ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTO PORTLAND PELO FINO DE BRITAGEM EM ARGAMASSA AUTO-ADENSÁVEL[1]

FORTUNATO, M., Instituto Federal de Santa Catarina, email: morgana.fortunato.reinert@gmail.com; MARTINS, B., Instituto Federal de Santa Catarina, email: benhur.r.martins@gmail.com; CASALI, J.M., Instituto Federal de Santa Catarina, email: juliana.casali@ifsc.edu.br; COLLODETTI, G., Instituto Federal de Santa Catarina, email: giovana.collodetti@ifsc.edu.br; BETIOLI, A.M., Instituto Federal de Santa Catarina, email: andrea.betioli@ifsc.edu.br

ABSTRACT

The use of self-compacting mortars provides a more efficient production process. However, the high consumption of cement raises the cost and can lead to cracking of the subfloor. In order to reduce de consumption of cement, there is the possibility of using alternatives materials as stone dust and others residues that fulfill the function of binder and can preserve or even improve the properties of the final product. The stone dust is an interesting alternative for the substitution of the cement. It is a residue from the aggregate´s production. In the present research, four self-compacting mortars were produced. One without cement substitution assuming reference function, and the others replacing in 5%, 10% and 20% the volume of cement by stone dust. In the fresh state, the mortars with 5% and 10% substitution obtained the necessary fluidity to become self-compacting mortar. As for the mechanical performance, there was a small reduction in flexural tensile strengths and compressive strength, due to the increasing in the water/cement ratio and the incorporate air content. Despite this reduction, the lower compressive strength values are still above the minimum limit for all mortars tested.

***Keywords**: Self-compacting mortars. Stone dust. Portland cement.*

1 INTRODUÇÃO

A argamassa auto-andesável é um material com poucas pesquisas em desenvolvimento no Brasil. Nakamura e Bucher (1997) indicam que para se obter esta argamassa deve-se utilizar cimento Portland de alta resistência inicial (25 a 50% da massa total) e areia fina quartzosa (40 a 60%). O restante(10 a 15%)composto por aditivos químicos e adições minerais. A água de amassamento constitui entre 20 e 30%, de acordo com o tipo de destinação de um determinado material (acabamento ou regularização) (NAKAMURA e BUCHER, 1997). Essa argamassa, recentemente inserida na construção civil, destaca-se por ser um material de elevada fluidez e que permite obter, como produto final, um piso homogêneo e menos espesso (SILVA, 2016).

Entretanto, o alto consumo de cimento Portland na produção destas argamassas, além do custo elevado, pode acarretar fissuração no contrapiso (CARVALHO, 2015) e gerar impactos ambientais, uma vez que, segundo Toledo (2004) citado por Stachera Jr (2008), para a produção de 1

[1] FORTUNADO, M., MARTINS, B., CASALI, J. M., COLODETTI, G., BETIOLI, A. M. Estudo da substituição de cimento Portland pelo fino de britagem em argamassa auto-adensável. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

tonelada de cimento Portland são emitidas 0,6 tonelada de CO_2 no ar. Essa alta emissão de CO_2 aponta a indústria cimenteira como responsável por mais de 5% de todas as emissões de CO_2 (WBCS, 2015). Com uma visão sustentável, muitas pesquisas foram desenvolvidas para reduzir o consumo de cimento Portland em concretos e argamassas, avaliando novos materiais que possam substituí-lo e, ainda, preservar ou até mesmo melhorar as propriedades do produto final. Exemplos destes materiais em argamassas auto-adensáveis são: cinza pesada (CZP) e resíduos de construção e demolição (RCD) utilizados por Carvalho (2015), filer calcário (FC) utilizado por Souza (2013), e fino de britagem utlizado por Menezes (2009).

O fino de britagem é um rejeito proveniente do beneficiamento de rochas para produção de chapas e de agregados. O resultado desse rejeito é um significativo volume na forma de "lama", muitas vezes, descartada em córregos, ravinas e lagos, havendo a formação de grandes depósitos a céu aberto. A reciclagem e reutilização desse fino de britagem possibilita uma alternativa de barateamento da produção, sendo interessante tanto no aspecto ambiental como no econômico.

Dessa forma, este estudo tem como objetivo avaliar o efeito da influência da substituição parcial de cimento Portland pelo fino de britagem, nas propriedades no estado fresco e endurecido de uma argamassa auto-adensável.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Nos itens a seguir serão apresentados os materiais e métodos utilizados neste trabalho.

2.1 Materiais

Foram selecionados os seguintes materiais: cimento Portland composto com fíler (CP II-F-32); agregado miúdo natural; filer calcário; fino de britagem; aditivo superplastificante e aditivo promotor de viscosidade. As características dos materiais estão nas Tabelas 1 e 2 e nas curvas granulométricas das Figuras 1, 2 e 3.

Tabela 1 – Características dos materiais utilizados na argamassa auto-adensável

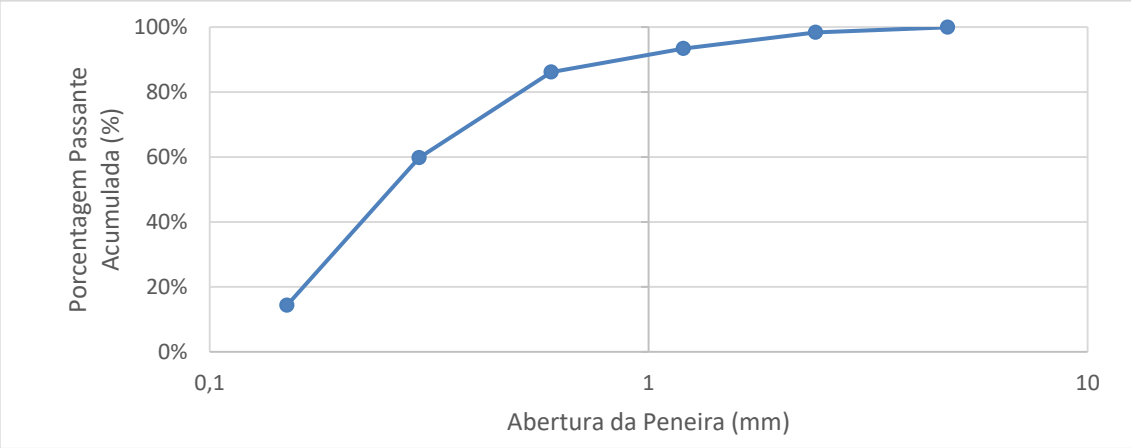
Material	Dados	Resultado
CP II -F-32	Massa específica (g/cm³), NBR 6474:2001	3,07
	Área superficial específica (m²/g)*	0,98
Agregado miúdo	Massa Específica (g/cm³), NBR NM 52:2009	2,60
	Dimensão Máxima característica (mm)	2,36

	NBR 248:2003	
	Módulo de Finura, NBR 248:2003	1,49
Filler calcário	Massa Específica (g/cm³), NBR NM 52:2009	2,70
	Área superficial específica (m²/g)*	0,53
Fino de Britagem	Massa Específica (g/cm³), NBR NM 52:2009	2,60
	Área superficial específica (m²/g)*	1,12

*Equipamento utilizado BelsorpMax. Preparação das amostras foi feita no Belprep-vacII. Para o filler calcário e fino de britagem, as amostras foram preparadas por 8 horas, em vácuo, 110°C. Já o cimento foi preparado em vácuo, 40°C, durante 16 horas.

Fonte: Autores

Figura 1 – Curva granulométrica da areia



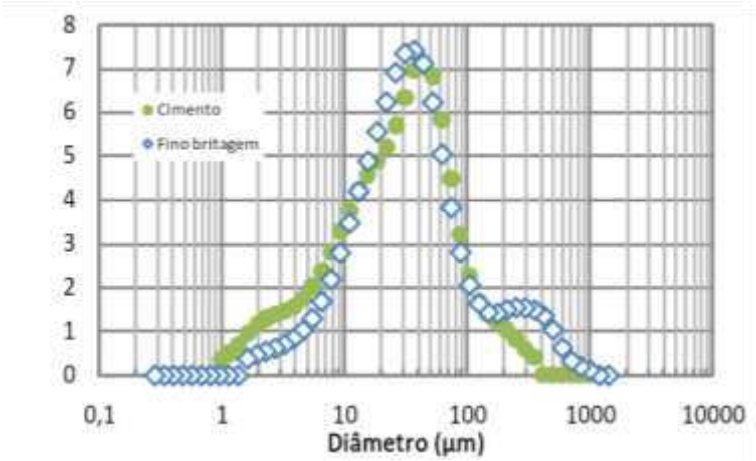
Fonte: Autores

Tabela 2 – Características dos aditivos (fornecidas pelo fabricante)

Aditivos	Dados Técnicos			
	Características	Unidade	Valor	Observações
MC-PowerFlow 4000	Densidade	g/cm³	1,12	
	Dosagem Recomendada	%	0,2 a 5	sobre o peso do cimento
Centrament Stabi 520	Densidade	g/cm³	1,00	
	Dosagem Recomendada	%	0,1 a 1,5	sobre o peso do cimento

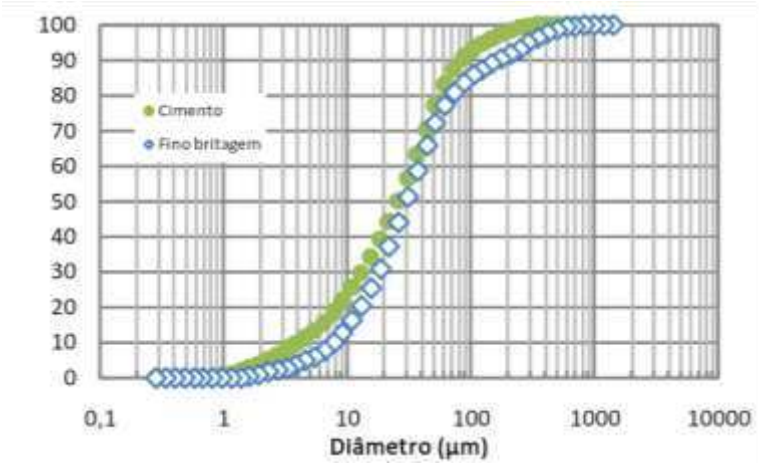
Fonte: Fabricante

Figura 2 – Distribuição discreta x diâmetro, obtido por granulometria a laser do cimento Portland e do fino de britagem



Fonte: Autores

Figura 3 – Curvas granulométricas (porcentagem passante acumulado), obtidas por granulometria a laser do cimento Portland e do fino de britagem



Fonte: Autores

2.2 Métodos

O traço utilizado para a argamassa auto-adensável foi de 1:1,25 (cimento:areia, em massa), baseado em pesquisas realizadas por Souza *et al.* (2013) e Silva (2016). Foram produzidas quatro argamassas: uma argamassa de referência e as demais produzidas com substituição, em volume, do cimento Portland pelo fino de britagem em 5%, 10% e 20%. A relação água/materiais finos (cimento Portland e fino de britagem) foi mantida constante em 0,51 (em massa).

A mistura das argamassas foi realizada em reômetro PHESO para concretos e argamassas com capacidade de 4,5 L. Essa mistura foi realizada em duas etapas. A primeira etapa consistiu em: misturar o material seco por 60 segundos a 500 RPM; adicionar 50% da água e misturar por 180 segundos a 500 RPM; adicionar o restante da água e misturar por 180 segundos a 500 RPM e misturar por 180 segundos a 1000 RPM. A segunda etapa foi: adicionar o aditivo superplastificante e misturar por 120 segundos a 1000 RPM; adicionar o aditivo promotor de viscosidade e misturar por 120 segundos a 1000 RPM.

As propriedades no estado fresco avaliadas foram: fluidez (1), trabalhabilidade (2), aparência de borda (3), densidade de massa (4) e teor de ar incorporado (5). As propriedades 1, 2 e 3 foram avaliadas através do ensaio de espalhamento pelo método do mini cone, conforme NBR 13276 (ABNT, 2016) e as propriedades 4 e 5 segundo a norma NBR 13278 (ABNT, 2005). O parâmetro para ajuste do traço da argamassa referência foi baseado na pesquisa de Menezes (2015), sendo necessário o espalhamento acima de 240 mm para se considerar auto-adensável.

No estado endurecido foram avaliadas as seguintes propriedades: resistências à tração na flexão e resistência à compressão (ABNT, NBR 13279:2005); densidade de massa aparente (ABNT, NBR 13280:2005) e módulo de elasticidade dinâmico (ABNT, NBR 15630:2009).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados no estado fresco das argamassas auto-adensáveis estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades das argamassas no estado fresco

		Referência	Substituição 5%	Substituição 10%	Substituição 20%
Fluidez	Espalhamento (mm)	337,0	247,5	234,5	193,0
Densidade de massa (g/cm³)		2,13	2,09	2,08	2,07
Teor de ar incorporado (%)		0,61	2,55	2,76	2,70

Fonte: Autores

Observa-se na Tabela 3 que a fluidez decresce conforme o aumento da substituição do cimento Portland pelo fino de britagem. Como a substituição foi realizada em volume, a possível explicação para esta redução estaria na forma dos grãos do fino de britagem menos arredondada em relação às do cimento Portland, que, segundo Neville (1997) essa forma de grão exige mais água para uma mesma consistência. Além disso, a área superficial específica do fino de britagem é maior do que o cimento Portland (diferença de 14,3%), influenciando também na diminuição da fluidez das argamassas com substituição do fino de britagem.

As argamassas com substituição de 5% e 10% de cimento Portland pelo fino de britagem podem ser consideradas auto-adensáveis, conforme citado por Menezes (2015), diferente da argamassa com substituição de 20%. Neste caso, possivelmente esta argamassa necessitaria um teor de aditivos maior para obter a mesma fluidez.

Os valores de densidade de massa reduziram com o aumento do percentual de substituição de cimento por fino de britagem. Cabe ressaltar que a massa específica do fino de britagem é inferior a do cimento Portland, ou seja, a quantidade, em massa, de fino de britagem necessária para ocupar o

mesmo volume anteriormente ocupado pelo cimento Portland, é menor. Além disso, o teor de ar incorporado também aumentou.

Com relação à análise visual, pode-se notar que a substituição de 20% de cimento pelo fino de britagem demonstrou menor fluidez quando comparadas à argamassa referência, apresentando assim uma borda mais espessa, como demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados visuais das argamassas no estado fresco pelo ensaio de espalhamento

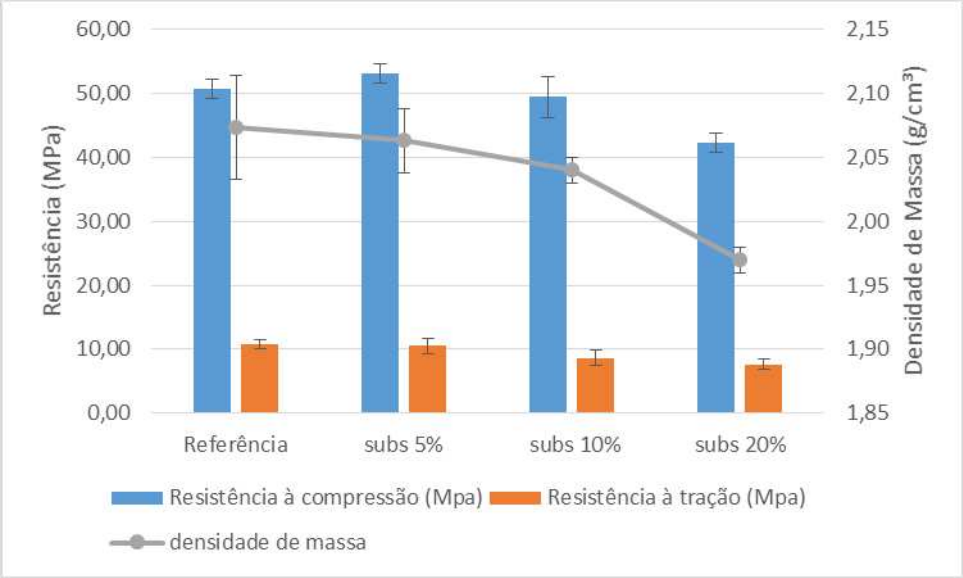
Argamassa	Espalhamento	Argamassa	Espalhamento
Referência		Substituição 10% de cimento Portland pelo fino de britagem	
Substituição 5% de cimento Portland pelo fino de britagem		Substituição 20% de cimento Portland pelo fino de britagem	

Fonte: Autores

Os valores de resistência à tração na flexão, resistência à compressão e de densidade de massa encontram-se na Figura 4. Observa-se uma redução na resistência à tração na flexão e na resistência à compressão, com a substituição do cimento pelo fino de britagem devido à maior relação água/cimento e ao aumento do teor de ar incorporado (Tabela 3).

No entanto, apesar da redução dos valores de resistência, esses estão dentro dos limites de desempenho citados pela EFNARC (2001), na qual especifica valores mínimos de resistência à compressão e resistência à tração, de 20 MPa e 5 MPa, respectivamente. Segundo Nakamura e Bucher (1997), os valores de resistência à compressão e resistência à tração para argamassas auto-adensáveis para pisos são de 25 a 35 MPa e de 8 a 11 MPa, respectivamente. A partir dos valores obtidos de resistência, observa-se que ainda há possibilidade de reduzir ainda mais o teor de cimento Portland para os requisitos de resistência.

Figura 4 - Resistência à tração na flexão, resistência à compressão e densidade de massa no estado endurecido das argamassas



Fonte: Autores

4.CONCLUSÃO

O presente artigo avaliou o efeito da influência da substituição parcial de cimento Portland pelo fino de britagem nas propriedades no estado fresco e endurecido de uma argamassa auto-adensável. Obteve-se como resultado argamassas auto-adensáveis com menores consumos de cimento Portland e com reaproveitamento de um resíduo. O desempenho mecânico das argamassas com a substituição do cimento pelo fino de britagem foi satisfatório, possibilitando pesquisas com maiores teores de substituição.

As perdas de trabalhabilidade para maiores teores de substituição do cimento pelo fino de britagem ocorreram em função da diferença da área superficial específica, possivelmente da forma do grão e da relação água/ materiais finos ser constante, o que pode ser contornado em estudos com ajustes dos teores dos aditivos e/ou da quantidade de água. Deve-se observar ainda que ao reduzir a quantidade de cimento Portland, pode-se reduzir problemas como fissuração, e ainda oferecer menor impacto ambiental. Desta forma, faz-se necessário estudos de traços com maior substituição do cimento Portland pelo fino de britagem, assim como em traços com maior consumo de areia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e ao Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) - Campus Florianópolis, os quais concederam as bolsas de Iniciação Científica (IC) e ao Instituto Nacional Tecnologias Cimentícias Eco-eficientes Avançadas (FAPESP INCT 201450948-3; 465593/2014-3). Agradecem, também, à bolsista Suelen de Souza que colaborou na execução deste projeto.

Agradecem também a MC-Bauchemie e a Itambé pelas doações dos materiais utilizados nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52.** Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. 2009.

_____**NBR NM 248**. Agregados – Determinação da composição granulométrica. 2003.

_____**NBR 13276**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. 2016.

_____**NBR 13278**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. 2005.

_____**NBR 13279**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. 2005.

_____**NBR 13280**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. 2005.

_____**NBR 15630**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. 2009.

_____**NBR 6474**. Cimento portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. 2001.

EFNARC - EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS. Specification for Synthetic Resin and Polymer-modified Cementitious Floorings as wearing surfaces for industrial and commercial use. United Kingdom, 2001.

KANTRO, D. L. Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste: a miniature slump test. **Cement, Concrete and Aggregates**, v.2, n. 2, pp. 95-102, 1980.

SILVA, Sarah H. L. **Desenvolvimento de formulações de argamassas autonivelantes para pisos e avaliação da retração por secagem.** 2016. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MENEZES, R. R. *et al*. Reciclagem de resíduos da construção civil para a produção de argamassas. **Cerâmica,** v. 55, pp. 263-270, 2009.

NAKAKURA, E. H.; BUCHER, H. R. E. Pisos Autonivelantes. Propriedades e Instalações. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. Salvador. **Anais...** Salvador, 1997. p. 305-316.

NEVILLE, A. M. **Propriedade do concreto**. São Paulo, (1997).

WBCS. Cement industry calls for long-term policy certainty as it aspires to reduce CO_2 emissions by 20-25%by 2030. *WBCSD.ORG*, 2015. Disponível em: <http://www.wbcsdcement.org/pdf/20151208_press %20release_LCTPi%20Cement.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2017.

STACHERA JR, T. Avaliação de Emissões de CO_2 na Construção Civil: Um Estudo de Caso da Habitação de Interesse Social no Paraná. XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Rio de Janeiro, RJ. 2008. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_090_554_12351.pdf. Acesso em: 22 março 2018.

SOUZA, Natália C. **Análise de Desempenho de Contrapiso Autonivelante em Relação ao Sistema Tradicional**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. 2013. 181 f.