

## **Avaliação de concreto celular com desempenho estrutural e a influência de adições e aditivos**

*Evaluation of cellular concrete with structural performance and the influence of additions and fillers.*

Thainá Maria da Costa Oliveira (1); João Victor Batista Palheta (2); Jayron Alves Ribeiro Junior (3); Luiz Felipe Albuquerque da Silva (4); Wilson Mattos Pacheco (5); Paulo Sérgio Lima Souza (6)

(1) *Mestranda em infraestrutura e desenvolvimento energético, Universidade Federal do Pará*

(2) *Mestrando em infraestrutura e desenvolvimento energético, Universidade Federal do Pará*

(3) *Mestrando em infraestrutura e desenvolvimento energético, Universidade Federal do Pará*

(4) *Mestrando em infraestrutura e desenvolvimento energético, Universidade Federal do Pará*

(5) *Engenheiro civil, Universidade da Amazônia - UNAMA*

(6) *Professor Doutor, Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Universidade Federal do Pará*  
*Endereço para correspondência – thaina\_c.oliveira@hotmail.com*

### **Resumo**

O presente estudo objetiva avaliar o uso da sílica ativa buscando a execução de concretos leves estruturais. Foram realizados os ensaios de *slump test*, densidade e medição do teor de ar incorporado no estado fresco e, resistência à compressão axial, diametral e absorção de água por imersão no estado endurecido, a fim de avaliar o comportamento do material e analisar a influência da sílica ativa, aditivos incorporador de ar e plastificante dosados em diferentes percentuais. Os resultados mostraram que os traços com maior percentual de ar incorporado apresentaram melhoria nas propriedades do concreto no estado fresco, promovendo maior fluidez, trabalhabilidade e menor densidade. Observou-se que com a diminuição do teor de ar incorporado, adição de sílica ativa e a relação a/c fixa, houve o aumento na dosagem do aditivo plastificante para manter o *slump* estabelecido. Por conseguinte, a adição de sílica ativa proporcionou um melhor desempenho nas propriedades mecânicas do concreto no seu estado endurecido, apresentando maior resistência, rigidez e menor permeabilidade. Contudo, entre os nove traços analisados, o concreto com 7,5% de ar incorporado e 5% de sílica ativa aos 28 dias de cura, obteve o melhor desempenho mecânico no estado endurecido, onde apenas a adição de 5% de sílica ativa se tornou eficaz na mistura, comprovando assim o seu efeito filler e pozzolânico.

*Palavra-Chave: Aditivos; concreto celular; sílica ativa.*

### **Abstract**

*The present study aims to evaluate the use of silica fume seeking the execution of lightweight concrete. The tests of slump test, density and content of air incorporated in the fresh state and resistance to axial, diametrical and water absorption by immersion in the hardened state, an end of evaluation or behavior of the material and to analyze the influence of active silica, additives incorporated into the air and plasticizers dosed in different percentages. The results shown when the strokes with a higher percentage of air are shown to improve the properties of the concrete in the fresh state, promoting greater fluidity, workability and lower density. Note that with a reduction in the incorporated air content, the addition of active silica and a fixed a / c ratio, there was an increase in the dosage of the plasticizer additive to maintain the established drop. For example, an addition of the active silica offers a better performance in the mechanical characteristics of the concrete in its supported state, presenting greater resistance, rigidity and less permeability. However, among the nine traces analyzed, concrete with 7.5% air and 5% active silica up to 28 days of curing, shows the best mechanical performance in the hardened state, where only an addition of 5% active silica is present. became effective in the mixture, thus proving its moisturizing and pozzolanic effect.*

*Keywords: Additives, active silica, cellular concrete.*

## 1 Introdução

O concreto é um material universalmente utilizado na indústria da construção civil. De acordo com Helene e Andrade (2007), o concreto é o segundo material mais usado pelo homem, perdendo apenas para a água. Sendo composto basicamente por uma mistura de cimento, agregados e água, em alguns casos, dependendo de sua aplicabilidade, podem ser adicionados em sua composição fibras, aditivos e adições minerais, a fim de melhorar suas propriedades mecânicas, físicas e durabilidade.

O crescente avanço tecnológico em diversos setores industriais, especialmente, no setor da construção civil, buscou desenvolver novos materiais que atendessem às necessidades impostas nas construções (CORTELASSI, 2005). Sendo assim, foram desenvolvidos concretos especiais com o intuito de melhorar o desempenho de suas propriedades e superar determinadas deficiências imposta pelo concreto convencional, como: peso próprio elevado, baixa resistência à tração e resistência a agentes químicos.

Dentre os tipos de concretos especiais, existem os concretos leves, desenvolvidos com a finalidade de reduzir o peso próprio e melhorar o desempenho térmico e acústico do material. Segundo Neville e Brooks (2013), a classificação do concreto leve se dar de acordo com seu método de produção e aplicabilidade, podendo ser:

Tabela 1 – Classificações do concreto leve

Método de produção	Aplicabilidade
Concreto com agregados leves	Concreto leve estrutural
Concreto aerado/celular/espumoso	Concreto leve para componentes para alvenaria
Concreto sem finos	Concreto isolantes

Fonte: Autores (2019)

De acordo com Angelin (2014) e NBR 8953 (ABNT, 2015) o concreto leve apresenta uma massa específica abaixo de 2000 kg/m<sup>3</sup>, diferindo-o do concreto convencional. Vale ressaltar, que também são estabelecidos critérios normativos para este tipo de concreto, de acordo com o ACI 213R-03 (2003), o concreto leve estrutural deve apresentar resistência à compressão aos 28 dias acima de 17 MPa. Já a norma brasileira, a NBR 6118 (ABNT, 2014), considera que o concreto estrutural deve possuir resistência mínima de 20 MPa.

O concreto celular, caracteriza-se como um tipo de concreto leve que possui adição de incorporador de ar em sua composição, é definido como um concreto aerado, onde sua matriz sólida é composta por células provenientes da formação de bolhas, podendo ser de origem química ou adicionadas por meio de agitação mecânica durante o seu processo de execução (MOTA, 2001).

Normalmente para a produção desse tipo de concreto se utiliza o aditivo incorporador de ar. Esse material tem como função gerar uma quantidade controlada de microbolhas uniformemente distribuídas na pasta, proporcionando melhorias nas propriedades do concreto, como: uma ótima fluidez da pasta, leveza, ótimo desempenho térmico e acústico.

A presença de vazios existentes na estrutura do concreto celular decorrentes das bolhas de ar, ocasionam a diminuição de sua resistência. Sendo assim, buscou-se utilizar a sílica ativa em sua composição, visto que esse material proporciona o aumento da resistência

mecânica e compacidade do concreto, devido os seus efeitos pozolânico e filler (FONSECA, 2010).

Com base no contexto apresentado, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o uso da sílica ativa buscando a execução de concretos leves estruturais e analisar o comportamento do material com adições e aditivos no estado fresco e endurecido, tomando como parâmetro o desempenho estrutural.

## 2 Materiais e métodos

### 2.1 Cimento

O cimento utilizado foi do tipo CP II F – 32, devido a sua grande facilidade de obtenção no mercado. Este cimento é fabricado segundo a norma técnica brasileira NBR 16697/2018 e sua composição é constituída de silicatos de cálcio, silicatos de alumínio, silicatos de ferro, sulfato de cálcio e filler carbonático. De acordo com o fabricante, a presente material apresenta como características: massa específica 3,10 kg/dm<sup>3</sup> e resistência à compressão em 28 dias de 32 MPa.

### 2.2 Agregado Graúdo e Agregado Miúdo

Foram utilizados o seixo rolado tipo médio e areia tipo média para a confecção dos corpos de prova, por serem materiais mais usuais na região. Para obtenção das características dos agregados foram executados ensaios de granulometria e massa específica. Os resultados obtidos e as normas de execução dos ensaios estão presentes na tabela abaixo:

Tabela 2 - Caracterização dos agregados empregados

Peneiras # ABNT (mm)	Granulometria do agregado graúdo			Granulometria do agregado miúdo			Normas de referência (NBR)
	massa retida (g)	% retida	% retida acumulada	massa retida (g)	% retida	% retida acumulada	
38,0	0	0%	0%	0	0%	0%	NM 248 (ABNT, 2003)
25	0	0%	0%	0	0%	0%	
19	22	0%	0%	0	0%	0%	
12,5	1408	28%	29%	0	0%	0%	
9,5	1156	23%	52%	0	0%	0%	
4,8	1848	37%	90%	0	0%	0%	
2,5	518	10%	100%	2	0%	0%	
1,18	0	0%	100%	10	2%	2%	
0,59	0	0%	100%	33	7%	9%	
300	0	0%	100%	167	33%	42%	
150	0	0%	100%	213	43%	85%	
Fundo	518	10%		75	15%	100%	
Total	4953,0	100,00%		500	100,00%		
<b>D. máximo</b>	19 mm			1,18 mm			NM 248 (ABNT, 2003)
<b>M. Finura</b>	1,71			1,38			NM 248 (ABNT, 2003)
<b>M. Específica</b>	2,63 g/cm <sup>3</sup>			2,68 g/cm <sup>3</sup>			NM 53 (ABNT, 2003) NM 52 (ABNT, 2009)
<b>M. Unitária</b>	1,68 g/cm <sup>3</sup>			1,16 g/cm <sup>3</sup>			NM 45 (ABNT, 2006)

Fonte: Autores (2019)

## 2.3 Água

Foi utilizada água potável na produção do concreto, proveniente da rede de abastecimento local. Não foi realizado nenhum ensaio de caracterização.

## 2.4 Aditivos

Foram utilizados dois tipos de aditivos na dosagem do concreto produzido. O primeiro foi o aditivo incorporador de ar Gethal 2012 Concentrado (Aditivo 1) e o segundo o aditivo poli funcional de pega normal para concreto Sikament PF 175 (Aditivo 2), as suas características estão dispostas na tabela 3, respectivamente.

Tabela 3 - Caracterização dos aditivos utilizados

Aditivo 1			Aditivo 2		
Característica	Valor	Observação	Característica	Valor	Observação
Densidade	1,02 g/cm <sup>3</sup>	Por m <sup>3</sup> de concreto	Densidade	1,19 ± 0,02 kg/L	Sobre o peso do aglomerante
Dosagem recomendada	1L/m <sup>3</sup>		Dosagem recomendada	0,30 a 0,65%	
Cor	Incolor a amarelado		Cor	Marrom	

Fonte: Fabricantes (2020)

## 2.5 Adições minerais

Foi utilizada sílica ativa como adição mineral, a fim de beneficiar a microestrutura do concreto decorrente do seu efeito pozolânico e fíler, segue sua caracterização no quadro 3.

Tabela 4 - Caracterização da Sílica Ativa.

Característica	Valor	Observação
Densidade	2.200 kg/m <sup>3</sup>	-
Dosagem recomendada	5 a 8%	Sobre o peso do cimento
Cor	Cinza	-

Fonte: Fabricante (2020)

## 2.6 Ensaio

No estado fresco realizou-se a determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, massa específica do concreto e teor de ar incorporado, seguindo os procedimentos descritos na NM 67 (ABNT, 1998), NBR 9833 (ABNT, 2009) e NM 47 (ABNT, 2002), respectivamente. No estado endurecido, estudou-se a resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral e absorção por imersão de acordo com os procedimentos prescritos nas normas NBR 5739 (ABNT, 2018), NBR 7222 (ABNT, 2011) e NBR 9778 (ABNT, 2009), respectivamente.

## 2.7 Planejamento do experimento e definição do número de corpos de prova

A presente pesquisa buscou avaliar o uso da sílica ativa na execução de concretos leves estruturais, para isso foram determinadas algumas variáveis de no estudo. Sendo assim, o teor de ar incorporado e o percentual de sílica ativa, foram definidos como variáveis de controle. Já as variáveis de respostas foram determinadas a partir dos ensaios realizados, descritos no item anterior.

Na tabela 5 pode-se observar como foi realizada a distribuição dos corpos de prova. Foram moldados um total de 135 corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10x20cm para as 9 misturas estudadas, de acordo com a norma NBR 5738 (ABNT, 2016). Produziram 2 amostras, que seriam rompidas em 7 e 28 dias, para a análise das propriedades mecânicas do material. O ensaio de absorção por imersão foi realizado apenas aos 28 dias, onde foram fabricadas 3 amostras para cada dosagem.

Tabela 5 – Distribuição de corpos de prova

	7 dias	28 dias
Compressão Axial	18	18
Compressão Diametral	18	18
Absorção por imersão	-	27

Fonte: Autores (2019)

## 2.8 Dosagem das misturas

O traço da execução das misturas foi obtido com base no método de dosagem especificado pelo IPT/EPUSP. Para a formulação desse método adotou-se o abatimento de 10±2cm, sendo o mesmo projetado para obtenção de 30 MPa aos 28 dias. O traço de referência foi utilizado apenas como parâmetro para as demais misturas, visto que essas misturas foram feitas com o uso de sílica ativa e de incorporador de ar, haja vista que o objetivo do trabalho não era a produção de um concreto de 30 MPa, mas de um concreto estrutural, onde de acordo com a norma deve possuir uma resistência mínima de 20 MPa. A proporção de mistura foi de 1:1,76:3,12 com uma relação a/c de 0,50. Para a preparação dos corpos de prova foi utilizado o aditivo incorporador de ar em diferentes proporções de 30%, 15% e 7,5%, e adicionado ao traço as proporções de 0%, 5% e 10% sílica ativa, como substituição parcial do cimento.

## 2.9 Produção das misturas

As misturas foram produzidas em betoneira de eixo inclinado. O processo de inserção dos materiais na betoneira foi realizado conforme a seguinte ordem: primeiro foi colocado o seixo, depois a areia, cimento e água. Foram adicionados aos traços as devidas porcentagens (5% e 10%) de sílica ativa. Por fim, foram adicionados os aditivos, incorporador de ar e plastificante. Nos traços que pretendeu alcançar 30% de ar incorporado, foram adicionados 28 ml de aditivos, 15%= 14 ml e 7,5%= 7ml. Após isso, obedeceu ao tempo de agitação mecânica, determinado pelo fornecedor, para haver a incorporação de ar na mistura, esse tempo variou de 10 a 18 minutos. Em alguns traços, foi dispensado o uso de aditivo plastificante, visto que a pasta apresentou uma ótima

trabalhabilidade apenas com o aditivo incorporador de ar. Em contrapartida, conforme houve a diminuição do teor de ar incorporado, foi necessário utilizar mais do que o valor dosado, de 64 ml, pois a pasta se apresentou seca, sem nenhuma trabalhabilidade.

Após isso, enquanto o concreto ainda se encontrava no estado fresco, foi determinada a sua trabalhabilidade, densidade e medido o teor de ar incorporado na mistura.

Em seguida, foram moldados os corpos de prova, de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2016). O adensamento foi realizado manualmente. Após 24 horas, os corpos de prova foram desformados e colocados no tanque, onde permaneceram em cura submersa por períodos de 7 e 28 dias.

Posteriormente, encerrado o período de cura, uma parte das amostras foram retiradas em 7 dias e outras em 28 dias, para realização dos ensaios de resistência à compressão, compressão diametral e absorção de água por imersão, respectivamente.

Por fim, foram coletados os dados dos ensaios executados e realizado a análise dos mesmos, a fim de verificar o desempenho do concreto celular com diferentes teores de ar incorporado e sílica ativa.

### **3 Análise de resultados**

#### **3.1 Trabalhabilidade**

Para a análise desta propriedade procurou-se focalizar em duas das suas principais características, que são a coesão e consistência. Com relação a coesão, realizou-se avaliações visuais, onde não se observou em todas as misturas a exsudação e falta de coesão, ou seja, mesmo com a inserção de sílica ativa e aditivo incorporador de ar, não houve a perda de coesão do concreto. Pelo contrário, por a sílica ativa ser um material fino, acabou contribuindo ainda mais com a melhoria dessa propriedade.

Quanto a consistência o processo de avaliação foi realizado segundo o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone, de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998), tendo como objetivo a obtenção do valor de  $10 \pm 2$  cm, definido na dosagem. Os resultados obtidos, bem como, a quantidade de aditivo plastificante adicionada em cada mistura, são apresentados no gráfico 1.

Os traços com 30% de ar incorporado, apresentaram maior consistência em sua pasta, fluidez e trabalhabilidade, devido a adição do incorporador de ar. Vale ressaltar, que os referidos traços com 30% de AR e com 0%, 5% e 10% de SA foram isentos da utilização de plastificante. Foi observado também, que conforme havia a redução do aditivo incorporador de ar, a pasta se apresentava “seca”, não atingindo o valor de referência utilizado no ensaio. Sendo assim, foi necessária a adição de plastificante nos demais traços.

Nas amostras com 15% de ar incorporado com 0%, 5% e 10 % de SA, foram adicionados 10 ml, 10 ml e 40 ml de plastificante, respectivamente. Já nas amostras com 7,5% de ar incorporado com 0%, 5% e 10% de SA, foram utilizados 64 ml, 74 ml e 84 ml, respectivamente.

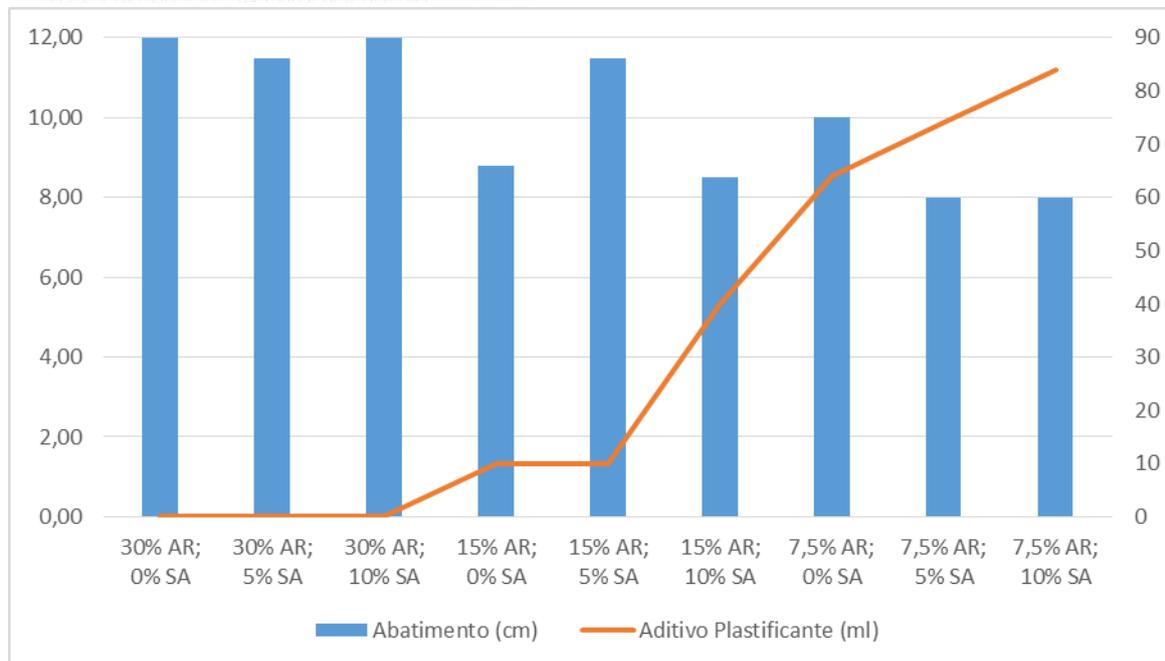


Gráfico 1 – Resultados dos abatimentos e quantidade de aditivo plastificante  
Fonte: Autor (2019)

Observou-se que a amostra com 7,5 % de AR e 10% SA apresentou uma maior quantidade de plastificante para obter o abatimento referencial mínimo adotado no ensaio. Esse fator, pode ser justificado por conta da diminuição do teor de ar incorporado e o aumento da porcentagem de sílica ativa na pasta de cimento, visto que a mesma ocasiona um aumento no consumo de água.

Conforme Hoffmann (2001), a sílica ativa é um material muito fino e por conta de sua elevada superfície específica tende a reter mais água, gerando assim o aumento do seu consumo, principalmente em concretos com baixa relação a/c, sendo necessário o uso de aditivo plastificante ou superplastificante.

### 3.2 Massa específica do concreto

Conforme os procedimentos descritos no item 2, o método utilizado para determinar a massa específica do concreto foi realizado com base na NBR 9833 (ABNT, 2009). Os resultados obtidos no ensaio estão apresentados no gráfico 2.

A partir da análise de resultados, foi possível observar que as amostras com 30% de ar incorporado, apresentaram uma menor densidade, e conforme houve a diminuição do percentual de ar incorporado, a densidade aumentou. Assim, é possível afirmar que o referido fator tem direta influência em sua densidade. Laursen et al. (2017), assegura em sua pesquisa que os aditivos incorporadores de ar podem alterar a densidade do material, com o aumento do teor de ar incorporado, a argamassa ou o concreto.

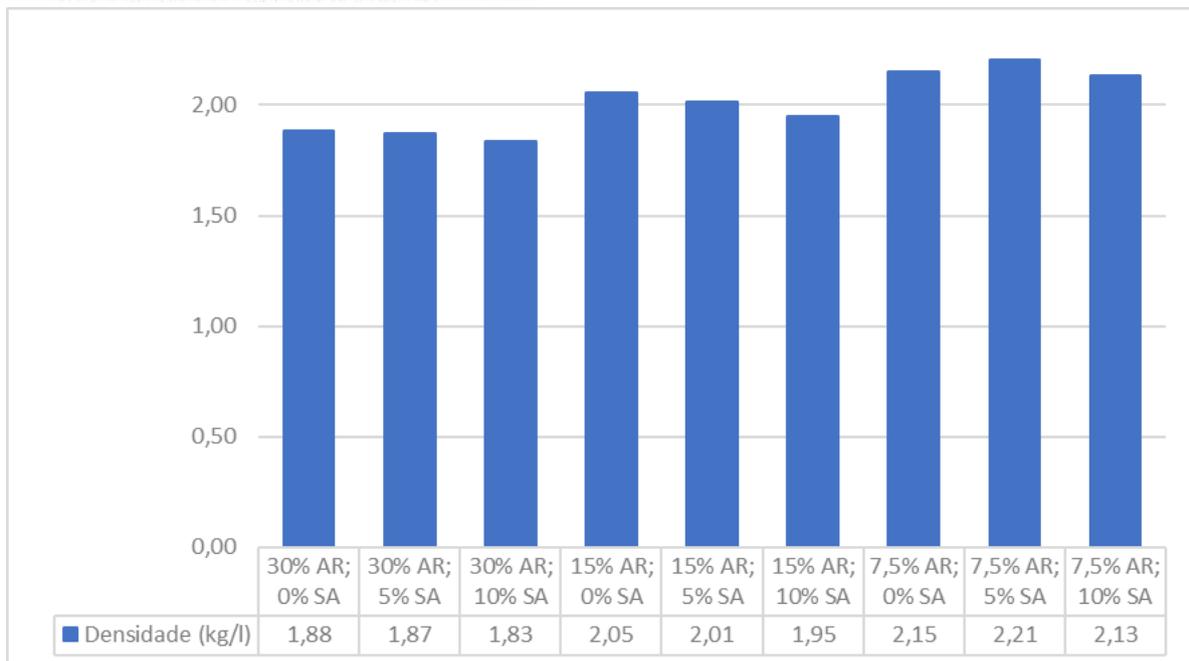


Gráfico 2 – Resultados obtidos no ensaio de densidade.  
 Fonte: Autores (2019).

Pode-se observar com os resultados, que as misturas de 30% e 15% de ar incorporado com maior percentual de sílica ativa, de 10%, tiveram menor densidade. Sendo possível afirmar, que a substituição do cimento por percentuais de sílica ativa influenciou diretamente na referida propriedade (HOFFMANN, 2001). Visto que, a mesma apresenta uma massa específica de 2,20 g/cm<sup>3</sup>, menor que a do cimento Portland sem adições de 3,15 g/cm<sup>3</sup>. Na amostra de 7,5% de AR com adições de sílica, observou-se que o menor percentual de sílica, de 5%, apresentou maior densidade comparado aos demais. Esse fator foi possível justificar, após a medição do teor de ar incorporado, visto que a mistura apresentou um percentual de 7,75% de ar incorporado, sendo o menor entre os demais.

### 3.3 Teor de ar incorporado

Para medir o teor de ar incorporado das misturas, foi realizado o ensaio de determinação desse teor no concreto fresco utilizando o método pressométrico, conforme descrito na NBR NM 47 (ABNT, 2002). Os resultados obtidos são apresentados no gráfico 3. Após a análise de dados do ensaio, foi observado que o aditivo incorporador de ar utilizado atingiu o critério estabelecido, porém o incremento da sílica ativa na mistura proporcionou uma redução no teor de ar incorporado.

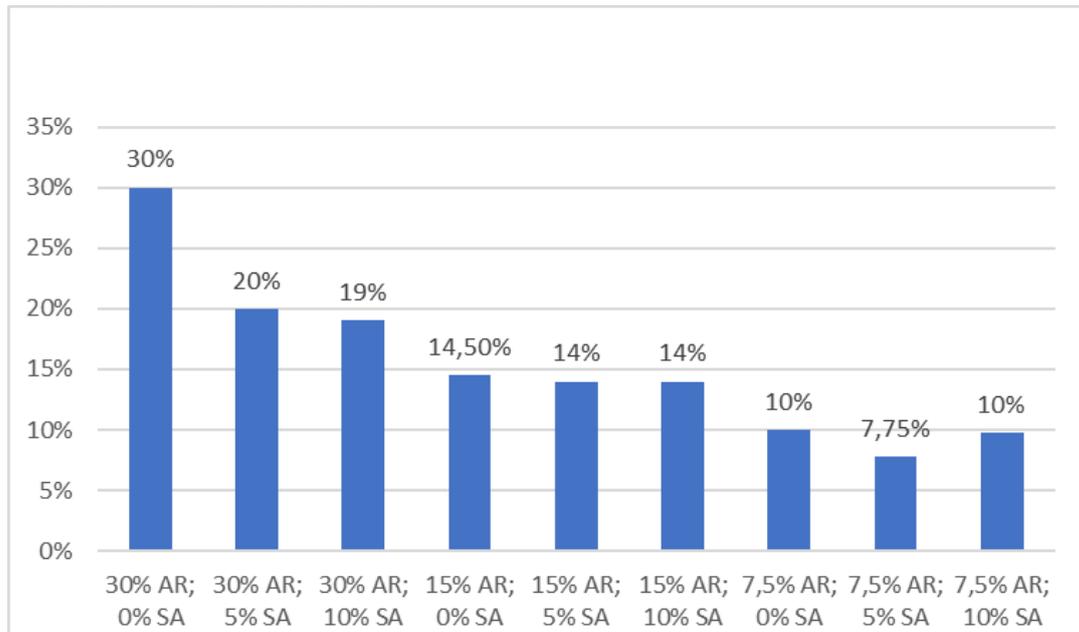


Gráfico 3 – Resultados obtidos na medição de ar incorporado  
Fonte: Autor (2019)

As amostras com 30% e 15% de ar incorporado com diferentes teores de adição de sílica ativa apresentaram menor incorporação de ar comparada a amostra referencial. Diante disso, afirmou-se que a mesma influenciou diretamente na propriedade do concreto devido ao seu efeito fíler. Segundo Silva (2016), a grande finura desse material, ocasiona um melhor empacotamento dos materiais sólidos do concreto, preenchendo os vazios existentes entre os grãos de cimento.

As misturas com 7,5% de ar, se comportaram de maneira inversa, a com 5% de adição, apresentou menor incorporação de ar comparada de 10%, esse fator pode ser justificado, por conta do uso de aditivo plastificante. Visto que, a amostra com 10% de adição, apresentou uma maior quantidade de aditivo em sua composição, onde o mesmo pode ter influenciado diretamente no referido fator, facilitando a incorporação de ar na pasta.

Vale ressaltar, que o tempo de agitação mecânica da betoneira também pode ter influenciado diretamente no teor de ar incorporado, já que a incorporação de ar se dar por meio do mesmo. Durante o referido processo, não houve a padronização de um tempo exato a ser estabelecido, e sim de um período médio seguido, de 10 a 18 minutos, determinado pelo fabricante, durante o processo de produção do concreto.

### 3.4 Resistência à compressão

Para determinação desta propriedade, foi realizado o ensaio de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018) que descreve o ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. As amostras foram rompidas no período de 7 e 28 dias, conforme o estabelecido no item 2.7 e os resultados encontram-se no gráfico abaixo.

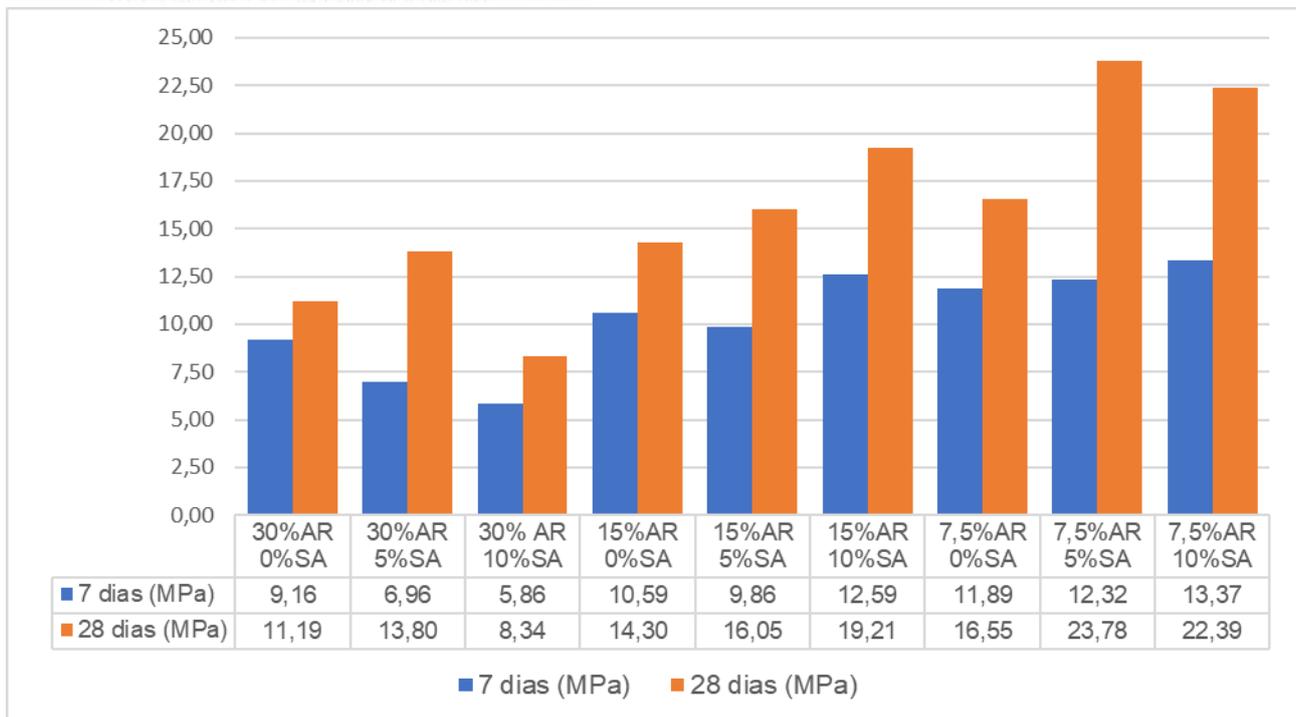


Gráfico 4 – Resultados obtidos no ensaio de compressão axial  
Fonte: Autor (2019)

Com 7 dias de cura, foram rompidos os primeiros corpos de prova. Foi possível observar que o corpo de prova com 7,5% de AR e 10% de SA obteve a maior resistência à compressão nas idades iniciais, comparado aos demais traços. Verificou-se que a adição de sílica ativa e a diminuição no teor de ar incorporado, influenciaram diretamente na presente propriedade, visto que, o aditivo incorporador de ar contribui com a diminuição da resistência do concreto.

Vale ressaltar, que o aditivo plastificante também pode ter influenciado diretamente no aumento da resistência, pois no referido traço se utilizou uma maior quantidade do mesmo. Esse tipo de aditivo resulta em uma maior área superficial de cimento exposta à hidratação, gerando um aumento na resistência do concreto nas idades iniciais quando comparado com as misturas sem aditivo e com a mesma relação a/c. A resistência a longo prazo do concreto também pode aumentar, pois o aditivo plastificante acarreta uma distribuição mais uniforme do cimento por todo o concreto (NEVILLE; BROOKS, 2013).

As amostras com idade de 28 dias foram rompidas e verificou-se que nenhuma alcançou o fck estabelecido, de 30 MPa, mas as misturas com 7,5% de AR e o com adição de sílica, obtiveram valores maiores que 20 MPa. Diante disso, essas proporções podem ser utilizadas para a produção de concreto estrutural, pois a NBR 6118 (ABNT, 2014), considera que a resistência mínima para concreto estrutural deve ser de 20 MPa.

### 3.5 Resistência à compressão diametral

A resistência à compressão diametral do concreto foi avaliada com base na NBR 7222 (ABNT, 2011), as amostras foram rompidas com idades de 7 e 28 dias e os resultados estão apresentados no gráfico abaixo:

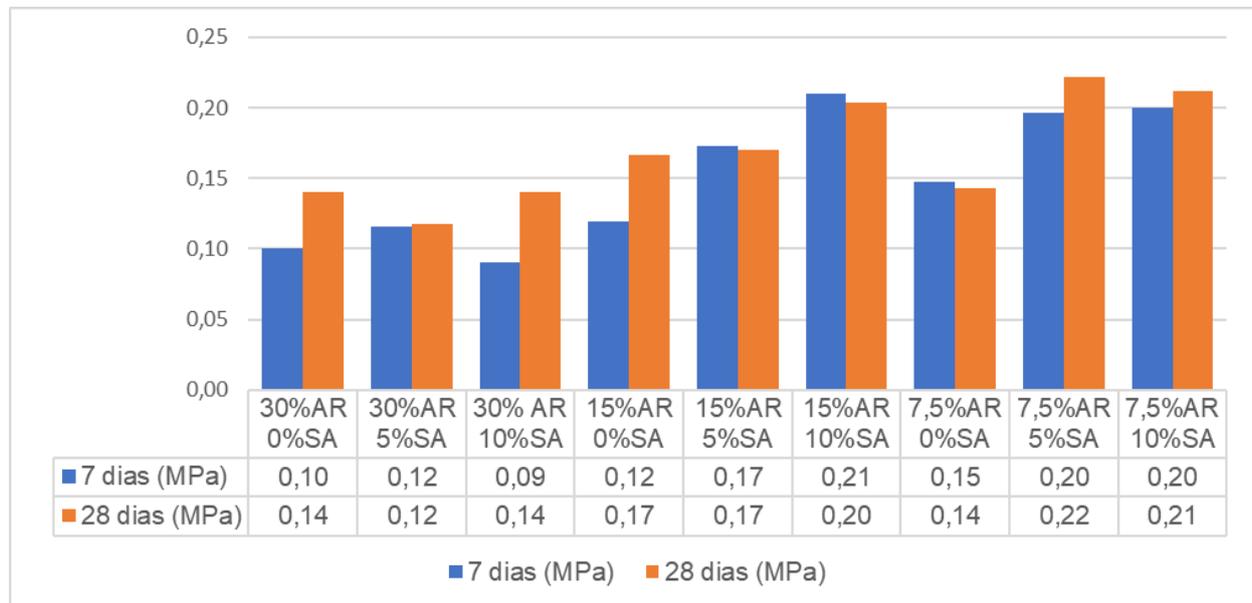


Gráfico 5 – Resultados obtidos no ensaio de compressão diametral  
Fonte: Autor (2019)

Nas primeiras idades, os corpos de prova com 15% de AR e 10% de SA, mostraram-se mais resistentes a tração, comparado aos demais. Já aos 28 dias, o corpo de prova com 7,5% de AR e 5% SA apresentaram-se mais resistentes. Foi possível observar, que o referido traço, teve um crescente aumento em suas resistências conforme houve o aumento da sua idade. No presente ensaio foi possível verificar que a adição de sílica ativa, apresentou uma certa influência no ganho de resistência do concreto. Visto que, esse material reage de forma positiva com o concreto, aumentando o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), melhorando a resistência à compressão e ligação da pasta com os agregados (SILVA; FELIX; MACHADO, 2016).

### 3.6 Absorção de água por imersão

O ensaio de absorção por imersão, foi realizado conforme a NBR 9778 (ABNT, 2009). Os valores médios encontram-se no gráfico 7. Com base nos resultados obtidos no ensaio, foi possível analisar que os corpos de prova com 30%, 15% e 7,5% de AR com 0% de sílica ativa, apresentaram maior porcentagem de absorção e índice de vazios em relação aos com 5% e 10%. Observou-se que conforme houve a diminuição do teor de ar incorporado, os corpos de prova correspondentes, tornaram-se menos permeável, ou seja, ocorreu a diminuição de poros decorrentes da incorporação de ar. Já os corpos de prova com adições, apresentaram menor absorção, e conseqüentemente menor índice de vazios, comparado com o seu referencial, de 0%.

Os corpos de prova com 15% e 7,5% de AR com 5% de sílica, mostraram-se menos permeável comparado aos de 10%, verificando que o aumento do percentual de sílica não apresentou tanta influência nessa propriedade.

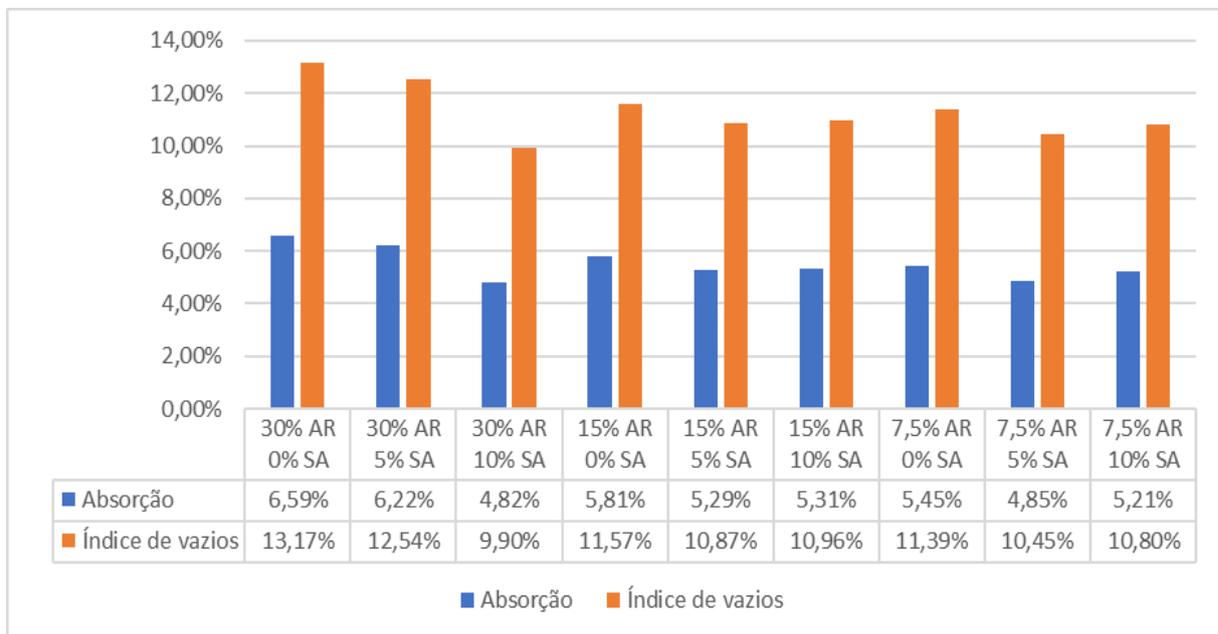


Gráfico 7 – Resultados obtidos no ensaio de absorção por imersão  
Fonte: Autor (2019)

Em contrapartida, o corpo de prova com 30% de AR e 10% de sílica ativa, apresentou menor porcentagem de absorção e índice de vazios, comparado aos demais traços. Foi possível verificar que conforme houve o aumento do teor de sílica ativa, no referido traço, o corpo de prova apresentou uma menor porosidade e permeabilidade, mostrando-se bastante eficiente, comprovando assim o seu efeito filer.

#### 4 Considerações finais

A presente pesquisa teve como finalidade avaliar o comportamento do concreto celular com desempenho estrutural, através dos ensaios laboratoriais realizados e verificar a influência de adições e aditivos no referente material, a fim de analisar suas contribuições as propriedades mecânicas do concreto no estado fresco e endurecido.

Com base nos resultados obtidos procurou-se identificar o teor ideal de incorporador de ar e de sílica ativa para um concreto celular com desempenho estrutural. As conclusões apresentadas a seguir, não devem ser tomadas de maneira absoluta, pois se referem apenas aos dados obtidos nos concretos produzidos com os tipos de materiais utilizados na pesquisa, servindo apenas como base para um melhor conhecimento do comportamento das adições e dos aditivos e sua influência nas propriedades do concreto afim de melhorar o seu desempenho. Pode-se concluir que:



Anais do  
62º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2020  
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

- O aditivo incorporador e plastificante, influenciaram diretamente na melhoria das propriedades mecânicas do concreto no estado fresco, proporcionado ao mesmo, uma melhor trabalhabilidade.
- Conforme houve o aumento do teor de sílica ativa e a diminuição do teor de ar incorporado, teve que aumentar a concentração de aditivo plastificante para atingir o *slump* estabelecido.
- A sílica ativa proporcionou um melhor desempenho nas propriedades mecânicas do concreto no estado endurecido, visto que os corpos de prova com adição de sílica de 5% e 10% apresentaram melhores resultados comparados aos de 0%.
- Os aditivos incorporadores de ar influenciaram diretamente na resistência à compressão do concreto, visto que os menores teores de incorporador de ar, apresentaram melhor desempenho.
- Entre os nove traços analisados, o que se mostrou mais adequado e com melhor resistência à compressão e menor deformação para um concreto celular com fins estruturais foi o de 7,5% de ar incorporado e 5% de sílica ativa.

## 5 Referências

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. **ACI 213R-03**. Guide For structural lightweight aggregate concrete. ACIA Manual of Concrete Practice, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 45**. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 47**. Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 52**. Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 53**. Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 67**. Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 248**. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738**. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.



Anais do  
62º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2020  
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739**. Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**. Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7222**. Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8953**. Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9833**. Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ANGELIN, Andressa Fernanda. **Concreto leve estrutural**: desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais. 2014. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Tecnologia, Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014. Disponível em: [http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/267702/1/Angelin\\_AndressaFernanda\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/267702/1/Angelin_AndressaFernanda_M.pdf). Acesso em: 04 mar. 2020.

CORTELASSI, Eduardo Mesquita. **Avaliação do comportamento de concreto celulares espumosos de alto desempenho**. 2005. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

Fonseca, Gustavo Celso da. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil**: uma abordagem epistêmica. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Construção Civil, Programa de pós-graduação em construção civil, Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ISMS-8ALHAQ>. Acesso em: 04 mar. 2020.

GETHAL (Brasil). **Tecnologia em concreto**. 2020. Disponível em: <http://gethal.com.br/servicos-e-produtos/>. Acesso em: 04 abr. 2020.



Anais do  
62º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2020  
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Ed. G. C. Isaia - São Paulo: IBRACON, 2007.

HOFFMAN, Anelise Todeschini. **Influência da adição de sílica ativa, relação água aglomerante, temperatura e tempo de cura no coeficiente de difusão de cloretos em concretos**. PPGEC/UFRS, Porto Alegre, 2001. Pag. 86- 89p.

MOTA, J. A. R. **Influência da junta vertical na resistência à compressão de prismas em alvenaria estrutural de blocos de concreto celular autoclavados**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas - Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2001.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

SILVA, Joamir Henrique da. **Influência da adição de sílica ativa sobre a resistência mecânica e tenacidade à fratura de concretos de cimento portland para utilização em pavimentos rígidos rodoviários**. 2016. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Materiais, Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/handle/123456789/21471>. Acesso em: 04 maio 2020.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. (2014). **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2.ed. São Paulo: IBRACON

SILVA, H. A. da; FELIX, E. J. P.; MACHADO, A. C.. **ANÁLISE COMPARATIVA DA INFLUÊNCIA DE ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM CONCRETOS E SUA MICROESTRUTURA**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal: Cbmat, 2016. p. 10104-10111. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/505-010.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2020.