

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA EM CONCRETOS PRODUZIDOS COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA CALCINADA

Bruno Carlos de Santis¹

João Adriano Rossignolo²

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo a caracterização de diferentes massas cerâmicas do estado de São Paulo para a produção de agregados leves de argila calcinada visando à utilização em concretos de cimento Portland. A caracterização das massas cerâmicas deu-se por meio das técnicas de limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP), análise granulométrica, análise química e difração de raios X (DRX). Os corpos de prova confeccionados com essas massas cerâmicas, queimados à temperatura de 900°C, foram caracterizados por meio da avaliação da retração linear, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente, expansão por umidade e resistência à compressão. Os resultados desta pesquisa indicaram a viabilidade da produção de agregados leves de argila calcinada para utilização em concretos e os valores da massa específica (1.555 a 1.785 kg/m³) e da resistência à compressão (18.0 a 55.8 MPa) apresentaram-se em um patamar intermediário entre os observados para a argila expandida (agregado leve comercial) e para o agregado convencional (basalto).

Palavras-chave: Massas cerâmicas, agregados leves para concreto, concretos leves.

¹ Doutorando, Universidade de São Paulo – USP, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, desantis.bruno@gmail.com

² Prof. Dr. João Adriano Rossignolo, Universidade de São Paulo - USP, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - USP, j.a.rossignolo@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O concreto com agregados leves, ou concreto leve estrutural, apresenta-se como um material de construção consagrado em todo o mundo, com aplicação em diversas áreas da construção civil. A ampla utilização desse material em todo o mundo é particularmente atribuída aos benefícios promovidos pela redução da massa específica do concreto, como a redução de esforços na estrutura das edificações, a economia com formas e cimbramento, bem como a diminuição dos custos com transporte e montagem de construções pré-fabricadas (ZHANG; GJRV, 1991; ROSSIGNOLO, 2009).

Atualmente, devido à maior demanda da construção civil e ao déficit de agregados leves naturais, agregados leves de argila expandida aparecem como uma das únicas opções de agregados leves para a produção de concretos, tornando sua utilização modesta, frente ao seu potencial de utilização, estando concentrada no estado de São Paulo e em estados vizinhos, dada a localização da fábrica de argila expandida CINEXPAN, em Várzea Paulista – SP, único fabricante de agregados leves no país. Por se tratar de uma única empresa produtora, o alto custo do transporte a longas distâncias dificulta a disseminação dessa tecnologia por todo o território nacional (ROSSIGNOLO, 2009; SOBRAL, 1996).

Uma alternativa para a disseminação da tecnologia do concreto leve estrutural por todo território nacional seria a produção de agregados leves de argila calcinada, utilizando a cerâmica vermelha, já que existem cerca de 11.000 empresas produtoras de cerâmica vermelha espalhadas por todo o território nacional e que, com pequenas modificações em suas linhas de produção, essas empresas poderiam produzir agregados leves de argila calcinada como mais um de seus produtos comerciais (SEBRAE, 2008).

A resistência à tração, o módulo de deformação e a resistência à compressão dos concretos são grandezas que estão diretamente ligadas ao tipo e à granulometria dos agregados utilizados na moldagem.

Segundo Chandra e Berntsson (2002), a resistência à compressão dos concretos leves depende do tipo de agregado leve, da quantidade de água utilizada, da relação água/cimento, do tipo de mistura dos componentes, do processo de lançamento e também de cura dos concretos.

O módulo de deformação dos concretos está diretamente relacionado com a resistência à compressão, a quantidade e o tipo de agregado e a zona de transição agregado–matriz, o que faz com que os valores de módulo de deformação de concretos confeccionados com agregados leves seja menor do que o módulo de deformação de concretos confeccionados com agregados convencionais, uma vez que os agregados leves apresentam valores menores de resistência à compressão do que os agregados convencionais (ZHANG, M.N.; GJRV, O. E, 1991).

Segundo EuroLightCon (2000), concretos confeccionados com agregados leves, quando submetidos à esforços de tração, apresentam ruptura nos agregados antes de apresentarem ruptura na pasta de cimento, uma vez que a resistência do agregado é inferior do que a da pasta.

Assim, este trabalho tem como objetivo a análise da resistência dos corpos de prova de concreto produzidos com agregados leves de cerâmica vermelha, quando comparados aos corpos de prova produzidos com agregados leves de argila expandida e com agregados convencionais de basalto.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Materiais e métodos

Para a presente pesquisa, foram utilizados dois tipos de agregados leves produzidos com cerâmica vermelha, além de agregados leves de argila expandida (CINEXPAN) e agregados

convencionais de basalto. Os agregados leves de argila calcinada foram confeccionados no Laboratório de Construções Rurais e Ambientais da FZEA/USP, na cidade de Pirassununga - SP.

Para a produção dos agregados leves de argila calcinada, foram coletadas amostras de solo de empresas produtoras de peças de cerâmica vermelha das cidades de Porto Ferreira/SP e Itu/SP.

As massas cerâmicas foram extrudadas com umidades próximas de seus limites de plasticidade, levando-se em consideração a umidade já existente em cada uma delas, em uma maromba de escala laboratorial produzida pela empresa “Indústria de Marombas Gelenski Ltda”, modelo MVIG-05. Para a extrusão, utilizou-se boquilha de formato cilíndrico, com diâmetro de 15,0 mm. Após a extrusão, os agregados foram cortados em seu tamanho final (15,0 x 15,0 mm) e armazenados em bandejas para secagem ao ar livre.

Após a secagem, os corpos de prova foram levados à estufa ventilada, a uma temperatura de 60 °C, por um período de 72 horas. Em seguida, foram queimados em uma mufla da marca Jung, modelo 10013, com potência de 7 KW, com temperatura de 900 °C. A queima foi realizada com rampa de aquecimento de 4 °C / min. e de resfriamento de 6 °C /min., sendo que as peças ficaram submetidas à temperatura máxima (900 °C) por 60 minutos.

Depois de confeccionados os agregados de cerâmica vermelha, foram produzidos os corpos de prova de concreto, com agregados leves de argila calcinada, argila expandida e basalto. Os corpos de prova foram confeccionados no Laboratório de Construções Civil (LCC) do Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos/SP - USP. A tabela 1 apresenta as características dos 4 tipos de agregados utilizados.

Tabela 1 – Características físicas dos agregados graúdos dos corpos de prova de concreto

Agregado	Massa unitária no estado solto (Kg/m³)	Massa específica saturada (Kg/m³)	Absorção de água (%)
Brita	1543	2930	0,88
Argila expandida	503	947	12,61
Itu	1066	2129	15,67
Porto Ferreira	965	2039	21,64

Conhecendo-se as características de cada um dos agregados, procurou-se manter em um mesmo patamar os consumos de cimento e areia para os quatro tipos de concreto, assim como uma relação água/cimento (0,5) e o volume dos agregados graúdos para todos os corpos de prova, como ilustra a tabela 2.

Tabela 2 – Consumo real de cimento, areia, agregado e água para a moldagem dos corpos de prova de concreto

CP	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Agregado (Kg)	Água (Kg)	Relação água / cimento
Brita	387,53	968,84	821,58	193,76	0,5
Argila Expandida	377,40	943,51	271,73	188,70	0,5
Itu	389,17	972,92	537,06	194,59	0,5
Porto Ferreira	383,94	959,84	479,92	191,98	0,5

Os corpos de prova moldados foram secados no ambiente do laboratório por um período de 24 horas. Após esse período, os corpos de prova foram desformados e foram submetidos ao processo de cura, em uma câmara úmida com umidade variando de 90% a 95% e temperatura variando de 20 °C a 23 °C até atingirem a idade de 28 dias. Transcorrido esse período, os corpos de prova foram transferidos para uma sala climatizada, com temperatura variando de 22 °C a 26 °C e umidade variando de 62% a 78%, aonde permaneceram até 91 dias de idade.

Os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de massa específica (ABNT NBR 9833:2008) e slump, no estado fresco e de resistência à compressão (ABNT NBR 5739:2007), resistência à tração por compressão diametral (ABNT NBR 7222:2011), módulo de deformação (ABNT NBR 8522:2008) e massa específica no estado endurecido (ABNT NBR 9778:2005).

2.2. Resultados e discussões

A tabela 3 apresenta os valores das propriedades no estado fresco dos corpos de prova de concreto.

Tabela 3 – Propriedades dos corpos de prova no estado fresco

CP	Massa específica (Kg/m ³)	Slump (mm)	Teor de ar incorporado (%)
Brita	2386	40	2,03
Argila Expandida	1766	50	4,59
Itu	2151	45	2,66
Porto Ferreira	2124	50	2,82

Analisando-se a tabela 3, percebe-se que os valores de massa específica no estado fresco dos concretos variaram entre 2386 Kg/m³ para os corpos de prova produzidos com brita como agregado e 1766 Kg/m³ para os corpos de prova produzidos com agregados de argila expandida. Os corpos de prova produzidos com os agregados de Itu e Porto Ferreira apresentaram massa específica no estado fresco iguais a 2151 Kg/m³ e 2124 Kg/m³, respectivamente, apresentando uma redução em massa de 10,93% e 12,34% respectivamente, quando comparados aos corpos de prova produzidos com brita, permanecendo em um patamar intermediário entre os corpos de prova produzidos com brita e os produzidos com argila expandida.

Os valores de resistência à compressão dos corpos de prova são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Valores de resistência à compressão dos corpos de prova de concreto

CP	7 dias	Desvio padrão	28 dias	Desvio padrão	91 dias	Desvio padrão
Brita	25,55	1,15	34,07	1,38	42,77	1,03
Argila expandida	20,32	0,58	23,68	0,59	28,08	0,71
Itu	18,95	0,68	23,94	0,96	29,70	0,72
Porto Ferreira	16,22	0,86	19,79	1,35	25,82	1,24

Analisando-se a tabela 4, observa-se que com idade de 91 dias, a resistência à compressão dos corpos de prova variou de 25,82 MPa para os corpos de prova produzidos com agregados de Porto Ferreira e 42,77 MPa para os corpos de prova confeccionados com brita, sendo que, em todos os casos, a resistência à compressão dos corpos de prova aumentou com o aumento da idade dos mesmos.

Ainda de acordo com a tabela 4, percebe-se que em todas as idades, os corpos de prova produzidos com agregados de argila expandida e Itu apresentaram valores muito próximos de resistência à compressão, sendo eles inferiores aos valores apresentados pelos corpos de prova produzidos com brita e superiores aos valores apresentados pelos corpos de prova produzidos com agregados de Porto Ferreira.

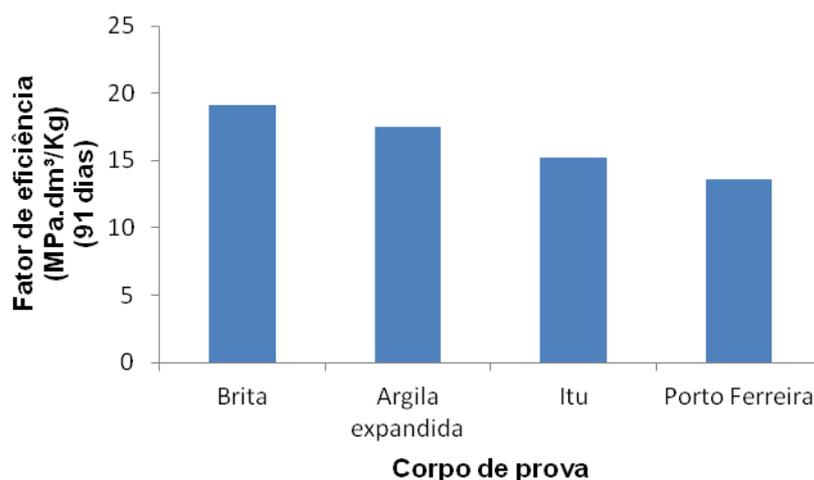
Os valores de massa específica aparente e fator de eficiência (Fe) (relação entre a resistência à compressão e a massa específica dos concretos) dos corpos de prova são apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – massa específica aparente e fator de eficiência dos corpos de prova de concreto

CP	Massa específica aparente (Kg/m ³)	Desvio padrão	Fator de eficiência (MPa.dm ³ /Kg)
Brita	2235	12,98	19,14
Argila expandida	1608	12,70	17,46
Itu	1948	1,30	15,25
Porto Ferreira	1896	7,05	13,62

Analisando a tabela 5, percebe-se que os concretos confeccionados com os agregados de Porto Ferreira e Itu apresentam massa específica aparente em um patamar intermediário quando comparados aos concretos confeccionados com argila expandida e brita, sendo que a redução de massa para os corpos de prova com agregados de itu foi de 14,73% e para os corpos de prova com agregados de Porto Ferreira foi de 17,88%, quando comparados aos corpos de prova confeccionados com brita.

O fator de eficiência (Fe) dos concretos variou de 13,62 MPa.dm³/Kg para os corpos de prova produzidos com os agregados de Porto Ferreira a 19,14 MPa.dm³/Kg para os corpos de prova produzidos com brita, como ilustra a figura 1.

**Figura 1 – Fator de eficiência dos concretos**

Os valores da resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova são apresentados na tabela 6. O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado com corpos de prova com idade de 28 dias, baseado na Norma Brasileira ABNT NBR 7222:2011. Para cada um dos tipos de concreto foram confeccionados 3 corpos de prova para a realização do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

Tabela 6 - Valores de resistência à tração dos corpos de prova de concreto

Corpo de prova	Resistência à Tração (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Resistência à tração / Resistência à compressão (28 dias) (%)
Brita	2,92	0,11	8,57
Argila expandida	1,80	0,55	7,60
Itu	2,29	0,61	9,57
Porto Ferreira	1,78	0,37	8,99

Analisando-se a tabela 6, percebe-se que os corpos de prova confeccionados com brita apresentaram as maiores resistências à tração dentre os corpos de prova analisados, sendo que os corpos de prova confeccionados com argila expandida e agregados de Porto Ferreira apresentaram resistência à tração muito próximas, 1,80 MPa e 1,78 MPa, respectivamente.

Ainda analisando-se a tabela 6, percebe-se que a relação entre a resistência à tração e a resistência à compressão dos concretos são muito semelhantes, variando de 7,60% para os corpos de prova confeccionados com agregados de argila expandida a 9,57% para os concretos confeccionados com agregados leves de Itu, o que é um indício de que os agregados confeccionados com matérias primas de Porto Ferreira e Itu não alteram os valores da relação “resistência à tração/resistência à compressão” dos concretos, normalmente em torno de 10%.

A tabela 7 apresenta os valores dos módulos de deformação dos corpos de prova de concreto. A determinação do módulo de deformação dos corpos de prova de concreto foi realizada com corpos de prova com 28 dias de idade, de acordo com as recomendações da Norma Brasileira ABNT NBR 8522:2008. Para a realização desse ensaio, foram confeccionados 3 corpos de prova para cada um dos concretos. O valor do módulo de deformação foi calculado utilizando-se a tensão correspondente a 30% do valor do carregamento.

Tabela 7 – Módulo de deformação dos corpos de prova de concreto

CP	Módulo de deformação (GPa)	Desvio Padrão (GPa)
Brita	36,63	0,75
Argila expandida	20,44	2,64
Itu	19,48	0,51
Porto Ferreira	17,41	1,58

Observando-se a tabela 7, percebe-se que os valores dos módulos de deformação dos concretos confeccionados com agregados leves foram inferiores ao valor do módulo de deformação dos concretos produzidos com brita, já que os concretos confeccionados com agregados leves apresentaram valores inferiores de resistência à compressão do que os concretos confeccionados com agregados convencionais (basalto), além de os agregados leves apresentam valores de resistência à compressão e módulo de deformação inferiores aos agregados convencionais.

3. CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos neste trabalho, há indicações de que a produção de concretos com agregados leves de argila calcinada pode ser viável, com destaque para os seguintes aspectos:

- No estado fresco, os corpos de prova produzidos com agregados leves de argila calcinada de Itu e Porto Ferreira apresentaram valores de massa específica (2151 Kg/m³ e 2124 Kg/m³, respectivamente) em um patamar intermediário entre os corpos de prova produzidos com agregados de basalto (2386 Kg/m³) e argila expandida (1766 Kg/m³);

- Da mesma forma que no estado fresco, no estado endurecido, os valores de massa específica aparente dos corpos de prova de Itu (1948 Kg/m³) e Porto Ferreira (1896 Kg/m³) também apresentou-se em um patamar intermediário entre as massas específicas dos corpos de prova de basalto (2235 Kg/m³) e argila expandida (1608 Kg/m³), tendo se observado uma redução em massa de 14,73% e 17,88% para os corpos de prova de Itu e Porto Ferreira, respectivamente, quando comparados aos corpos de prova de basalto;

- Os valores das resistências à compressão dos corpos de prova moldados para essa pesquisa variaram de 25,82 MPa para os corpos de prova confeccionados com agregados de Porto Ferreira a 42,77 MPa para os corpos de prova confeccionados com brita, aos 91 dias de idade;

- Os corpos de prova confeccionados com agregados leves de argila calcinada de Itu e Porto Ferreira atingiram patamares similares de resistência à compressão e módulo de deformação, quando comparados aos valores obtidos para os corpos de prova produzidos com argila expandida porém, suas massas específicas aparentes foram superiores às observadas nos corpos de prova de argila expandida;

- Os valores de resistência à tração dos corpos de prova de concreto variaram de 1,78 MPa (corpos de prova com agregados leves de Porto Ferreira) a 2,92 MPa (corpos de prova com brita), uma vez que os agregados leves apresentam resistência a tração menores que os agregados convencionais (brita) devido à grande quantidade de vazios presentes. Apesar de apresentarem resistência à tração inferior do que os corpos de prova com brita, a relação entre a resistência à tração e a resistência à compressão dos concretos são muito semelhantes, variando de 7,60% para os corpos de prova confeccionados com agregados de argila expandida a 9,57% para os concretos confeccionados com agregados leves de Itu, o que é um indício de que os agregados confeccionados com matérias primas de Porto Ferreira e Itu não alteram os valores da relação “resistência à tração/resistência à compressão” dos concretos, normalmente em torno de 10%.

Portanto, agregados leves de argila calcinada mostram-se como uma alternativa viável para utilização em concretos estruturais leves, já que os corpos de prova confeccionados com agregados leves de argila calcinada apresentaram características similares aos corpos de prova confeccionados com argila expandida, além da possibilidade de disseminação desta tecnologia por todo o território nacional, já que existe uma grande quantidade de empresas produtoras de cerâmica vermelha espalhadas por todo o território nacional.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, ao CNPq e à FINEP pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho, ao Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Geotecnia da EESC/USP, ao Laboratório de Construção Civil do IAU/USP, ao Instituto de Geociências da USP, ao laboratório de Construções Rurais e Ambientais da FZEA/USP e às empresas Cerâmica Josemar Ltda., Morandin Produto Cerâmicos, Selecta blocos (Grupo Estrutural), Maristela Telhas Ltda. (Top Telha) e Cerâmica Vale do Mogi por fornecerem matéria prima para essa pesquisa.

REFERÊNCIAS

_____. **ABNT NBR 9778**: Argamassa e Concreto Endurecidos – Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **ABNT NBR 5739**: Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos de Concreto. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **ABNT NBR 9833**: Concreto Fresco – Determinação da Massa Específica e do Teor de Ar pelo Método Gravimétrico. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **ABNT NBR 8522**: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **ABNT NBR 7222**: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

CABRAL, G. L. L. **Metodologia de Produção e emprego de Agregados de Argila Calcinada Para Pavimentação**. 2005. 358 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2005.

CHANDRA, S.; BERNTSSON, L. **Lightweight aggregate concrete: science, technology, and applications**. USA, Noyes Publications 409p., 2002.

EUROLIGHTCON – Economic Design and Construction with Lightweight Aggregate Concrete. **Mechanical Properties of Lightweight Aggregate Concrete**. Project BE96-3942/R23, Noruega, 48p. 2000.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve estrutural: Produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. 1 ed., São Paulo, Editora PINI 2009.

SANTIS, B. C., **Agregado leve de argila calcinada para uso em concreto estrutural: viabilidade da cerâmica vermelha do estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado), Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 132 p., 2012.

SANTOS, M.G.R. **Estudo do comportamento do agregados sintético de argila calcinada para uso em revestimentos asfálticos para Manaus**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília-UnB, Brasília-DF, 102p., 2007.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. **Cerâmica vermelha para construção: telhas, tijolos e tubos**. Estudos de Mercado SEBRAE/ESPM, São Paulo, 2008.

SOBRAL, H. S. **Concretos leves estruturais: Tipos e comportamento estrutural**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. São Paulo. Publicação ET-86, 1996.

ZHANG, M.N.; GJØRV, O. E. Mechanical Properties of High-Strength Lightweight Concrete. **ACI Materials Journal**, v.88, n.3, p.240-247, 1991.