

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO SUPERIOR EM ENGENHARIA CIVIL

JONATAN LUIZ GUERRA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE FLOCOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO
AGREGADO NO CONCRETO SECO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO
2015

JONATAN LUIZ GUERRA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE FLOCOS DE POLIESTIRENO
EXPANDIDO COMO AGREGADO NO CONCRETO SECO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Volmir Sabbi

Coorientador: Prof. Dr. Mário Arlindo Paz Irrigaray

PATO BRANCO
2015



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE FLOCOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO AGREGADO NO CONCRETO SECO

JONATAN LUIZ GUERRA

No dia 19 de junho de 2015, às 10h00min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 14-TCC/2015.

Orientador: Prof. Dr. VOLMIR SABBI (DACOC / UTFPR-PB)

Co-orientador: Prof. Dr. MARIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof^ª. Dr^ª. PAOLA REGINA DALCANAL (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. WAGNER ALESSANDRO PANSERA (DACOC / UTFPR-PB)

A todos aqueles que direta ou indiretamente, contribuíram na execução deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Sérgio Luiz Guerra e Zilda Aparecida Guerra, por estarem ao meu lado a todo momento, por me ampararem sempre que se mostrasse necessário e por provarem todas as condições indispensáveis para a conquista de mais esta etapa em minha vida.

Aos meus amigos e colegas pela amizade, paciência e conhecimentos compartilhados.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Pato Branco, com quem tive contato e que contribuíram com os conhecimentos repassados e com a minha formação acadêmica. Ao professor orientador, Dr. Volmir Sabbi, pela disposição e informações transferidas, além do professor coorientador Dr. Mário Arlindo Paz Irrigaray.

E, por fim, a todos aqueles que de alguma forma fizeram parte, contribuíram e estiveram ao meu lado durante esta etapa.

“O problema com o mundo é que os estúpidos são excessivamente confiantes, e os inteligentes são cheios de dúvidas.”

Bertrand Russell

RESUMO

GUERRA, Jonatan Luiz. **Estudo da influência de flocos de poliestireno expandido como agregado no concreto seco**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

O emprego do concreto leve em materiais pré-fabricados advém, principalmente, dos benefícios oriundos da redução da massa específica dos mesmos, que leva à redução de seu custo de transporte e estocagem. Além disso, o emprego de agregados na produção de concreto deve levar em consideração seu impacto ambiental. Logo, a utilização do poliestireno expandido (EPS) como agregado trás, além de sua baixa massa específica, a possibilidade do reuso de seus resíduos. Neste trabalho foram analisadas as influências da adoção do EPS como agregado na produção de concretos secos. O presente trabalho teve por objetivo verificar a viabilidade da adoção do EPS, em substituição parcial do agregado graúdo para produção não apenas de blocos, mas também de qualquer material cimentício que seja produzido com concreto seco. Foram moldados 2 lotes de corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10x20 cm (diâmetro x altura), cada lote contendo 7 corpos de prova, sendo 6 amostras de cada lote submetidas ao ensaio de compressão axial (3 com idade de 3 dias e 3 com idade de 7 dias) ficando o último corpo de prova de cada lote para a determinação da massa específica do concreto. Através dos resultados, foi possível fazer uma comparação de resistência, peso e absorção entre o concreto seco convencional e o concreto seco acrescido de agregado leve.

Palavras-chave: Concreto leve. EPS. Compressão axial. Isopor®.

ABSTRACT

GUERRA, Jonatan Luiz. **The influence of expanded polystyrene flakes as an aggregate in dry concrete**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

The lightweight concrete employment in prefabricated materials comes mainly from the benefits arising from the reduction in the density thereof, as a reduction of cost of transportation and storage of it. Moreover, without a doubt the use of aggregates in concrete production should take into consideration their environmental impact. Therefore, the use of expanded polystyrene (EPS) as added back beyond its low density, the possibility of the same waste reuse. In this paper we analyzed the influences of the adoption of EPS as aggregate in the production of dry concrete. This study aimed to verify the feasibility of adopting EPS in partial replacement of coarse aggregate to produce not only blocks but also of any cementitious material that is produced with dry concrete. There were two batches of molded cylindrical specimens with dimensions of 10x20 cm (diameter x height), each batch containing 7 specimens, with 6 samples from each batch subjected to axial compression test (3 aged 3 days and 3 aged 7 days) leaving the last test specimen from each batch for determining the specific mass of the concrete. From the results, it was possible to make a comparison of resistance and weight of the conventional dry concrete and dry concrete plus lightweight aggregate.

Palavras-chave: Lightweight Concrete. EPS. Expanded Polystyrene. Axial compression. Isopor®.

LISTA DE ACRÔNIMOS

| | |
|---------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABRAPEX | Associação Brasileira de Poliestireno Expandido |
| ACI | <i>American Concrete Institute</i> |
| CEB | <i>Comité Euro-International du Béton</i> |
| NBR | Norma Brasileira de Regulamentadora |
| UTFPR | Universidade Tecnológica Federal do Paraná |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Panteão de Roma | 19 |
| Figura 2 - Embarcação USS Selma..... | 20 |
| Figura 3 - Park Regis..... | 21 |
| Figura 4 - Standart Bank | 21 |
| Figura 5 - BMW Building..... | 21 |
| Figura 6 - Rio Centro | 22 |
| Figura 7 - Pavilhão de Exposições do Anhembi..... | 22 |
| Figura 8 - Edifício da FEA/USP | 22 |
| Figura 9 - Grand Hyatt Hotel..... | 22 |
| Figura 10 - Diagrama das atividades desenvolvidas..... | 28 |
| Figura 11 - Peneiras das séries normal e intermediária..... | 32 |
| Figura 12 - Frasco graduado | 36 |
| Figura 13 - Compactação de amostra com soquete pequeno..... | 39 |
| Figura 14 - Curva granulométrica do agregado miúdo | 43 |
| Figura 15 - Curva granulométrica do agregado graúdo..... | 44 |
| Figura 16 - Gráfico Umidade x Massa específica aparente | 49 |
| Figura 17 - Gráfico comparativo das resistências dos concretos em diferentes idades | 52 |
| Figura 18 - Gráfico comparativo das densidades médias dos concretos em diferentes idades | 53 |
| Figura 19 – Gráfico comparativo de absorção de água dos concretos produzidos... | 54 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Relações aproximadas entre resistência a compressão e consumo de cimento | 27 |
| Tabela 2 - Propriedades exigidas por norma para blocos de vedação | 28 |
| Tabela 3 - Especificações de propriedades Físicas do Cimento Portland CP-V ARI | 29 |
| Tabela 4 - Distribuição Granulométrica do agregado miúdo | 42 |
| Tabela 5 - Distribuição granulométrica do agregado graúdo..... | 43 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Amostras mínimas para ensaio segundo NBR NM 26..... | 31 |
| Quadro 2 - Massa mínima das amostras em segundo NBR NM 248 | 32 |
| Quadro 3 – Quantidade mínima de amostra | 35 |
| Quadro 4 - Massa específica da areia..... | 45 |
| Quadro 5 - Massa específica aparente da brita 0. | 45 |
| Quadro 6 - Percentual de Material pulverulento | 46 |
| Quadro 7 - Massa unitária dos agregados miúdo e gráudo | 47 |
| Quadro 8 - Resultados finais do ensaio de Proctor | 48 |
| Quadro 9 - Massa específica dos agregados..... | 50 |
| Quadro 10 - Valores de Ψ_6 | 51 |
| Quadro 11 - Resistência característica do concreto convencional..... | 52 |
| Quadro 12 - Resistência característica do concreto leve | 52 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 OBJETIVOS | 15 |
| 1.1.1 Objetivos Gerais | 15 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos | 15 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA | 16 |
| 2 CONCRETO LEVE | 18 |
| 2.1 DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DO CONCRETO LEVE | 18 |
| 2.2 AGREGADO LEVE..... | 22 |
| 2.3 TRANSPORTE | 23 |
| 2.4 LANÇAMENTO..... | 23 |
| 2.5 ADENSAMENTO | 24 |
| 2.6 TRABALHABILIDADE NO ESTADO FRESCO | 24 |
| 2.7 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO | 25 |
| 2.8 DOSAGEM | 26 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 28 |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS | 29 |
| 3.1.1 Aglomerante | 29 |
| 3.1.2 Agregados | 30 |
| 3.2 ENSAIOS REALIZADOS | 31 |
| 3.2.1 Ensaio de determinação da composição granulométrica dos agregados (NBR NM 248) | 31 |
| 3.2.1.1 Equipamentos utilizados..... | 32 |
| 3.2.1.2 Procedimentos adotados..... | 33 |
| 3.2.2 Ensaio de Massa Específica do Agregado Miúdo (NBR NM 52)..... | 33 |
| 3.2.2.1 Equipamentos utilizados..... | 34 |
| 3.2.2.2 Procedimentos adotados..... | 34 |
| 3.2.3 Ensaio do teor de materiais pulverulentos (NBR NM 46) | 35 |
| 3.2.3.1 Equipamentos utilizados..... | 35 |
| 3.2.3.2 Procedimentos adotados..... | 35 |
| 3.2.4 Ensaio de massa unitária aparente no estado seco e solto (NBR NM 45)..... | 36 |
| 3.2.4.1 Equipamentos utilizados..... | 36 |
| 3.2.4.2 Procedimentos adotados..... | 37 |
| 3.2.5 Ensaio de compactação de Proctor (NBR 7182)..... | 37 |
| 3.2.5.1 Equipamentos utilizados..... | 37 |
| 3.2.5.2 Procedimentos adotados..... | 38 |
| 3.3 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA | 39 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 41 |
| 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS..... | 41 |
| 4.1.1 Granulometria dos agregados | 41 |
| 4.1.1.1 Agregado miúdo | 41 |
| 4.1.1.2 Agregado Graúdo | 43 |
| 4.1.2 Massa específica dos agregados miúdo e graúdo | 44 |
| 4.1.3 Ensaio do Teor de Materiais Pulverulentos (NBR NM 46) | 46 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1.4 Ensaio de massa unitária aparente em estado seco e solto (NBR NM 45)..... | 47 |
| 4.1.5 Compactação máxima de Proctor (NBR 7182) | 47 |
| 4.2 DOSAGEM E PRODUÇÃO DOS CONCRETOS..... | 49 |
| 4.3 MOLDAGEM E ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA..... | 50 |
| 5 CONCLUSÕES | 55 |

1 INTRODUÇÃO

Em construções de alvenaria tem-se em nossa região o bloco cerâmico como principal material na construção de paredes, essa extensa utilização deve-se tanto pela sua disponibilidade bem como seu peso específico reduzido, que por sua vez, trás um baixo custo de transporte além de facilidade de manuseio do mesmo.

O bloco cerâmico, além de ser um material feito com matéria prima não renovável, é produzido cozido em forno, o que acarreta em uma elevada variação de tamanho entre um bloco e outro e, conseqüente, maior consumo de argamassa no assentamento dos mesmos. Problema esse que blocos feitos em concreto não possuem.

Segundo John (2000), A Indústria da construção civil apresenta muitas vantagens que a credenciam a ser uma grande recicladora, ela é a maior consumidora de materiais na economia, logo, tem maiores possibilidades para reciclar. Além disso, consome uma enorme variedade de materiais, sejam eles poliméricos, minerais/silicosos ou metálicos. Os diferentes ramos deste setor estão presentes em todas as regiões e esta condição permite uma reciclagem local, isto é, promove concepções de simbiose industrial.

Na construção civil utiliza-se grandes volumes de produtos com resistência mecânica baixa (com impurezas e defeitos), se comparada com outros setores de engenharia. Este setor pode ser considerado um grande reciclador de escórias oriundas de outras indústrias, como por exemplo, resíduos como a escória granulada de alto forno, as cinzas volantes, a sílica ativa, entre outros, são incorporados frequentemente nas construções (CASSA; BRUM; CARNEIRO, 2001).

De acordo com a Associação Brasileira de Poliestireno Expandido (ABRAPEX), foram produzidas no Brasil no ano de 2007 55 mil toneladas de Poliestireno Expandido (EPS), além disso, foram importadas, em forma de embalagem de produtos, mais 2 mil toneladas juntamente com produtos eletrônicos e outros bens trazidos do exterior.

Ainda segundo ABRAPEX (2014), o EPS não é biodegradável, mas sua reciclagem pode ser feita através do seu tritramento para posterior reutilização do mesmo, entre outras aplicações, como agregado para concreto leve.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

Este trabalho tem por objetivo estudar a influência da substituição em 50% do agregado graúdo por EPS (poliestireno expandido) em um traço específico de concreto seco. Observando se o mesmo pode ou não continuar atendendo as especificações exigidas pela norma na produção de concreto para a fabricação de blocos de concreto sem função estrutural (apenas vedação). Assim, verificar-se-á a viabilidade técnica de tal substituição.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Revisão bibliográfica e análise dos dispositivos estabelecidos nas normas técnicas sobre produção de concreto e concreto leve;
- realização de ensaios de laboratório visando caracterizar os agregados utilizados na produção do concreto leve;
- elaboração do traço, cálculo das quantidades de cada componente na produção de concreto convencional e leveR;
- produção de corpos de prova de concreto convencional e leve para posterior comparação entre densidade aparente, absorção de água e resistência a compressão de ambos;
- realização de ensaios de laboratório para verificação das resistências e outros aspectos de qualidade dos concretos leves.

1.2 JUSTIFICATIVA

A utilização de resíduos na construção civil vem tomando grande importância. Seu uso não apenas dá uma destinação ambientalmente sustentável aos mesmos, mas também pode melhorar o comportamento de materiais que compõe o concreto.

Segundo Tezuka (1999), o primeiro país a produzir estudos dirigidos às possíveis aplicações e utilização comercial do concreto com resíduos como agregados foram os Estados Unidos, a partir de 1971, seguidos pelo Reino Unido e Japão.

Dentre os diversos tipos de resíduos temos o EPS, que ao ser utilizado com o agregado na produção de concreto reduz o peso específico do mesmo, reduzindo o custo de transporte e o esforço humano de manuseio e assentamento de peças de concreto leve, o menor peso reduz as emissões de gases tóxicos proveniente de seu transporte. Outra vantagem importante é a possibilidade de reutilização dos resíduos do EPS, que reduz o dano ambiental resultante do lançamento na natureza de um produto que demora mais de 150 anos para se decompor (ISOPAN, 2014). Por isso, restos de EPS encontrados em lixos residenciais, assim como sobras de cortes da indústria do EPS, podem ser triturados para que possam ser utilizados na produção de outros produtos, inclusive produtos de concreto com ou sem função estrutural.

A viabilidade da produção do concreto leve vem do baixo custo do agregado por se tratar de uma escória industrial e pela maior facilidade de transporte e armazenamento do agregado na indústria de concreto.

Além disso, por se tratar de um agregado com reduzido peso específico, dá uma maior facilidade de manuseio aos blocos de concreto, tornando-o um material construtivo de maior aceitação pela mão de obra em relação a blocos de concreto convencional.

Segundo Rossignolo e Agnesini (2005), em sistemas construtivos pré-fabricados, o uso de concreto leve tem as seguintes vantagens:

- Redução de 20% a 50% dos custos de transporte por unidade de volume do concreto;

- Redução entre 25% e 50% do tempo de montagem de estruturas;
- Possibilidade de aumento das dimensões dos produtos de concreto utilizando os mesmos equipamentos para transportá-los.

Ainda de acordo com Rossignolo e Agnesini (2005), a utilização de agregados leves no concreto acarreta em uma diminuição do peso específico da estrutura, que por sua vez diminui a armadura necessária da mesma, do consumo de energia para transporte do mesmo e no processo construtivo e, também, do consumo de energia com condicionamento térmico em edificações quando utilizado nas vedações externas.

A ABRAPEX afirma que sempre que não haja exigência de resistência a grandes esforços, esse tipo de concreto pode ser usado com grande redução de peso em elementos das edificações. Além do baixo peso, suas qualidades isolantes ampliam sua utilização dando um grande passo a caminho da industrialização de componentes da construção civil. (ASSOCIAÇÃO..., 2014).

A ABRAPEX afirma, ainda, que para quem tem fácil acesso ao reaproveitamento do EPS, o concreto leve, além de versátil, é vantajoso economicamente. Devido ao seu menor coeficiente de dilatação em relação a concretos convencionais, as prefeituras que contam com coleta seletiva de lixo podem utilizar o EPS moído na produção de concreto leve para calçadas, quadras esportivas, bancos de jardim, vasos, balaústres, casas pré-fabricadas, enfim, quase tudo que se faz com concreto à exceção de estruturas. (ASSOCIAÇÃO..., 2014).

A viabilidade deste trabalho se dá pela disponibilidade do laboratório de materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) bem como pelos materiais e equipamentos fornecidos pela Marjon Artefatos de Concreto Ltda, de Laranjeiras do Sul.

2 CONCRETO LEVE

De acordo com a NBR 6118/2014, são chamados concretos leves aqueles que apresentam massa específica menor, se comparado aos concretos convencionais, que têm massa específica entre 2000 kg/m^3 e 2800 kg/m^3 (ASSOCIAÇÃO..., 2014).

De acordo com Neville (1997), na prática, a massa específica do concreto leve pode variar entre 300 kg/m^3 e 1850 kg/m^3 .

Para Rossignolo (2003), o diferencial dos concretos leves para os concretos convencionais é a massa específica reduzida e a mudança das propriedades térmicas. Porém, não são essas as únicas características importantes que justificam a sua utilização.

Além das características já citadas, a utilização de agregados leves provoca mudanças significativas em outras importantes propriedades dos concretos, como resistência mecânica, trabalhabilidade, módulo de deformação, retração e fluência, além da redução da espessura da zona de transição entre o agregado e a matriz de cimento (ROSSIGNOLO, 2003).

2.1 DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DO CONCRETO LEVE

Segundo Vieira (2000), as primeiras aplicações do concreto leve foram a aproximadamente 3000 anos atrás (1100 a.C.), quando construtores pré-colombianos, que viviam na atual cidade de El Tajin, no México, utilizaram uma mistura de pedra pomes com um ligante à base de cinzas vulcânicas e cal na construção de elementos estruturais.

Os romanos também utilizaram concretos leves com ligante à base de cal e rochas vulcânicas. Uma das principais construções romanas com a utilização do concreto leve foi o Panteão de Roma (Figura 1), reconstruído pelo Imperador Adriano no segundo século da nossa Era (110 – 125 d.C.) após ser destruído por um incêndio. O concreto leve com pedra pomes foi utilizado na construção da cúpula

abobadada desse monumento, com 44 m de diâmetro. Essa abóbada se encontra, atualmente, em excelente estado de conservação, após quase 2000 anos de sua construção (MITIDIERI, 1976).

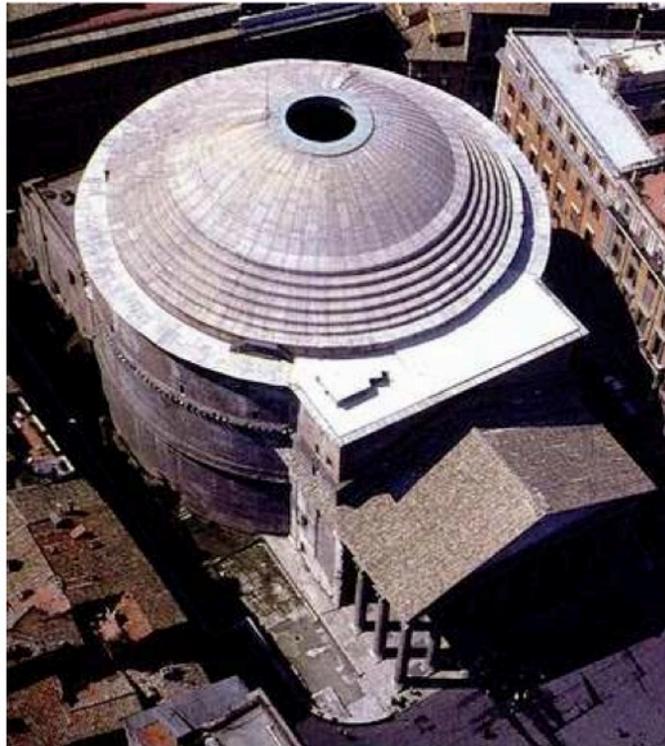


Figura 1 - Panteão de Roma
Fonte: TRIBO DE JACOB (2010).

O concreto de cimento Portland com agregados leves começou a ser mais amplamente utilizado durante a Primeira Guerra Mundial, quando embarcações com concreto leve foram construídas pela *American Emergency Fleet Building Corporation*, utilizando-se xisto expandido. Esse concreto leve alcançou uma resistência à compressão acima de 30 MPa, mais que o dobro da resistência à compressão dos concretos tradicionais produzidos na época, e massa específica aproximada de 1700 kg/m^3 . O USS Selma (Figura 2) é um exemplo dessas embarcações. Construído nos Estados Unidos no ano de 1919, constatou-se, através de análises feitas na década de 1980, que, após mais de 60 anos de sua construção o mesmo ainda apresentava boas condições de resistência mantinha apenas uma de corrosão compatível com a de um concreto submetido à um ambiente marinho por tantos anos (ROSSIGNOLO e AGNESINI, 2005).



Figura 2 - Embarcação USS Selma

Fonte: (ASSOCIAÇÃO DOS COMBATENTES DO CONCELHO DE ARGANIL, 2010).

Após o término da Segunda Guerra Mundial, foram construídos 488 navios de concreto leve. Houve também um aumento considerável dos estudos e aplicações estruturais do mesmo. A partir da década de 1960, importantes edifícios foram construídos utilizando-se o concreto leve estrutural, tais como: O Park Regis (Figura 3), na Austrália, no ano de 1968; *Standart Bank* (Figura 4), na África do Sul, no ano de 1970; e o *BMW Building* (Figura 5), na Alemanha, no ano de 1972; além de outras aplicações, como construções pré-fabricadas. Porém, foi a partir da década de 1970, através do aprimoramento da tecnologia dos concretos e o desenvolvimento de novos materiais, como os aditivos plastificantes e as adições pozolânicas, que tornou-se mais fácil obter concretos leves duráveis, com alta resistência mecânica (ROSSIGNOLO; AGNESINI, 2005).



Figura 3 - Park Regis
Fonte: (SYDNEY CBD HOTELS, 2014).



Figura 4 - Standart Bank
Fonte: (HPP ARCHTECTS, 2014).



Figura 5 - BMW Building
Fonte: (POCO A POCO, 2012).

Nessa época, iniciou-se a utilização de concretos leves no Brasil, quando o Grupo Robello instalou em Jundiaí, interior de São Paulo, um forno rotativo para produção de argila expandida, com a finalidade de fornecer agregados leves para produção de peças pré-fabricadas de concreto leve. Em seguida, começou o desenvolvimento da tecnologia dos concretos leves com argila expandida nacional (TEZUKA, 1973), assim como a análise do dimensionamento de elementos estruturais com os mesmos (VASCONCELOS, 1973).

No Brasil, a pequena aplicação do concreto leve estrutural está concentrada na produção de elementos pré-fabricados. Entre as obras com aplicações dos mesmos destacam-se: a ampliação do Rio Centro (Figura 6), no Rio de Janeiro; o pavilhão de exposição do Anhembi (Figura 7), em São Paulo; o edifício da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FEA) da USP (Figura 8); e o Hotel *Grand Hyatt* (Figura 9), nos painéis da fachada (ROSSIGNOLO e AGNESINI, 2005).

Vale lembrar que a aplicação de concretos leves no Brasil, além de ser voltada para elementos pré-fabricados, ainda tem como principal agregado leve a argila expandida.



Figura 6 - Rio Centro
Fonte: (PROMOVIEW, 2009).



Figura 7 - Pavilhão de Exposições do Anhembi
Fonte: (ANHEMBI PARQUE, 2014).



Figura 8 - Edifício da FEA/USP
Fonte: (EAC-FEA/USP, 2012)



Figura 9 - Grand Hyatt Hotel
Fonte: (HOTEIS.COMTM, 2012)

2.2 AGREGADO LEVE

O concreto é um material heterogêneo e suas propriedades dependem, basicamente, das propriedades de cada agregado e da compatibilidade entre eles. As propriedades do concreto mais influenciadas na substituição dos agregados convencionais por agregados leves são massa específica, resistência mecânica, propriedades térmicas, trabalhabilidade, módulo de elasticidade, fluência, retração e espessura da zona de transição entre o agregado e a matriz de cimento.

Para a correta dosagem e execução dos concretos leves, é indispensável o conhecimento das propriedades dos agregados leves utilizados, que podem ser muito variáveis, tanto pela matéria-prima utilizada, quanto pelo processo de fabricação dos mesmos.

Os agregados leves podem ser classificados como naturais ou artificiais. Os naturais são extraídos diretamente de jazidas e classificados quanto à sua granulometria. Como exemplos de agregados leves naturais, temos a pedra pomes e as escórias vulcânicas.

Os agregados leves artificiais são produzidos através de processos industriais e, geralmente, são classificados através da matéria-prima utilizada e em seu processo de fabricação. Como exemplo, temos as argilas expandidas, os folhelhos e as escórias expandidas.

2.3 TRANSPORTE

É extremamente importante considerar a propensão de acúmulo dos agregados leves na superfície do concreto durante o transporte e o adensamento do mesmo. Esse fenômeno, chamado de “flutuação do agregado graúdo”, é consequência da baixa massa específica dos agregados, sendo o inverso do que ocorre com o concreto convencional, onde a segregação resulta num acúmulo do agregado graúdo na parte inferior do concreto. Tanto o controle da relação a/c e do teor dos agregados miúdos quanto a adição de finos podem evitar ou diminuir esse efeito.

2.4 LANÇAMENTO

Para Eurolightcon (1998), durante o bombeamento do concreto leve, tanto a granulometria como a umidade dos agregados leves assumem grande importância, pois a absorção de água do agregado é aumentada devido a pressão de bombeamento. Para se prevenir contra a perda precipitada de trabalhabilidade no estado fresco, é importante a o umedecimento prévio do agregado. Sem isso, pode ocorrer o entupimento dos dutos durante o lançamento. É recomendado, ainda, que o agregado miúdo tenha altos teores de partículas com diâmetro inferior a 0,3 mm.

2.5 ADENSAMENTO

Geralmente, podem ser adotadas para os concretos leves, as técnicas comuns de adensamento. Porém, esses concretos exigem maior vibração do que os concretos convencionais.

Para os vibradores de imersão, os concretos leves exigem maiores tempos de vibração, (não podendo exceder 10 segundos) e/ou menores distância entre os pontos de vibração (essa distância é diminuída pela metade se comparada às utilizadas em concretos convencionais).

É recomendado o uso de vibradores de menor frequência para evitar a segregação dos concretos leves.

Com a vibração excessiva, ocorre a sedimentação da argamassa, pois essa é mais pesada. A sedimentação resulta na falta da argamassa na superfície, onde a mesma é imprescindível para o bom acabamento do concreto.

A importância do correto adensamento dos concretos leves é no sentido de evitar a formação de vazios ao redor do agregado leve, o que pode provocar acúmulo de vazios gerados por bolhas de ar expulsas do agregado durante o processo de absorção de água.

De acordo com Yanai et al. (2000), existe a possibilidade da utilização de concretos leves auto adensáveis.

2.6 TRABALHABILIDADE NO ESTADO FRESCO

Na determinação dos índices de consistência para os concretos leves, devem ser consideradas as baixas massas específicas dos agregados. Isso acarretará valores de abatimento menores nos concretos leves do que nos concretos tradicionais, produzidos nas mesmas condições de dosagem, devido basicamente à discrepância dos valores da massa específica dos agregados.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), o excesso de vibração, a baixa coesão e os elevados valores do índice de consistência são, geralmente, os fatores

responsáveis pelo aparecimento da exsudação e da segregação nos concretos leves, afetando negativamente, a manipulação do material.

A exsudação e a segregação dos concretos leves podem ser evitados, ou reduzidos, tomando-se alguns cuidados durante o processo de dosagem. Esses cuidados podem ser a definição de ~~como definindo-se~~ uma granulometria adequada dos agregados, a substituição parcial ou total do agregado miúdo por areia natural e o emprego de adições minerais.

2.7 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

A massa específica e a resistência à compressão são as principais propriedades na caracterização dos concretos leves e estão relacionadas com a granulometria e com o tipo do agregado leve empregado. A granulometria dos agregados influencia mais na maior resistência mecânica e na massa específica dos concretos leves do que nos concretos convencionais, pois o valor da massa específica dos agregados leves é inversamente proporcional à sua dimensão.

Segundo Eurolightcon (1998), Os concretos leves apresentam consolidação dos valores finais de resistência à compressão em menos tempo do que os concretos tradicionais. Geralmente, em 7 dias os concretos leves já apresentam 80% da resistência à compressão analisada aos 28 dias de idade.

Ainda conforme Eurolightcon (1998), as principais variações de resistência à tração entre os concretos leves e os convencionais podem ser resumidas em:

- a fratura nos concretos leves ocorre no agregado e não na zona de transição agregado-matriz, como nos concretos tradicionais;
- a relação a/c dos concretos leves pode ser maior do que nos tradicionais para as mesmas condições de cura e pode provocar uma significativa redução na resistência à tração do mesmo;
- a resistência à tração na compressão diametral nos concretos leves é menos comprometida do que a resistência à tração na flexão.

2.8 DOSAGEM

De acordo com Rossignolo e Agnesini (2005), os métodos de dosagem para concretos convencionais podem ser utilizados para concretos leves, desde que não sejam negligenciados os seguintes fatores adicionais:

- necessidade de projetar um concreto com massa específica diferenciada;
- absorção de água diferenciada dos agregados leves;
- variação da massa específica do agregado leve inversamente proporcional à sua dimensão;
- influência das propriedades dos agregados leves nas propriedades dos concretos leves.

O CEB-FIP (1977) e o ACI 211.2-98 (1998) descrevem procedimentos específicos para a dosagem de concretos leves. Geralmente os documentos normativos propõem o emprego de consumos de cimento acima de 300 kg/m^3 , para garantir condições de trabalhabilidade, durabilidade e resistência.

Conforme Mehta e Monteiro (2008), na dosagem de um concreto leve, a resistência à compressão normalmente é conexas ao consumo de cimento para uma adequada trabalhabilidade, no lugar da relação água/cimento. Na maioria dos casos a resistência à compressão, com um mesmo consumo de água e de cimento, pode ser elevada reduzindo a dimensão máxima do agregado graúdo leve e/ou substituir o agregado miúdo leve por um agregado natural, causando o aumento da massa específica do concreto.

A Tabela 1 mostra relações aproximadas entre as resistências à compressão e o consumo de cimento de concretos apenas com agregados leves e para concretos com agregados leves e areia. Essas relações são válidas para concretos leves de maiores densidades.

Tabela 1 - Relações aproximadas entre resistência a compressão e consumo de cimento

| Resistência à compressão (Mpa) | Consumo de Cimento (Kg/m ³) | |
|-----------------------------------|---|-------------------------|
| | Só agregados leves | Agregados leves e areia |
| 17 | 240-305 | 240-305 |
| 21 | 260-335 | 250-335 |
| 28 | 320-395 | 290-395 |
| 34 | 375-450 | 360-450 |
| 41 | 440-500 | 420-500 |

Fonte: ACI 213R-87 (1995).

Assim como na dosagem dos concretos convencionais, tanto para uso apenas de agregados leves quanto para emprego de agregados leves ao lado de convencionais, o estudo do empacotamento de partículas é imprescindível para otimizar a dosagem dos concretos leves, podendo trazer os seguintes benefícios:

- aumento da coesão;
- redução da segregação;
- redução da exsudação;
- redução no consumo de cimento;
- aumento da resistência.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto desenvolvido teve por objetivo verificar a viabilidade da substituição de 50% do agregado graúdo por EPS em um traço de concreto seco utilizado no mercado na produção de blocos de concreto com função de vedação, isto é, blocos que segundo a NBR 7173 (ASSOCIAÇÃO..., 1982) possuam as características apresentadas na Tabela 2:

Tabela 2 - Propriedades exigidas por norma para blocos de vedação

| Propriedade | Valor médio | Valor individual |
|--------------------------|-------------|------------------|
| Resistência a compressão | >2,5MPa | >2,0MPa |
| Absorção | <10% | <15% |

Fonte: (ASSOCIAÇÃO..., 1982).

Na composição em estudo, parte do agregado graúdo é substituído por um agregado de menor densidade (flocos de EPS), tornando o bloco mais leve. Este estudo seguiu o diagrama que pode ser observado na Figura 10 - Diagrama das atividades desenvolvidas.

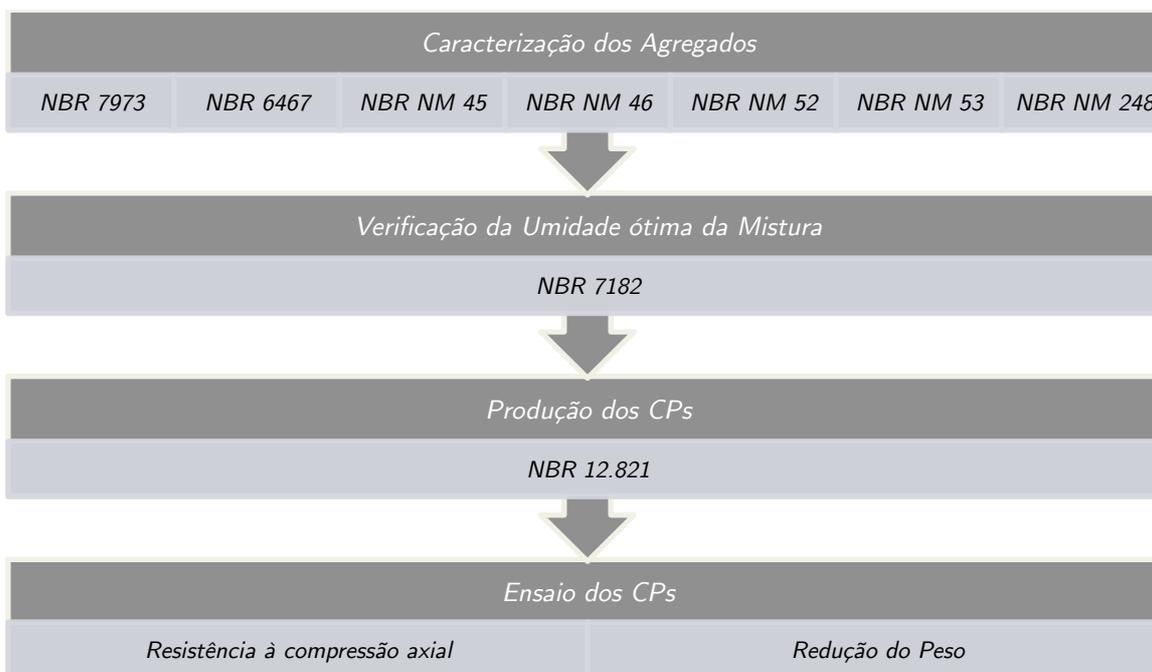


Figura 10 - Diagrama das atividades desenvolvidas.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

3.1.1 Aglomerante

O aglomerante hidráulico utilizado na produção do concreto foi o cimento CP-V ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial), proveniente da companhia de cimento Itambé. A Tabela 3 apresenta especificações físicas do cimento exigidas por norma.

Tabela 3 - Especificações de propriedades Físicas do Cimento Portland CP-V ARI

| CP V-ARI | | |
|--|---------------------|-----------|
| ENSAIOS FÍSICOS | Especificações ABNT | |
| Blaine (cm ² /g) | >3000 | NBR NM 76 |
| Tempo de início de pega (h:min) | >1 | NBR NM 65 |
| Tempo de fim de pega (h:min) | ≤10 | NBR NM 65 |
| Finura na peneira # 200 (%) | ≤6,0 | NBR 11579 |
| Finura na peneira # 325 (%) | - | NBR 9202 |
| Expansibilidade a quente (mm) | ≤5,0 | NBR 11582 |
| Consistência normal (%) | - | NBR NM 43 |
| Resistência à compressão 1 dia (MPa) | ≥14,0 | NBR 7215 |
| Resistência à compressão 3 dias (MPa) | >24,0 | NBR 7215 |
| Resistência à compressão 7 dias (MPa) | ≥34,0 | NBR 7215 |
| Resistência à compressão 28 dias (MPa) | - | NBR 7215 |

Fonte: O MUNDO DO CIMENTO (2014).

Segundo a Votorantim Cimentos (2014), este cimento (CP V) tem a característica de apresentar, nos primeiros dias de idades, altas resistências. Por isso, é o mais indicado na fabricação de peças pré-fabricadas, blocos e *pavers* de concreto devido à logística de distribuição das peças e à redução do tempo de pega do concreto, reduzindo assim o tempo de estoque do material.

Conforme a Itambé Cimentos (2014), a massa específica média de seu cimento CPV-ARI, utilizado neste trabalho, é de 3,12 g/cm³ em ensaios propostos pela NBR NM 23 (ASSOCIAÇÃO..., 2001).

3.1.2 Agregados

Tanto os agregados miúdos, ou seja, areia e pó de pedra, quanto os materiais graúdos, foram adquiridos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná na cidade de Pato Branco, sendo o primeiro proveniente de depósitos de sedimentos da cidade de Ponta Grossa - PR e o segundo, um agregado artificial, produto de britagem de rochas em Laranjeiras do Sul. A coleta dos mesmos seguiu as recomendações da NBR NM 26 (ASSOCIAÇÃO..., 2009) – Agregados – Amostragem.

As caracterizações realizadas em todos os agregados foram, a massa específica dos mesmos (NBR NM 52), sua distribuição granulométrica (NBR NM 248), seu teor de materiais pulverulentos (NBR NM 46) e sua massa unitária no estado seco e solto (NBR NM 45).

No agregado graúdo, isto é, a brita 0, a determinação de massa específica aparente foi realizada conforme a NBR NM 53 (ASSOCIAÇÃO..., 2009).

Já o EPS pode ser considerado um agregado artificial leve, pois é obtido através da polimerização do uretano junto com um agente de expansão.

O EPS utilizado foi adquirido da Termotécnica – Construção Civil, localizada na cidade de Joinville, estado de Santa Catarina. Trata-se da escória da indústria, pois é produzido através da trituração dos restos de cortes de placas de EPS através de um moedor (construído para esta finalidade) e posteriormente peneirado e separado em determinadas granulometrias.

3.2 ENSAIOS REALIZADOS

Para definição da massa das amostras, seguiu-se as recomendações da NBR NM 26: Amostragem de agregados – Procedimentos (ASSOCIAÇÃO..., 2009). As quais estão sintetizadas no Quadro 1:

Quadro 1 - Amostras mínimas para ensaio segundo NBR NM 26

| Tamanho nominal dos agregados | Número mínimo de amostras parciais | Massa total de amostras de campo (Kg) | Volume total de amostras de campo (Dm ³) |
|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|
| ≤ 9,5 mm | 3 | 40 | 25 |
| > 9,5mm ≤ 19 mm | | 40 | 25 |
| > 19 mm ≤ 37,5 mm | | 75 | 50 |
| > 37,5 mm ≤ 75 mm | | 150 | 100 |
| > 75 mm ≤ 125 mm | | 225 | 150 |

Fonte: (ASSOCIAÇÃO..., 2009).

Após a obtenção da quantidade mínima de amostras, foi realizada a redução das mesmas através do Método “A” descrito na NBR NM 27: Agregados – Redução da Amostra de campos para ensaios de laboratório. (ASSOCIAÇÃO..., 2001), utilizando-se de um separador mecânico com os agregados levemente umedecidos com o objetivo de evitar perda de material pulverulento durante a redução da amostra.

3.2.1 Ensaio de determinação da composição granulométrica dos agregados (NBR NM 248)

As peneiras utilizadas neste ensaio são indicadas conforme NBR NM ISO 2395: Peneiras de ensaio e ensaio de peneiramento – Vocabulário (ASSOCIAÇÃO..., 1997).

Para a determinação da composição granulométrica dos agregados, a massas das amostras foram definidas conforme o Quadro 2, que nos dá a massa mínima das amostras em relação à dimensão máxima dos agregados:

Quadro 2 - Massa mínima das amostras em segundo NBR NM 248

| Dimensão máxima característica do agregado (mm) | Massa mínima da amostra de ensaio (Kg) |
|---|--|
| <4,75 | 0,3 |
| 9,5 | 1 |
| 12,5 | 2 |
| 19,0 | 5 |
| 25,0 | 10 |
| 37,5 | 15 |

Fonte: (ASSOCIAÇÃO..., 2003)

3.2.1.1 Equipamentos utilizados

- Estufa;
- balança com precisão de 0,1g;
- jogo de peneiras com tampa e fundo;
- cápsulas de alumínio pequenas;
- peneiras série normal e série intermediária (Figura 11);
 - série normal: 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm;
 - série intermediária: 12,5 mm, 6,3 mm.



Figura 11 - Peneiras das séries normal e intermediária

3.2.1.2 Procedimentos adotados

- Secar 500 g de areia e 2000 g de brita 0 em estufa com temperatura entre 100°C e 110°C até atingir a constância de peso;
- encaixar as peneiras, após limpeza, em ordem decrescente do topo para base, com o fundo encaixado na base das peneiras;
- colocar as amostras na peneira superior, agitando o jogo de peneiras por tempo suficiente para a separação e classificação das amostras;
- destacar a peneira superior (com material retido) e encaixar a mesma a um fundo falso e uma tampa, agitando a mesma até que, após um minuto de agitação contínua, o material passante pela peneira seja inferior a 1% do material retido na mesma;
- retirar as peneiras e remover o material retido para uma cápsula de alumínio, determinando sua massa;
- repetir o procedimento para uma segunda amostra.

3.2.2 Ensaio de Massa Específica do Agregado Miúdo (NBR NM 52)

Segundo a NBR NM 52 (ASSOCIAÇÃO..., 2009), a massa específica do agregado é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis.

A determinação da massa específica do agregado miúdo, isto é, do material passante da peneira ABNT 9,5 mm que passa quase totalmente na peneira ABNT 4,8mm e retido na peneira ABNT 0,075mm. Também do material graúdo (material cuja maior parte da granulometria fica retida na peneira com abertura de 4,75mm) foi realizada seguindo as orientações da NBR NM 53 (ASSOCIAÇÃO..., 2009) utilizando-se do método do frasco de Chapman, preconizado na NBR 9776 (ASSOCIAÇÃO..., 1987).

3.2.2.1 Equipamentos utilizados

- Balança com precisão de 0,1 g;
- frasco graduado;
- espátula;
- funil;
- pipeta;
- pá;
- estufa;
- pote de porcelana.

3.2.2.2 Procedimentos adotados

- Secar o material em estufa com temperatura entre 100°C e 110°C até atingir a constância de peso;
- pesar 500 g de material seco;
- Colocar 200 cm³ de água no frasco graduado;
- Com a ajuda do funil, colocar no frasco de Chapman, cuidadosamente, as 500 g de material seco;
- Agitar o frasco com movimentos circulares removendo bolhas de ar e grãos aderidos à parede do frasco;
- Ler o nível final da água no frasco (L), que representa o volume de água deslocada pelo material no fundo do frasco;
- Repetir o procedimento mais uma vez.

3.2.3 Ensaio do teor de materiais pulverulentos (NBR NM 46)

A amostra mínima foi definida seguindo as recomendações da NBR NM 26: Agregados – Amostragem: Procedimento (ASSOCIAÇÃO..., 2009), expostas no Quadro 3.

Quadro 3 – Quantidade mínima de amostra

| Dimensão máxima do agregado (mm) | Massa mínima da amostra (g) |
|---|--|
| 2,36 | 100 |
| 4,75 | 500 |
| 9,5 | 1000 |
| 19 | 2500 |

Fonte: (ASSOCIAÇÃO..., 2009).

3.2.3.1 Equipamentos utilizados

- Balança com precisão mínima de 0,1% da massa da amostra;
- pá;
- estufa;
- peneiras com abertura de malha de:
 - 1,18 mm;
 - 75 μm .

3.2.3.2 Procedimentos adotados

- Secar a amostra em estufa a 110°C, até constância de peso;
- determinar a massa inicial (M_i);
- colocar a amostra inicial seca em um recipiente com água;
- agitar a mistura e verter a água para outro recipiente através das peneiras, devolver o material retido nas peneiras para o recipiente de lavagem;

- repetir a operação até que a água de lavagem se torne limpa, quando isso ocorrer coletar todo o material retido nas peneiras e no recipiente colocando-o para secar em estufa a 110°C, até constância de peso;
- determinar a massa do material seco após a lavagem (M_f).

3.2.4 Ensaio de massa unitária aparente no estado seco e solto (NBR NM 45)

3.2.4.1 Equipamentos utilizados

- Balança com precisão de 0,1 g;
- espátula;
- pá;
- estufa;
- frasco graduado com volume de 1000 cm³ (Figura 12).



Figura 12 - Frasco graduado

3.2.4.2 Procedimentos adotados

- Secar a amostra em estufa a 110°C, até constância de peso;
- separar a amostra a ser usada, com volume no mínimo duas vezes o correspondente à capacidade do recipiente a ser usado;
- pesar o recipiente utilizado para medir a sua massa (M_r);
- encher o recipiente com a amostra de forma a evitar a compactação do material, para tanto deve-se soltar a amostra de uma altura de 10 a 15 cm;
- pesar o conjunto recipiente mais amostra (M_{ra});
- Repetir o procedimento para outra amostra do mesmo material.

3.2.5 Ensaio de compactação de Proctor (NBR 7182)

Dada uma energia de compactação, este ensaio tem o objetivo de determinar a umidade que faz com que o peso específico aparente do solo compactado (neste caso mistura de agregados miúdo e graúdo na proporção de 1:1,2) seja o máximo possível.

3.2.5.1 Equipamentos utilizados

- Estufa;
- balança com precisão de 0,1g;
- soquete pequeno metálico com massa de (2500±10)g com dispositivo de controle de altura de queda de (305±2) mm;
 - Peso do soquete utilizado: 2526,8 g.
- cilindro pequeno metálico com base complementar de mesmo diâmetro (colarinho) (100±4)mm e volume (1000±10) cm³;
 - Peso do cilindro utilizado: 2342,2 g.

- proveta de vidro com capacidade de 100 cm³ e graduação de 1 cm³;
- base rígida, de concreto com massa superior a 100 kg;
- bandeja metálica 75 cm x 50 cm x 5 cm;
- régua de aço biselada com comprimento de 30cm;
- extrator hidráulico de corpo de prova;
- desempenadeira de madeira com 13cm x 25cm.
- espátula de lâmina flexível com aproximadamente 10cm e 2cm de largura e 12cm de comprimento.

3.2.5.2 Procedimentos adotados

- Misturar o agregado miúdo ao agregado graúdo, ainda secos, na proporção 1:1,12 (conforme traço adotado) obtendo uma amostra mínima de 15 Kg (no caso, 16,96 Kg);
- fixar o molde cilíndrico à sua base, acoplar o cilindro complementar e apoiar o conjunto em base rígida;
- colocar a amostra na bandeja metálica e com o auxílio da proveta de vidro acrescentar água, revolvendo o material até obter umidade em torno de 5% abaixo da umidade ótima presumível;
- preencher um pouco mais do que 1/3 do cilindro de solo e dar 26 golpes com o soquete perpendicularmente uniformemente (Figura 13). Repetir o processo por mais duas camadas;
- após a última camada, retirar o cilindro complementar;
- remover o excesso de amostra compactada acima do molde com a régua biselada;
- remover o molde cilíndrico da base rasando também da outra face;
- pesar o conjunto com a precisão de 1g;
- subtrair o peso do molde para obter o peso úmido do solo compactado (P_h).

- com o auxílio do extrator retirar o corpo de prova do molde e do centro do mesmo, retirar uma amostra para a determinação da umidade;
- repetir o ensaio para mais 4 amostras, adicionando 2% de umidade à cada nova amostra ensaiada.



Figura 13 - Compactação de amostra com soquete pequeno

3.3 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A produção do concreto seguiu condições recomendadas pelas normas brasileiras. Foram considerados: o Cimento Portland ARI, agregados, na forma de areia, brita 0 e flocos de EPS. Todos os agregados utilizados foram considerados como matérias-primas comerciais, de uso corriqueiro na indústria da construção civil, exceto o EPS, que surge nesta pesquisa como um agregado alternativo.

O concreto sem o uso de EPS foi produzido segundo a NBR 12821 (ASSOCIAÇÃO..., 2009). O traço padrão empregado foi: 1:2,5:2,8 sendo respectivamente cimento, areia e brita 0. Este traço foi baseado em estudos

experimentais aliados ao traço comercialmente utilizado no mercado pela empresa Marjon Artefatos de Concreto Ltda de Laranjeiras do Sul - Paraná.

Para o concreto obtido com o uso de EPS foi utilizado o mesmo procedimento e o mesmo traço, porém adicionado uma proporção de EPS em relação ao volume de brita, sendo substituída metade da quantidade de brita 0, porém, não em peso, mas sim em volume. O volume de EPS foi calculado multiplicando a massa unitária da brita pelo peso calculado através da multiplicação do traço adotado pelo consumo de cimento calculado para 7 corpos de prova cilíndricos de 10x20cm (diâmetro x altura).

Assim, obteve-se duas composições de concreto, uma de concreto convencional seco, e outra com substituição de 50% da brita 0 por flocos de EPS.

Para cada composição foram moldados CPs (corpos de prova) cilíndricos, com as dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, que foram utilizados nos ensaios mecânicos de resistência à compressão. A moldagem dos corpos de prova foi executada conforme a NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO..., 2015), com adensamento de 12 golpes em 2 camadas.

O fator água/cimento recomendado para a fabricação de peças pré-fabricadas vibroprensados deve apresentar uma consistência bastante seca. Portanto, o fator do referido concreto foi definido, conforme já citado anteriormente, através do ensaio de compactação de solos preconizado na NBR 7182 (ASSOCIAÇÃO..., 1986), substituindo o solo pela mistura dos agregados miúdo e graúdo.

4 RESULTADOS E DISCUÇÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

4.1.1 Granulometria dos agregados

Para cada uma das amostras de ensaio, foi calculada a percentagem retida, em massa, em cada peneira, com aproximação de 0,1%. As duas amostras apresentaram o mesmo diâmetro máximo e, nas demais peneiras, os valores percentuais retidos individualmente não diferenciaram mais que quatro unidades percentuais (4%) entre si, além disso, foram calculadas também as percentagens médias retidas e acumuladas, em cada peneira, com aproximação de 0,01%.

O módulo de finura foi determinado através da soma dos valores de percentagem acumulada, em massa, nas peneiras da série normal (excluindo a peneira da série intermediária) dividida por 100, o resultado foi expresso com aproximação de 0,01.

A dimensão máxima característica (DMC) foi determinada através do diâmetro máximo nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma percentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5%, em massa.

4.1.1.1 Agregado miúdo

Os dados obtidos através do ensaio granulométrico do agregado miúdo estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Distribuição Granulométrica do agregado miúdo

| Peneira (mm) | Amostra 1 | | | Amostra 2 | | | Média | |
|------------------|------------------|----------|----------------|------------------|----------|----------------|----------------|------------|
| | Massa retida (g) | % retida | % retida acum. | Massa retida (g) | % retida | % retida acum. | % retida acum. | % passante |
| 4,75 | 9,3 | 1,86% | 1,86% | 8,5 | 1,70% | 1,70% | 1,78% | 98,22% |
| 2,36 | 31,1 | 6,22% | 8,08% | 30,1 | 6,02% | 7,72% | 7,90% | 92,10% |
| 1,18 | 51,6 | 10,32% | 18,40% | 57,4 | 11,48% | 19,20% | 18,80% | 81,20% |
| 0,6 | 65,7 | 13,14% | 31,54% | 72,5 | 14,50% | 33,70% | 32,62% | 67,38% |
| 0,3 | 226,4 | 45,28% | 76,82% | 231,7 | 46,34% | 80,04% | 78,43% | 21,57% |
| 0,15 | 103,2 | 20,64% | 97,46% | 85,4 | 17,08% | 97,12% | 97,29% | 2,71% |
| Fundo | 12,4 | 2,48% | 99,94% | 13,7 | 2,74% | 99,86% | 99,90% | 0,10% |
| Total | 499,7 | 99,94% | | 499,3 | 99,86% | | | |
| Módulo de Finura | 2,34 | | | 2,39 | | | 2,37 | |
| DMC | 4,75 mm | | | 4,75 mm | | | 4,75 mm | |

Conforme a análise dos resultados apresentados, segundo NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO..., 2009), o agregado miúdo utilizada é considerada areia fina.

Apesar do módulo de finura (MF) da mesma ficar entre o intervalo considerado zona ótima ($2,20 \leq MF \leq 2,90$), as percentagens retidas acumuladas de cada peneira não ficou dentro dos limites ótimos, ficando as peneiras com abertura de 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm abaixo da zona ótima e a peneira com abertura de 0,15 mm acima da mesma.

Desta forma, a areia utilizada neste trabalho é classificada, quanto à sua distribuição granulométrica, como utilizável, pois encontra-se dentro dos limites de utilização indicados pela NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO..., 2009), como apresentado na Figura 14, que nos apresenta a curva granulométrica da areia e os limites citados.

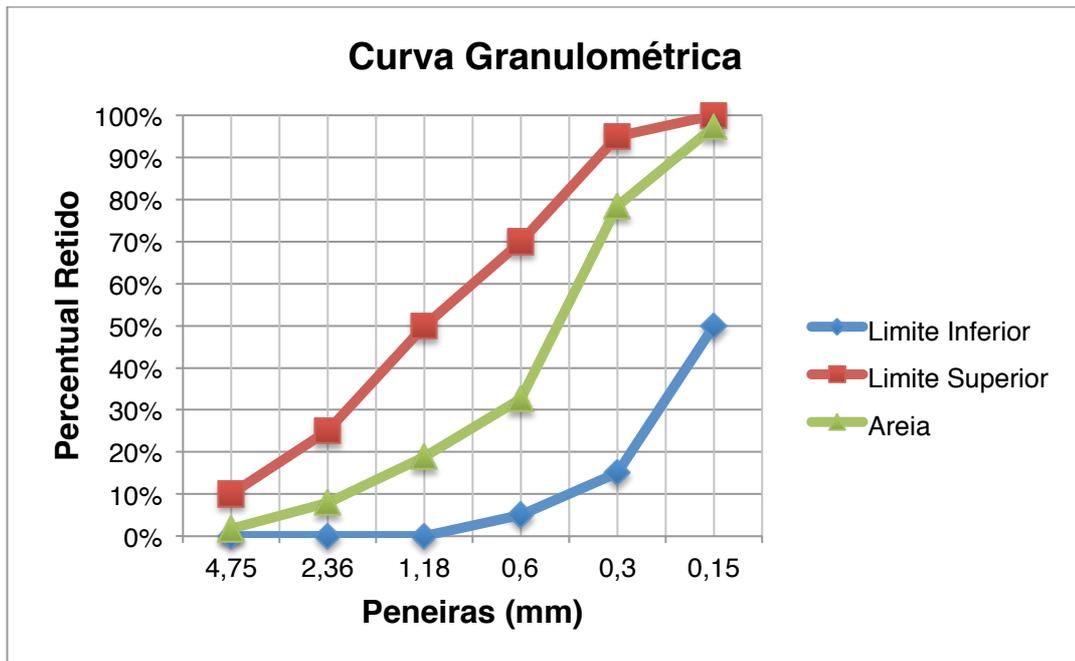


Figura 14 - Curva granulométrica do agregado miúdo

4.1.1.2 Agregado Graúdo

O agregado graúdo visualmente mostrou-se com grande teor de finos, isso se constatou após o ensaio granulométrico da mesma e pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5 - Distribuição granulométrica do agregado graúdo

| Peneira (mm) | Amostra 1 | | | Amostra 2 | | | Média | |
|--------------|------------------|----------|----------------|------------------|----------|----------------|----------------|------------|
| | Massa retida (g) | % retida | % retida acum. | Massa retida (g) | % retida | % retida acum. | % retida acum. | % passante |
| 12,5 | 5,8 | 0,29% | 0,29% | 4,5 | 0,23% | 0,22% | 0,26% | 99,75% |
| 9,5 | 47 | 2,35% | 2,64% | 97,4 | 4,87% | 5,10% | 3,87% | 96,13% |
| 6,3 | 484,9 | 24,25% | 26,89% | 657,4 | 32,87% | 37,96% | 32,42% | 67,58% |
| 4,75 | 1019,6 | 50,98% | 77,87% | 937,2 | 46,86% | 84,82% | 81,34% | 18,66% |
| Fundo | 437,9 | 21,90% | 99,76% | 301,1 | 15,06% | 99,88% | 99,82% | 0,18% |
| Total | 1995,2 | 99,76% | | 1997,6 | 99,88% | | | |
| DMC | 9,5 mm | | | 9,5 mm | | | 9,5 mm | |

Conforme pudemos observar na Tabela 5, na peneira 6,3 mm obtivemos um valor percentual acumulado de 32,42%, o que está abaixo do exigido pela NBR

7211 (ASSOCIAÇÃO..., 2009). Além disso, 21,90% da amostra passou pela peneira 4,75 mm, o que indica um excesso de material fino na brita, o que por sua vez pode acarretar em um aumento na demanda de água de emassamento (água necessária para uma trabalhabilidade desejada), reduzindo assim a resistência do concreto.

Em função de sua dimensão máxima característica, pôde-se constatar que o agregado analisado trata-se de uma brita 0, sua curva granulométrica, Figura 15, foi traçado incluindo a peneira da série intermediária (12,5 mm).

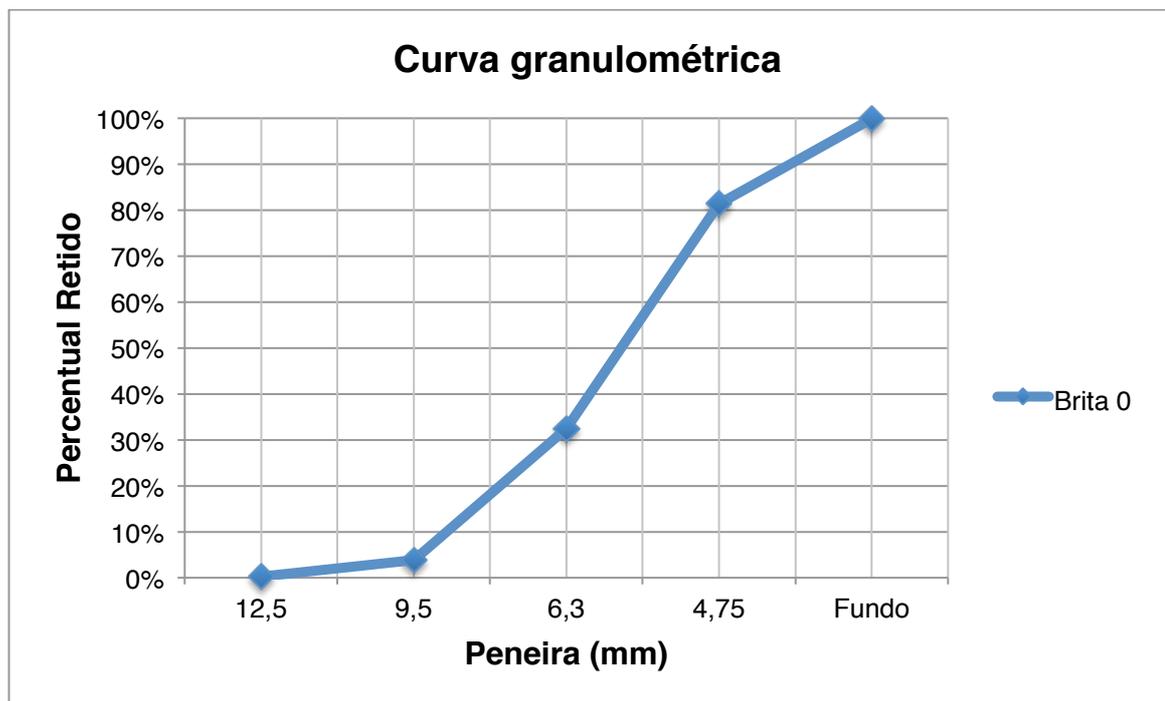


Figura 15 - Curva granulométrica do agregado graúdo

4.1.2 Massa específica dos agregados miúdo e graúdo

A determinação da massa específica dos agregados se torna imprescindível tendo em vista sua utilização para o cálculo de consumo dos mesmos na produção de concretos.

A massa específica do agregado miúdo foi calculada através da relação:

$$\mu = \frac{500}{L - 200}$$

onde:

onde:

μ = massa específica do agregado;

L = Leitura final do frasco (volume ocupado pela amostra e pela água).

Quadro 4 - Massa específica da areia.

| Amostra 1 | | Amostra 2 | |
|----------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|
| Ms (g) | L (cm ³) | Ms (g) | L (cm ³) |
| 500 | 388 | 500 | 393 |
| $\mu 1$ (g/cm ³) | | $\mu 2$ (g/cm ³) | |
| 2,6329 | | 2,5907 | |
| $\mu 1 - \mu 2$ | | 0,0422 | |
| μ médio (g/cm ³) | | 2,61 | |

Podemos observar no Quadro 4 que, conforme ensaio realizado, a massa específica média da areia utilizada é de aproximadamente 2,61 g/cm³. Já a massa específica da brita 0 ensaiada, conforme o Quadro 5, é de aproximadamente 2,84 g/cm³.

Quadro 5 - Massa específica aparente da brita 0.

| Amostra 1 | | Amostra 2 | |
|----------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Ms (g) | Lf (cm ³) | Ms (g) | Lf (cm ³) |
| 500 | 375 | 500 | 377 |
| $\mu 1$ (g/cm ³) | | $\mu 2$ (g/cm ³) | |
| 2,8571 | | 2,8248 | |
| $\mu 1 - \mu 2$ | | 0,0323 | |
| μ médio (g/cm ³) | | 2,84 | |

Imprecisões nestes ensaios podem ser provenientes de bolhas de ar aprisionados entre os materiais, além de imprecisões de leituras no frasco de Chapman, que é apenas visual.

4.1.3 Ensaio do Teor de Materiais Pulverulentos (NBR NM 46)

Segundo a NBR NM 46 (ASSOCIAÇÃO..., 2003), materiais pulverulentos são as partículas minerais com dimensão inferior a 0,075 mm, incluindo os materiais solúveis em água, presentes nos agregados.

Geralmente a presença desses materiais é indesejável na composição do concreto, pois um agregado com alto teor de materiais pulverulentos acaba por diminuir a aderência do agregado com a pasta de cimento, prejudicando de forma direta a resistência. Desta forma, este ensaio teve por objetivo analisar os agregados utilizados estão aptos a ser utilizado sem prejudicar as qualidades do concreto.

O teor de materiais pulverulento é calculado através da expressão:

$$\%Mat. Pulv. = \left(\frac{M_i - M_f}{M_f} \right) * 100$$

onde:

M_i = Massa inicial da amostra

M_f = Massa final da amostra

Quadro 6 - Percentual de Material pulverulento

| | Areia | Brita 0 |
|--------------------------------|--------------|----------------|
| Massa inicial | 500 g | 1000 g |
| Massa Final | 493,5 g | 982,6 g |
| % Material Pulverulento | 1,30 % | 1,74% |

Embora possamos observar no Quadro 6 que a porcentagem de material pulverulento do agregado graúdo é maior que do agregado miúdo, ambos estão abaixo do valor máximo preconizado pela NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO..., 2009).

4.1.4 Ensaio de massa unitária aparente em estado seco e solto (NBR NM 45)

A determinação da massa unitária dos agregados foi realizada seguindo as recomendações da NBR NM 45 (ASSOCIAÇÃO..., 2006). Na realização do ensaio foi utilizado um frasco graduado, sendo que o mesmo foi pesado primeiramente vazio e posteriormente com 1000 cm³ de agregado seco.

A massa unitária dos agregados foi calculada através da equação:

$$\gamma = \frac{Mra - Mr}{Vr}$$

onde:

γ = massa unitária do agregado;

Mra = Massa do recipiente mais agregado;

Mr = Massa do recipiente;

Vr = Volume do recipiente

Os resultados, tanto do agregado miúdo quanto do graúdo, podem ser verificados no Quadro 7. O valor considerado para cada agregado foi a média as duas amostras de cada um deles.

Quadro 7 - Massa unitária dos agregados miúdo e graúdo

| | Areia | | Brita 0 | |
|----------------------------------|-------|--------|---------|------|
| Amostra | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Massa (Mra-Mr, g) | 1473 | 1489,5 | 1524,5 | 1548 |
| Volume (cm ³) | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| Massa Unit. (g/cm ³) | 1,47 | 1,49 | 1,52 | 1,55 |
| Média (g/cm ³) | 1,48 | | 1,54 | |

4.1.5 Compactação máxima de Proctor (NBR 7182)

No caso de concretos leves, assim como nos solos, existe uma relação muito pessoal entre a umidade da mistura e seu grau de compactação. Desta forma,

utilizou-se do ensaio de compactação de Proctor preconizado na NBR 7182 (ASSOCIAÇÃO..., 1986) com a finalidade de determinar a umidade ótima da mistura entre agregado miúdo e agregado graúdo.

O Peso úmido (P_h) compactado foi obtido subtraindo o peso do cilindro metálico após pesar o conjunto cilindro e amostra compactada.

O teor de umidade do solo foi obtido através da pesagem e posterior secagem em estufa, até a constância de peso, de uma amostra para cada ensaio para posterior cálculo da umidade da amostra.

Já a massa específica da amostra foi calculada através da seguinte expressão:

$$\gamma = \frac{P_h * 100}{V * (100 + h)}$$

onde:

γ = massa específica aparente seca (g/cm^3);

P_h = peso úmido compactado (g);

V = volume útil do molde cilíndrico (cm^3);

h = teor de umidade da amostra compactada (%).

Quadro 8 - Resultados finais do ensaio de Proctor

| Amostra | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Peso úmido compactado (P_h) (g) | 1833,1 | 1905,1 | 1911,7 | 1896,6 | 1898,6 |
| Teor de umidade da amostra (%) | 5,12 | 9,42 | 13,24 | 15,82 | 17,34 |
| Massa esp. Ap. Seca (γ, g/cm^3) | 1,6125 | 1,6246 | 1,5532 | 1,4128 | 1,3824 |

Com os dados do Quadro 8, plotou-se o gráfico da Figura 16, onde podemos observar a linha de tendência criada através de um polinômio de segundo grau com um coeficiente de determinação de 0,988, também exibido no gráfico.

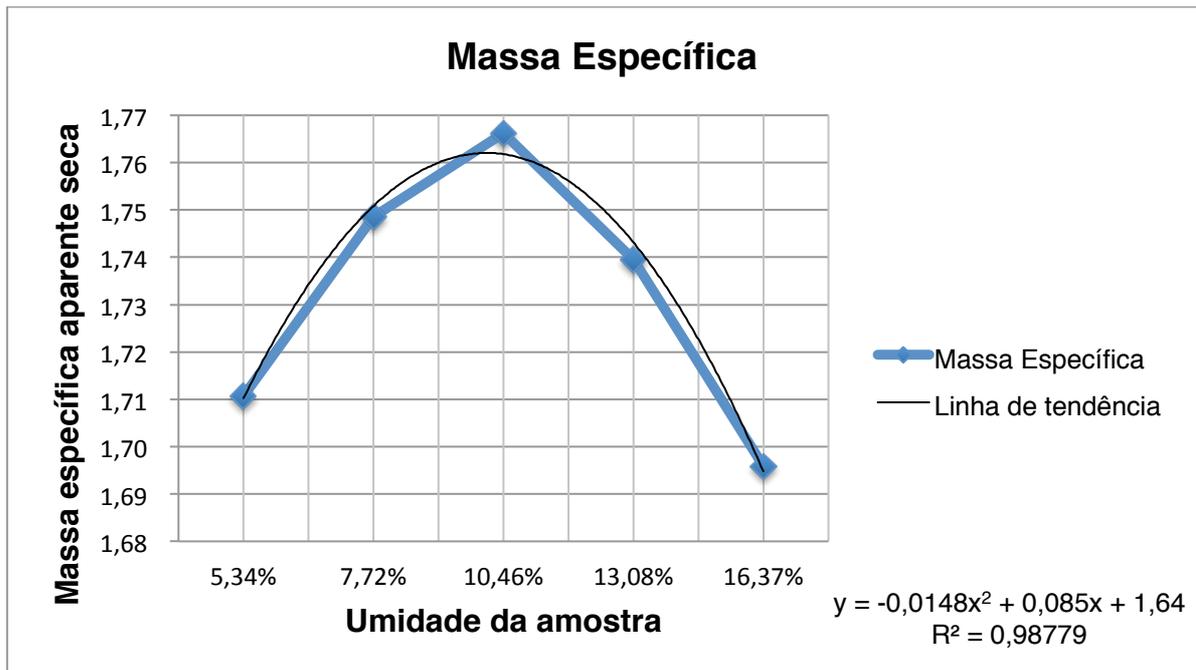


Figura 16 - Gráfico Umidade x Massa específica aparente

Através da resolução do polinômio de segundo grau para considerando $y=1,76$, obteve-se a umidade ótima de compactação de 10%.

4.2 DOSAGEM E PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

O concreto seco convencional produzido foi dosado seguindo o traço já mencionado (1:2,5:2,8) com o fator água/cimento de 0,63 (10% da massa dos agregados) de acordo com a seguinte expressão:

$$C_c = \frac{V}{\left(\frac{1}{\gamma_c} + \frac{2,5}{\gamma_a} + \frac{2,8}{\gamma_b}\right) + \frac{(1 + 2,5 + 2,8)}{10}}$$

onde:

C_c = Consumo de cimento (g);

V = Volume de concreto a ser produzido;

γ_c = Massa específica do cimento (g/cm^3);

γ_a = Massa específica da areia (g/cm^3);

γ_b = Massa específica da Brita (g/cm^3).

Com os dados obtidos neste trabalho e apresentados no Quadro 9 - Massa específica dos agregados, considerando um volume de concreto a ser produzido de 12.566 cm³, o necessário para produção de concreto para 8 corpos de prova com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm considerando uma perda de concreto (aderido à betoneira) de um corpo de prova, calculou-se o consumo de cimento e posteriormente dos outros agregados para a produção dos corpos de prova.

Quadro 9 - Massa específica dos agregados

| γ_c (g/cm ³) | γ_a (g/cm ³) | γ_b (g/cm ³) |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 3,12 | 2,61 | 2,84 |

Já o concreto leve produzido foi dosado com o mesmo traço e mesma relação água/cimento, porém com uma substituição de 50% do agregado graúdo por flocos de EPS, dosados em volume, que foi obtido através da multiplicação da massa de brita removida pela sua massa unitária.

Os concretos foram produzidos em uma betoneira com capacidade nominal de 120 litros no canteiro de obras da UTFPR – Câmpus Pato Branco.

A mistura do material, em ambas as betonadas, seguiu a seguinte metodologia:

- mistura a seco de todos os agregados (areia e brita, além do EPS no caso do concreto leve) com água por 2 minutos;
- parada para adição do aglomerante (cimento);
- mistura por mais 3 minutos.

4.3 MOLDAGEM E ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA

A moldagem dos corpos de prova seguiu as orientações da NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO..., 2015) com 12 golpes em 2 camadas. Este adensamento poderia ser executado com 26 golpes em 3 camadas utilizando-se do mesmo soquete

utilizado no ensaio de determinação da umidade ótima, obtendo-se assim um maior grau de compactação e, conseqüentemente, maior resistência.

Porém, como o intuito da pesquisa era avaliar a influência da substituição de parte do agregado graúdo por EPS no concreto convencional, o adensamento seguiu as recomendações da norma específica para produção de corpo de provas, tendo em vista que a perda de resistência em função do adensamento ocorre em ambos os tipos de concreto.

A desmoldagem dos corpos de prova ocorreu 24 horas após sua moldagem, quando os mesmos foram submersos em uma solução de água e cal para sua cura.

O ensaio de resistência compressão dos mesmos foi executado no laboratório de materiais da UTFPR com idades de 3 e 7 dias através da utilização de uma prensa hidráulica da marca EMIC, com capacidade de 300 KN e auxílio do *software Tesc®*.

O valor estimado da resistência característica dos concretos produzidos (Quadro 11 e Quadro 12) foi encontrado como instruído pela NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO..., 200 através das seguintes expressões:

$$f_{ckest} \geq f_{ck}$$

$$f_{ckest} = \Psi_6 * f_1$$

Onde:

Ψ_6 é dado pelo Quadro 10, para os números de exemplares de 2 a 5.

Quadro 10 - Valores de Ψ_6

| Condição de preparo | Número de exemplares (n) | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 12 | 14 | ≥ 16 |
| A | 0,82 | 0,86 | 0,89 | 0,91 | 0,92 | 0,94 | 0,95 | 0,97 | 0,99 | 1,00 | 1,02 |
| B ou C | 0,75 | 0,80 | 0,84 | 0,87 | 0,89 | 0,91 | 0,93 | 0,96 | 0,98 | 1,00 | 1,02 |

NOTA - Os valores de n entre 2 e 5 são empregados para os casos excepcionais (ver 7.2.3.3).

Fonte: NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO..., 2006).

O valor de Ψ_6 adotado foi de 0,86 para o concreto convencional e 0,80, para o concreto leve, pois a dosagem do EPS foi feita em volume, caracterizando a condição de preparo como B.

A verificação da redução dos corpos de prova foi realizada através da pesagem dos corpos de prova secos ao ar (após ensaio de compressão axial).

Quadro 11 - Resistência característica do concreto convencional

| | 3 Dias | | | 7 dias | | |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Corpo de prova | f ₁ | f ₂ | f ₃ | f ₁ | f ₂ | f ₃ |
| Peso (g) | 3479,5 | 3518 | 3416 | 3543 | 3589 | 3495,5 |
| Resistência (MPa) | 7,58 | 8,1 | 9,42 | 10,38 | 11,48 | 15,84 |
| f _{ckest} (MPa) | 6,52 | | | 8,93 | | |

Quadro 12 - Resistência característica do concreto leve

| | 3 Dias | | | 7 dias | | |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Corpo de prova | f ₁ | f ₂ | f ₃ | f ₁ | f ₂ | f ₃ |
| Peso (g) | 2030 | 2103,5 | 2127 | 2254,5 | 2291 | 2307 |
| Resistência (MPa) | 0,38 | 0,57 | 0,63 | 0,64 | 0,69 | 0,74 |
| f _{ckest} (MPa) | 0,30 | | | 0,51 | | |

Com os dados de resistência característica de ambos os tipos de concreto foi plotado o gráfico da Figura 17 para comparação entre os mesmos.

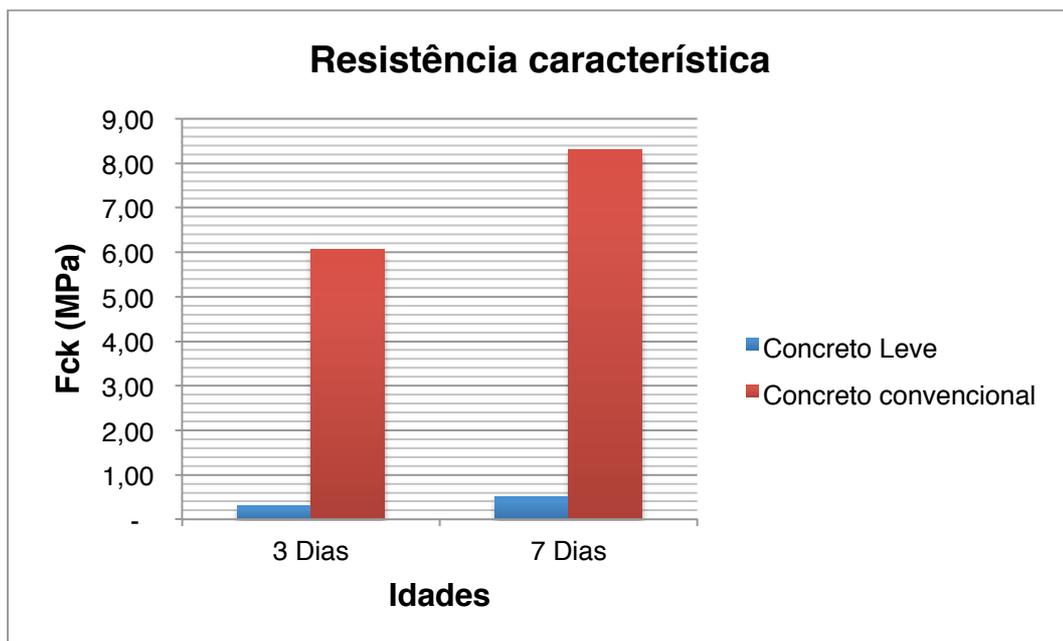


Figura 17 - Gráfico comparativo das resistências dos concretos em diferentes idades

Além dos ensaios de resistência à compressão do concreto, corpos de prova foram separados para realização dos ensaios de determinação da sua densidade e absorção. A densidade média (Figura 18) foi determinada através da divisão do peso médio dos corpos de prova secos ao ar pelo seu volume.

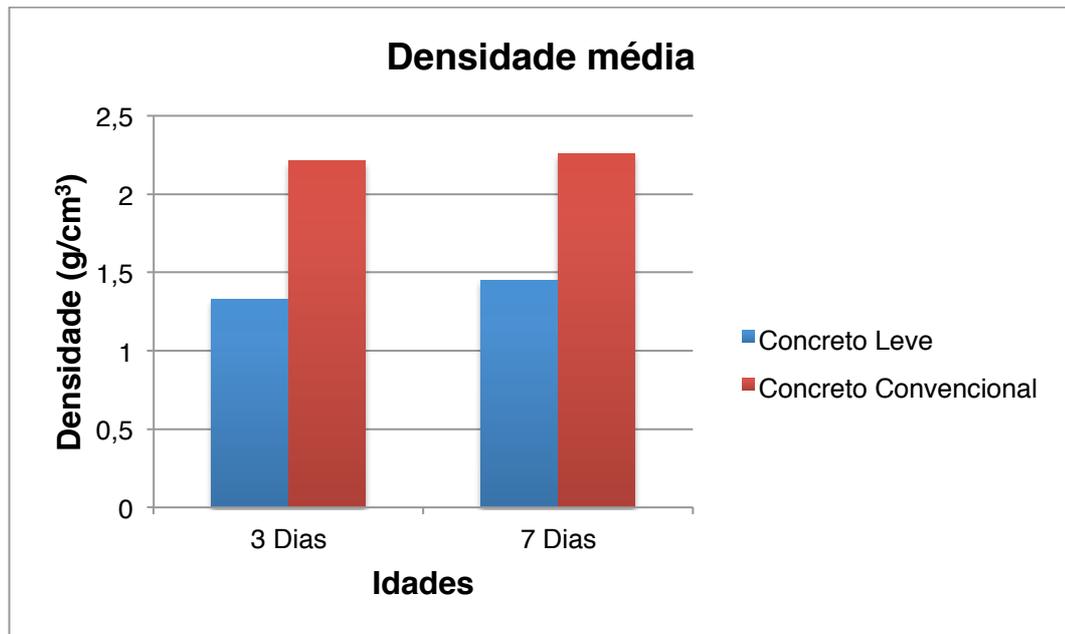


Figura 18 - Gráfico comparativo das densidades médias dos concretos em diferentes idades

Já o ensaio de absorção foi realizado pesando os corpos de prova (com idade de 7 dias) retirados do tanque de água, após eliminado o excesso de água dos corpos (P1), em seguida os mesmos foram levados à estufa com temperatura entre 100°C e 110°C até constância de massa e foram pesados novamente (P2). O índice de absorção foi medido por $(P1-P2)/P2$, a comparação entre estes índices pode ser observado na Figura 19.

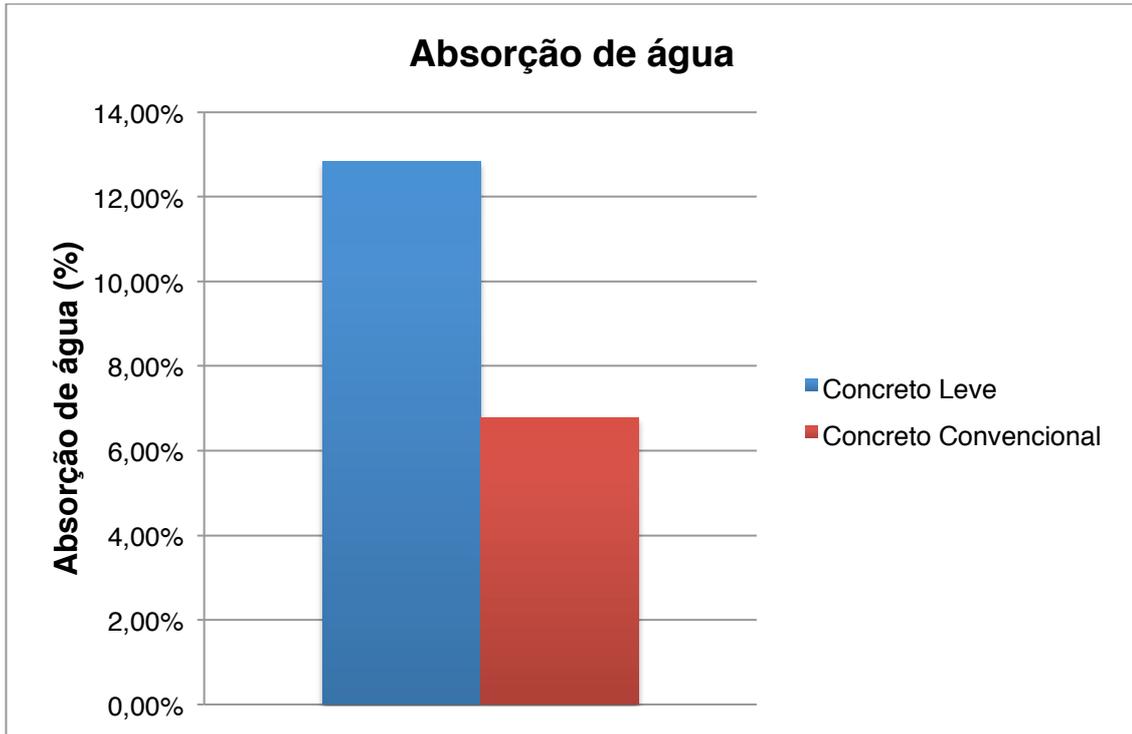


Figura 19 – Gráfico comparativo de absorção de água dos concretos produzidos

5 CONCLUSÕES

Através dos ensaios realizados no decorrer deste trabalho, pôde-se observar uma grande redução da resistência característica do concreto produzido com a substituição de metade do agregado graúdo por EPS, redução essa de 95,39% na idade de 3 dias e 94,29% na idade de 7 dias. Além disso, a resistência característica do concreto leve não atingiu a resistência mínima exigida na produção de blocos de concreto sem função estrutural.

Resistências baixas foram obtidas para ambos os concretos, fatores que podem ter influenciado isso são:

- a má distribuição granulométrica dos agregados utilizados (excesso de material miúdo no agregado graúdo), que reduz o fator de empacotamento dos agregados, aumentando a porosidade do concreto e, conseqüentemente, reduzindo sua resistência a compressão;
- baixa energia de compactação durante o adensamento dos corpos de prova, observando que o mesmo seguiu as recomendações da NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO..., 2015), não sendo utilizado portanto, o soquete metálico e adensamento de 26 golpes em 3 camadas, como recomenda a NBR 7128 (ASSOCIAÇÃO..., 1986), mas sim, adensamento com bastão metálico com 12 golpes em 2 camadas.

Já a diferença de resistência entre os dois tipos de concreto produzido está no excesso de substituição do agregado graúdo por EPS, mostrando-se esta substituição inviável para o traço usado, sendo necessária a utilização de mais tipos de agregados, buscando um melhor fator de empacotamento do concreto com o intuito de fechar os vazios entre os flocos de EPS.

A absorção de água do concreto aumentou significativamente com a adição do EPS, de 6,78% para 12,84%, conferindo assim, uma adição de 89,38% na absorção de água ao traço de concreto.

A redução de peso (ou de densidade) dos concretos foi na ordem de 39,82% na idade de 3 dias e 35,84% na idade de 7 dias, resultando em um concreto

com densidade aparente de $1,45 \text{ g/cm}^3$ (1450 Kg/m^3) nas condições de compactação recomendadas pela NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO..., 2015).

REFERÊNCIAS

ACCETTI, K. M., PINHEIRO, L. M. *Tipos de Fibras e Propriedades do Concreto com Fibras*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 42, 2000, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Arte Interativa, 2000. CD-ROM.

ACI - AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 211.2-98**. Standard practice for selecting proportions for structural lightweight concrete, 1998.

_____. **ACI 213R-87**. Guide for structural lightweight aggregate concrete, 1995.

AGNESINI, M. V. C.; SILVA, L. F. **Dosagem de microconcretos e concretos de elevado desempenho**: estudo de caso. In: INTERNACIONAL CONGRESS ON HIGH- PERFORMANCE CONCRETE, AND PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES, 1st., 1996, Florianópolis. Anais... Florianópolis, SC, Jun. 1996. p. 167-177.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO – ABRAPEX. Disponível em: <<http://www.abrapex.com.br/62Recicla09.html>>. Acesso em 22 de maio de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos de prova de concreto cilíndricos ou prismáticos. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739**: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto, 2007.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7173**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 7182**: Ensaio de compactação dos solos. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 7211**: Agregados para Concreto – Caracterização. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7223**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7973**: Poliestireno expandido para isolamento térmica – Determinação de absorção de água. Rio de Janeiro, 2007.

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

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e procedimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 12821**: Preparação de concreto em laboratório - Procedimento. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 26**: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 27**: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

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

_____. **NBR NM 52**: Agregado Miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 53**: Agregado Graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 3433**: Determinação dos tempos de pega do cimento Portland. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR NM ISO 2395**: Peneiras de ensaio e ensaio de peneiramento – Vocabulário. Rio de Janeiro, 1997.

ANHEMBI PARQUE. Centro de eventos e convenções da cidade de São Paulo. 2014. Disponível em: <http://www.anhembiparque.com.br/wp-content/uploads/2012/08/pavilhao_de_exposicoes_caiopimenta.jpg>. Acesso em: 15 jul. 2014.

ASSOCIAÇÃO DE COMBATENTES DO CONCELHO DE ARGANIL. 2010. Disponível em: <http://combatentesarganil.blogspot.com.br/2010_04_01_archive.html>. Acesso em: 16 jul. 2014.

CASSA, J. C. S.; CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S. **Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção**: Projeto Entulho Bom. Salvador: Editora da UFBA, 2001. 311p.

CEB-FIP - COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON and FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE LA PRÉCONTRAİNTE. **Lightweight aggregate concrete**: Manual of design and technology. London: The Construction Press, 1977.

EAC-FEA/USP. Departamento de contabilidade e Atuária – FEA/USP. Disponível em: <<http://www.eac.fea.usp.br/eac/memoria/index.html>>. Acesso em: 15 jul. 2014.

EUROLIGHTCON – **Economic Design And Construction With Lightweight Aggregate Concrete**. LWAC Material Properties, State-of-the-Art. Project BE96-3942/R2, Noruega, 1998.

HOTEIS.COMTM. Disponível em: <<http://www.hoteis.com/ho204088/grand-hyatt-sao-paulo-sao-paulo-brasil/>>. Acesso em 15 jul. 2014.

HPP ARCHITECTS. Disponível em: <<http://www.hpp.com/en/projekte/typologies/buero-und-verwaltung/standard-bank-centre.html>>. Acesso em: 15 jul. 2014.

ISOPAN. Disponível em: <<http://isopan.webnode.com.br/meio-ambiente-e-o-eps/>> Acesso em: 15 jul. 2014.

ITAMBÉ CIMENTOS. Disponível em: < http://itambe.projetosredirect.com.br/wp-content/themes/cimentos-itambe/_assets/pdf/relatorios/2013-13/CP-V-ARI.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2014.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: Uma Contribuição para Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000.133p.

MEHTA, K; MONTEIRO, J. M. **Concreto**: Estruturas, Propriedades e Materiais. São Paulo: Pini, 1994.

MITIDIERI, A. **Agregados leves em pré-moldados de concreto**. In: Colóquio Sobre Pré-Moldados De Concreto. São Paulo: Ibracon, 1976.

NEVILLE, A. M.; **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997. 828p.

O MUNDO DO CIMENTO. Disponível em: <http://www.cimento.org/index.php?option=com_content&view=article&id=109&Itemid=154>. Acesso em: 20 julho 2014.

POCO A POCO. **BMW Tower and museum**, Munich, Germany. 28 abr. 2012. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:4_cilindros_y_museo_BMW,_M%C3%BAnich,_Alemania_2012-04-28,_DD_02.JPG>. Acesso em: 15 jul. 2014.

PROMOVIEW. 2009. Disponível em: <<http://promoview.com.br/mercado/31337-riocentro-e-escolhido-melhor-centro-de-convencoes-da-al/>>. Acesso em: 15 jul. 2014.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos**: Dosagem, produção, propriedades e microestrutura. Tese (Doutorado) – Interunidades: Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos e Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. **Concreto estrutural leve**. In: ISAIA, G.C. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. Cap.43, v.2, p.1333-1362.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve estrutural**: Produção, propriedades, microestrutura e aplicações., São Paulo: Pini, 2009.

SYDNEY CBD HOTELS. Disponível em: <<http://www.sydneycbdhotels.net.au/park-regis-sydney/>>. Acesso em: 15 jul. 2014.

TEZUKA, Y. **Concreto leve à base de argila expandida**. 1973. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1973.

TRIBO DE JACOB. 2010. Disponível em: <<http://tribodejacob.blogspot.com.br/2010/11/1-de-novembro-de-610o-panteao-romano-e.html>>. Acesso em: 15 jul. 2014.

VASCONCELOS, A. C. **Cálculo de estruturas de concretos leves de argila expandida** In: IBRACON: Colóquio sobre Concretos Leves. Anais... São Paulo, 1973.

VIEIRA, M.G. **Betões de elevado desempenho com agregados leves**: Durabilidade e microestrutura. Lisboa, Portugal, 2000. Dissertação (mestrado) – Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.

VOTORANTIM CIMENTOS. 2014. Disponível em: <<http://www.vcimentos.com.br/Produtos/Cimento.htm>>. Acesso em: 20 jul. 2014.

YANAI, S. Et al. **Study on mix proportion for self compacting high performance lightweight aggregate concrete**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON STRUCTURAL LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE, 2. Kristiansand, Norway, 2000. Proceedings, p.774-783.