

CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETO CELULAR PRODUZIDO EM PALMAS-TO

Jessica Batista Peixoto¹

Carlos Alberto Lopes²

Fernando Antonio da Silva Fernandes³

Lidiane Batista de Moraes⁴

Resumo

Vários estudos utilizando novas técnicas tem sido desenvolvida para diminuir a massa específica do concreto, com isso, a redução do peso próprio das estruturas. Uma alternativa bastante estudada é a adição de materiais que objetivam aumentar a porosidade do concreto para torna-lo mais leve. Este estudo avaliou a incorporação de aditivo tipo espumógeno à massa, tomando por referência o traço 1:1 com densidade de 1650 Kg/m³. A amostragem se deu por oito corpos de prova cilíndricos de dimensões 100 x 200 mm, sendo submetidos à cura úmida com rompimento aos 7 dias, apresentando resultados médios de 4 MPa. Vários parâmetros podem influenciar na baixa densidade do concreto, como a porcentagem de materiais inseridos na massa, uso ou não de agregados, tempo de mistura da massa e quantidade de espuma pré-formada. Os resultados obtidos mostram que quanto menor a densidade do concreto celular menor será a sua resistência mecânica.

Palavras-chave: Concreto celular; Massa específica; Resistência.

CHARACTERIZATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF CELLULAR CONCRETE PRODUCED IN PALMAS-TO

Abstract

Several studies, and techniques have been developed to reduce the specific mass of the concrete, this because the weight of the structure itself generates high impacts in the civil construction. An alternative is the addition of materials that aim to increase the porosity of the concrete, which would make it lighter. During this study a foam additive was added to the mass, taking as reference the trace 1: 1 with a density of 1650 kg / m³. Sampling was carried out by eight cylindrical test specimens of dimensions 100 x 200 mm, being submitted to wet curing with rupture at 7 days, presenting average results of 4 MPa. Several parameters may influence the low density of the concrete, such as the percentage of materials inserted in the mass, the use of aggregates or not, the time of mixing the mass and the amount of preformed foam. The results show that the lower the density of the cellular concrete the lower its mechanical strength.

Keywords: Cellular concrete; Specific mass; Resistance.

¹ *Graduanda em Engenharia Civil, Discente, Faculdade Católica do Tocantins, Palmas, TO, Brasil.*

² *Engenheiro Civil, Formado pela Faculdade Católica do Tocantins, Palmas, TO, Brasil.*

³ *Engenheiro Civil, Mestre, Professor, Faculdade Católica do Tocantins, Palmas, TO, Brasil.*

⁴ *Agrimensora, Mestre, Professora, Faculdade Católica do Tocantins, Palmas, TO, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Na durabilidade edificação influencia-se os materiais empregados, as técnicas construtivas adotadas, relação da construção com o meio ambiente e o plano de manutenção. Uma edificação durável, conseqüentemente minimiza impactos ambientais e financeiros[1].

O concreto é o material mais utilizado em construção com aplicação em variados tipos de estruturas, como barragens e edifícios sofisticados. Sua composição se dá pela mistura de cimento Portland, agregados, água, além de aditivos e adições minerais [2].

Com diversas aplicações em várias áreas da construção civil, o concreto leve se caracteriza pela redução da massa específica em relação ao concreto convencional. Essa redução se dá pela substituição de parte dos materiais sólidos por ar. Sua aplicação estrutural reduz os esforços solicitantes nas edificações, gerando economia com formas e cimbramento, além de diminuir custo com transporte e montagem de obras pré-fabricadas. Em fins de vedação, comparado ao concreto convencional, possui um bom isolamento térmico devido à redução da massa específica [3].

O concreto celular, sendo uma classificação de concreto leve [3], é um bom isolante acústico e superfície corta-fogo, podendo ainda ser utilizado no enchimento de lajes rebaixadas, reabilitação de pisos em construções antigas, regularização de lajes de impermeabilizações, bases de rodovias, aeroportos e ferrovias, e até como solução alternativa na área geotécnica como substituição e/ou reforço de solos deficientes [4].

1.1 Concreto Celular

Podemos definir o concreto celular como um concreto leve que é altamente poroso, composto por poros esféricos bem uniformes de forma milimetricamente dimensionados e distribuídos pela massa que são obtidos através de tratamentos mecânicos, químicos e físicos. Esses poros são caracteristicamente estáveis, indeformáveis e incomunicáveis durante o processo, o que resulta em um concreto com massa específica aparente seca entre 400 kg/m³ e 1850 kg/m³ [5].

Na tabela 1 estão relacionadas as faixas de valores para a massa específica do concreto celular, concreto leve e concreto convencional, sendo que o material com menor densidade é o concreto celular que é um tipo de concreto leve.

Tabela 1. Massa específica dos tipos de concreto

Tipo de Concreto	Densidade
Concreto Celular	400 a 1600 kg/m ³
Concreto Leve	1.600 a 1.900 kg/m ³
Concreto Convencional	2300 a 2500 kg/m ³

Fonte: ECOPORE [6].

A redução da massa própria do concreto leve ocorre devido à substituição de materiais sólidos por poros. Nos concretos leves pode-se identificar três pontos onde os poros podem se manifestar: partículas de agregado, pasta de cimento e partículas de agregado graúdo [7].

Teixeira Filho e Tezuka [9] classificam os concretos celulares pelo tipo de processo que são gerados e formados os poros, onde o esquema de classificação pode ser observado na Figura 1.

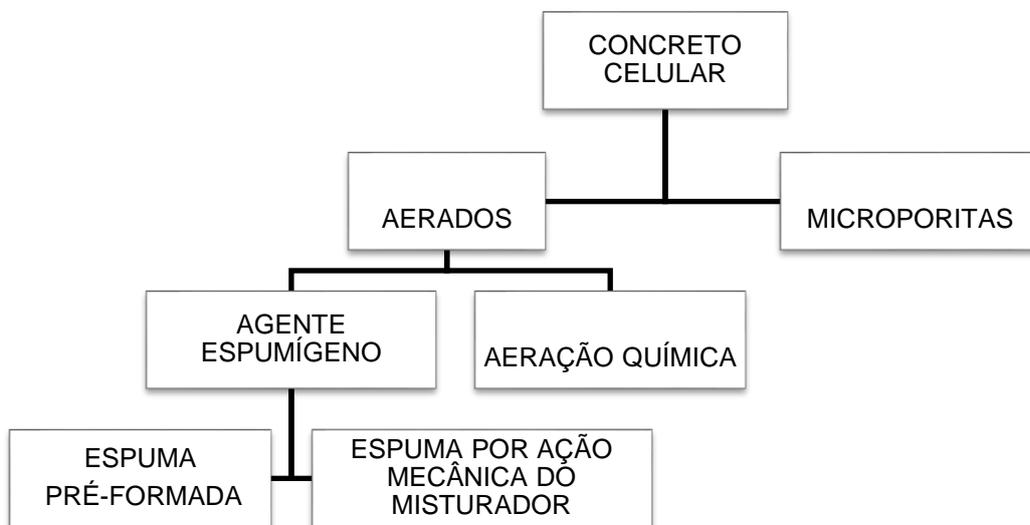


Figura 1. Classificação dos concretos celulares.
 Fonte: Teixeira Filho e Tezuka (1992)

De acordo com Cortelassi [11], as microporitas se apresentam em estruturas capilares uniformes, resultantes da quantidade excessiva de água incorporada. O processo de cura pode ser realizado de três formas: ao ar livre, a vapor ou em autoclave.

Conforme proposta de classificação apresentada na Figura 1, os concretos celulares aerados podem ser obtidos através de aeração química ou também pela incorporação de agentes espumígenos à argamassa.

Teixeira Filho e Tezuka [9] afirmam que os poros obtidos pelo processo de aeração química, são resultantes da reação de uma substância química com outros elementos da argamassa. Estas reações ocorrem antes do endurecimento da mistura e o tipo de aglomerante influencia na escolha do tipo mais adequado do procedimento de cura. O autor Petrucci [10] menciona que os principais substâncias formadoras de gás são: pó de alumínio; água oxigenada e cloreto de cal; carbureto de cálcio.

Os Concretos Celulares Espumosos (CCE) podem ser confeccionados de duas formas. A primeira é a geração de espuma em características controladas em equipamento específico, sendo adicionada após o preparo da argamassa. A segunda é por ação mecânica do misturador, onde dilui-se o agente espumógeno em água e o mesmo é adicionado aos outros materiais durante o preparo da argamassa, nesse caso a espuma é formada devido a velocidade do misturador [11].

Na Tabela 2 estão elencadas as várias classificações de concreto celular espumoso (CCE) que de acordo com a finalidade do projeto construtivo, podem ser elaborados com um ou vários tipos materiais de construção, além da possibilidade de incorporação de aditivos que darão maiores resistências ao concreto.

Tabela 2. Tipos de CCE

	Concreto celular com cimento
	Concreto celular com cimento e areia
	Concreto celular com agregados leves
Concreto Celular Espumoso (CCE)	Concreto celular modificado por:
	✓ Agentes dispersantes de cimento;
	✓ Incorporação de fibras;
	✓ Aditivo expansivo.

Fonte: Adaptado de Teixeira Filho e Tezuka [9]

Se o objetivo é produzir um concreto com massa específica inferior a 800 Kg/m³, então produz-se o CCE apenas utilizando cimento. Agora, se o objetivo é produzir um concreto com uma massa específica superior a esse valor, a areia também é empregada. A adição de agregados leves ao concreto celular possibilita a melhoria da relação massa específica e resistência mecânica [12].

O aglomerante mais usado é o cimento *Portland* comum, sendo possível também a utilização de cimento *Portland* de escória de alto forno e o pozolânico, sendo realizadas as devidas alterações nas dosagens e no processo de cura. Se for necessário obter massas específicas inferiores a 800 kg/m³, deve-se usar agregados mais finos. Mas se a proposta são massas específicas superiores a 1400 Kg/m³, é recomendável a utilização de areias mais grossas [5].

Um dos primeiros agentes espumógenos utilizados na produção de concretos celulares espumosos foi o ácido naftalino sulfúrico, em forma de pó, em geral na proporção de 1% da massa de cimento. Além disso, para a estabilização da espuma produzida utilizava-se, conjuntamente, o silicato de sódio [13].

Os concretos celulares espumosos apresentam maior trabalhabilidade que os concretos convencionais, uma vez que tem maior quantidade de vazios em sua estrutura [11].

A NBR 12645/92 [14] adota a seguinte sequência de carregamento do misturador para concretos celulares espumosos: a) Espuma pré-formada (Agregado miúdo, Fibras (quando utilizadas), Cimento, Água e Espuma) sendo que os três primeiros componentes devem ser misturados por no mínimo 60 segundos para dispersão das fibras; e b) Espuma gerada dentro do misturador (Água, Agente espumante, Cimento, Agregado miúdo, Fibras (quando utilizadas)).

1.2 Resistência Mecânica à Compressão

A Tabela 3 apresenta uma experiência realizada por Ferreira [15], confirmando que o aumento do tempo de mistura provoca um aumento da massa específica aparente e conseqüentemente a um aumento da resistência à compressão dos CCE. O estudo se deu utilizando espuma pré-formada, cimento e areia nas proporções devidas para a obtenção de uma massa específica de 800 kg/m³, variando o tempo da mistura do concreto celular, em betoneira em 3, 5 e 10 minutos.

Tabela 3. Variação da massa específica aparente e da resistência à compressão na idade de um dia

Tempo de mistura (minutos)	Massa específica aparente (kg/m ³)	Resistência à compressão f_{c24h} (MPa)
3	875	3,2
5	890	4,1
10	1050	5,9

Fonte: [15]

A quantidade de espuma aplicada na massa é outro fator que influencia diretamente a densidade do concreto celular espumoso, isso, devido ao aumento de vazios ocasionados pela espuma. O experimento realizado por Cortelassi [11], apresentado na tabela 4, expõe resultados sobre a relação entre densidade do CCE e volume de espuma. À medida que se aumenta a porcentagem de espuma na mistura, maior a porosidade e menor a densidade do concreto resultando em um material mais leve.

Tabela 4. Densidade x Porcentagem de espuma

Concretos	Densidade (kg/m ³)	Porcentagem de espuma (%)	Teor de ar incorporado (%)
Amostra 2,432	2432	0	3,9
Amostra 2,009	2009	21	15,0
Amostra 1,874	1874	33	22,0
Amostra 1,859	1859	32	20,0
Amostra 1,720	1720	54	29,0

Fonte: [11]

Alguns fatores influenciam a resistência à compressão do concreto leve celular, como a massa específica, a quantidade e o tamanho de partículas do cimento, o fator água-cimento, a qualidade do agregado, o procedimento de cura e todo o sistema de produção do mesmo [5].

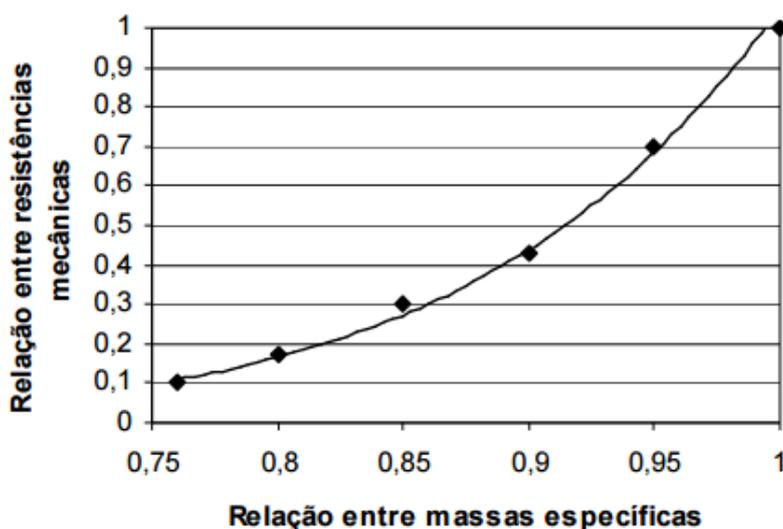
A resistência à compressão varia na razão direta da massa específica, do consumo de cimento e superfície específica deste, ou seja, da finura do cimento. Varia também na razão inversa do volume de espuma, ou seja, na quantidade de ar incorporado na massa [5]

A NBR 12646/92 [16] define que os corpos de provas ensaiados, segundo a NBR 5739, devem apresentar uma resistência à compressão característica estimada (f_{ckest}) de 2,5 MPa aos 28 dias.

É característico dos concretos leves a variação de resistência mecânica e condutividade térmica conforme variação do teor de vazios, sendo que quando aumenta-se a porosidade do concreto celular, melhora-se as propriedades de isolamento térmico além de reduzir os valores de resistência mecânica [11].

A porosidade da pasta é um dos principais parâmetros que limitam a resistência nos concretos. Conforme análise apresentada na figura 2, o volume de poros de 5% (0,95 na relação de massas específicas) resulta numa redução de 30 % da resistência mecânica [9].

Entende-se que são duas grandezas inversamente proporcionais, quanto aumentamos a porosidade, reduz-se assim a resistência mecânica.

**Figura 2.** Relação entre porosidade e resistência mecânica do concreto

Fonte: [9]

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

Os corpos de prova decorrentes desse estudo foram produzidos no laboratório de materiais da Faculdade Católica do Tocantins, sendo as matérias primas (cimento, areia, água e espuma) pesadas em balança digital e misturadas em betoneira, tomando por base um traço característico da região com composição 1:1, com volume de 0,03125 m³ de concreto e com uma densidade estimada em 1650 Kg/m³, conforme podemos observar na tabela 5.

A espuma foi obtida por agitação mecânica, com um agitador de funcionamento semelhante à uma batedeira. O processo de geração de espuma é feito adicionando água e o agente espumógeno em um recipiente, conforme observamos na Figura 3, agitando a mistura com um misturador portátil. Com a espuma formada foi adotado uma ordem de carregamento da betoneira, de acordo com as recomendações da NBR 12645/92, sendo primeiramente misturados os materiais secos, agregado miúdo e cimento, posteriormente adicionada a água e logo após a espuma pré-formada.

Após a mistura em betoneira foram retiradas oito amostras de concreto celular, confeccionadas em corpo de prova cilíndrico com dimensões de 100 X 200 mm, conforme Figura 4. Após 24 horas os corpos de prova foram desformados e imersos em água para o processo de cura.

Tabela 5: Traço 1:1 para confecção de 0,03125 m³ de concreto.

Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Água (Kg)	Espuma (L)	Densidade (Kg/m ³)
20	20	10	12	1650



Figura 3. Geração de espuma por agitação mecânica.

O rompimento dos corpos de prova ocorreu com sete dias de cura, em prensa hidráulica para verificar a resistência à compressão, conforme figura 5.



Figura 4. Corpos de prova moldados com concreto celular.



Figura 5. Rompimento de corpo de prova na prensa hidráulica.

2.2 Resultados

Os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão do concreto celular estão listados na tabela 6. Os corpos de prova foram moldados com concreto celular com densidade de 1650 Kg/m^3 e rompidos no sétimo dia de cura. As amostras apresentaram variação de resistência, com média aritmética de 3,925 MPa ou aproximadamente 4,0 MPa, sendo possível atingir até 14 MPa aos 28 dias de cura.

Concreto celular	Resistência à compressão (MPa)
CP 1	4,0
CP 2	3,9
CP 3	4,0
CP 4	3,9
CP 5	3,9
CP 6	4,1
CP 7	3,8
CP 8	3,8
MÉDIA	3,925

Tabela 6: Resistência à Compressão do Concreto Celular após 7 dias de cura.

2.3 Discussão

Com o processo de pré-formação de espuma temos a garantia da densidade especificada, fornecendo assim um ótimo controle de qualidade do concreto. Devido às baixas densidades, o concreto celular não possui altos ganhos de resistência à compressão, se compararmos ao concreto convencional. Com isso devemos analisar as características de desempenho únicas que cada forma de concreto apresenta e verificar a possibilidade de uso de acordo com os objetivos do projeto em questão [6].

Podemos classificar os traços de concreto celular puros de cimento, dentro de uma faixa de densidade típica, que pode variar de 300 a 900 Kg/m³, tendo como resultados de resistência à compressão no intervalo entre 0,345 e 6,5 MPa. Se necessárias resistências à compressão maiores, pode-se adicionar agregados finos e/ou grãos para produzir um concreto celular mais resistente com uma densidade maior [6].

3 CONCLUSÃO

Ao compararmos com o concreto convencional, o concreto celular é um material de baixa densidade, o que pode reduzir o peso próprio de estruturas construtivas. Na forma que tem sido adotado, o mesmo é confeccionado com agregados miúdos que aumentam a resistência e espumas pré-formadas que reduzem significativamente o peso próprio das estruturas.

Vários fatores influenciam na densidade do concreto celular, como o traço adotado, as quantidades de cada material inserido da mistura, o uso ou não de agregados, o tempo de mistura e o volume de espuma pré-formada. Quanto maior o volume de espuma adicionado, menor será sua resistência e maior será a porosidade do mesmo.

A resistência à compressão do concreto celular para uma densidade de 1650 Kg/m³ foi de aproximadamente 4,0 MPa aos sete dias de idade. Com 28 dias essa resistência chega a 14 MPa. A resistência mecânica do concreto celular para o traço executado poderia ser maior ou menor, dependendo do acréscimo ou redução de materiais inseridos ao concreto.

REFERÊNCIAS

- 1 FERRAZ, Fabiana de Carvalho. Comparação dos sistemas de alvenaria de vedação: Bloco de concreto celular autoclavado x bloco cerâmico. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Belo Horizonte, 2011.
- 2 FONSECA. GUSTAVO CELSO DA. Adições Mineraias e as Disposições Normativas relativas à Produção de Concreto no Brasil: Uma Abordagem Epistêmica. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. 2010.
- 3 ROSSIGNOLO, J. A. Concreto leve estrutural: Produção, propriedades, microestrutura e aplicações. São Paulo: Pini, 2009.
- 4 LEGATSKI, Leo A. Cellular Concrete. STP169-C, Significance of Test and Properties of Concrete – Manqing Materials – ASTM Publications Code Number (PCN) 04-169030-07, 1994, p. 533-539.
- 5 FERREIRA, O. A. R. Concretos Celulares Espumosos. São Paulo, Departamento de Engenharia da Construção Civil da EPUSP, 1987.
- 6 ECOPORE. Tecnologia em Concreto Celular. Disponível em <http://www.ecopore.com.br/>. Acesso em 10/abril/2017.

- 7 NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 2 ed. São Paulo: PINI, 1997.
- 8 ROSSIGNOLO, J. A; AGNESINI, M. V. C. Concreto: ensino, pesquisa e realizações- concreto estrutural. São Paulo: IBRACON, 2005. v 2.
- 9 TEIXEIRA FILHO, F. J.; TEZUKA, Y. Boletim técnico: considerações sobre algumas propriedades dos concretos celulares espumosos. São Paulo: EPUSP, 1992.
- 10 PETRUCCI, E. G. R. Concreto de cimento Portland. 5 ed. São Paulo. GLOBO, 1982.
- 11 CORTELASSI, E. M. Desenvolvimento e avaliação de concretos celulares espumosos de alto desempenho. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento)- Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.
- 12 SILVA, Cledson André de Oliveira. Estudo de dosagem e avaliação de concreto celular com fins estruturais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas). Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2015.
- 13 PETRUCCI, Eladio G. R. Concretos leves celulares e sem finos. São Paulo, 1973.
- 14 ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 12645: Execução de paredes de concreto celular espumoso moldadas no local: procedimento. Rio de Janeiro, 1992.
- 15 FERREIRA, O. A. R. Concretos Leves: concreto celular espumoso. 1986. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Paulo. 1986.
- 16 ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 12646: Paredes de concreto celular espumoso moldadas no local: especificação. Rio de Janeiro, 1992.