

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS E MIÚDOS POR AGREGADO LEVE¹

Nelson Seidler²; Alessandra Pinheiro Knorst³; Paola Nadine Johann Külzer⁴

¹ Trabajo de Investigación, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI, Campus Santo Ângelo, RS/Brasil

² Engenheiro Civil, Professor Me. e Coordenador do Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI, Campus Santo Ângelo, RS/Brasil. seidler@san.uri.br

³ Acadêmica de Engenharia Civil pela Universidade Regional e Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI, Campus Santo Ângelo, alessandra.p.k@hotmail.com.

⁴ Acadêmica de Engenharia Civil pela Universidade Regional e Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI, Campus Santo Ângelo, pnjohannk@gmail.com.

Resumen

Dois dos principais objetivos no dimensionamento de estruturas de concreto armado são a resistência e a economia. Sabe-se que um dos fatores que mais influenciam no custo de uma obra é o concreto, já que o cimento, seu componente principal, possui valor elevado no mercado. Mehta (2014) classifica o concreto em três tipos, de acordo com sua densidade. Duas das classificações são o concreto de densidade normal, que apresenta massa específica de 2.400 kg/m³ e é utilizado para fins estruturais, pois é constituído de areia natural e pedregulhos, se tornando mais resistente; e o concreto leve, cuja massa específica é menor do que 1.800 kg/m³, tem como seus componentes agregados naturais ou processados termicamente com menor densidade de massa. Experiências concretizadas na literatura mostram que com o uso de agregados leves no concreto pode-se reduzir enormemente as cargas básicas para o dimensionamento do concreto armado, chegando até abaixo de 1500 kg/m³. Assim, a presente pesquisa objetivou simular dois traços compostos por substituição de 10 % e 50 %, respectivamente, de agregado usual por agregado leve como a vermiculita e a argila expandida, avaliando a resistência à compressão, resistência à tração e o módulo de elasticidade. Logo, constatou-se que as misturas com substituição de 10% apresentaram valores superiores que as misturas com substituição no teor de 50 %, para ambos os ensaios realizados.

Palabras Clave: *Concreto Leve Estructural – Agregado Leve – Concreto Armado*

Introducción

O concreto estrutural leve tem por definição um concreto estrutural que é feito com um agregado leve celular, por razões de economia, fazendo com que sua massa específica seja bem inferior à de um concreto feito com agregado natural típico, sendo inferior à 2000kg/m³. Pode ocorrer a substituição total ou parcial dos agregados convencionais por agregados leves.

Segundo Rossignolo (2009), a primeira aplicação conhecida do concreto usando agregados leves foi a aproximadamente 1100 A.C., na construção de elementos estruturais produzido por uma mistura de pedra-pomes com o ligante feito de cinzas vulcânicas e cal, sendo seus criadores os construtores pré-colombianos, do México. As mais conhecidas construções

foram arquitetadas pelos romanos durante a República Romana, o Império Romano e o Império Bizantino: o Coliseu de Roma, a cobertura do Panteão e o Porto de Casa.

Além da economia, outra vantagem do concreto leve é a diminuição dos esforços na estrutura das edificações, a redução de custos com transporte e montagem de construções pré-fabricadas e, também, na economia de fôrmas e cimbramento.

Quanto à dosagem do concreto leve, os métodos utilizados não diferem dos aplicados em concretos convencionais. Apenas devem ser considerados fatores como a massa específica desejada, a absorção de água e a variação da massa específica dos agregados leves em função de sua dimensão e a influência destes nas propriedades do concreto. Assim, a água presente nos agregados deve ser descontada da água a ser adicionada no momento da mistura, e deve ser acrescentada à mistura a quantidade de água que será absorvida pelos agregados após tal. Especificações para o concreto leve determinam que sua resistência aos 28 dias seja de no mínimo 17 MPa e sua massa específica seca ao ar aos 28 dias não ultrapasse 1850 kg/m³. Também é necessário que os agregados leves miúdos não excedam 1120 kg/m³ e os leves graúdos 880 kg/m³ no estado seco. Normalmente limita-se a dimensão do agregado leve graúdo a 19 mm no máximo, conforme ASTM C 330 e ACI 213R-87, citado por Mehta (2014), como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Exigências para concreto estrutural leve.

Massa Específica aos 28 dias (kg/m ³)	Resistência mínima à tração por compressão diametral aos 28 dias (MPa)	Resistência mínima à compressão aos 28 dias (MPa)
Todos os agregados leves		
1760	2,2	28
1680	2,1	21
1600	2	17
Combinação de areia natural e agregado leve		
1840	2,3	28
1760	2,1	21
1680	2,1	17

NOTA: A resistência à compressão e a massa específica devem apresentar a média de três corpos de prova, e a resistência à tração por compressão diametral deve representar a média de oito corpos de prova.

Fonte: Mehta e Monteiro (2014)

Ao se utilizar um agregado muito poroso com dimensão máxima maior que 19 mm, a massa específica do concreto pode chegar a ser inferior a 1440 kg/m³, porém, o produto pode não atingir os 17 MPa's de resistência à compressão exigidos.

Assim, a presente pesquisa objetivou avaliar as propriedades mecânicas de misturas onde substitui-se parte dos agregados miúdos e dos agregados graúdos por agregado leve do tipo vermiculita e argila expandida, respectivamente, avaliando o comportamento do concreto frente a resistência à tração, resistência à compressão e módulo de elasticidade.

Metodología

Primeiramente, foram caracterizados os materiais utilizados para as moldagens dos corpos de prova. O cimento escolhido foi o CP-IV, cujas características físicas e químicas são apresentadas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Índices Físicos

Materiais	FÍSICOS										
	Exp. Quente	Tempo de Pega (h:min)		Cons. Normal	Blaine	# 200	# 325	Resistência à Compressão (MPa)			
	mm	Início	Fim	%	cm ² /g	%	%	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
	Média	0,15	04:09	04:56	30	4.193	0,53	3,25	13,8	26,8	34,3

Tabela 3 – Índices Químicos

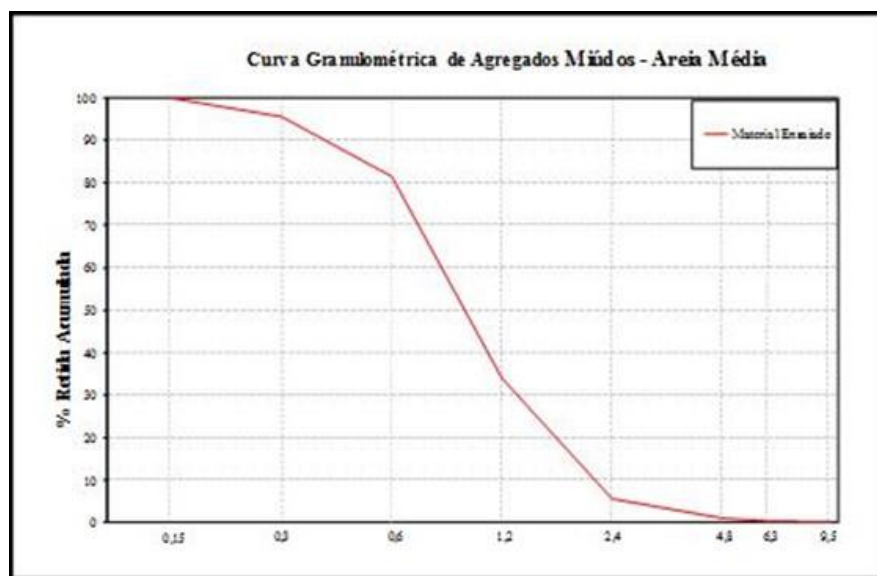
Materiais	QUÍMICOS									
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P. Fogo	CaO L.	R. Ins.	Eq. Alc.
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Média	9,73	29	3,82	45,01	3,11	2,27	3,71	0,65	25,44	1,1

A produção das misturas foi feita com dois tipos de agregados miúdos: a areia média de rio e a vermiculita.

A vermiculita pode ser encontrada em três diferentes granulometrias: a superfina, fina e média. Para a presente pesquisa foram utilizadas ambas granulometrias misturadas em iguais proporções. A massa específica média encontrada para a mistura de vermiculitas foi de 0,21g/dm³ e massa unitária de 1,605 kg/dm³.

Para a areia média, os dados obtidos pelo ensaio de composição granulométrica possibilitaram determinar o módulo de finura (MF) correspondendo a 2,18, como também o diâmetro máximo de 2,4mm, além da massa específica de 2,667g/cm³ e a massa unitária de 1,605 Kg/dm³. A curva granulométrica da mesma pode ser observada no Gráfico 1.

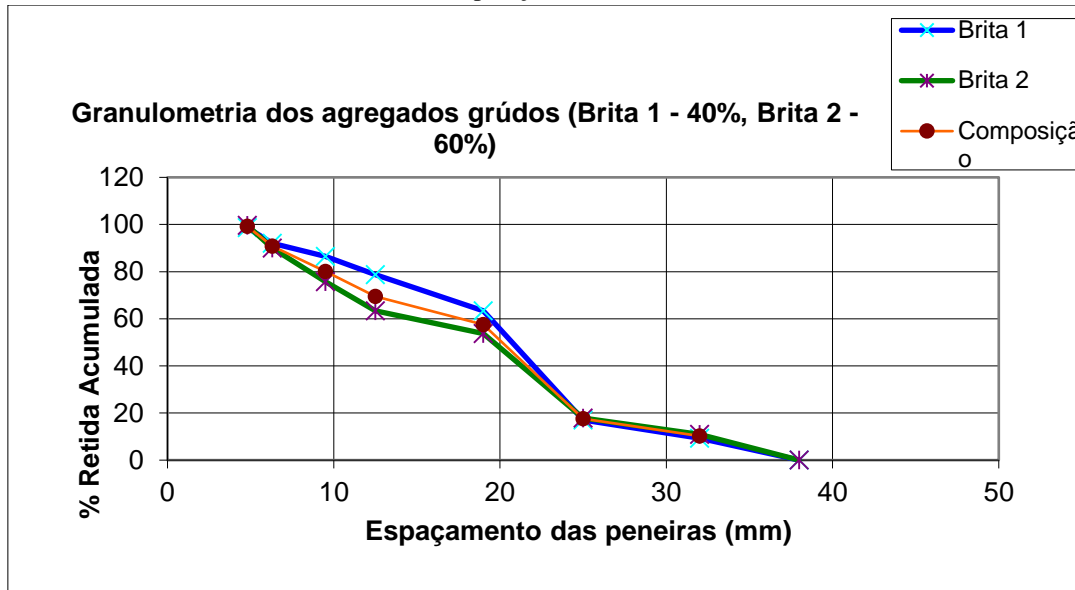
Gráfico 1 – Curva Granulométrica da Areia Média



Os agregados graúdos utilizados foram a Brita 0 e Brita 1, bem como a argila expandida 0500 e a 1506.

Para o agregado utilizado no concreto convencional, as britas, foram realizados ensaios de composição granulométrica, como consta no Gráfico 2. Através do mesmo, constatou-se que a brita 0 possui diâmetro máximo ($D_{máx}$) de 9,5 mm e módulo de finura (MF) de 5,8. Já para a brita 1, foram encontrados valores para $D_{máx}$ de 19 mm e MF de 6,73. A massa unitária das britas é de 1,5183 kg/dm³ e massa específica de 2,0152 dm³.

Gráfico 2 – Composição Granulométrica das Britas 0 e 1



Para a argila expandida, as curvas granulométricas constam nos gráficos 3 e 4. A principal diferença entre as duas é a dimensão das partículas. A argila expandida 0500, após ensaios realizados de acordo com as normas técnicas brasileiras, apresentou resultado de massa específica de 0,91g/dm³, absorção média de água de 48,74% e massa unitária de 894,67 g/dm³. Já a argila expandida 1506, apresentou massa unitária de 488,855 g/dm³. Na mistura, as argilas foram acrescentadas em proporções de 20 % da 1506 e 80 % da 0500.

Gráfico 3 – Curva Granulométrica da Argila Expandida 0500

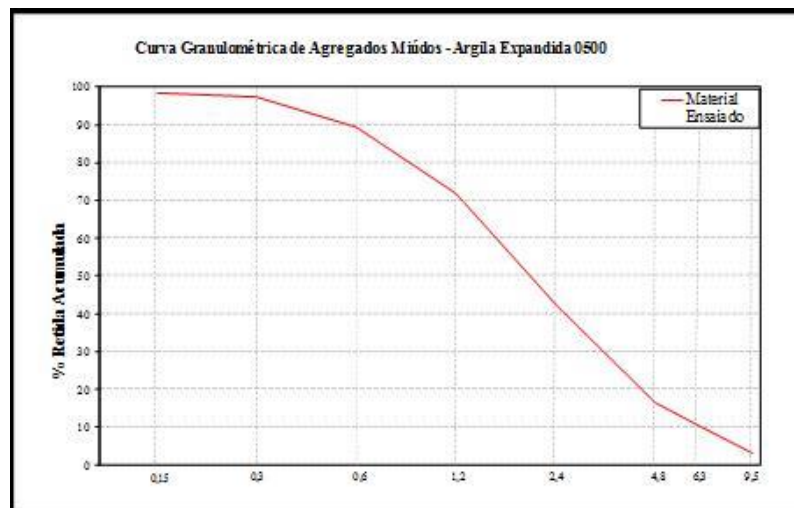


Gráfico 4 – Curva Granulométrica da Argila Expandida 1506



Também foram acrescentados na mistura metacaulim, que é um material pozolânico que forma produtos hidratados similares aos decorrentes da hidratação direta do clínquer Portland; e também um aditivo superplastificante que condiciona maior trabalhabilidade à mistura, em quantidade de 0,06%.

Após a caracterização dos materiais, foi escolhido o método de dosagem do IPT, de autoria de Paulo Helene e Paulo Terzian. Partindo do traço 1:3, foram ajustadas as proporções de cada agregado. Para o primeiro traço, foi escolhido um teor de substituição, para ambos agregados (gráudo e miúdo) de 10 %, e para o segundo traço, um teor de 50 %, como apresentado nas Tabelas 4 e 5. Os dois traços enquadram-se, referente à massa específica, como concreto leve estrutural. O Traço 1 possui 1610 g/dm³ e o Traço 2 possui 1740 g/dm³.

Tabela 4 – Traço 1

Traço Unitário 1 - Substituição de 10%	
Material	Quantidade (Kg)
Cimento	1
Areia	1,35
Britas	1,35
Vermiculitas	0,15
Argilas Expandidas	0,15
Metacaulim	0,15
f a/c	0,39

Tabela 5 – Traço 2

Traço Unitário 2 - Substituição de 50%	
Material	Quantidade (Kg)
Cimento	1
Areia	1,35
Britas	1,35
Vermiculitas	0,15
Argilas Expandidas	0,15
Metacaulim	0,15
f a/c	0,39

Sendo definidos os traços, realizou-se a moldagem de corpos de prova 10x20 cm, que foram inseridos em cura úmida até a data de rompimento.

Resultados y Discusión

Após o rompimento dos corpos de prova, foram obtidos os resultados para tração, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados obtidos para Resistência à Tração

Tração (Mpa)					
Traço 1	3 dias	7 dias	Traço 2	3 dias	7 dias
Tração 1	1,59	2,44	Tração 1	1,02	1,23
Tração 2	1,81	2,31	Tração 2	1,19	1,65
Tração 3	1,63	2,03	Tração 3	1,22	1,74
Média	1,68	2,26	Média	1,14	1,54

Logo, percebe-se que os resultados para o Traço 1 foram relativamente superiores aos do Traço 2, para ambas as datas de rompimento. O mesmo ocorreu para as tensões de compressão, que podem ser observadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados obtidos para Resistência à Compressão

Compressão (Mpa)					
Traço 1	3 dias	7 dias	Traço 2	3 dias	7 dias
Tração 1	21,42	27,78	Tração 1	9,9	15,33
Tração 2	17,33	32,38	Tração 2	7,6	15,75
Tração 3	16,55	24,59	Tração 3	8,03	10,36
Média	18,43	28,25	Média	8,51	13,81

Já para os resultados de Módulo de Elasticidade, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 8. Percebe-se que há uma variação dos valores que não seguem uma tendência de crescimento.

Tabela 8 – Resultados obtidos para Módulo de Elasticidade.

Elasticidade (Mpa)					
Traço 1	3 dias	7 dias	Traço 2	3 dias	7 dias
Elast. 1	19,57	29,94	Elast. 1	8,35	18,16
Elast. 2	21,11	9,83	Elast. 2	9,61	20,03
Média	20,34	19,885	Média	8,98	19,10

Conclusiones

A presente pesquisa destacou o crescimento de novas técnicas que venham a tornar a construção civil menos onerosa, ainda mais em tempos de crise. Dentre estas, está o concreto leve estrutural, onde há a substituição total ou parcial de agregados graúdos e miúdos utilizados usualmente por agregados leves, que podem ser processados termicamente e possuem menor densidade de massa.

Assim, objetivou-se avaliar mecanicamente as propriedades de concretos feitos com agregados leves. Os agregados escolhidos foram a vermiculita, em suas três granulometrias, e argila expandida, de granulometria 1506 e 0500. Os traços foram definidos partindo do método de dosagem IPT e em relação à massa específica, enquadrara-se no conceito de concreto leve estrutural.

Para a resistência à tração, os resultados obtidos para cada traço seguem uma tendência de crescimento à medida em que as idades de rompimento aumentam. O mesmo acontece para as tensões de compressão. Contudo, a medida em que se aumenta a proporção de agregado leve no concreto, diminuem-se os valores tanto para a resistência à tração como para à compressão.

Em relação ao Módulo de Elasticidade, os resultados variam. Para o Traço 2, houve o crescimento do módulo a proporção que aumentaram as idades de rompimento, o que não ocorreu para o Traço 1.

Logo, conclui-se que para agregados leves com argila expandida e vermiculita podem-se obter valores de resistência consideráveis, podendo estes concretos ser utilizados como concretos leves estruturais em obras de engenharia, se apresentando como uma maneira de tornar as construções menos onerosas.

Referencias

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7211 (2009). *Agregados para concreto: Especificação*. Rio de Janeiro, Brasil.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 248 (2003). *Agregados - determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, Brasil.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND(2002). *Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. 7ed.* São Paulo, Brasil.
- HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. (1992). *Manual de dosagem e controle do concreto*. PINI, São Paulo, Brasil.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. (2008). *Concreto: Microestructura, Propiedades e Materiais*. IBRACON, São Paulo, Brasil.

ROSSIGNOLO, J. A. (2009). *Concreto Leve Estrutural: Produção, Propriedades, Microestrutura e Aplicação*. PINI, São Paulo, Brasil.