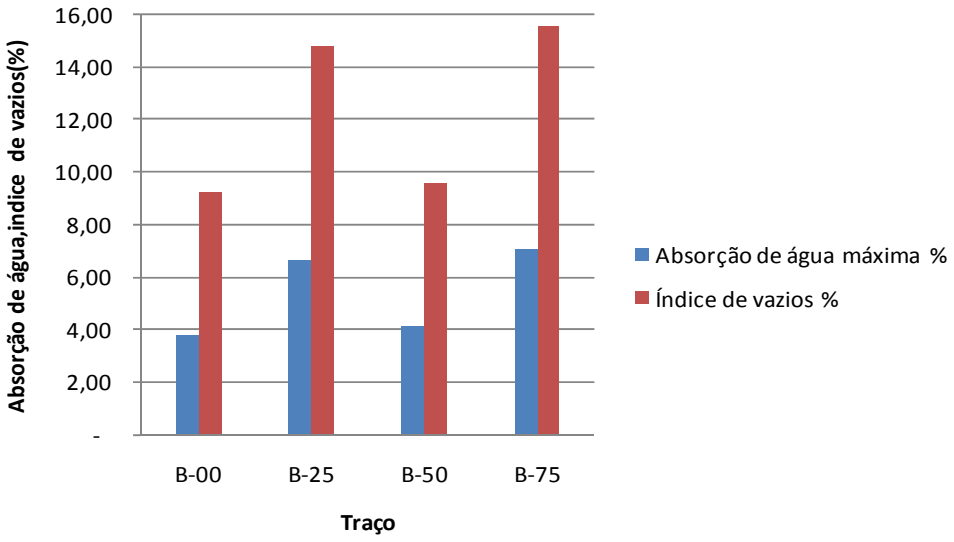

FIGURA 4.18 - ÍNDICE DE VAZIOS, ABSORÇÃO DE ÁGUA MÁXIMA PARA TRAÇO B, B-25%, B-50% e B-75%

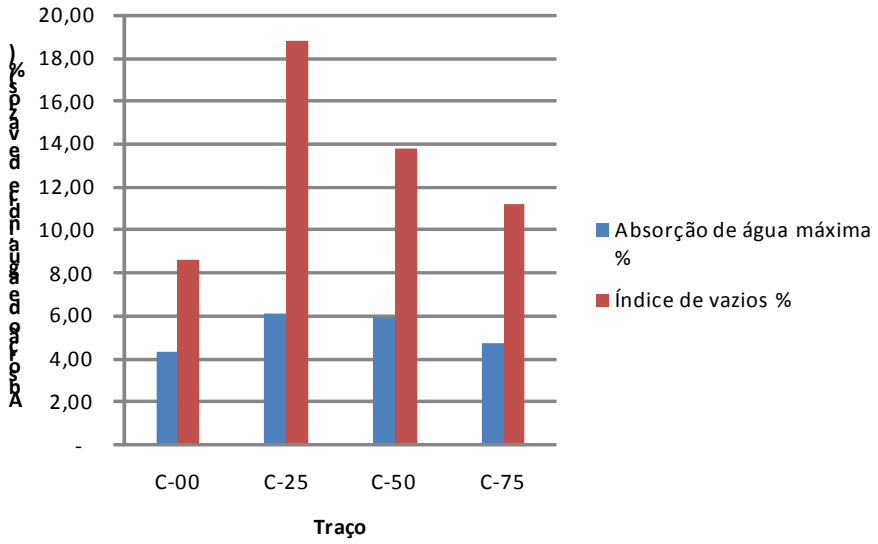

FIGURA 4.19 - ÍNDICE DE VAZIOS, ABSORÇÃO DE ÁGUA MÁXIMA PARA TRAÇO C, C-25%, C-50% e C-75%

Analisando os dados da Figura 4.18 e 4.19, pode-se observar que quanto maior a porcentagem de substituição da areia pela espuma rígida de PU para os traços B-25%, B-50% e B-75%, e, C-25%, C-50% e C-75%, em relação ao traço piloto B, e, C, maior será o índice de vazios e maior será a absorção de água.

Neste ensaio é possível afirmar que o índice de vazios aumentou com a substituição do PU ao concreto, o que é era esperado, pois apesar de a espuma rígida de PU moída não ser porosa, ela é formada por filmes finos de poliuretano e é pouco densa, conforme discutido em 4.5.

No Traço A os valores de absorção aumentaram com o aumento do teor de substituição de PU. No traço B não se identifica um comportamento que possibilite uma conclusão. No Traço C os valores indicam que para 25% de substituição de PU, os resultados de absorção atingiram os máximos valores.

4.6. MÓDULO DE ELASTICIDADE

Neste trabalho foram analisados os seguintes fatores influentes no módulo de elasticidade: diferentes relações água/cimento, diferentes consistências do concreto fresco, diferentes volumes de pasta por metro cúbico de concreto, diferentes resistências à compressão e diferentes teores de agregado. Os resultados obtidos para a resistência à compressão e o módulo de elasticidade estão apresentados na Tabela 4.20.

TABELA 4.20 - RESULTADOS DO ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE

Traço	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência à compressão simples (MPa)
A-00	34,60	30,30
B-00	32,93	32,03
C-00	35,36	40,58
A-25	21,43	22,06
B-25	25,05	29,75
C-25	32,86	38,60
A-50	18,9	13,60
B-50	28,4	30,60
C-50	24,83	27,40

Com os dados da Tabela 4.20 foram elaborados os gráficos das Figuras 4.20 a 4.23.

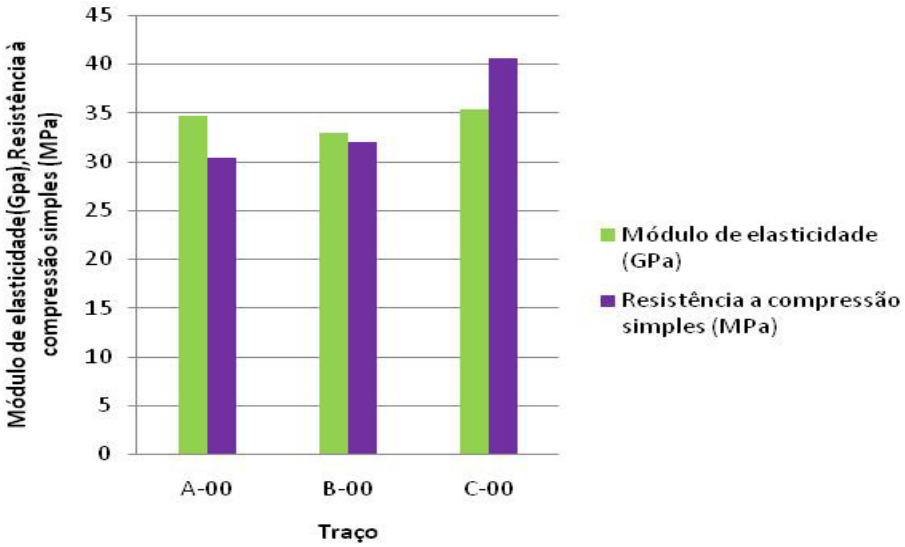

FIGURA 4.20 - MÓDULO DE ELASTICIDADE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO A, B e C

Um concreto de maior resistência à compressão também será o de maior módulo de elasticidade. Os resultados obtidos no gráfico da Figura 4.20 mostram que essa relação ocorre quando comparado com os traços piloto A, B e C.

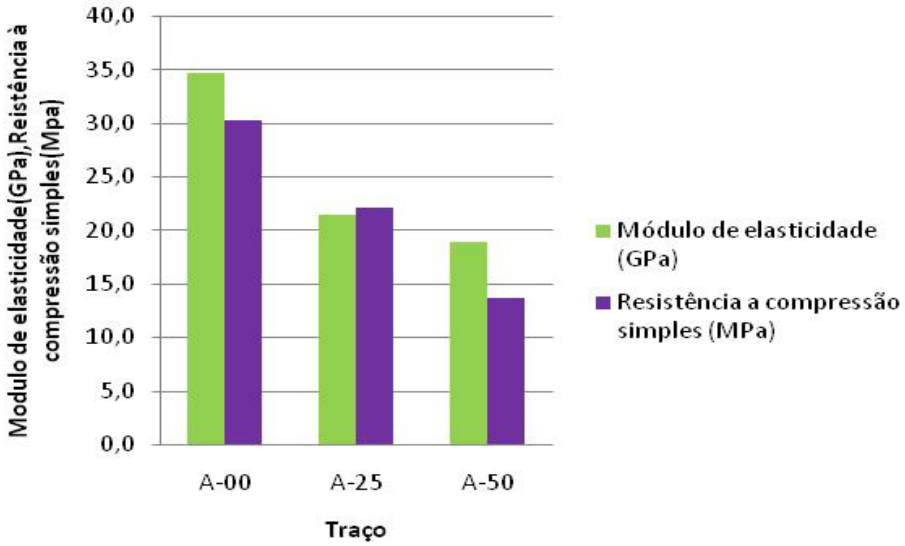

FIGURA 4.21 - MÓDULO DE ELASTICIDADE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO A, A-25% e A-50%

Analisando o gráfico Figura 4.21 e comparando o traço piloto A com os traços A-25% e A-50%, pode-se afirmar que quanto maior o teor de substituição da areia

pela espuma rígida de PU, menor será módulo de elasticidade e, consequentemente, será menor a resistência à compressão.

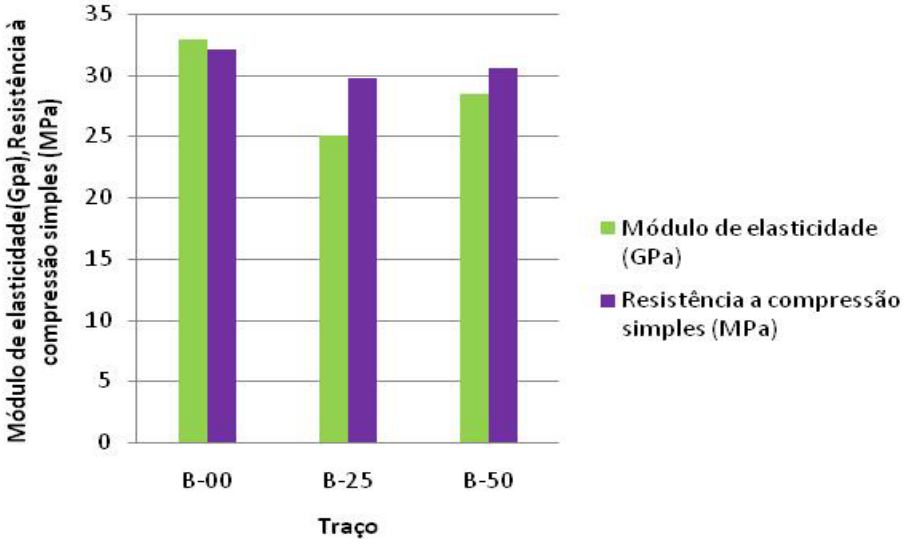

FIGURA 4.22 - MÓDULO DE ELASTICIDADE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO B, B-25% e B-50%

Os resultados da Figura 4.22 mostram que o módulo de elasticidade diminui à medida em que se aumentou o teor de substituição de areia pela empuma rígida de PU, mas em proporção menor que no traço A.

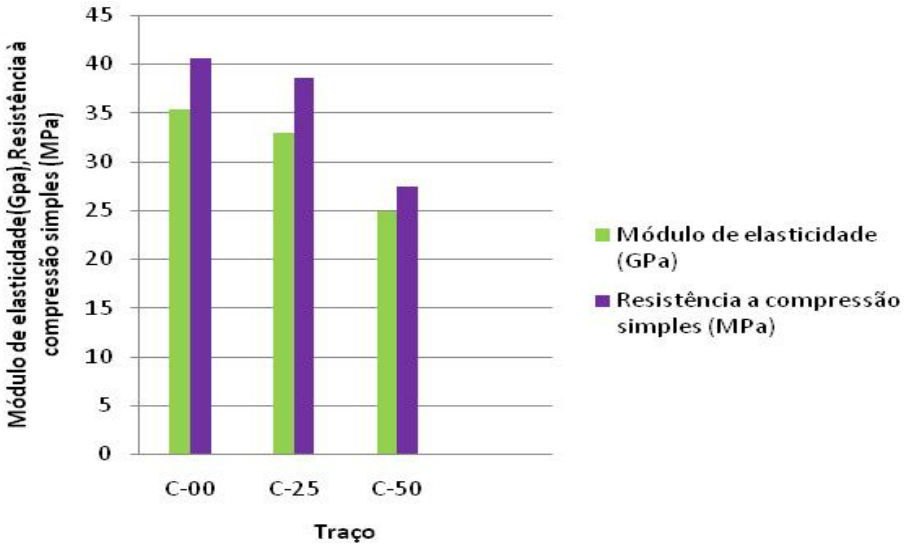

FIGURA 4.23 - MÓDULO DE ELASTICIDADE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA O TRAÇO C, C-25% e C-50%

Na Figura 4.23 verifica-se que com a substituição de 25% da areia pelo PU pós-consumido os valores se aproximam. Os valores dos ensaios do módulo de elasticidade diminuíram na medida em que foram aumentadas as porcentagens de substituição da areia pela espuma rígida de PU.

Sabendo que o módulo de elasticidade avalia a resistência do material à deformação elástica, que é uma medida da sua rigidez, que materiais com baixo módulo deformam muito elasticamente quando sujeitos a solicitações mecânicas e, considerando ainda que o agregado e a pasta apresentaram comportamento elástico, o mesmo não acontece com o concreto, pois ele apresenta microfissuras antes do carregamento que ficam localizadas na zona de transição (pasta-agregado) afetando o módulo de elasticidade. Os valores obtidos nos gráficos das Figuras 4.21, 4.22, e 4.23 ficaram dentro do esperado.

4.7. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DA ESPUMA RÍGIDA DE PU PÓS-CONSUMIDA EM SUBSTITUIÇÃO À AREIA EM CONCRETO

Existem restrições legais impostas à extração de agregados miúdos naturais porque ela colabora com a degradação ambiental, e tem-se procurado pelo meio técnico, alternativas para substituir os agregados miúdos naturais. Com a escassez da areia próxima aos grandes centros, e com distâncias cada vez mais longas para sua extração, o custo da areia é muito alto.

A espuma rígida de PU, proveniente de geladeiras e congeladores, é um rejeito industrial e representa um grande passivo ambiental, e, quem a fabrica é obrigado pela legislação a dispor este material em aterros especiais, por causa de sua toxicidade. Assim, dar um destino final às espumas de PU, além de ser uma solução econômica, é também uma ajuda a questão ambiental. Além disto, embora não tenha sido abordado neste trabalho, as propriedades como o isolamento térmico e acústico de concretos contendo espuma de PU, podem vir a ser vantajosas quando comparadas a concretos sem espuma de PU. É preciso avaliar estas propriedades e também o comportamento dos concretos contendo as espumas de PU em relação ao fogo, já que o PU é tóxico, mas pode ficar protegido pelos componentes do concreto e não causar malefícios.

As espumas rígidas de PU necessitariam tão somente de um local e máquinas com proteção para que fossem moídas com segurança, sendo que este procedimento poderia ser feito dentro da própria fábrica e colocado à disposição do consumidor de forma gratuita, e ainda gerando para a empresa economia porque o material não será transportado e disposto. É um material abundante no mercado para aquisição, pois é usado por todas as empresas que trabalham com refrigeração.

A Tabela 4.21 refere-se ao estudo simplificado da viabilidade financeira do uso da espuma rígida de PU em concretos para a substituição de 25% da areia pela espuma rígida de PU, onde foi considerado preço da areia por m³, custo do transporte, disposição e moagem da espuma rígida de PU.

TABELA 4.21 - ANALISE FINANCEIRA SIMPLIFICADA

			Traço A	Traço B	Traço C
AREIA	a	Volume de areia para 1 m³ de concreto	0,362	0,335	0,304
	b	Volume de areia substituído (25%)	0,091	0,084	0,076
	c	Custo areia por m³	52,00	52,00	52,00
	d	Custo da areia substituída	4,71	4,36	3,95
PU	e	Volume de PU para 1 m³ de concreto	0,091	0,084	0,076
	f	Custo transporte e disposição do PU por m³	13,50	13,50	13,50
	g	Custo transporte e disposição	1,22	1,13	1,03
	h	Custo moagem do PU por m³	0,10	0,10	0,10
	i	Custo de moagem	0,01	0,01	0,01
TOTAL ECONOMIZADO NO PROCESSO (d + g - i)			5,92	5,48	4,97
TOTAL ECONOMIZADO PELA INDÚSTRIA POR m³ DE PU (f - h)				R$ 13,40	

Com os dados da Tabela 4.21, para elaboração do concreto com 25% de espuma rígida de PU economiza-se 25% de areia natural (b) quando substituída pela espuma rígida de PU pós-consumida (e). Para a avaliação econômica deve ser considerado o custo da areia substituída (d), o custo de transporte e disposição do mesmo volume de PU (g), além custo de moagem deste volume de espuma rígida de PU (i).

O cálculo do volume de areia para 1m³ de concreto está apresentado na seção 3, subitem 3.2.1.1. O custo de areia por m³ foi fornecido pela empresa J A Gai Comércio e Extração de Areia (c). O custo de transporte e disposição do resíduo de PU (f) foi fornecido pela empresa Electrolux do Brasil. O custo de moagem do PU por m³ (h) foi considerado igual ao custo de moagem de cerâmica, disponível no site da empresa Manfredini e Schianchi (2009), sendo calculado por:

Considerando que o PU tem 40 kg / m³, terá 25 m³ / t

(h) = 0,08 euros/t x R$ 3,06 (cambio do dia 15/02/2009) x 25 m³ / t

(h) = R$0,10 / m³

As demais linhas foram calculadas através de:

Volume de areia substituído:	(b) = (a) x 0,25
Custo da areia substituída:	(d) = (c) x (b)
Volume de PU para 1m³ de concreto:	(e) = (a)
Custo de transporte e disposição:	(g) = (f) x (e)
Custo de moagem:	(i) = (h) x (e)
Total economizado no processo:	(d + g - i)
Total economizado pela indústria por m³ de PU:	(f - h)

Na Tabela 4.21 pode-se verificar que o traço com maior o consumo de areia terá a maior economia dentro do processo de produção do concreto. Para a indústria que possui a espuma rígida de PU o total economizado será de R$13,40 (treze reais e quarenta centavos) por m³ do material, pois ela não terá o gasto com transporte e aterro especial, devendo somente fazer a moagem e colocando o material a disposição do mercado, tornando-a uma empresa ecologicamente correta e bem conceituada, ao promover a possibilidade de reutilização de seu resíduo. Para empresa que produz o concreto a economia está na não utilização da areia representado na linha “d” variando conforme o traço.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com os resultados apresentados neste estudo sobre o concreto com a substituição do agregado miúdo pela espuma rígida de PU pós-consumida podem ser estabelecidas as seguintes conclusões:

- os resultados das características do agregado graúdo (brita) e agregado miúdo (areia) são adequados para utilização no concreto, pois todos os valores foram adequados, sendo que o diâmetro máximo do agregado graúdo é de 19 mm e o módulo de finura da areia é de 3,18 mm. O ensaio para ao agregado miúdo, espuma rígida de PU, ficou prejudicado devido à sua espessura, sendo possível somente determinar massa unitária;
- a espuma rígida de PU, em substituição à mesma proporção do volume de areia na elaboração do concreto, alterou a trabalhabilidade da mistura somente no traço A-75%, sendo que os outros traços atingiram o slump de projeto 60±10 mm no ensaio de tronco de cone;
- ocorreram perdas na resistência mecânica do concreto com a substituição da areia pela espuma rígida de PU, sendo que estas perdas foram lineares ao teores de substituição e classe de resistência. As maiores perdas foram verificadas na resistência à compressão;
- os resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias, para o traço A, B e C, comparado com o teor de substituição de 75% da areia pela espuma rígida de PU, apresentaram resultados muito aquém quando comparados com o traço de referência. Nos ensaios com teor de 50% de substituição da areia pela espuma rígida de PU, os traços A, B e C obtiveram resistência à compressão aos 28 dias inferiores aos resultados do traço de referência. Para o teor de 25% de substituição da areia pela espuma rígida de PU, os ensaios resistência à compressão aos 28 dias foram ótimos, sendo que no traço B e C, os resultados ultrapassaram os valores de referência;
- no estudo da resistência à tração por compressão diametral em relação aos valores obtidos nos traços piloto, todas as composições com

espuma rígida de PU apresentaram resultados de tração por compressão diametral inferior aos respectivos traços piloto;

- o índice de vazios e a absorção de água do concreto endurecido aumentaram com o aumento do teor da substituição da areia pela espuma rígida de poliuretano para os traços A, B e C, comparado com os traços de referência;
- os valores dos ensaios do módulo de elasticidade diminuíram na medida em que foram aumentadas as porcentagens de substituição da areia pela espuma rígida de PU;
- no estudo da avaliação econômica feito para a substituição de 25% da areia pela espuma rígida de PU pós-consumida, pode-se concluir que é viável sua utilização gerando uma economia para processo de elaboração do concreto conforme o traço, e, economia para a indústria de R$ 13,40 por m³ de espuma rígida de PU pós consumido;
- os concretos pesquisados podem ser utilizados estruturalmente em princípio em qualquer situação em pequenas obras de baixa importância técnica, como residências térreas em elementos de vedação, também em peças de pequena responsabilidade estrutural, desde que a resistência exigida (requerida) seja atendida e não seja solicitado ao desgaste. Também pode ser utilizado na indústria de artefatos de cimento e concreto nas mesmas condições de solicitações, em elementos construtivos auxiliares ou complementares como: meio fio, sarjetas, canais simples, bueiros, calçadas, blocos, elementos de decoração e adorno.

A espuma rígida pós-consumida de PU é um material que pode ser aproveitado no concreto. Sua utilização é desejável do ponto de vista ecológico, por aumentar a vida útil de um resíduo tóxico e substituir parcialmente a areia natural, um recurso limitado. É importante ressaltar, no entanto, que a utilização da espuma rígida de PU não resolve o problema ambiental ligado à exploração da areia, visto que sua produção anual é muito inferior ao consumo anual de areia. Assim, a utilização de PU em concretos reduz minimamente a exploração da areia, mas sua grande vantagem é dar um melhor destino às espumas de PU pós-consumidas, evitando a necessidade de se utilizar aterros especiais para o seu decarte. Sua utilização é viável do ponto de vista técnico apresentado neste estudo, desde que os

traços de concreto sejam bem dosados e tenham um bom controle tecnológico na sua produção.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Estudo da utilização de aditivos em concretos produzidos com agregados reciclados.

Estudo da espuma rígida de poliuretano pós-consumido em argamassas de revestimento das paredes.

Avaliação da utilização de diferentes espumas rígidas de PU e estudo estatístico do desempenho dos concretos usando as diferentes granulometrias de espumas.

Avaliação dos concretos contendo espumas rígidas de PU pós- consumida em termos de isolamento térmico e acústico.

Avaliação dos concretos contendo espumas rígidas de PU pós-consumida em termos de inflamabilidade e produção de produtos tóxicos na queima.

Estudo de durabilidade dos concretos com a substituição da areia pelo PU pós-consumido.

Estudo da densidade dos concretos gerados com a utilização de espuma rígida moída de PU.

Estudo do empacotamento dos concretos gerados com a utilização da espuma rígida moída de PU.

Avaliar o empacotamento da espuma rígida moída e compará-lo com o empacotamento da areia.

Avaliar por microscopia eletrônica de varredura (MEV) diferentes concretos contendo ou não, espuma rígida moída, para definição de suas estruturas finais e melhor avaliação de seu desempenho.

6. REFERÊNCIAS

AGUIAR, E. C. C., SILVÉRIO, C. D. V., PEREIRA, L. A., KANNING, R. C. A Tecnologia do Concreto Aliada ao Meio Ambiente. **Associação Nacional de Bioseguranca – ANBIO, Biodiversidade.** 2001. Disponível em < http://anbio.org.br/bio/biodiver_art102.htm> acessado em 10 de outubro de 2008.

API – ALLIANCE FOR THE POLYURETHANES INDUSTRY. **Fire safety guidelines for use of rigid polyurethane and polyisocyanurate foam insulation in building construction.** Technical Bulletin, Arlington, USA, 2000

ARRUDA, M. de F. de O., PAMPLONA, H. de C., PAMPLONA, A. D. G. **Reutilização de resíduo vítreo (pó de vidro tipo soda-cal) na fabricação de concreto: um estudo experimental.** IBRACON, 2001.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBRNM 67 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** 1998

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.** 2008

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** 2007

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 6136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos.** 2007

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7200 - Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento**. 1998

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7211 - Agregado para concreto – Especificação**. 2005

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7221 - Agregados - Ensaio de qualidade de agregado miúdo.** 1987

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7222 - Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.** 1994

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 8522 - Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.** 2008

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** 2005

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 10.004 - Resíduos sólidos – Classificação.** 2004

Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a construção civil – ANEPAC. Disponível em: <http://www.anepac.org.br>. Acesso em 15/12/2008.

BRANDT, W. **Avaliação de cenários em planos de fechamento de minas**. In: DIAS. L.E.; MELLO, J.W.V. (Eds.). Recuperação de áreas degradadas. Viçosa, MG: UFV / DPS / Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, p. 131-134, 1998.

BRASIL. PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS - PCN: **Meio Ambiente e Saúde**. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Fundamental. 3a. ed. Brasília, 2001.

BRASIL. Departamento Nacional De Produção Mineral. **Extração de areia**. Brasília: DNPM/DIDEM, 2002.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n. 267**. 2000

FERREIRA JUNIOR, S. **Produção de blocos de concreto para alvenaria**; **Prática recomendada**. São Paulo, Boletim Técnico 107, ABCP, 12p., 1985

FIORITO, A.J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos – Estudos e procedimentos de execução.** 1º Edição. São Paulo: PINI, 1994.

GRIJÓ, P.E.A., BAASCH, S.S.N., Estudo para usos dos dejetos da indústria do surf. **Saneamento Ambiental**, nº 100, p. 42-47, 2003.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Uma Contribuição para Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento**. 113p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000.

KJELDSEN, P., JENSEN, M. H. Release of CFC-11 from disposal of polyurethane foam waste. **Environmental science and technology**, vol. 35, n°14, p. 3055-3063, Washington DC, 2001.

KOSSAKA, J., **Método de reciclagem de espuma rígida de poliuretano de refrigeradores e congeladores de uso doméstico.** 66p., Projeto de Dissertação. UFPR, Curitiba, 2002.

PEROTTA, L., **Avaliação de diferentes tipos de recheios em colunas de adsorção para purificação de águas oleosas**, Relatório técnico. Programa de Recursos Humanos PRH-24/UFPR, 2009.

LIMA, A.J.M de, **Estudo da utilização poliuretano expandido reciclado como adição na produção de blocos de concreto.** 290p., Projeto de Dissertação. UFPR, Curitiba, 2003.

MANFREDINI E SCHIANCHI, disponível em <http://www.manfredinieschianchi.org/207-4PO-plantas-de-moagem-a-seco-para-ceramica-dry-tech.htm> Acessado em 15 de fevereiro de 2009.

MATHIEU, C. NARIE; CARVALHO, ENEAS G. DE; FURTADO, JOÃO; GOMES, ROGERIO. **A Indústria de Eletrodoméstico de Linha Branca: tendências internacionais e situação no Brasil,** Campinas, 1992. 239 f.Projeto de Pesquisa Desenvolvimento Tecnológico e Competitividade da Indústria Brasileira – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas.

METHA, P. K., MONTEIRO, P.J.M. **Concreto – Estrutura, Propriedades e Materiais**. Ed. PINI, 1ª edição, São Paulo, 1994.

OECD – ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO – OPERATION AND DEVELOPMENT. **Environmental Out luck for the Chemicals industry**. Relatory, 161 p., Paris, 2001.

OERTEL, G. **Polyrethane Handbook**, Hanser Publishers , P.234-324,NY, 1985

OLIVEIRA, M.J.E. et al., Análise de placas reforçadas com fibras de sisal através do método de elementos de faixas finitas. In: IV SEMINÁRIO- DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, São Paulo, 2001. **Anais**. São Paulo, IBRACON, 2001.

PETRUCCI, E. G. R., **Concreto de Cimento Portland**, Ed. Globo, Porto Alegre, 1993.

POPP, J.H. **Mineração e proteção ambiental: o único caminho possível**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, UFPR/FUPEF, Anais p. 467-470, Curitiba, 1992.

RECENA, F. A. P. **A utilização de resíduos de couro curtido à base de cromo na produção de componentes para a construção civil**. In: International Conference Sustainable construction into next millenium, Joao Pessoa, 2000.

SATO, N, M, N. Propriedades do poliestireno expandido, do poliestireno extrudado e da espuma de poliuretano para fins de isolação térmica. **Coletânea de trabalhos da Divisão de Edificações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas** ,IPT, São Paulo ,1988.

SIQUEIRA, L.V.M., STRAMARI, M.R., FOLGUERAS,M.V. Adição de poliuretano expandido para a confecção de blocos de concreto leve. **Revista Matéria**, vol. 9, p. 399 – 410, 2004.

SOUZA, F. R. DE ; SALES, A. . **Concretos produzidos com adição conjunta de resíduos da construção e demolição civil e lodos de estações de tratamento de água**. In: III Congresso de Pós-Graduação da UFSCar, 2005, São Carlos. Anais, v.1. p. 40-41. São Carlos, 2005.

THOMAZ, E., HELENE, P. Boletim Técnico: **Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenarias de vedação em edifícios.** Escola Politecnica da USP. São Paulo, 2000.

TANOBE, V. O. A. **Desenvolvimento de sorventes à base de espumas de poliuretano flexíveis para o setor do petróleo**. Tese de doutorado. UFPR, Curitiba, 2007.

VILAR, W. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. 3 ed., Rio de Janeiro, 2002.

WEBER, S. L. **Metodologia para obtenção de sílica de elevada reatividade para uso em concreto de alto desempenho a partir do processamento de cinza de casca de arroz.** Dissertação de mestrado. UFSC. Florianópolis, 2001.

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

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