APLICAÇÃO DO CONCRETO DE ULTRA ALTO DESEMPENHO NA ARQUITETURA[1]

SORIANO, A. O., Universidade Federal do Rio de Janeiro, email: amandasoriano@outlook.com; VELASCO, R.V.. Universidade Federal do Rio de Janeiro, email: reila@fau.ufrj.br

ABSTRACT

For many decades, the compressive strength of concrete remained in the range of 15 to 20 MPa, but the emergence of new materials and construction techniques, and the search for slimmer structural elements provided the development of more strength concrete. In this context, there is the ultra high performance concrete that allows a wide range of applications, both in engineering and architecture. This research therefore has to show the versatility of ultra high performance concrete in the field of architecture, through the production of a perforated panel, in order to simulate perforated façades. Sixteen traces of concrete were produced in order to obtain a concrete with strength and expected workability, according to the materials available in the laboratory. The concretes were characterized by compressive strength tests. The best performance concrete was used for the fabrication of the perforated panel prototype. All the constituents used for its production have led to a concrete with a capacity for density and compressive strength of more than 100 MPa. Such strength allowed the production of a panel with reduced sections, reinforcing one of the potentialities of ultra high performance concrete in architectural element.

***Keywords**: Concrete. Ultra high performance. Architecture. Panel.*

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos produtos da indústria da construção civil mais utilizado pelo homem. Inicialmente, o concreto se apresentou apenas na sua forma convencional, com resistência até 60 MPa (CIMENTO.ORG, 2017). Entretanto, o desenvolvimento da construção civil, as exigências por estruturas mais complexas e mais esbeltas, e o surgimento de novos materiais propiciaram o desenvolvimento de concretos mais resistentes.

Assim, concretos com resistências superiores a 60 MPa foram produzidos na década de 80 e, atualmente, concretos acima de 100MPa estão na capacidade de produção (AITCIN, 2000). Este último, denominado como concreto de ultra alto desempenho, surgiu na França, com o nome de Ductal®. Sua produção envolve o estudo do melhor empacotamento das partículas dos grãos que o constituem, de forma a se atingir a maior resistência (RICHARD; CHEYREZY, 1995). E sua capacidade de deformação está associada a utilização de fibras metálicas. Por apresentar elevada resistência, durabilidade e garantir produção de seções esbeltas, possibilita ampla aplicação tanto na engenharia quanto na arquitetura, em fachadas completas e em fachadas perfuradas, estruturas hidráulicas, pontes e

[1] SORIANO, A.O., VELASCO, R.V.. Aplicação do concreto de ultra alto desempenho na arquitetura. In: XVII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**...Porto Alegre: ANTAC, 2018

coberturas.

Neste contexto, o trabalho tem por objetivo geral a disseminação do conhecimento desta classe de concreto, mostrando sua potencialidade na área arquitetônica. Devido à dificuldade de se produzir tais tipos de concreto, dada a baixa relação àgua/cimento que o mesmo apresenta, foram avaliados dezesseis diferentes traços de concreto com variações tanto na quantidade de água e superplastificante, quanto nos materiais secos utilizados, de forma a se atingir concretos com resistência à compressão superior a 100MPa.

Como aplicação arquitetônica, o desafio foi produzir um painel perfurado, de seções esbeltas, com o concreto de melhor desempenho, de forma a simular fachadas perfuradas. A escolha do material para a produção da fôrma do painel também se tornou importante, dada a preocupação do painel se manter íntegro durante a desmoldagem.

2 MATERIAIS E PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

O cimento escolhido foi o CPV ARI, com diâmetro médio igual a 7,4 μm. A sílica 325 é um pó de quarzto com diâmetro médio de 10,81 μm, e a sílica ativa apresentava diâmetro médio igual a 0,12 μm. A areia utilizada é proveniente de rio, com diâmetro de grãos inferiores a 1,2mm. Utilizou-se uma microfibra mineral denominada volastonita, de comprimento entre 50 μm e 2mm. As fibras de aço eram retas de comprimento igual a 15mm. O aditivo superplastificante era à base de policarboxilato, modificado com nanosílica estabilizada, com teor de sólidos igual a 48,6%.

Dezesseis traços de concreto foram produzidos para encontrar a mistura ideal que pudesse ter resistência e fluidez desejadas. As alterações realizadas foram tanto na parte líquida da mistura (água e aditivo), quanto nos materiais em pó (cimento e volastonita). A Tabela 1 apresenta o proporcionamento dos materiais, em kg/m^3.

Tabela 1 – Proporcionamento dos materiais, em kg/m^3

Misturas	Cimento (Kg/m^3)	S. Ativa* (Kg/m^3)	S. 325* (Kg/m^3)	Areia (Kg/m^3)	Água (l/m^3)	Volast*. (%)	Aditivo (l/m^3)	F. Aço* (%)
M1	789,1	197,3	307,7	868,0	197,3	-	15,0	-
M2	789,1	197,3	307,7	868,0	197,3	-	15,0	-
M3	791,0	197,7	308,5	870,1	195,4	-	17,4	-

M4	792,8	198,2	309,2	872,1	193,5	-	19,8	-
M5	796,0	199,0	310,4	875,6	190,2	-	23,9	-
M6	786,0	196,5	306,5	864,6	200,4	-	19,6	-
M7	773,8	193,5	301,8	851,2	212,8	-	19,3	-
M8	773,8	193,5	301,8	851,2	212,8	2	19,3	-
M9	817,8	163,6	318,9	899,6	186,6	-	27,0	-
M10	832,4	166,5	311,7	879,0	191,5	-	29,1	-
M11	834,2	166,8	312,3	880,9	189,7	-	33,4	-
M12	837,3	167,5	313,5	884,2	186,7	-	40,2	-
M13	832,4	166,5	311,7	879,0	191,5	2	29,1	-
M14	837,3	167,5	313,5	884,2	186,7	2	40,2	-
M15	832,4	166,5	311,7	879,0	191,5	2	52,4	
M16	832,4	166,5	311,7	879,0	191,5	2	52,4	0,5

* S. Ativa = sílica ativa; S.325 =sílica 325; Volast. = volastonita; F. aço = fibra de aço

Fonte: Os autores

3 METODOLOGIA

3.1 Produção dos concretos

A produção dos concretos foi feita em argamassadeira, com capacidade de 5 litros. Após a mistura, foram moldados corpos de prova cilíndricos de dimensões 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura para a realização dos ensaios mecânicos. A cura foi mantida em ambiente úmido, até a idade de ensaio, aos 7 e 28 dias. O Quadro 1 apresenta o procedimento de mistura.

Quadro 1 - Procedimento de mistura

Etapas	**Ordem**	**Tempo**
1ª etapa	Materiais secos	60 segundos
2ª etapa	1/2 água	60 segundos
3ª etapa	1/2 água + aditivo	Variável
4ª etapa	Fibra de aço	60 segundos

Fonte: Os autores

Observa-se que o tempo de duração na 3ª etapa do procedimento de mistura é variável, entre 18 a 40 minutos, a depender da relação água/cimento da mistura. As figuras abaixo ilustram o aspecto de alguns concretos durante o processo de mistura (Figura 1a e Figura 1b), bem como o aspecto final (Figura 1c).

Figura 1- Aspecto de mistura do concreto



(a) (b) (c)

Fonte: Os autores

3.2 Produção do painel - elemento arquitetônico

A decisão pela produção de uma placa perfurada foi baseada tendo como referência as fachadas perfuradas do Museu das Civilizações e do Mediterrâneo (MuCEM), em Marseille, França, e do Aeroporto de Rabat-Salé, em Rabat, Marrocos (ver figura 2).

Figura 2–(a) Museu das Civilizações e do Mediterrâneo (MuCEM), Marseille, França e (b) Aeroporto de Rabat-Salé, em Rabat, Marrocos

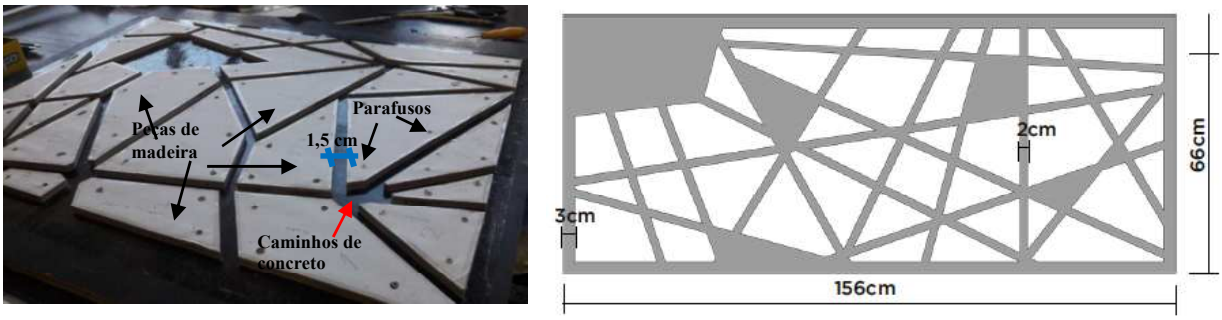


(a) (b)

Fonte: MADEMOISELLE VOYAGE (2017)

Uma das primeiras dificuldades em se produzir uma fração da fachada perfurada consistiu na produção da fôrma. A figura 3a é a primeira fôrma que foi feita de madeira e consistiu em uma base, uma moldura e peças de madeira representando os vazios do desenho do protótipo. Os caminhos que restaram seriam preenchidos com o concreto. Os "caminhos de concreto" tinham 1,5cm de largura x 1,0cm de profundidade. Na evolução da produção da fôrma (ver figura 3b), optou-se por fazê-la de papel pluma, pela facilidade de desmolde. Além disso, os "caminhos" foram aumentados para 2cm de largura x 1,5cm de profundidade, e com bordas de 3cm de largura.

Figura 3 – Fôrmas avaliadas



(a) (b)

Fonte: Os autores

3.3 Caracterização mecânica

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados em uma prensa com capacidade de 150t, a uma velocidade de 50kgf/s, aos 7 e 28 dias de idade, em corpos de prova cilíndricos de dimensões 5cm de diâmetro x 10cm de altura.

A Figura 4 ilustra o corpo de prova, após a ruptura, na máquina de ensaio.

Figura 4 - Corpo de prova após ruptura



Fonte: Os autores

4 RESULTADOS

4.1 Comportamento sob compressão

A Tabela 2 e a Tabela 3 mostram os resultados de resistência à compressão obtidos para todos os concretos produzidos. Não foi possível fazer todos os ensaios necessários, pois houve uma falha na prensa utilizada pelo laboratório e, por isso, alguns resultados não foram obtidos.

Tabela 2 - Resistência à compressão, em MPa (concretos M1 ao M8)

Idades	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
7 dias	93,8	114,0	114,0	103,0	93,8	105,4	74,2	72,5

28 dias	-	-	117,2	117,2	131,8	-	103,9	95,4

Fonte: Os autores

Tabela 3 - Resistência à compressão, em MPa (concretos M9 ao M16)

Idades	**M9**	**M10**	**M11**	**M12**	**M13**	**M14**	**M15**	**M16**
7 dias	-	-	-	-	99,4	89,9	89,6	-
28 dias	81,6	95,6	120,2	-	-	-	-	141,6

Fonte: Os autores

Considerando os concretos de alto desempenho até 100 MPa, as misturas M8 a M10 enquadram-se nesta categoria. E as misturas M3 a M5, M7, M11 e M16 enquadram-se na categoria de concretos de ultra alto desempenho, tendo como parâmetro os resultados de 28 dias de idade. Embora a produção de tais concretos não seja trivial, os concretos apresentaram aspecto homogêneo, com resistência máxima atingida igual a 141,6 MPa.

4.2 Elemento arquitetônico

O elemento de arquitetura foi produzido com o concreto de melhor desempenho. O resultado do painel utilizando o primeiro modelo de fôrma, conforme descrito no item 3.2, está apresentado na Figura 5. Neste, o painel apresentou fissuras em algumas seções, devido a alguns fatores: espessura muito fina da peça, desmoldagem ainda com o concreto jovem e desmoldagem com dificuldades, por conta da fôrma rígida de madeira. Mesmo com todas estas questões, o resultado foi positivo.

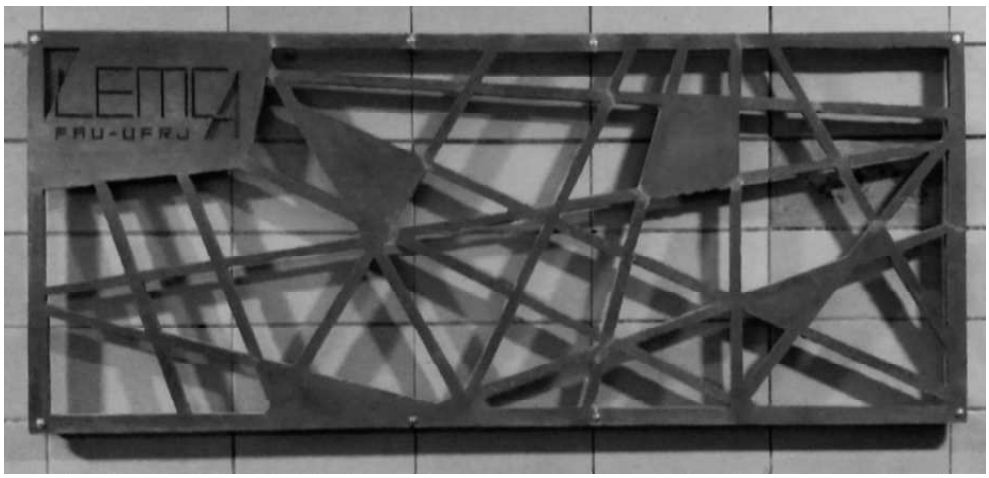
No segundo modelo de painel (Figura 6), o elemento final foi moldado de acordo com sua fôrma de papel pluma, conforme explicitado no item 3.2. Neste, o número de fissuras foi reduzido. Após a desmoldagem, realizada aos 21 dias de idade, o painel foi fixado em uma parede com auxílio de oito parafusos, como é mostrado na Figura 6, sem nenhuma ocorrência de dano durante a fixação.

Figura 5 – Primeiro painel - Painel teste



Fonte: Os autores

Figura 6– Segundo painel - Painel final



Fonte: Os autores

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos foram satisfatórios uma vez que se atingiu um nível de resistência esperado, bem como os painéis produzidos mantiveram-se íntegros.

A pesquisa proporcionou obtenção de maior conhecimento sobre o material estudado, o concreto de ultra alto desempenho, desde seu comportamento em laboratório até sua aplicação prática. Com isso, pôde-se entender melhor o contexto em que este material deve ser utilizado e também disseminar tal conhecimento, por meio de apresentação do trabalho.

Além disso, como este é um concreto ainda inovador na indústria da construção civil brasileira, não há informações sobre como são produzidos estes tipos de painéis vazados de concreto. Tal pesquisa teve, portanto, a importância de mostrar as dificuldades existentes ao longo de todo o procedimento.

AGRADECIMENTOS

Ao Órgão de Fomento pela concessão da bolsa, aos usuários do Laboratório de Materiais, pelo apoio durante a execução dos painéis e também à Universidade pelo incentivo às pesquisas.

REFERÊNCIAS

AITCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho,** 2000 .

CIMENTO.ORG - **O Mundo do Cimento**. On-line: Disponível na internet via WWW. URL: http://cimento.org/concreto/. Consultado em 15/04/2017

RICHARD; CHEYREZY, 1995 **Composition of reactive powder concretes.** Cement and Concrete Research. v. 25, n. 7, p. 1501-1511, Oct.

SILICON NS HIGH 200 - http://www.silicon.ind.br/wp-content/themes/silicon/fichatecnicaproduto/ns-ad/ficha-silicon-aditivo-concreto-alto-desempenho-ns-high-200.pdf . Consultado em 19/05/2017