

## **ATIVIDADE POZOLÂNICA DA SÍLICA ATIVA E DA METACAULINITA POR MÉTODOS DIRETO E INDIRETO**

OMIR FERNANDES DA SILVA JÚNIOR<sup>1</sup>; CARLA ADRIANA DIBA<sup>2</sup>;  
CLEILA CRISTINA NAVARINI VALDAMERI<sup>3</sup>; DIEGO BIGOLIN ALVES<sup>4</sup>; CLEDISON ZATTA  
VALDAMERI<sup>\*5</sup>

<sup>1</sup>Estudante de Engenharia Civil, UNIPAR, Francisco Beltrão-PR, omir.junior@edu.unipar.br;

<sup>2</sup>Estudante de Engenharia Civil, UNIPAR, Francisco Beltrão-PR, carla-diba@hotmail.com;

<sup>3</sup>Msc. Engenharia Civil, Prof(a), UTFPR, Francisco Beltrão-PR, cleilacristina@yahoo.com.br ;

<sup>4</sup>Estudante de Engenharia Civil, UNIPAR, Francisco Beltrão-PR, carla-diba@hotmail.com;

<sup>5</sup>Msc. Engenharia Civil, Prof. Adjunto, UNIPAR, Francisco Beltrão-PR, cledison@prof.unipar.br

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018

21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** Este trabalho objetivou identificar o potencial reativo de duas pozolanas comercializadas nacionalmente para a produção de concreto e argamassas, sendo uma metacaulinita e uma sílica ativa. Os métodos utilizados basearam-se em processos químico e mecânico, podendo ser identificados como direto e indireto. Para o processo direto foi utilizado o método chappelle modificado e no indireto foi utilizado a avaliação por resistência à compressão de argamassas. Os resultados obtidos pelo método direto mostraram grande diferença de atividade pozolânica entre as duas amostras, tendo maiores resultados para a metacaulinita. Já no método indireto, o índice de atividade pozolânica não apresentou diferença significativa, mostrando também que ocorre aumento de resistência mecânica quando se substitui parcialmente o cimento pelas adições.

**PALAVRAS-CHAVE:** Atividade pozolânica, resistência à compressão, Sílica ativa, Metacaulinita.

### **MAPPING OF THE PEDOLOGICAL POTENTIAL OF THE PARAÍBA STATE FOR THE CULTIVATION OF SUGAR CANE (*Saccharum spp*)**

**ABSTRACT:** This study aimed to identify the reactive potential of two pozzolans marketed nationally for the production of concrete and mortars, being a metakaolin and an silica fume. The methods used were based on chemical and mechanical processes, and can be identified as direct and indirect. For the direct process the modified chappelle method was used and in the indirect one the evaluation by compressive strength of mortars was used. The results obtained by the direct method showed a great difference of pozzolanic activity between the two samples, with higher results for metacaulin. In the direct method, the pozzolanic activity index did not show a significant difference, showing also that there is an increase in mechanical resistance when the cement is partially replaced by the additions.

**KEYWORDS:** Atividade pozolânica, compressive strength, metakaolin, sílica fume.

### **INTRODUÇÃO**

Adições pozolânicas são inseridas em grande parte dos cimentos utilizados para a produção de concreto e argamassas, assim como, podem ser adicionadas in loco (Medeiros et al., 2015). Dentre as possibilidades, se destacam a Metacaulinita e a Sílica ativa. A metacaulinita é uma adição produzida a partir da ativação de argilas, normalmente, do tipo caulinita. Tal ativação pode ser conseguida pela calcinação e/ou redução de argilas (Shafiq et al., 2015). A alteração promovida pela calcinação e/ou redução promove a formação de um material amorfo. Para Medina (2011) a faixa de temperatura que gera a ativação está entre 500 °C e 900 °C. Porém, destaca-se a possibilidade de antecipação do comportamento pelo ensaio de análise térmica, que irá determinar a faixa de temperatura de formação da fase amorfa (Mothé, 2004).

A sílica ativa é um subproduto da produção de silício metálico ou ferro silício. Possui grande superfície específica, forma esférica e é amorfa (não cristalino). Devido as particularidades destacadas, são consideradas pozolanas de alta reatividade com os produtos de hidratação dos cimentos (Medeiros et al., 2015). As pozolanas ativas, quando em contato com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), gerado na hidratação do cimento, formam silicato de cálcio hidratado, contribuindo na resistência mecânica e reduzindo o potencial de carbonatação de concretos e argamassas.

Substituições de parte do cimento por pozolanas são cada vez mais frequentes para obtenção de concretos com melhores desempenhos mecânicos e com maior durabilidade. Neste sentido, o presente trabalho objetivou a identificação de potencial reativo de duas pozolanas comerciais por distintos métodos, direto (Chapelle modificado) e indireto (resistência à compressão de argamassas) a fim de contribuir com o avanço na compreensão do potencial de utilização de pozolanas em concretos e argamassas.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para o estudo foram utilizadas duas adições minerais, uma metacaulinita e uma sílica ativa, comercializadas nacionalmente para a utilização em concretos e argamassas.

Para a avaliação direta da atividade pozolânica foi utilizado o método Chapelle modificado (NBR 15895, 2010), onde uma quantidade de material pozolânico, a ser avaliado com suposta atividade, e óxido de cálcio são misturados para reagir em banho maria em temperatura de 90°C por 16 horas. Após a mistura, por titulação, a pozolanicidade é calculada pela equação 1.

$$I_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = \frac{28 \cdot (v_3 - v_2) \cdot f_c}{m_2} \cdot 1,32 \quad (1)$$

Em que:

$I_{\text{Ca}(\text{OH})_2}$  = Índice de atividade pozolânica Chapelle obtido com o ensaio, que corresponde à quantidade de hidróxido de cálcio fixado por grama de material;

$m_2$  = Massa de material pozolânico;

$V_2$  = volume de HCl consumido no ensaio com a amostra;

$V_3$  = volume de HCl consumido no ensaio em branco;

$f_c$  = fator de correção do HCl;

1,32 = relação molecular  $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{CaO}$

O material é considerado pozolânico quando o consumo de óxido de cálcio for superior a 750  $\text{mgCa}(\text{OH})_2/\text{g}$  (NBR 15894, 2010).

Na determinação pelo método indireto, foi adotado procedimento prescrito pela NBR 5752 (2014), onde é preparada uma argamassa básica de cimento, padrão (P32), nas proporções estipuladas pela NBR 7215 (1996) e argamassas nas mesmas proporções, porém contendo substituição parcial do cimento CP II-F-32 em 25% pelo material a ser avaliado. Neste sentido foram produzidas argamassas com substituição parcial contendo metacaulinita (PM32) e sílica ativa (PS32).

Também, ocorreu a moldagem de lotes de argamassas com a utilização de cimento com classe de resistência diferente ao especificado normativamente, a fim de avaliar seus resultados com os prescritos pela normalização. Para esta etapa, foi utilizado o cimento CP II-F-40, gerando argamassas padrão (P40), com substituição de metacaulinita (PM40) e de sílica ativa (PS40). Passadas 24 horas da moldagem, as argamassas foram levadas ao processo de cura em água saturada de hidróxido de cálcio até o momento do ensaio. Os rompimentos foram efetuados aos 28 dias.

A tabela 1 apresenta as quantidades utilizadas para cada argamassa e ressalta-se que os corpos de prova utilizados foram de 5x10 cm conforme NBR 7215 (1996).

Tabela 1. Quantidades, em gramas, utilizadas em cada argamassa

<b>Material</b>	<b>P32</b>	<b>P40</b>	<b>PM32</b>	<b>PS32</b>	<b>PM40</b>	<b>PS40</b>
Cimento CP II-F-32	624	-	468	468	-	-
Cimento CP II-F-40	-	624	-	-	468	468
Metacaulinita	-	-	156	-	156	-
Sílica ativa	-	-	-	156	-	156
Areia normal	1872	1872	1872	1872	1872	1872
Água	300	300	300	300	300	300
Aditivo superplastificante	-	-	3	2	3	2

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da avaliação direta da atividade pozolânica das adições minerais, pelo método Chapelle modificado, estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2. Atividade pozolânica chappelle para a metacaulinita e sílica ativa (mgCa(OH)<sub>2</sub>/g)

<b>Material</b>	<b>Atividade chappelle</b>
Metacaulinita	1160
Sílica Ativa	562

Como a normalização NBR 15895 (2010), especifica limite mínimo de 750 mgCa(OH)<sub>2</sub>/g, destaca-se a alta atividade da metacaulinita e o baixo valor apresentado pela sílica ativa. As diferenças entre os valores encontrados também são observadas em Nita & Jhon (2007), quando apresentam quadro comparativo de diversos autores, sendo que os valores da atividade da metacaulinita são superiores aos da sílica ativa. Já os valores encontrados por Filho et al. (2017), para a sílica ativa, são diferentes, tendo alta atividade, chegando a valores próximos aos encontrados pelo presente trabalho para a metacaulinita.

Os resultados da resistência à compressão dos corpos de prova de argamassas para a avaliação indireta da atividade pozolânica são apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Resistências à compressão obtidas pelas argamassas

<b>Material</b>	<b>P32</b>	<b>P40</b>	<b>PM32</b>	<b>PS32</b>	<b>PM40</b>	<b>PS40</b>
Resistência à compressão (MPa)	37,3	41,7	48,3	47,4	53,6	53,5
Desvio relativo máximo (%)	4,8	1,5	3,0	3,4	4,2	5,4

Como já esperado, os resultados de resistência à compressão das argamassas com cimento classe 40 foram superiores aos resultados com cimento classe 32. Houve aumento de resistência em todas as substituições, remetendo a atividade pozolânica das adições utilizadas. Os resultados apontaram que a avaliação direta não mostrou o total potencial da sílica ativa. Porém, a análise indireta mostra que as resistências das argamassas avaliadas, em suas respectivas classes de cimento, não apresentaram diferença significativa.

Filho et al. (2017) ressalta que o método direto não apresenta a contribuição dos efeitos físicos das adições, logo, a avaliação por resistência à compressão evidencia os efeitos somados, químicos e físicos. Neville (2016), aponta para o efeito filer promovido pelas partículas de sílica que possuem diâmetro médio em torno de 0,1 µm, fazendo um refinamento de poros e formando pontos de nucleação, favorecendo o aumento da resistência mecânica.

Assim, com os resultados encontrados, é possível sugerir que as adições avaliadas, apresentaram distintas particularidades em relação a evolução de resistência, sendo que para a metacaulinita, o efeito químico foi preponderante, já para a sílica ativa o físico se sobressaiu.

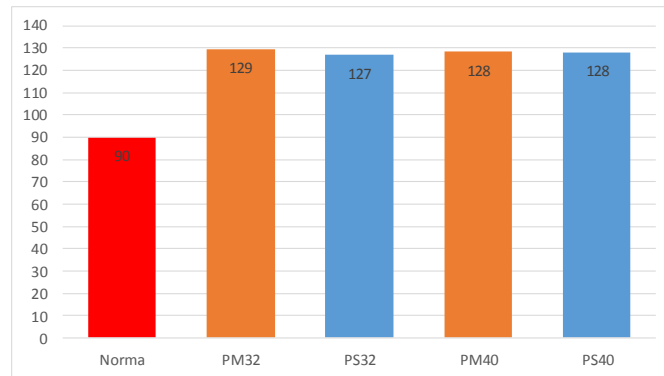
É importante destacar a necessidade de ajuste dos resultados em relação ao desvio máximo que o ensaio pode apresentar, sendo que não deve superar 6 % (NBR 7215, 1996). Logo, os valores de resistência apresentados na tabela 3 foram justados para adequação a prescrição normativa e pode-se observar, pelos desvios máximos, que atenderam a recomendação.

Os efeitos no estado fresco podem ser correlacionados com os resultados apresentados na tabela 1, onde observa-se que independente da adição, deve-se promover a utilização de aditivo para obtenção

de trabalhabilidade adequada. Esse fator remete a superfície específica das adições, sendo maiores que as do cimento, levando a necessidade de intervenções a fim de possibilitar a moldagem.

Os Índices de atividades pozolânicas podem ser verificadas pela figura 1, tendo a condição de correlação com os limites normativos prescritos pela NBR 12653 (2014).

Figura 1. Índice de atividade pozolânica das adições avaliadas.



Conforme apresentado na figura 1, todos os resultados de IAP foram superiores aos limites normativos, ressaltando o potencial das adições avaliadas em relação ao ganho de resistência mecânica. Neville (2016) sugere teores de até 15% de substituição em concretos, diante disso e com os resultados de IAP encontrados, pode-se estimar a tendência de resultados em relação a quantidade de substituição. Também, deve-se observar que não houve diferença significativa entre as adições avaliadas, mas que não significa que outros fatores também são iguais, devendo uma avaliação específica quando da necessidade de optar por uma das adições.

Em relação a classe do cimento, também não ocorreu diferença significativa no IAP, sendo um fator importante para entender o comportamento que se espera do material composto que se pretende produzir. A igualdade pode ser atribuída a composição química dos cimentos utilizados, que não diferem significativamente, mas sim, em relação a sua superfície específica, sendo maior a do cimento com classe 40 MPa.

## CONCLUSÃO

As duas adições avaliadas produzem aumento de propriedades mecânicas e atendem a regulamentações normativas.

A classe de resistência do cimento não interferiu no IAP, porém, ressalta-se que a composição química dos cimentos pode promover alterações e devem ser previamente avaliadas.

O ensaio direto não mostrou o potencial da sílica ativa, mostrando que os efeitos físicos só serão identificados nos ensaios indiretos.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15895: Materiais Pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método chapelle modificado. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15894: Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta - Parte 1 Requisitos. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5752: Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com o cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.
- Filho, H. J; Gobbi, A; Pereira, E; Quarcioni, V. A; Medeiros, M. H. F. de. Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte I): Índice de atividade pozolânica (IAP) com cal, difração de raios-X (DRX), termogravimetria (TG/DTG) e Chapelle modificado. Revista Matéria, v. 22, n. 03, 2017.

- Medeiros, M. H. F. de; Filho, J. H; Gobbi, A. Pozolanas de elevada reatividade: uma avaliação crítica do ensaio de Índice de Atividade Pozolânica (IAP) com cal usando Difração de Raios X. *Ambiente Construído*, V. 15, n. 3, 2015.
- Medina, E. A. Pozolanicidade do Metacaulim em sistemas binários com cimento Portland e hidróxido de cálcio. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.
- Mothé, L. P. Avaliação das condições ideais para a produção de metacaulinita através da análise da sua atividade pozolânica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, 2004.
- Neville, A. M. *Propriedades do concreto*. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.p. 754 – 794.
- Nita, C; John, V. M. Materiais pozolânicos: o metacaulim e a sílica ativa. *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil*, n. 451, 2007.
- Shafiq, N; Nuruddin, M. F; Khan, S. U; Ayub, T. Calcined kaolin as cement replacing material and its use in high strength concrete. *Construction and Building Materials*, n. 81, p. 313 – 323, 2015.