PRODUÇÃO DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR CINZA DO BAGAÇO DE CANA DE AÇUCAR

Gustavo Calza(1); Bruno Marangoni (2); Gabriel Dalla Vechia (3); Gabriela Caron(4); Suelen Vanzetto(5)

(1) Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – gustavo.calza@hotmail.com

(2) Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – b_marangoni@outlook.com

(3) Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – gabriel_ldv@hotmail.com

(4) Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – gabrielamcaron@hotmail.com

(5) Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – suelen.van@hotmail.com

RESUMO

As indústrias cimenteiras são responsáveis por cerca de 5% da emissão global de dióxido de carbono (CO_2) liberado anualmente para atmosfera. A cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) se mostra com efeito pozolânico, característica ideal para ser um substituto parcial conveniente ao cimento Portland. Considerando isso, esta pesquisa buscou avaliar a viabilidade da substituição parcial do cimento Portland em argamassas autonivelantes. As substituições empregadas foram nas percentagens de 3%, 5% e 10% de substituição do cimento Portland CP II-Z-32 pela cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Para avaliar as propriedades da argamassa realizou-se ensaios de tempo de fluxo e consistência no estado fresco e ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade e absorção de água por capilaridade no estado endurecido. Sendo assim, os resultados obtidos apontam para um teor ótimo de substituição contendo 10% de CBCA, comprovando a viabilidade do uso da cinza em argamassas autonivelantes.

Palavras-chave: Cinza. Bagaço da cana-de-açúcar. Argamassa. Argamassas autonivelantes.

PODUCTION OF SELF-LEVELING MORTAR WITH PARTIAL REPLACEMENT OF YHE PORTLAND CEMENT BY GRAY OF SUGARCANE BAGASSE ASH

The cement industries generate approximately 5% of the global emission of carbon dioxide (CO_2) released annually into the atmosphere. Sugarcane bagasse ash (SCBA) is shown to have a pozzolanic effect, an ideal feature to be a convenient partial substitute for Portland cement. Thus, this research sought to evaluate the feasibility of partial substitution of Portland cement in self-leveling mortars, an innovative underlayment system composed of high-performance. The substitutions (sugarcane bagasse ash) were applied in percentages of 3%, 5% and 10% as a replacement of the Portland cement CP II-Z-32. To evaluate the properties of the mortar the following test were utilized: flow time and consistency in fresh state and compressive strength, elasticity modulus and water absorption by capillarity in the hardened state. To such a degree, the obtained results point to an optimum substitution content containing 10% of SCBA, proving the feasibility of the use of ash in self-leveling mortars.

Key-words: Ash. Sugarcane bagasse. Mortar. Self-leveling mortars.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de geração e desenvolvimento de novos materiais e tecnologias acompanha a humanidade há milhares de anos. Esse desenvolvimento busca sempre melhorar as condições de vida e trabalho para o homem, especialmente no ramo da construção civil, onde muitas das evoluções significativas foram ganhando espaço e sendo incorporados aos costumes.

No Brasil, de tudo que é extraído da natureza, entre 20% e 50% das matérias-primas naturais são de responsabilidade da construção civil, que se caracteriza como um dos setores que mais consomem recursos naturais [(1)]. Outro ponto a ser destacado é que a indústria do cimento é responsável por aproximadamente 3% das emissões mundiais de gases de efeito estufa e por aproximadamente 5% das emissões de CO_2, proveniente do processo de clinquerização, no qual para cada tonelada produzida, são gerados 600kg de dióxido de carbono (CO_2) [(2)].

A procura por alternativas de utilização de resíduos industriais tornando-os subprodutos e ainda agregar valor, tornou-se uma busca incessante de todas as cadeias produtivas. Na construção civil, a opção de se reutilizar resíduos de outras indústrias como matéria-prima, pode ser uma possibilidade atraente, pois pode gerar redução de gastos financeiros e de impactos ambientais. Nesse contesto, há um grande interesse de tais materiais alternativos que demandam menor energia e liberam menos CO_2 para a atmosfera, em substituição ao cimento Portland.

O bagaço da cana-de-açúcar há décadas atrás era considerado um problema ambiental, onde seu destino principal era para alimentação de animais em confinamentos, porém com uma demanda muito baixa. Nos dias de hoje esse cenário mudou, e este resíduo passou a ser uma importante fonte de geração de renda e energia elétrica. Contudo, com a queima, outros resíduos passaram a ser gerados, como os gases lançados pela combustão e as cinzas geradas que só aumentam o volume nos pátios das usinas.

A queima do bagaço de cana-de-açúcar, que é um subproduto, induz à geração de cinzas, introduzindo mais um resíduo na cadeia produtiva. Como a quantidade de bagaço queimado nas caldeiras são enormes, a quantidade de cinzas que são geradas é por volta de 25kg para cada tonelada de bagaço incinerado. Uma parte dessa cinza volta para o solo dos canaviais como forma de adubo. No entanto, não possuindo outra forma de utilização, a maior parte desse resíduo é destinada aos aterros sanitários. Mas, segundo 15 estudos realizados, a cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) apresenta atividade pozolânica, característica que possibilita o uso na substituição parcial do cimento Portland em argamassas, ou até mesmo, como substituto de agregados miúdos.

A construção civil no Brasil, tem experimentado o desenvolvimento de novas tecnologias, dentre essas novas tecnologias em fase de implantação, observa-se um crescimento na utilização de contrapiso executado com

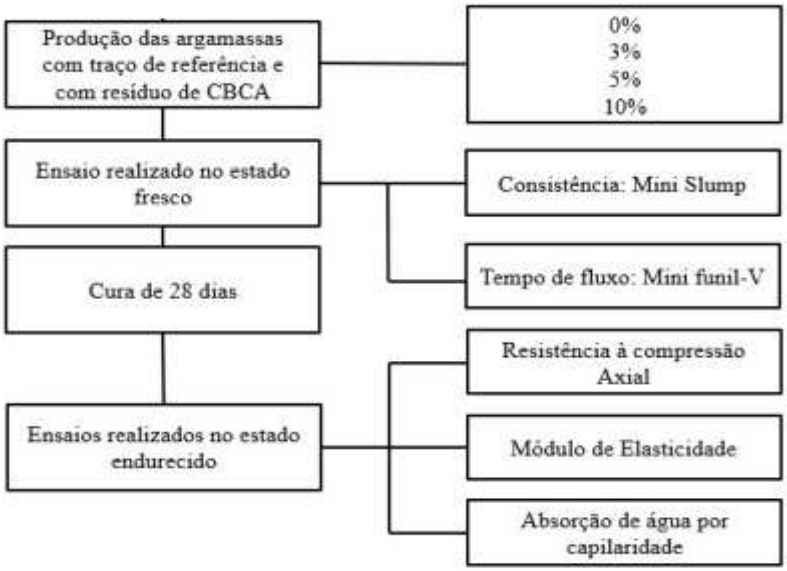
argamassa fluida, denominado como “contrapiso autonivelante”, que tem como intuito uma futura substituição da argamassa do tipo “farofa”. A sua aplicação é por meio de um sistema bombeável e seu principal objetivo é a regularização dos pisos, preencher espaços vazios e se autoadensar apenas sob efeito da gravidade.

O presente trabalho avalia uma alternativa para reduzir o impacto ambiental causado pelo disposição inadequada de resíduos no ambiente, uma alternativa é a utilização do resíduo da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) para a fabricação de argamassa autonivelante, em substituição parcial do cimento Portland.

2. METODOLOGIA

O detalhamento do programa experimental encontra-se na Figura 1, a qual apresenta os percentuais de substituição do cimento Portland por resíduo de CBCA.

Figura 1 - Programa Experimental



2.1. Materiais Utilizados

O Cimento Portland Composto com adição de pozôlana CP II-Z-32 e massa especifica de 2,95, que foi utilizado neste trabalho, foi selecionado pela sua versatilidade e trabalhabilidade em diversas aplicações, sendo um dos cimentos mais utilizados no Brasil, pois suas propriedades atendem desde estruturas de concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento.

O agregado miúdo que foi utilizado neste trabalho consiste em uma areia fina natural de origem quartzosa, chamada comercialmente de areia fina. A média da massa retida acumulada do agregado miúdo atende as especificações da distribuição granulométrica prescrita na norma [3]. O agregado miúdo apresentou módulo de finura igual a 1,90, e dimensão máxima característica de 1,18 mm. Quanto às demais

características, apresentou massa específica de 2,62 g/cm³, massa unitária de 1,59 g/cm³ e índice de absorção de água igual a 0,80 %.

O resíduo da cinza da queima do bagaço da cana-de-açúcar utilizado neste trabalho provém de uma cachaçaria, o processo de secagem foi realizado em estufa na temperatura de 100ºC no período de 24 horas. Em seguida, a cinza passou por um processo de moagem no Moinho de Bolas, por cerca de 6 horas, visto que inicialmente com o tempo de 2 horas no moinho de bolas a porcentagem retina na peneira # 200µm era de 27,33%, necessitando de mais tempo para diminuir esse valor e se aproximando aos 1,51% do cimento. Com 6 horas de moagem constatou-se que não havia necessidade de peneiramento devido à grande quantidade de matéria fina obtida. A massa especifica da CBCA foi de 2,64, e o índice de atividade pozolânica foi de 67% ao qual a norma ASTM 618 (2015), indica que para o material ser pozolanico os valores tem que ser acima de 70%.

2.2. Dosagem Experimental

As argamassas foram produzidas no traço definido 1:2 (aglomerante: agregado) convertido em volume. Além do traço de referência, foram substituídos em volume os teores de 3, 5 e 10% do cimento por resíduo da cinza do bagaço da cana-de-açúcar. A tabela 1 demonstra a quantidade de material adotado para cada teor.

Tabela 1 - Quantidade de material utilizado

Teor de substituição (%)	0	3	5	10
Cimento (kg)	1,440	1,396	1,368	1,296
Gesso em pó (kg)	0,160	0,160	0,160	0,160
Areia (kg)	1,920	1,920	1,920	1,920
Pó calcário (kg)	1,280	1,280	1,280	1,280
Incorporador de Ar (%)	0,30	0,30	0,30	0,30
Superplastificante (%)	1,69	1,65	1,65	1,65
Cinza (kg)	0	0,0432	0,072	0,144
Relação água/aglomerante	0,46	0,46	0,46	0,46

A ordem em que a mistura dos materiais foi realizada é notável no resultado da ativação alcalina, em um misturador planetário, adiciona-se o cimento, gesso em pó, pó calcário e a cinza durante 1 minuto, após, adiciona-se areia misturando-se por mais 30 segundos, após este tempo foram acrescentados os líquidos (aditivos e água), misturando-se por mais 5 minutos [4].

Os corpos de prova foram moldados em camada única, após 48 ± 24 horas, foi realizada a desforma dos corpos de prova, os quais foram dispostos na câmara úmida para o processo de cura aos 28 dias. No total foram necessários 40 corpos de prova de argamassa para a realização dos ensaios.

Para avaliar as propriedades da argamassa no estado fresco, foram realizados dois ensaios, consistência e tempo de fluxo respectivamente. Esses ensaios servem para verificar se a argamassa apresente fluidez suficiente para ser denominada autonivelante.

O ensaio de resistência à compressão é um dos principais requisitos para a produção de argamassas, se refere a capacidade do elemento em resistir aos esforços sem entrar em ruptura [5]. No Modulo de Elasticidade o objetivo é o entendimento entre a tensão e a deformação, e a verificação da máxima tensão que o material suporta sem sofrer deformações permanentes.

A Absorção de Água por Capilaridade é importante para avaliar o comportamento do revestimento à água e para avaliar a durabilidade dos materiais a base de cimento. Quando um material possui valores baixos de absortividade pode-se dizer que possui uma melhor qualidade [12].

3. RESULTADOS

3.1. Consistência Média e Tempo de Fluxo

A seguir são apresentados os resultados dos ensaios realizados no estado endurecido, a fim de verificar a viabilidade de utilização da cinza da queima do bagaço da cana-de-açúcar como substituição parcial do cimento Portland na confecção de argamassas autonivelantes. Os valores obtidos pelos ensaios são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Ensaio no estado Fresco

Teor de substituição (%)	0	3	5	10
Consistência média 375 ± 15 (mm)	368,0	376,6	375,0	386,6
Tempo de fluxo médio 6 a 12 (segundos)	5,78	5,97	4,75	7,20

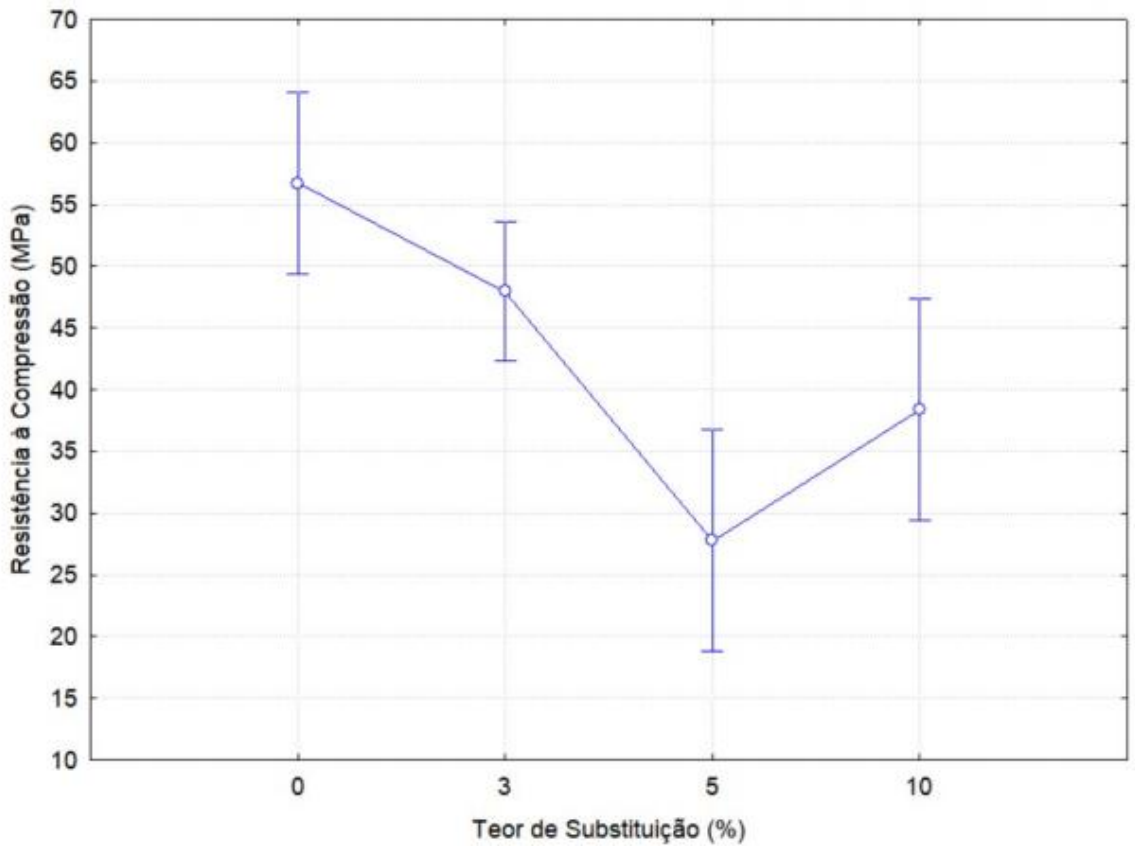
Analisando a tabela 2, para o ensaio de consistência é possível observar que os resultados de todos os teores estão em conformidade com a norma, atingindo valores de espalhamento ideais. Para o ensaio de tempo de fluxo, o teor de 10% é o único que está em conformidade com a norma. Para os teores de 0%, 3% e 5% as argamassas autonivelantes atingiram uma fluidez maior, por apresentar menores tempos de queda.

3.2. Resistencia a Compressão Uniaxial

Para obter maior precisão dos valores apresentados, foi realizado um tratamento estatístico dos dados, para a retirada de valores considerados espúrios do experimento, para que não houvesse uma análise equivocada dos dados.

A Figura 2 mostra a influência que ocorre na resistência à compressão das argamassas, com a substituição parcial do cimento por cinza do bagaço da cana-de-açúcar, a partir da análise estatística (ANOVA).

Figura 2 – Influencia do teor de substituição sobre a resistência a compressão



Compreende-se por meio do gráfico da Figura 2 e do teste Tukey, que o teor de 3% com 47,97 MPa, obteve valor próximo da referência com 56,73 MPa, sendo estatisticamente iguais. Já o teor de 5% com 27,79 MPa, teve decréscimo significativo em comparação à referência, apresentando menor resistência à compressão. Observa-se que o aumento nas porcentagens de CBCA proporcionou decréscimo na resistência à compressão para os teores de 3%, 5% e 10%, nos valores de 15,44%, 51,01% e 32,33% respectivamente, comparando ao valor de referência.

Embora houve decréscimo nos valores de resistência, ainda assim esses resultados são considerados satisfatórios por atingir uma resistência acima dos 20 MPa, isso é explicado pelo fato das argamassas terem uma relação a/c baixa de 0,46. Conforme [6], em sua pesquisa apresentou um aumento no fator a/c até 1,26, consequentemente, atingiu valor de 19 MPa de resistência à compressão.

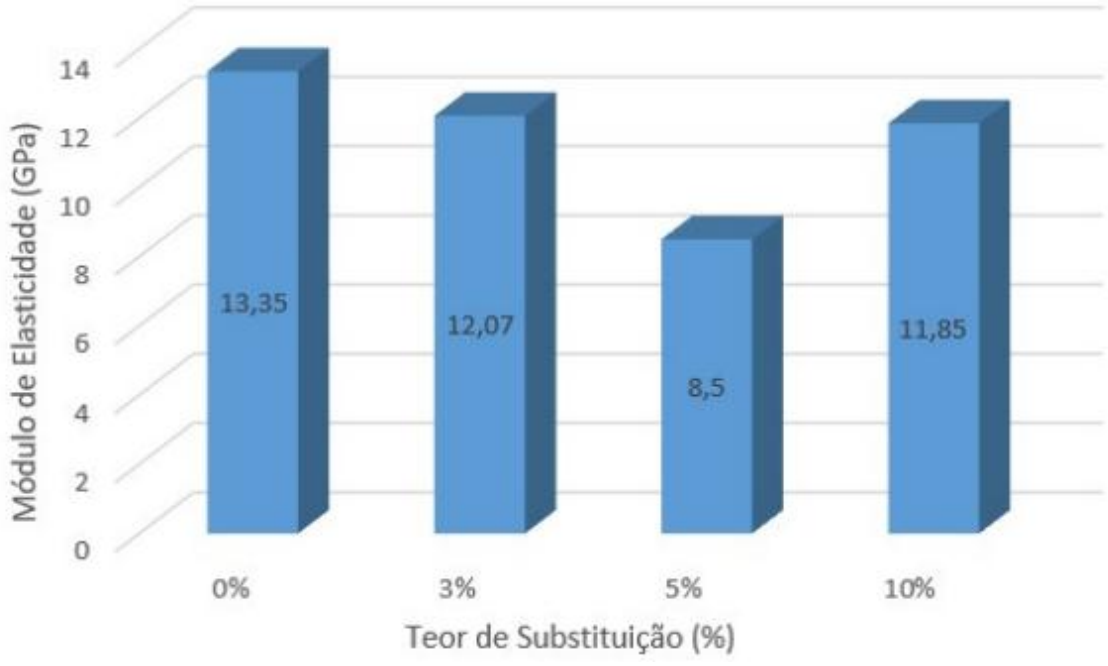
De acordo com [7] a adição de alguns aglomerantes não gera aumento significativo na resistência do material com o passar da idade. Já [8] explicam que o ganho de resistência pode ocorrer por causa da redução da água de amassamento necessário nas misturas, causada em virtude das propriedades plastificantes desses materiais.

Em seus estudos, [9] observou que dentre os fatores intrínsecos ao material argamassa e concreto, a relação a/c está entre os mais significativos, pois interfere muito na resistência à compressão. Analisando as prescrições estabelecidas pela [10] para argamassas autonivelantes, onde os valores mínimos para ensaio envolvendo compressão com substratos de concreto, devem ser superiores a 20MPa, observa-se que todas as argamassas autonivelantes estudadas estão em conformidade com a mesma.

3.3. Módulo de Elasticidade

A Figura 3 mostra a influência do teor de substituição de cinza do bagaço da cana-de-açúcar sobre o módulo de elasticidade das argamassas, a partir da análise estatística (ANOVA).

Figura 3 – Influencia do teor de substituição no modulo de elasticidade



Compreende-se por meio do gráfico da Figura 3 e do teste Tukey, sendo que o maior valor se deu no teor de 0% o qual o modulo de elasticidade é de 13,35 GPa. Pode-se também afirmar que houve uma leve declividade nos teores de 3% e 10% quando comparados com a referência.

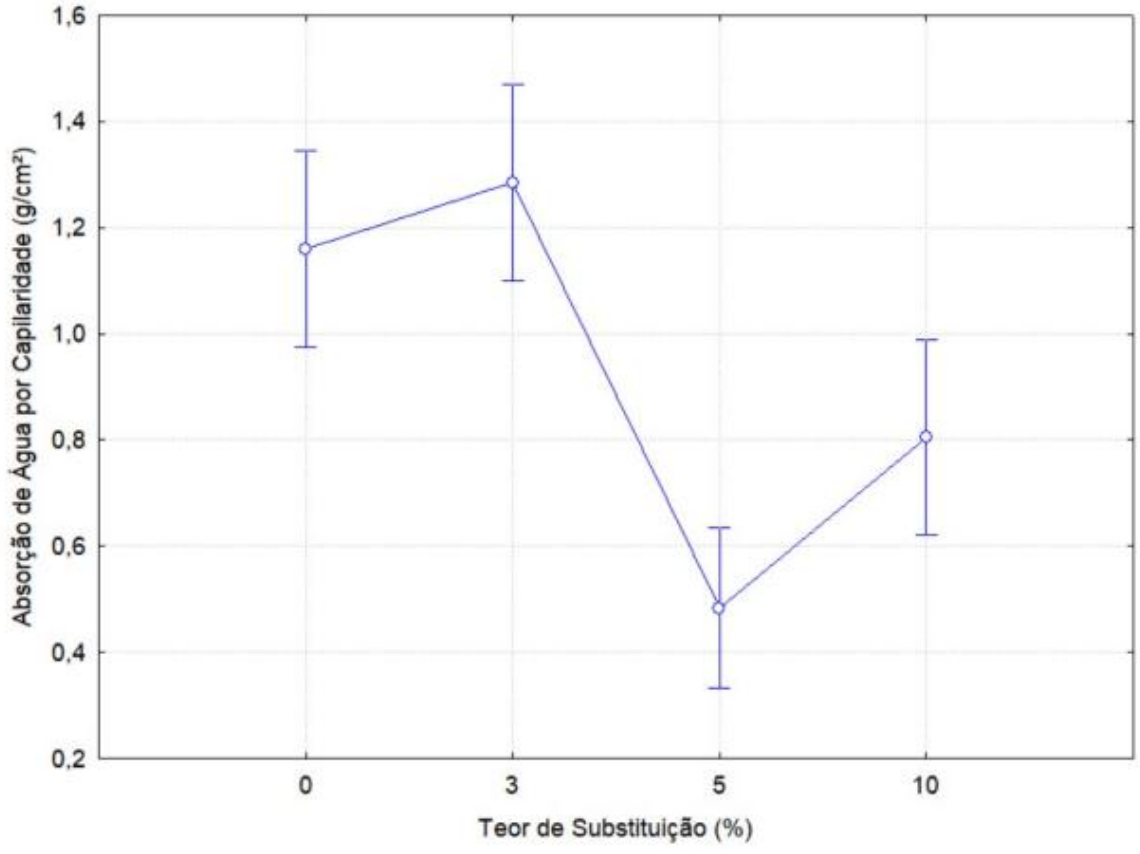
(11) fazem algumas observações e apontam que o módulo de deformação está diretamente ligado à sua porosidade. Segundo eles, é a rigidez que controla a capacidade de deformação da matriz cimentícia, e esta rigidez é determinada pela sua porosidade.

Devido a isso, pode-se justificar que os teores de 0%, 3% e 10% são os maiores valores de módulo da elasticidade, pelo fato de os mesmos serem menos porosos. Pode-se dizer que o teor de 0% pode ser considerado ideal para o módulo de elasticidade, pelo fato de o mesmo apresentar maior módulo de 13,35 GPa, o que de fato caracteriza como sendo um teor de material mais rígido, deformando menos quando comparado com o restante dos teores.

3.4. Absorção de Água por Capilaridade

A Figura 4 mostra a influência do teor de substituição de cinza do bagaço da cana-de-açúcar sobre a absorção de água por capilaridade das argamassas, a partir da análise estatística (ANOVA).

Figura 4 – Influencia do teor de substituição sobre a absorção de água



Compreende-se por meio do gráfico da Figura 4, o coeficiente de capilaridade aumentou com o teor de substituição de 3%, diminuiu no teor de 5% em comparação com a referência e voltou a aumentar no teor de 10% quando comparado com o teor de 5% de substituição.

Com relação ao traço de referência (teor de substituição 0%), o teor de 3% apresentou aumento do coeficiente de capilaridade na ordem de 11,20%. Já o teor de substituição de 5% e 10% apresentaram queda no coeficiente de capilaridade na ordem de 58,62% e 31,03% respectivamente, sendo assim pode-se afirmar que o teor de 5% representa o melhor resultado.

Com o auxílio do Teste Tukey sabe-se que o teor de 3% com 1,29 g/cm², é estatisticamente igual ao teor de referência com 1,16 g/cm². Apesar disso, evidencia-se que o teor de 3% apresentou maior resultado de absorção de água, enquanto teor de 5% apresentou o menor resultado de absorção com 0,48 g/cm². Pode-se afirmar que o ter de 5% obteve o melhor grau de compactação dos finos, o que comprova que existem menos espaços vazios no material.

Segundo [13], uma argamassa de contrapiso com elevada porosidade proporciona maior leveza e um melhor isolamento térmico, em seus estudos a incorporação de material polimérico em argamassas fez com que a resistência mecânica diminuísse significativamente, entretanto, uma melhor proporcionalidade da incorporação podia resultar em boas características de argamassas para contrapiso.

4. CONCLUSÕES

Quando avaliado à propriedade mecânica da resistência à compressão, concluiu-se o teor que mais se aproximou da referência foi de 3% com resistência média de 47,97 MPa. Segundo as prescrições estabelecidas pela [10] para argamassas autonivelantes, pode-se afirmar que todos os teores obtiveram resultados satisfatórios perante a norma, pois a mesma informa para ensaio envolvendo compressão que os valores devem ser superiores a 20MPa.

No que diz respeito ao módulo de elasticidade, pode-se verificar que todos os valores se mantiveram abaixo do valor obtido para o traço de referência, decaindo conforme o aumento do teor de substituição, havendo um decréscimo de 9,59%, 36,33% e 11,24% para os teores de substituição de 3%, 5% e 10% respectivamente.

Em relação à propriedade de durabilidade, o menor resultado de absorção de água foi de 0,48 g/cm² para o teor de 5% de substituição de cimento Portland por cinza do bagaço da cana-de-açúcar na argamassa autonivelante. Isso significa chegar num teor de empacotamento dos finos ideal frente a absorção de água, quando comparado com o teor referência.

Conclui-se que a substituição parcial do cimento Portland pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar é viável. Sendo o teor de 10% de substituição considerado bom, quando comparado os valores deste teor frente aos ensaios de resistência mecânica, os resultados foram satisfatórios, principalmente a resistência de compressão com valores acima do previsto pela norma. Portanto o maior teor de substituição é visto com bons olhos, pois além de ambientalmente vantajoso, dando um destino apropriado a cinza, visto que antes era descartada a maior parte em aterros sanitários, possibilita baratear o custo do metro cubico da argamassa ao utilizar um material com preço de mercado abaixo do cimento Portland.

5. REFERÊNCIAS

1. AEC WEB: **Os verdadeiros impactos da construção civil**. Notícias, 2018. Disponível em: . Acesso em Maio de 2018.

2. MAURY, M. B.; BLUMENSCHEIN, R. N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. **Revista Sustentabilidade em Debate**, v-3, n. 1, p. 75-96. 2012.

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7211. **Agregados para concreto** - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

4. TAMBARA JÚNIOR, L. U. D. **Desenvolvimento de argamassas com ativação alcalina de precursores residuais**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2016.

5. MARTINS, L. D. **Desenvolvimento de argamassa autoadensável de alta resistência**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Tecnologia em Concreto. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

6. ARAÚJO, R. T.; ANJOS, dos S. A. M.; MARTINELLI, E. A.; FARIAS, de C. E.; SILVA, da F. R. C.; GOMES, L. L. V**. Efeitos da Incorporação do Fíler Calcário e do Resíduo da Biomassa da Cana-de-Açúcar em Argamassas Autonivelantes**. XI SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, p.28-30. Porto Alegre-RS, 2015.

7. BALLISTA, L. P. Z. **Avaliação de algumas propriedades de concretos estruturais com agregados graúdos reciclados modificados com látex estireno-butadieno**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2003.

8. TORGAL, F. P.; JALALI, S. Resistência Mecânica e Durabilidade de Betões Modificados com Polímeros. **Revista Construção** Magazine, 6p. 2009.

9. PACHECO, J.; BILESKY, P; MORAIS, T. R.; GRANDO, F.; HELENE, P. **Considerações sobre o Módulo de Elasticidade do Concreto**. Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2014. Natal-RN, 2014.

10. EFNARC - EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS. **Specification & guidelines for polymermodified cementitious flooring as wearing surfaces for industrial and commercial use**. United Kingdom, 2002.

11. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais,** 3 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do **Concreto** - IBRACON, 2014.

12. BRAGA, M. B. C. **Desempenho de argamassas com agregados finos provenientes da trituração do betão: Efeito de fíler e pozolânico.** 2010. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

13. HESSEILER, R.F. **Caracterização térmica de contrapisos produzidos com poliuretano em substituição de areia.** Artigo apresentado em congresso. EURO ELECS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. São Leopoldo, 2017.