

Attainment of structural lightweight concrete by adding expanded vermiculite addition

Wandenilton Silva de Matos¹, Jorge Luiz Melo de Freitas², Daniel Damião Almeida de Almeida³, André Soares Mendes⁴

¹Student - Laureate International Universities - UNINORTE - Manaus - AM.

^{2,3}Civil Engineering - Laureate International Universities - UNINORTE - Manaus - AM.

⁴Student - Regional University of Blumenau Foundation - FURB - Blumenau – SC.

Email: eng.wsmatos@gmail.com, jorgefreitas879@gmail.com, engdanieldamiao@gmail.com, andre.ifto@gmail.com

ABSTRACT

Received: October 28th, 2018

Accepted: November 30th, 2018

Published: December 31th, 2018

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Concrete's consumption increases all over the world with each passing day, and that has led to the development of new materials such as structural lightweight concrete - SLC. The advantages of using this material is that since it is light, there is not so much need to spend a lot of income with structure foundations, transport and even lifting of precast concrete units. To obtain SLC the use of some light aggregate is needed, like exfoliated vermiculite. It is known that if concrete's self-weight is reduced, its mechanic resistance is also reduced. The present work was to analyze the influence of the addition of vermiculite in different amounts on a high performance concrete mix, observing if with the addition it would be possible to obtain high performance lightweight concrete. The experimental analysis included the study of compressive strength, diametric compression traction, efficiency factor and specific mass in the hardened state. Two specimens were molded and tested at ages of 7 and 28 days.

Keywords: Structural lightweight concrete, exfoliated vermiculite, addition.

Obtenção de concreto leve estrutural pela adição de vermiculita expandida

RESUMO

A cada dia que se passa aumenta o consumo do concreto em todo o mundo, e isso tem levado ao desenvolvimento de novos materiais como o concreto leve estrutural - CLE. As vantagens na utilização deste material são diminuição do peso próprio da estrutura, bem como menor gasto com as fundações, transporte e içamento de peças pré-moldadas. Para obtenção de CLE é necessária a utilização de algum agregado leve, como EPS, argila expandida e vermiculita. Sabe-se que a diminuição do peso próprio do concreto está influencia a redução de resistência mecânica. O presente trabalho teve como objetivo analisar a influência da adição da vermiculita em diferentes quantidades em um traço de concreto de alto desempenho, observando se, com a adição, será possível obter um concreto leve de alto desempenho. A análise experimental compreendeu o estudo da resistência à compressão, tração por compressão diametral, fator de eficiência e massa específica no estado endurecido. Foram moldados 2 corpos de prova para cada idade de 7 e 28 dias.

Palavras-chave: CLE, vermiculita expandida, adição.

I INTRODUÇÃO

As exigências na construção civil são crescentes. As estruturas estão maiores e mais esbeltas, além de projetos que ousam os padrões tradicionais de construção. O estudo do peso próprio da estrutura é fator de alta importância para que se garanta a inovação e satisfatória relação entre custos e tecnologia utilizada, também considerando o planejamento eficiente do transporte de peças pré-moldadas e materiais.

A possibilidade de possuir mesma resistência mecânica final alterando o peso próprio da estrutura, além dos fatores citados, é uma alternativa para solucionar o cálculo de grandes vãos pela redução da massa específica, como pontes e lajes, e redução das seções transversais e dimensões da estrutura [1].

Os agregados são utilizados em concretos para barateamento do seu custo final e manutenção da resistência, através de estudos da granulometria e resistência dos componentes isolados. [2] Os grãos dos agregados devem ser: duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, podendo ser de

origem natural ou proveniente de britagem de rochas. Agregados artificiais são obtidos por meio de tratamento térmico de vários materiais, sendo classificados conforme a matéria prima e o processo de fabricação utilizado [3]. Neste caso, pode-se citar argilas expandidas, ardósias, perlitas e vermiculitas.

A vermiculita é um mineral inorgânico e insolúvel em bases e ácidos fracos, possuindo pH de aproximadamente 7,0. Quando expandida a altas temperaturas, seu volume original pode variar até 15 vezes, adotando o nome de vermiculita expandida [4]. Segundo sua massa unitária, a vermiculita expandida é considerada um agregado leve, obtendo um campo de aplicação, além dos anteriormente explanados, em concretos para isolamento térmico acústico.

Em concretos leves estruturais, a diferença entre coeficientes de expansão térmica da argamassa e a vermiculita expandida produz uma baixa condutividade térmica. Assim, diante desse contexto, podemos dizer que essa característica térmica é altamente relevante para regiões que apresentam climas caracterizados por elevadíssimas temperaturas durante grande parte do ano como o de Palmas, Tocantins.

[5] Outras propriedades importantes são a baixa condutividade acústica, baixa densidade, incombustibilidade e ausência de toxicidade, visto que também é um produto muito utilizado para a agricultura e nutrição animal. Além disso, a capacidade de retenção de água da vermiculita expandida é um fator que implica em cuidados extras, visto que é capaz de reter grandes quantidades de água, até 5 vezes o volume total de cada floco.

II METODOLOGIA

A produção da pesquisa inicialmente contou com a caracterização dos materiais que foram utilizados. Foram determinadas propriedades como massa específica e granulometria, a depender do material, para auxílio dos resultados esperados. Após a etapa de caracterização, iniciou-se execução dos dois traços utilizados e do traço de referência, sem nenhuma adição.

II.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

II.1.1 AREIA

A areia é proveniente da região de Palmas, Tocantins, e foi fornecida pela Cimentos Planalto – CIPLAN. Esta foi seca em estufa para que a umidade não influenciasse no cálculo do traço unitário. As características físicas da areia utilizada estão presentes na Tabela 1.

Tabela 1: Características físicas da areia.

Características físicas da areia	
Massa específica (NBR NM 52:2009)	2732 kg/m ³
Módulo de finura (MF) (NBR NM 248:2003)	1,95
Classificação (NBR 7211:2009)	Areia fina

Fonte: Autores, (2018).

II.1.1.2 BRITA

A brita foi fornecida pela Cimentos Planalto – CIPLAN e suas características físicas estão presentes na Tabela 2.

Tabela 2: Características físicas da brita.

Características físicas da brita	
Massa específica (NBR NM 52:2009)	2604 kg/m ³
Massa unitária (NBR NM 52:2009)	1401 kg/m ³
Dimensão máxima característica (NBR NM 248:2003)	12,5 mm

Fonte: Autores, (2018).

II.1.1.3 CIMENTO

O cimento utilizado foi o CII F32, também fornecido pela Cimentos Planalto – CIPLAN.

II.1.1.4 SÍLICA ATIVA

A sílica é um subproduto do silício metálico do ferro-silício, SiO. Após oxidação, torna SiO₂. Este se classifica como superpozolana que possui alta reatividade com o hidróxido de cálcio. A sílica utilizada foi fornecida pela empresa Silmix e, segundo dados do fornecedor, possui as características físicas e químicas presentes na Tabela 3:

Tabela 3: Características físicas e químicas da sílica ativa.

Características físicas e químicas da sílica ativa.	
Massa específica	2222 kg/m ³
Diâmetro da partícula esférica	0,2 µm
Teor mínimo de SiO ₂	85%
Umidade máxima	3%

Fonte: [6].

II.1.1.4 ADITIVO

O aditivo utilizado foi o Superplastificante tipo II (SP-II R), considerado hiperplastificante, fornecido pela empresa Viapol. Suas características técnicas estão estabelecidas na Tabela 4 (Viapol).

Tabela 4: Características técnicas do hiperplastificante.

Características técnicas do aditivo	
Ação principal	Aditivo superplastificante
Ação secundária	Redutor de água de amassamento (A/C)
Composição	Solução de policarboxilatos em meio aquoso
Aspecto	Líquido
Cor	Levemente amarelada
Massa específica	≈1,1 g/cm ³
Teor de cloretos	Não contém cloretos

Fonte: [7].

II.1.1.6 VERMICULITA EXPANDIDA

A composição química da vermiculita é dada por (Mg, Fe)₃ [(Si, Al)₄ O₁₀] [OH]₂ 4H₂O [5]. Uma de suas principais propriedades é a massa específica aparente de valor baixo. Suas características físicas estão presentes na Tabela 5.

Tabela 5: Características físicas da vermiculita expandida.

Características físicas da vermiculita expandida	
Massa específica aparente	90 kg/m ³
Classificação da granulometria	Média

Fonte: [4].

II.2 EXECUÇÃO DA PESQUISA

Para a realização da pesquisa, foi utilizado o traço de referência da Tabela 6, de forma que o material possa ser classificado como concreto leve estrutural (CLE).

Tabela 6: Traço de referência.

Materiais	Relação em massa	Quantidade (kg/m ³)
Cimento	1	416
Sílica	0,08	34

Agregado Miúdo	1,77	737
Agregado Graúdo	2,47	1030
Água	0,036	153
Aditivo	0,072	3

Fonte: [8].

Foram realizados dois traços diferentes para observação do comportamento do concreto conforme a adição de quantidades diferentes de vermiculita expandida, conforme a Tabela 7.

Tabela 7: Traços conforme a adição da vermiculita expandida.

Adição de vermiculita expandida	
Traço 1	100 g
Traço 2	200 g

Fonte: Autores, (2018).

Para realização dos ensaios, foram utilizados corpos de prova de diâmetro igual a 10 cm e altura de 20 cm, que possuem volume igual a 0,00157 m³, ou 1,57 litros. Foram realizados os seguintes ensaios: resistência à compressão axial com 7 e 28 dias de idade e resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias de idade. Para cada ensaio, foram utilizados dois corpos de prova. Considerando, então, que foram utilizados seis corpos de prova para cada traço, o volume total para cálculo dos materiais consumidos e acréscimo de 25% para possíveis perdas resultou em um volume de concreto de 0,01178 m³, ou 11,78 litros. A quantidade de material utilizada está presente na Tabela 8.

Devido ao alto grau de absorção de água, conforme descrito anteriormente, a quantidade de hiperplastificante foi alterada, a fim de manter trabalhabilidade coerente. Segundo o traço de referência, foi utilizado um total de 1,5% de aditivo hiperplastificante em relação à quantidade em massa de cimento consumido para o volume utilizado. No presente trabalho, adotou-se 2%.

Tabela 8: Materiais utilizados.

Materiais	Relação em massa	Quantidade (kg/m ³)	Quantidade de material utilizado (kg)
Cimento	1	416	4,9
Sílica	0,08	34	0,392
Agregado Miúdo	1,77	737	8,67
Agregado Graúdo	2,47	1030	12,10
Água	0,036	153	1,76
Aditivo	0,098	4	0,098

Fonte: Autores, (2018).

As características físicas do traço do concreto de alta resistência estão descritas por ACI SP-154, podem ser verificadas na Tabela 9.

Tabela 9: Características físicas do traço de CAD.

Traço	Resistência à Compressão axial (MPa)	Abatimento do Tronco de cone (mm)
1	35	
2	52	200
3	82	

Fonte: [8].

III RESULTADOS

III.1 MASSA ESPECÍFICA

Conforme adicionou-se maior quantidade de vermiculita expandida, observou-se redução da massa específica do concreto. Os valores são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Massa específica em função dos traços.

Traço	Quantidade de vermiculita (g)	Massa Específica (kg/dm ³)
Traço 1	100	2,18
Traço 2	200	2,01
Traço de Referência	-	2,37

Fonte: Autores, 2018.

A NS 3473 E (1992) estabelece que, para ser considerado concreto leve estrutural, o concreto deve possuir massa específica inferior a 2,2 kg/dm³. Isso caracteriza os dois traços obtidos como concretos leves estruturais, visto que obedecem a esse limite.

Entretanto, segundo outros autores, não é possível considerar os concretos como leves por possuírem massa específica superior a 2,0 kg/dm³, [11], e 1,85 kg/dm³ [9].

III.2 ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE (SLUMP TEST)

Com esses valores e considerando a adição de vermiculita expandida, foram obtidos os valores no ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump Test) da Tabela 11.

Tabela 11: Valores obtidos no Slump Test.

Traço	Quantidade de vermiculita (g)	Slump Test (mm)
Traço 1	100	190
Traço 2	200	100

Fonte: Autores, (2018).

O menor valor de abatimento para o Traço 2 é justificado pela alta absorção da vermiculita expandida. Em comparação ao Traço 1, o Traço 2, ao ser acrescentada quantidade dobrada deste material, apresentou 52,6% do valor correspondente de abatimento.

A diferença pode ser observada na Figura 1. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Tocantins, Campus Palmas.



Figura 1: diferença de abatimento do concreto entre o Traço 1 (esquerda) e Traço 2 (direita).

Fonte: Autores, (2018).

III.3 RESISTÊNCIA

III.3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Ensaio de resistência à compressão axial foram realizados a fim de comparar os resultados obtidos com o traço de referência original, sem adição de vermiculita expandida. Foi observado aumento da resistência à compressão aos 7 dias conforme adicionou-se maior quantidade de vermiculita expandida. A

Tabela 12 apresenta dados sobre a dispersão estatística da resistência à compressão axial aos 7 dias de idade.

Tabela 12: Dispersão estatística da resistência à compressão axial aos 7 dias.

Traço	Corpos de Prova (MPa)		Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
	CP 1	CP 2			
Traço 1	17,04	29,70	23,37	8,95	38,30
Traço 2	34,46	42,25	38,36	5,51	14,36

Fonte: Autores, (2018).

Os dados relativos ao ensaio de resistência à compressão axial aos 28 dias estão presentes na Tabela 13.

Tabela 13: Dispersão estatística da resistência à compressão axial aos 28 dias.

Traço	Corpos de Prova (MPa)		Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
	CP 3	CP 4			
Traço 1	44,95	38,76	41,86	4,38	10,46
Traço 2	34,84	43,76	39,30	6,31	16,05

Fonte: Autores, (2018).

A Tabela 14 apresenta os valores obtidos pela compressão axial aos 28 dias de idade.

Tabela 14: Dispersão estatística da resistência à compressão axial aos 28 dias do traço de referência.

Traço	Corpos de Prova (MPa)		Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
	CP 1	CP 2			
TR	55,22	50,57	52,90	3,29	6,22

Fonte: Autores, 2018.

Pôde-se observar que, na primeira idade, os corpos de prova do Traço 2, 200 gramas adicionados de vermiculita expandida, apresentaram maiores valores de resistência à compressão axial. Aos 28 dias, o Traço 1 apresentou maior resistência ao mesmo ensaio. Entretanto, os dois traços obtiveram valores inferiores ao traço de referência. Alguns dos corpos de prova rompidos podem ser observados na Figura 2.



Figura 2: Corpos de prova rompidos aos 28 dias.

Fonte: Autores, (2018).

III.3.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

[10] A resistência à tração foi obtida através de valores de compressão diametral e adequada conforme a Equação 1.

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi dl} \quad (1)$$

onde:

$f_{ct,sp}$: é a resistência à tração por compressão diametral (MPa);
 F: é a força máxima obtida no ensaio, expresso em newtons (N);
 d: é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm);
 l: é o comprimento do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

A Figura 3 mostra a realização do ensaio de tração por compressão diametral.



Figura 3: Tração por compressão diametral.

Fonte: Autores, (2018).

Os valores obtidos estão representados na Tabela 15.

Tabela 15: Dispersão estatística da resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias.

Traço	Corpos de Prova (MPa)		Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
	CP 5	CP 6			
Traço 1	4,073	5,218	4,645	0,810	17,428
Traço 2	5,413	4,245	4,829	0,826	17,103

Fonte: Autores, (2018).

A resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias do traço de referência pode ser observada na Tabela 16 abaixo.

Tabela 16: Dispersão estatística da resistência tração por compressão axial aos 28 dias do traço de referência.

Traço	Corpos de Prova (MPa)		Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
	CP 3	CP 4			
TR	4,805	4,398	4,602	0,288	6,254

Fonte: Autores, (2018).

Quanto a este ensaio, pode-se observar que a adição da vermiculita expandida permitiu melhores resultados de resistência à tração em ambos os traços, sendo que no Traço 2 a resistência à tração por compressão axial mostrou-se superior ao Traço 1.

III.3.3 FATOR DE EFICIÊNCIA

Apesar de não existir um parâmetro para o concreto leve estrutural, é possível comparar com valores utilizados para o concreto leve estrutural de alto desempenho. [11] Só poderá ser aceito como concreto leve estrutural de alto desempenho concretos que apresentem a razão entre resistência à compressão e massa específica superior a 25 MPa.dm³/kg. Os resultados obtidos estão na Tabela 17.

Tabela 17: Fator de eficiência.

Traço	Resistência à compressão axial aos 28 dias (MPa)	Massa específica (kg/dm ³)	Fator de eficiência (MPa.dm ³ /kg)
Traço 1	41,86	2,18	19,22
Traço 2	39,30	2,01	19,54
Traço de Referência	52,90	2,37	22,32

Fonte: Autores, (2018).

O resultado implica que nenhum dos traços pode ser considerado concreto leve estrutural de alto desempenho.

III.3.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA

[12] A absorção de água é determinada pela Equação 2.

$$Ab = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (2)$$

A Tabela 18 contém os valores obtidos.

Tabela 18: Absorção de água.

Traço	Absorção de água (%)
Traço 1	0,487
Traço 2	0,252
Traço de Referência	0,269

Fonte: Autores, (2018).

Apesar da grande capacidade de retenção de líquidos da vermiculita expandida, o Traço 1 apresentou maior índice de absorção de água em relação ao Traço 2. Esse fator pode ser justificado pela maior resistência à compressão axial do Traço 2, visto que o aumento de resistência caracteriza diminuição da porosidade do concreto.

IV CONCLUSÕES

Conforme adicionou-se maior quantidade de vermiculita, observou-se redução da massa específica dos corpos de prova. Devido à alta capacidade de retenção de água, os abatimentos de tronco de cone dos traços com adição ficaram menores em relação ao traço de referência. Assim, é possível afirmar que, quanto maior a quantidade de vermiculita, menor o abatimento de tronco de cone. Além disso, a menor massa específica é parcialmente responsável por este acontecimento.

Em relação à classificação como concreto leve estrutural de alto desempenho, apenas a NS 3473 E (1992) contempla os traços realizados durante a pesquisa, visto que suas massas específicas foram inferiores a 2,2 kg/dm³.

O Traço 1 apresentou aumento de resistência à compressão axial conforme a idade superior ao Traço 2, visto que o segundo traço não obteve variação significativa como ocorreu no primeiro traço. Entretanto, ambos obtiveram resistência à compressão axial inferior ao traço de referência. Quanto à tração por compressão diametral, os resultados de ambos os traços ultrapassaram o resultado alcançado pelo traço de referência para o mesmo ensaio.

Conforme o critério descrito [11], nenhum dos traços pode ser considerado concreto leve de alto desempenho porque o fator de eficiência resultante atingido foi inferior a 25 MPa.dm³/kg.

VI REFERENCIAS

[1] Barcelos, Jessica Luciano et al. **Confecção de concreto estrutural leve substituindo parte dos agregados graúdos por**

argila expandida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 60., 2016, Águas de Lindoia. **Anais...** Águas de Lindoia: Abceram, 2016. p. 444 - 459.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificações.** Rio de Janeiro, 2009.

[3] Moravia, Weber Guadagnin. **Influência de parâmetros microestruturais na durabilidade do concreto leve produzido com argila expandida.** 2007. 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

[4] REFRAITIL REFRAATÁRIOS (São Paulo). **Vermiculita expandida.** Disponível em: <<http://www.refratil.com.br/produto/vermiculita-expandida>>. Acesso em: 24 maio 2018.

[5] Ugarte, J. F. O.; Sampaio, J. A.; França, S. C. A.. Vermiculita. IN: **Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações.** 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 865-887.

[6] SILMIX. **Ficha Técnica da Sílica Ativa Silmix.** Canoas, RS.

[7] VIAPOL. **Ficha Técnica do Superplastificante tipo II (SP-II R).** Caçapava, SP.

[8] Mehta, Kumar P., Monteiro, Paulo J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** Editora Pini, 1ª Edição. São Paulo, 1994.

[9] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete.** ACI 213R-87. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 27p., 1997.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

[11] Spitzner, J. **High-Strength LWA Concrete. High-Strength Concrete.** RILEM Cap.II – Aggregates. 1994.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2009.