

CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO TRAÇO DE CONCRETO CELULAR PRODUZIDO EM PALMAS – TO

Carlos Alberto Lopes de Farias¹
Fernando Antonio da Silva Fernandes²
Lidiane Andrade Fonseca da Paz³

RESUMO

Com o objetivo de reduzir o peso próprio da estrutura na construção civil, novas técnicas vêm surgindo para diminuir a massa específica do concreto, como a adição de materiais que visam aumentar a sua porosidade, o tornando mais leve. Nesse trabalho utilizou-se a adição de aditivo espumógeno à massa. Foi escolhido o traço 1:1 de concreto com densidade de 1650 Kg/m³. Foram produzidos oito corpos de prova cilíndricos de concreto celular com dimensões de 100 x 200 mm. A cura realizada foi do tipo úmida e aos 7 dias foram rompidos. Os resultados apresentaram uma média 4,0 MPa. Para obter um material de baixa densidade vai depender da porcentagem de cada material inserido na massa, do uso ou não de agregados, no tempo de mistura da massa e também do volume da quantidade de espuma pré-formada. Quanto menos denso o concreto celular menor será sua resistência mecânica.

Palavras-chave: Concreto celular, densidade, resistência.

INTRODUÇÃO

O conceito de vida útil longa para uma edificação minimiza impactos ambientais e financeiros. Porém a durabilidade de uma construção depende dos materiais utilizados, técnicas construtivas, interação com o meio ambiente e medidas de manutenção (FERRAZ, 2011).

O concreto é o material utilizado em obras de construção civil. O concreto é constituído de uma mistura de cimento, agregados água, aditivos e adições minerais (FONSECA, 2010).

A cada dia novas técnicas surgem para viabilizar o uso do concreto com característica e propriedade específica. Um objetivo é produzir concretos mais leves e com maior resistência mecânica aos esforços solicitantes. O concreto leve pode ser utilizado para fins estruturais ou vedação com bom isolamento térmico em comparação ao concreto convencional, devido a sua condutividade térmica

¹Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Católica do Tocantins, carlosfc20110652@gmail.com

²Engenheiro Civil. Professor Mestre do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Católica do Tocantins, fernando.fernandes@catolica-to.edu.br

³Engenheira Civil e Engenheira Agrícola. Especialista, lidi_af@hotmail.com

ser proporcional ao aumento de sua massa específica, resistência mecânica e condutividade sonora (ROSSIGNOLO, 2009).

O concreto celular pode ser utilizado como isolante acústico, superfície corta-fogo, enchimento de lajes com rebaixos, reabilitação de pisos em construções antigas, camadas de regularização de lajes de impermeabilizações, bases de pistas de autoestrada, aeroportos e estradas de ferro, e até como solução alternativa na área geotécnica como substituição e/ou reforço de solos pobres (LEGASTSKI, 1994).

2. O CONCRETO CELULAR

Ferreira (1987) define o concreto celular como um tipo de concreto leve resultante da pega de uma mistura de aglomerante e agregados finos, o qual passa por tratamentos mecânicos, físicos e químicos, objetivando criar nessa massa uma alta porcentagem de poros esféricos, regularmente e milimetricamente dimensionados e distribuídos de forma uniforme por toda a massa, permanecendo estáveis, indeformáveis e incomunicáveis durante todo o processo, originando um concreto com massa específica aparente seca entre 400 kg/m³ e 1850 kg/m³.

A tabela 1 apresenta a massa específica do concreto celular, concreto leve e concreto convencional, sendo que o material com menos 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 (2017)

A diminuição na massa própria do concreto leve foi obtida por meio da troca de parte dos materiais sólidos por poros. Nos concretos leves é possível identificar três pontos para os poros: partículas de agregado, pasta de cimento e partículas de agregado graúdo (NEVILLE, 1997).

Rossignolo (2005) diz que a ampla utilização dos concretos leves é devido aos benefícios gerados pela redução da massa específica do concreto, reduzindo os esforços devido ao peso próprio da estrutura, pela economia com fôrmas e cimbramento e pela diminuição dos custos com transporte e montagem de edificações pré-fabricadas.

Os concretos celulares resultam da pega de uma mistura de aglomerantes e agregados, que receberam um tratamento mecânico, físico ou químico destinado a criar na sua massa uma porcentagem importante de pequenas cavidades fechadas (FERREIRA, 1987).

Os concretos celulares aerados podem ser obtidos por aeração química e também pela introdução na argamassa de agentes espumígenos.

Teixeira Filho e Tezuka (1992) afirmam que a aeração química resulta da reação de uma substância química com outros componentes da argamassa, o que acaba por gerar poros. Estas reações ocorrem antes da pega do cimento, gerando poros antes do seu endurecimento, e em função do tipo de aglomerante utilizado, haverá um processo de cura mais adequado.

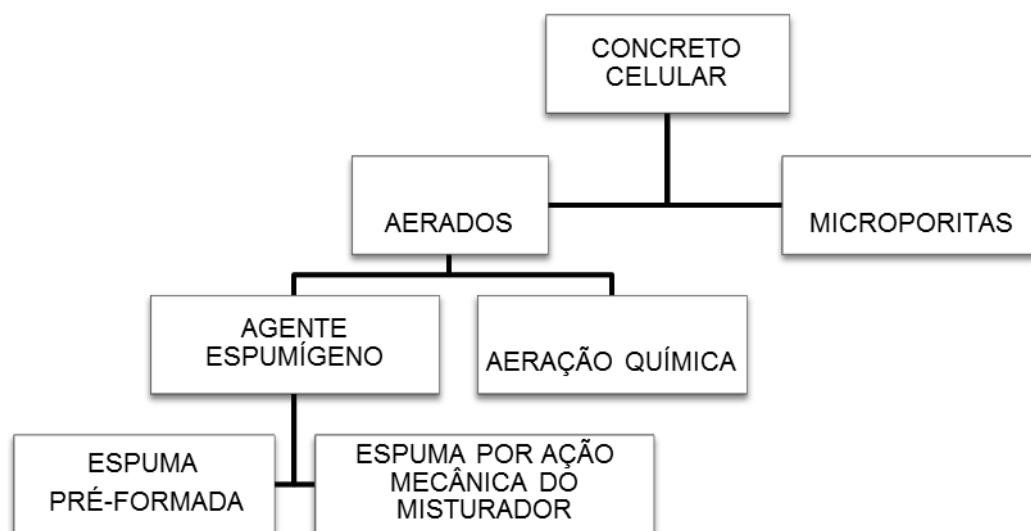
Os principais formadores de gás são: pó de alumínio; água oxigenada e cloreto de cal; carbureto de cálcio (PETRUCCI, 1982).

Concretos celulares espumosos (CCE) pode receber a incorporação de ar através de espuma pré-formada, onde a espuma, com características controladas, é gerada por equipamento específico e introduzida após o preparo da argamassa, ou através de espuma gerada por ação mecânica do misturador, sendo que o agente espumógeno é diluído em água e misturado com outros materiais, a espuma vai sendo gerada pela velocidade do misturador (CORTEPASSI, 2005).

De acordo com Cortelassi (2005), as microporitas apresentam uma estrutura capilar uniforme que resulta da excessiva quantidade de água adicionada. A cura pode ser ao ar livre, a vapor ou em autoclave.

Teixeira Filho e Tezuka (1992) classificam os concretos celulares de acordo com o tipo de processo de geração e formação dos poros, (FIGURA 1).

Figura 1. Classificação dos concretos celulares



Fonte: Teixeira Filho e Tezuka (1992)

A Tabela 2 apresenta as várias classificações de concreto celular espumoso (CCE) que, dependendo da finalidade do projeto construtivo, podem ser elaborados com um ou vários tipos materiais de construção, e também com a incorporação de aditivos que darão maiores resistência 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 (1992)

O CCE é produzido apenas com cimento quando deseja-se obter um concreto com massa específica inferior a 800 kg/m^3 . Porém, quando o objetivo é produzir um concreto com massa específica superior a este valor, utiliza-se além do cimento, a areia. Já a inclusão dos agregados leves ao concreto celular deve-se a melhoria da relação da massa específica e da resistência mecânica (SILVA, 2015).

Ferreira (1987) afirma que o aglomerante mais utilizado é o cimento *Portland* Comum, mas também pode ser usado o cimento *Portland* de escória de alto forno ou o cimento *Portland* Pozolânico, sendo que nestes casos existem alterações, tanto nas dosagens quanto nas características de endurecimento. Quanto aos agregados é recomendável utilizar areias mais grossas, para obtenção de massa específica superiores a 1400 kg/m^3 , e para massas específicas inferiores a 800 kg/m^3 , um teor de finura menor.

Um dos primeiros agentes espumógenos utilizados na produção de concretos celulares espumosos foi o ácido naftalino sulfúrico, utilizado em pó, em geral na proporção de 1% da massa de cimento. Além disso, visando a estabilização da espuma produzida utilizava-se, conjuntamente, o silicato de sódio (PETRUCCI, 1973).

Os concretos celulares espumosos apresentam maior trabalhabilidade que os concretos convencionais, uma vez que tem maior quantidade de vazios em sua estrutura (CORTELASSI, 2005).

A NBR 12645/92 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)).

3. RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO

A Tabela 3 apresenta uma experiência realizada por Ferreira (1986), utilizando espuma pré-formada, cimento e areia nas proporções devidas para a obtenção de uma massa específica de 800 kg/m^3 , variando o tempo da mistura do concreto celular, em betoneira em 3, 5 e 10 minutos. O aumento do tempo de mistura provoca um aumento da massa específica aparente e conseqüentemente a um aumento da resistência à compressão dos CCE.

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: Ferreira (1986)

A quantidade de espuma aplicada na massa influencia diretamente na densidade do concreto celular espumoso, isso, devido ao aumento de vazios ocasionados pela espuma. A tabela 4 apresenta resultados encontrados através de experimentos realizados por Cortelassi (2005), onde mostra a relação entre densidade do CCE e volume de espuma. À medida que 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: Cortelassi (2005)

A resistência à compressão do concreto leve celular depende da massa específica, consumo de cimento e tamanho das partículas, fator água – cimento e qualidade do agregado, cura e sistema de produção (FERREIRA, 1987)

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 (FERREIRA, 1987).

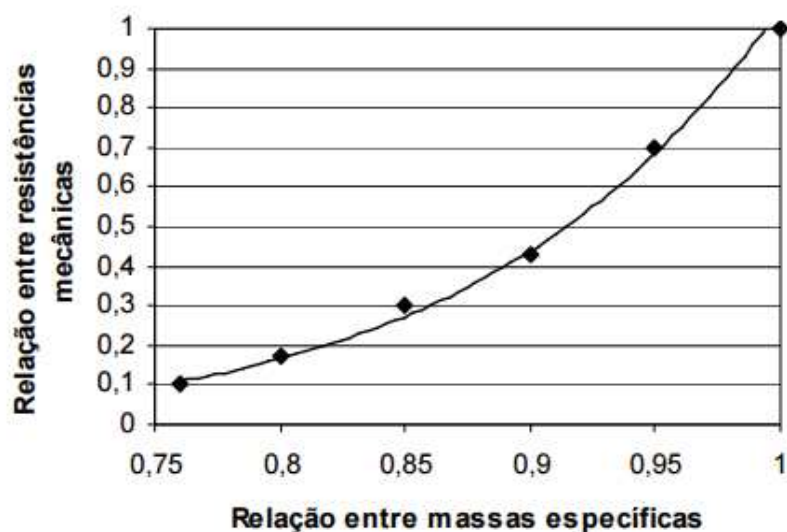
A NBR 12646/92 define que os corpos de provas ensaiados, segundo a NBR 5739, devem apresentar uma resistência à compressão característica estimada (f_{ckest}) de 2,5 MPa aos 28 dias.

Como em outros concretos leves, a resistência mecânica e a condutividade térmica dos concretos celulares espumosos variam em função do teor de vazios. Cabe ressaltar que enquanto o aumento da porosidade do concreto celular espumoso melhora as propriedades de isolamento térmico, reduz os valores de resistência mecânica deste material, ou seja, varia na razão inversa (CORTEPASSI, 2005).

De acordo com Teixeira Filho e Tezuka (1992), a porosidade da pasta é um dos principais parâmetros que limitam a resistência nos concretos. A figura 2 apresenta uma análise em que o volume de poros de 5% (0,95 na relação de massas específicas) resulta numa redução de 30 % da resistência mecânica.

Entende-se que à medida que ocorre um aumento de porosidade, o concreto fica mais leve ou menos denso e conseqüentemente ocorrerá uma redução em sua resistência mecânica.

Figura 2. Relação entre porosidade e resistência mecânica do concreto



Fonte: Teixeira Filho e Tezuka (1992)

METODOLOGIA

Os corpos de provas ensaiados foram produzidos no laboratório de materiais da Faculdade Católica do Tocantins. As matérias primas (cimento comum, areia, água e espuma) foram separadas, pesadas em balança digital e misturadas em betoneira.

O Traço escolhido é bastante usado na região com composição 1:1 para um volume de $0,03125 \text{ m}^3$ de concreto, com o objetivo de obter uma densidade estimada de 1650 Kg/m^3 , (TABELA 5).

A espuma foi gerada através de agitação mecânica, cujo agitador funciona semelhante a uma batedeira. Em um recipiente coloca-se o aditivo juntamente com água. A Figura 3 apresenta o processo de geração de espuma, com adição de agente espumógeno em água, e agitado com misturador portátil. Após a formação da espuma segue-se a ordem de sequência de carregamento na betoneira, para espuma pré-formada: agregado miúdo; cimento; água; espuma. Primeiramente foram misturados os materiais secos (agregado miúdo e cimento), depois acrescentada a água e por último a espuma pré-formada, obedecendo a sequência da NBR 12645/92.

Após a mistura em betoneira foram retiradas oito amostras de concreto celular e colocadas em cilindro com dimensões de $100 \times 200 \text{ mm}$ (FIGURA 4). Após 24 horas os corpos de prova foram desformados e foram colocados imersos em água para o processo de cura (FIGURA 4).

Tabela 5: Traço 1:1 para confecção de $0,03125 \text{ m}^3$ de concreto.

Cimento Kg	Areia Kg	Água Kg	Espuma Lts	Densidade Kg/m^3
20	20	10	12	1650

Figura 3. Agitação mecânica para a geração de espuma.



Figura 4. Concreto celular moldado em cilindro.



Após 7 (sete) dias de cura, os corpos de prova foram rompidos em prensa hidráulica para a verificação da resistência à compressão (FIGURA 5).

Figura 5. Corpo de Prova a ser rompido em prensa hidráulica.



ANÁLISE DE RESULTADOS

A Tabela 6 apresenta a resistência à compressão do concreto celular com densidade de 1650 Kg/m^3 no 7º (sétimo) dia de cura. Cada amostra de corpo de prova apresentou uma variação de resistência, resultando em uma média de 3,925 ou aproximadamente 4,0 MPa. Em 28 dias é possível atingir 14 MPa.

Tabela 6: Resistência à Compressão do Concreto Celular após 7 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

De acordo com a ECOPORE (2017) o processo de espuma pré-formada oferece um excelente controle de qualidade e garantia da densidade especificada. Nas faixas de baixa densidade o concreto celular não desenvolve a resistência à compressão do concreto convencional. Cada forma de concreto apresenta uma família única de características de desempenho e deve ser utilizado no tipo apropriado de projeto.

Afirma ainda que, os traços de Concreto Celular em geral são projetados para criar um produto com uma baixa densidade, que resulta em uma resistência à compressão relativamente menor (quando comparado ao concreto tradicional). A faixa de densidade típica para traços de concreto celular puros de cimento pode variar de 300 a 900 Kg/m^3 , produzindo um correspondente intervalo de resistência à compressão entre $0,345$ e $6,5$ MPa. Quando são necessárias resistências à compressão mais elevadas, a adição de agregado fino e / ou graúdo irá resultar em um concreto celular mais resistente com densidades mais elevadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O concreto celular é um material de baixa densidade se comparado com o concreto convencional, diminuindo assim, o peso próprio das estruturas construtivas. Tem sido confeccionado com agregados miúdos para aumentar a resistência e também com adição de espumas pré-formadas à mistura diminuindo ainda mais o peso.

A densidade do concreto celular vai depender do traço utilizado, da porcentagem de cada material inserido na massa, do uso ou não de agregados, no tempo de mistura da massa e também do aumento da quantidade volumétrica de espuma pré-formada. Quanto menos denso o concreto celular menor será sua resistência mecânica. Essa densidade dependerá do volume de espuma inserido no concreto, que resultará no aumento da porosidade do material.

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

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 12645: **Execução de paredes de concreto celular espumoso moldadas no local**: procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 12646: **Paredes de concreto celular espumoso moldadas no local**: especificação. Rio de Janeiro, 1992.

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.

ECOPORE. **Tecnologia em Concreto Celular**. Disponível em <http://www.ecopore.com.br/>. Acesso em 10/abril/2017.

FONSECA, GUSTAVO CELSO DA. **Adições Minerais 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.

FERREIRA, O. A. R. **Concretos Leves: concreto celular espumoso**. 1986. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Paulo. 1986.

FERREIRA, O. A. R. **Concretos Celulares Espumosos**. São Paulo, Departamento de Engenharia da Construção Civil da EPUSP, 1987.

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.

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.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo: PINI, 1997.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 5 ed. São Paulo. GLOBO, 1982.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concretos leves celulares e sem finos**. São Paulo, 1973.

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

ROSSIGNOLO, J. A; AGNESINI, M. V. C. **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações- concreto estrutural. São Paulo: IBRACON, 2005. v 2.

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.

TEIXEIRA FILHO, F. J.; TEZUKA, Y. **Boletim técnico**: considerações sobre algumas propriedades dos concretos celulares espumosos. São Paulo: EPUSP, 1992.