

Utilização de escória de alumínio como adição na argamassa: análise no estado fresco e endurecido

Use of aluminium slag as addition in mortar: analysis in the fresh and hardened state

Uso de escoria de alumínio com o adición em el mortero: análisis em estado fresco y endurecido

Gean Pereira da Silva Júnior

Pós-Graduando, UNIP, Brasil.
gean.junior1995@gmail.com

Gabriela Oliveira Vicente

Pós-graduanda, UNESP, Brasil.
gabriela_olivic@hotmail.com

Mariana Ferreira Trevisan

Graduando e Pós-graduanda, UNESP, Brasil.
maritrevisaan2@gmail.com

RESUMO

O seguinte trabalho tem como objetivo a verificação da utilização de escória de alumínio como adição em argamassa contendo cimento, areia e água, possibilitando a reutilização desse material que nem sempre é descartado de forma correta. Assim, utilizando uma metodologia experimental, o trabalho realizado no município de Ilha Solteira, no Laboratório de Engenharia Civil na UNESP, apresentou escória adquirida na unidade local da ETEC. Neste estudo consta a utilização de cimento de alta resistência inicial, areia natural e água potável. O traço da argamassa apresentou adições de 15 e 30% de escória de alumínio em massa de cimento. A pesquisa contribuiu na compreensão de ensaios de trabalhabilidade "slumpflowtest" para a argamassa em estado fresco e ensaios de compressão axial e diametral para o estado endurecido. A utilização de escória de alumínio mostrou uma argamassa leve e expansiva, porém não uniformes para as duas porcentagens de adição, sendo necessários futuros estudos direcionados para compreender seu comportamento.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassa. Escória. Alumínio.

ABSTRACT

The objective of this work is to verify the use of aluminum slag as an addition in mortar containing cement, sand and water, allowing the reuse of this material that is not always correctly discarded. Thus, using an experimental methodology, the work carried out in the municipality of Ilha Solteira at the Civil Engineering Laboratory at UNESP, presented slag acquired at the local ETEC unit. This study includes the use of high initial strength cement, natural sand and drinking water. The mortar traces showed additions of 15 and 30% of aluminum slag in cement mass. The research contributed to the understanding of "slumpflowtest" workability tests for fresh mortar and axial and diametral compression tests for the hardened state. The use of aluminum slag showed a light and expansive mortar, but not uniform for the two percentages of addition, and future studies are necessary to understand its behavior.

KEY WORDS: Mortar. Slag. Aluminum.

RESUMEN

El siguiente trabajo tiene como objetivo la verificación de la utilización de escoria de aluminio como adición en mortero conteniendo cemento, arena y agua, posibilitando la reutilización de ese material que no siempre es descartado de forma correcta. Así, utilizando una metodología experimental, el trabajo realizado en el municipio de Ilha Solteira, en el Laboratorio de Ingeniería Civil en la UNESP, presentó escoria adquirida en la unidad local de la ETEC. En este estudio consta el uso de cemento de alta resistencia inicial, arena natural y agua potable. El trazado del mortero presentó adiciones de 15 y 30% de escoria de aluminio en masa de cemento. La investigación contribuyó en la comprensión de los ensayos de "slumpflowtest" para el mortero en estado fresco y ensayos de compresión axial y diametral para el estado endurecido. La utilización de escoria de aluminio mostró un mortero ligero y expansivo, pero no uniformes para los dos porcentajes de adición, siendo necesarios futuros estudios dirigidos para comprender su comportamiento.

PALABRAS CLAVE: Mortero. Escoria. Aluminio.

1. INTRODUÇÃO

O alumínio não é encontrado diretamente em estado metálico, sendo um metal proveniente da extração do mineral bauxita que segue etapas posteriores de refino e redução, até atingir as características de comércio. A bauxita deve apresentar no mínimo 30% de óxido de alumínio para serem consideradas viáveis, mas as reservas brasileiras apresentam grandes qualidades (ABAL, 2018 - 1).

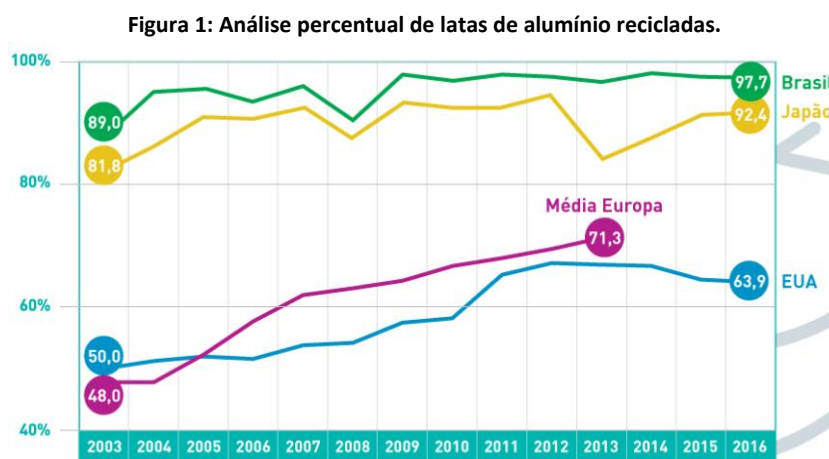
O processo de extração da bauxita provoca grande impacto a vegetação, ao solo, aos recursos hídricos, além do alto volume de terra removido para a coleta do metal. Logo, a reciclagem do material se faz importante, uma vez que minimiza os efeitos negativos ao ambiente (CARVALHO, 2017).

A reciclagem do alumínio é uma de suas grandes vantagens, pois pode acontecer sem perder as propriedades físico/químicas do material, em número ilimitado de vezes, colaborando com o ambiente e a economia, uma vez que utiliza apenas 5% da energia gasta para a produção de metal primário e libera apenas 5% de gases de efeito estufa também se comparado com a produção. Além do mais, a reciclagem diminui o lixo gerado pelo material se fosse descartado em aterros (ABAL, 2018 - 2).

De acordo com a Aluminum Statistics Review de 2015, o Brasil ocupa a quarta posição em relação aos países que mais utilizam a sucata de alumínio para consumo (THE ALUMINIUM ASSOCIATION, 2015).

Já com relação ao índice de reciclagem de latas de bebidas feitas de alumínio, o Brasil atingiu o primeiro lugar entre 2003 a 2016, se comparado com Japão, toda a média europeia e os EUA, reciclando em seu último ano de análise, quase 100% de todas as latas consumidas, representando 292,5 mil toneladas, conforme mostra

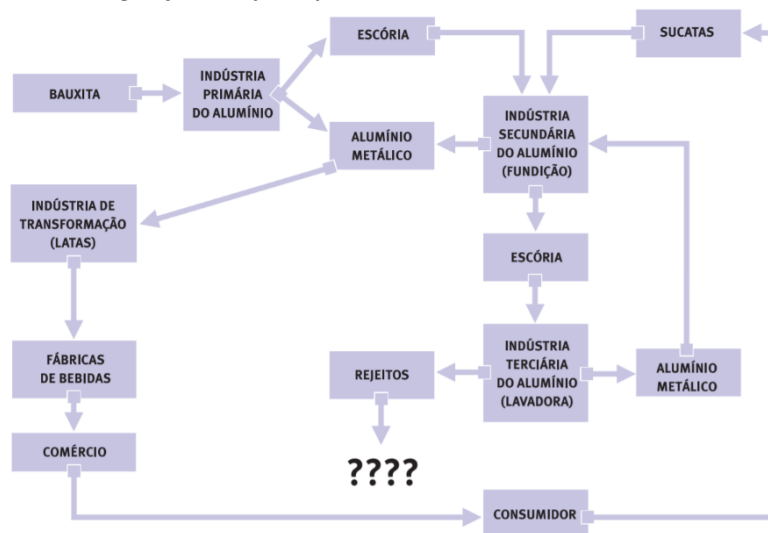
Figura 1 (ABAL, 2016).



Fonte: ABAL, THE JAPAN ALUMINIUM CAN RECYCLING, THE ALUMINIUM ASSOCIATION, EAA - EUROPEAN ALUMINIUM ASSOCIATION, 2016.

No Brasil, as escórias podem ser destinadas ao reaproveitamento por pequenas empresas terciárias, uma vez que recuperam o alumínio metálico através da moagem e lixiviação com água, fazendo com que o alumínio recuperado, retorna às empresas secundárias. Assim, na reciclagem das escórias na indústria terciária, há a formação de um novo resíduo, formado principalmente de metais livres, óxidos metálicos e sais (NaCl) que não tem reutilização (Figura 2) (SHINZATO, HYPOLITO, 2001).

Figura 2: Esquema do 'ciclo' de reciclagem do alumínio, desde a obtenção do metal a partir do minério (bauxita) pela indústria primária até a geração de rejeitos pela indústria terciária.

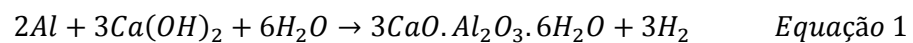


Fonte: SHINZATO, HYPOLITO (2001).

Uma micro indústria terciária pode processar cerca de 20 toneladas de escória por dia, mas conseguindo aproveitar apenas 20% desse volume como alumínio metálico que irá voltar à cadeia. Os outros 80 % serão transformados em rejeitos. Outro fator de destaque nesse setor, é a emissão de poluentes no ambiente. A lavagem da escória pode gerar a eliminação de gases como a amônia e o metano (SHINZATO, HYPOLITO, 2001). Logo, por ser o setor terciário do alumínio, em sua maioria composto por empresas clandestinas, com condições precárias de lavagem e armazenagem desses rejeitos, deve-se pensar em medidas para se diminuir essa atividade. Uma das maneiras seria o reaproveitamento mais rentável da escória secundária de alumínio.

Font (2018) trabalhou com o desenvolvimento de concreto celular baseado na mistura de cimento Portland comum e pó de alumínio comercial. O concreto celular pode trazer benefícios de custo e desempenho quando comparado com os materiais de construção tradicionais. É possível a combinação de propriedades de isolamento e capacidade estrutural, sendo excelente para utilização em paredes, pisos e telhados. A adição de pó de alumínio é um

método no qual esse reagente é oxidado no meio alcalino do cimento Portland, onde entra em contato com a água e forma o gás hidrogênio, conforme mostra a Equação 1. O estudo mostrou que a adição do pó ao concreto em uma porcentagem de 0,2% em relação ao peso do cimento resultou em densidade natural de 618 Kg/m³ e sua resistência à compressão em 4,5 e 6,5 MPa, respectivamente, durante 7 e 28 dias de cura.



Haris (2016), apresentou um estudo de adição de pó de alumínio na fabricação de argamassa. Utilizando adições de 0,25 a 1% em relação ao peso do cimento, as conclusões foram que com a adição do material, a densidade do produto final foi menor, sendo de 1636,8 Kg/m³ com a adição e de 2252,8 kg/m³ para as argamassas sem o pó de alumínio aos 28 dias. Em consideração à compressão, analisou-se uma queda significativa dos corpos de prova com a nova adição. Nos 3 períodos analisados, a maior adição, ou seja 1%, foi a que obteve menor resistência se comparada com os corpos de prova referência, com uma queda maior que 50%.

2. OBJETIVO

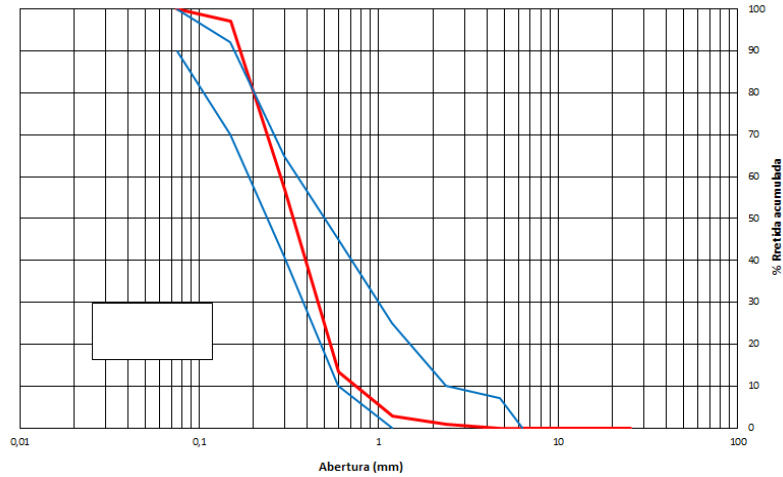
O trabalho tem como objetivo preparar pré-moldados de argamassa com adição de 15 e 30% de escória de alumínio, com a finalidade de viabilizar a utilização de resíduos sólidos descartados de forma incorreta, realizando ensaios para análise das novas características que o novo elemento traz à mistura, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido.

3. METODOLOGIA

3.1 Materiais

Os agregados miúdos utilizados na pesquisa foram areia média natural e escória de alumínio. A areia foi extraída do Porto Nossa Senhora Aparecida e Pedreira Três Irmãos, de Andradina – SP. Sua curva granulométrica está representada na Figura 3. A escória é proveniente do processo de fundição de latinhas de bebidas produzida e coletada na Escola ETEC de Ilha Solteira, por forno de laboratório para tratamento térmico - Modelo FCN - 1200 - Caixa TTGAS a 1000 graus Celsius, e posteriormente moída no laboratório de Engenharia Civil localizada na Unesp de Ilha Solteira (Figura 4).

Figura 3: Curva Granulométrica da Areia utilizada na argamassa



Fonte: AUTORES, 2019

Figura 4: Posicionamento do cadinho com as latas de bebidas no interior do forno para fundição.



Fonte: AUTORES, 2019

Como aglomerantes utilizou-se cimento Portland CP-V-ARI e cal hidratada CH-III. A água utilizada na pesquisa foi disponibilizada pelo laboratório, proveniente do abastecimento público de Ilha Solteira – SP.

3.2 Preparação da escória de alumínio

A coleta da escória consiste em retirar manualmente a “nata” superficial que forma no cadinho onde a fundição está sendo feita. Essa camada superficial representa a formação da escória do material (Figura 5).

Figura 5: Cadinho com alumínio fundido e formação de escória na superfície.



Fonte: AUTORES, 2019

Após a coleta, a escória passa por um processo de resfriamento em temperatura ambiente, que faz com que o material endureça e se aglomere, formando blocos irregulares de dimensões e formatos heterogêneos (Figura 6).

Figura 6: Escória de alumínio secundária coletada e resfriada.



Fonte: AUTORES, 2019.

Para a utilização da escória como produto na construção civil, viu-se a necessidade de desagregar os blocos do material já resfriado. Para este trabalho, a escória foi moída por 50 minutos e por fim o material moído foi descarregado em uma plataforma, finalizando o processo de moagem (Figura 7).

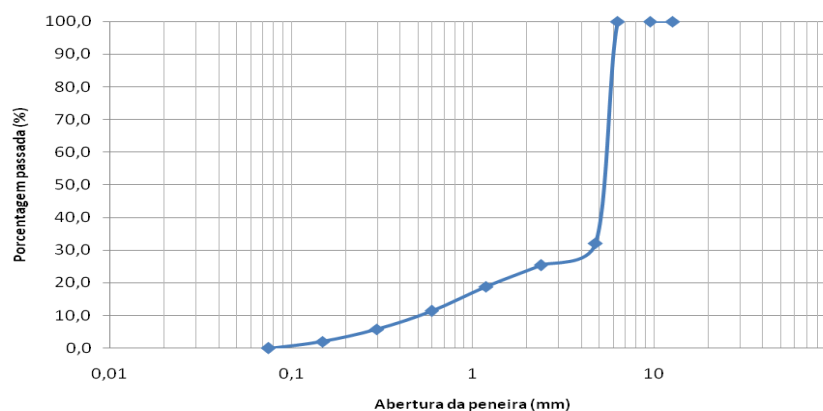
Figura 7: Amostras retidas durante o processo de moagem.



Fonte: AUTORES, 2019

Após a moagem, a escória foi submetida a ensaio de determinação da composição granulométrica, a partir da NBR NM 248 (ABNT, 2003), utilizando-se as peneiras da série normal, da granulometria 4,8mm à 0,15 mm. A curva granulométrica correspondente à escória moída por 50 minutos se apresenta na Figura 8.

Figura 8: Curva granulométrica da escória de alumínio, correspondente a 50 minutos de moagem.



Fonte: AUTORES, 2019

Pela análise da curva, pode-se notar que a composição da escória após a moagem se aproxima mais da granulometria do silte e da areia fina, apresentando partículas bastante finas.

3.3 Preparações dos corpos de prova de argamassa como referência

Foram moldados corpos de prova referência e com adição do novo material para que se pudesse realizar uma comparação das características. Os corpos de prova (CPs) moldados como referência (ARef) foram compostos de cimento Portland, água, areia, cal. Para o traço utilizado foi fixada uma relação de $a/c = 0,70$ e $1:2:8$, respectivamente, para cimento, cal e areia.

Para a mistura e a homogeneização desses materiais foi utilizada uma máquina argamassadeira. A ordem de adição dos materiais foi primeiramente o cimento juntamente a água e cal, batidos por 1 minuto na velocidade lenta. Posteriormente, aumentou-se a para a velocidade mais ágil e bateu a massa por 1 minuto. O próximo procedimento foi a mistura manual, com uma espátula para homogeneizar o restante da argamassa. Finalizando o procedimento, batendo por mais 1 minuto em velocidade máxima. Depois de misturados, os corpos de prova foram moldados em formas cilíndricas de tamanhos 10 cm de altura por 5 cm de diâmetro. Posteriormente adensados em uma mesa vibratória.

Por fim, os CPs foram mantidos fora da câmara úmida até 24h de cura e após esse período foram desmoldados e colocados na câmara até a realização dos ensaios.

3.4 Preparações dos corpos de prova de argamassa com adição de escória de alumínio

Os corpos de prova moldados com adição da escória de alumínio foram preparados da mesma maneira que os CPs produzidos como referência, entretanto, com uma etapa a mais, a qual consiste na adição da escória, logo a após o primeiro procedimento de mistura, com 1 minuto, em velocidade baixa.

A quantidade de escória adicionada à argamassa foi de 15% (A15) e 30% (A30) em relação a massa do cimento. Os CPs também foram mantidos fora da câmara úmida até 24h de cura e após esse período foram desmoldados e colocados na câmara até a realização dos ensaios de resistência.

3.5 REALIZAÇÃO DE ENSAIOS

3.5.1 Estado fresco

Os ensaios no estado fresco consistem no ensaio de trabalhabilidade, o slumpflowtest, comumente chamado de ensaio de espalhamento. Este procedimento tem por finalidade verificar a viscosidade, consistência e coesão interna das misturas. Este ensaio foi realizado com base na NBR 15823 – 2 (ABNT,2017) e consiste em preencher um tronco de cone metálico, apoiado em uma mesa, com a argamassa produzida. Após o preenchimento regularizou-se a superfície e retirou-se o tronco de cone no sentido ascendente. Ao retirar o tronco de cone a mistura apresentou um espalhamento livre sobre a mesa. O diâmetro do espalhamento foi determinado considerando-se locais com homogeneidade e maior concentração de material, não sendo levado em conta as partes com exsudação no perímetro do círculo de espalhamento.

3.5.2 Estado endurecido

A argamassa endurecida será analisada a partir da realização do ensaio de compressão axial (NBR 5739 - 2018) e de compressão diametral (NBR 7222 - 2011), com a utilização de prensa universal, ambos com corpos de prova nas idades de 7 e 28 dias. Além disso, para a determinação da densidade da argamassa seguindo orientações da norma NBR 13280 (ABNT, 2005). Para a análise de absorção de água, se utilizou a norma NBR 9778 -2 (ABNT, 2009), que ajuda a determinar o índice de vazios, absorção e massa específica da argamassa.

4. RESULTADOS

4.1 Estado fresco

A

Tabela 1 apresenta os resultados do ensaio de trabalhabilidade. É possível notar uma relação desigual entre A15 e A30. Enquanto que para A15, se comparado com o ARef, houve um aumento no espalhamento da massa de cerca de 7 %, para A30 houve uma redução de 10% aproximadamente. Assim, enquanto a menor adição analisada proporcionou a massa uma menor coesão entre as partículas, para a maior adição, o efeito foi inverso, melhorando as questões de coesão interna e aumento da viscosidade da massa.

Tabela 1: Resultados dos ensaios de slumpstestflow

Corpo de Prova	Médias	
	Adição (%)	Espalhamento (cm)
ARef	0	25,83
A15	15	27,66
A30	30	23,50

Fonte: AUTORES, 2019.

Após os ensaios de slumpflowtest, os corpos de prova foram moldados e notou-se um aumento significativo da massa, no momento da moldagem. A Figura 9 demonstra o crescimento das argamassas com adição de escória, ainda dentro do molde, até 30 minutos após a moldagem. Houve uma expansão além do corpo de prova em média 1,50 cm, aproximadamente 15% em relação ao volume total do corpo de prova.

Esta característica ocorreu provavelmente devido à reação da escória de alumínio com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) presente no cimento e a água, produzindo o gás hidrogênio e aumentando o volume da massa, conforme explicado na Equação 1.

Figura 9: Momento da moldagem dos corpos de prova.



Fonte: AUTORES, 2019

4.1.2 Estado endurecido

Os corpos de prova foram moldados, curados durante 24h até seu desmolde e colocados em câmara úmida até atingirem 7 dias de idade. Tanto para os ensaios axiais quanto para os diametrais, 3 corpos de provas foram ensaiados e posteriormente foi feita uma média com os valores obtidos.

Com relação aos resultados de 7 dias para o ensaio de compressão axial, os CPs apresentaram uma queda na resistência em relação ao ARef de aproximadamente 22 % quando comparados com os A15. Já se comparados ARef e A30, esses últimos apresentaram um aumento de resistência de aproximadamente 34 %. Diferentemente do que se podia prever, a adição do novo material não causou apenas melhorias ou defasagens, a adição de 15% fez com que a resistência à compressão axial diminuísse, mas com a adição de 30%, fez com que aumentasse significativamente.

Para a NBR 13279 (ABNT, 2005), que diz respeito a classificação das argamassas produzidas nesse trabalho, de acordo com ensaio à compressão axial, a amostra ARef, que obteve valor de 1,851 MPa, pode ser classificada na Classe P2, por apresentar valor entre 1,5 a 3,0 Mpa, assim como a amostra A15 e a amostra A30, que apresentaram médias de tensão de 1,508 MPa e 2,49 MPa respectivamente.

Com relação aos resultados do ensaio à compressão diametral aos 7 dias, o que se pode notar, diferentemente do ensaio axial, foi que houve um aumento na resistência nas duas argamassas com adição, sendo maior nos corpos de prova A15. Houve um aumento de resistência de 59% quando comparados os CPs A15 e ARef e para os A30, o aumento foi de aproximadamente 38% comparados com a referência.

Nota-se uma grande melhora nas condições de compressão diametral da argamassa com a nova adição, uma vez que independentemente da porcentagem adicionada, houve um acréscimo expressivo.

A NBR 13279 (2005) estabelece os valores de resistência à compressão diametral para a classificação das argamassas. Para A15, que obteve resistência diametral de 1,531 MPa está classificado como R3, entre 1,5 a 2,7 Mpa e A30, como R2, entre 1,0 e 2,0 Mpa.

Com relação à densidade dos corpos de prova o que se notou foi uma queda proporcional às adições, ou seja, a maior adição de escória de alumínio (A30), produziu uma argamassa de densidade menor do que a adição de 15%, que por sua vez foi menor do que a argamassa referência (ARef). As médias dos resultados para os ensaios no estado endurecido, podem ser analisados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados dos ensaios de densidade, compressão axial e diametral

Corpos de Prova	Médias				
	Densidade (Kg/m ³)	Comp. Axial (kN)	Tensão Comp. Axial (Mpa)	Comp. Diametral (kN)	Tensão Comp. Diam. (Mpa)
ARef	1870	3,635	1,851	1,884	0,959
A15	1398	2,962	1,508	3,006	1,531
A30	1320	4,892	2,491	2,602	1,326

Fonte: AUTORES, 2019

A densidade no estado endurecido da argamassa de assentamento de paredes e revestimentos de tetos é classificada segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005), de acordo com os resultados do ensaio prescrito na NBR 13280 (ABNT, 2005). Pela norma, a argamassa referência está classificada como classe M5, por apresentar densidade de massa no estado endurecido de 1600 a 2000 Kg/m³. Já para A15 e A30, a classificação é de M2, por apresentar valores de densidade entre 1000 e 1400Kg/m³.

A queda no valor da densidade dos corpos de prova com adição de escória de alumínio pode ser explicada pela interação do novo material com o cimento. O que foi observado no momento da moldagem, quando a reação dos materiais formava um aumento no volume da massa, fez com que, provavelmente se aumentasse o teor de ar incorporado na massa, proporcionalmente a adição da escória. Ou seja, quanto maior a incorporação do material, maior foi à interação do mesmo com o cimento e assim, maior a formação do gás hidrogênio que fez expandir a massa e assim diminuir o peso específico dos corpos de prova. Assim, resumindo, a reação química libera um gás, e depois que a argamassa endurece, forma uma estrutura porosa que é mais leve que a referência.

5. CONCLUSÃO

O trabalho buscou analisar as potencialidades da adição da escória de alumínio na construção civil, uma vez que se entende a necessidade de buscar destinações mais sustentáveis para o material. Para as condições estudadas e materiais disponíveis, os resultados para os ensaios foram:

- A escória de alumínio causa uma reação com a pasta de cimento, fazendo com que o volume da massa aumente, em função da formação de gás hidrogênio na massa, durante a mistura e moldagem;
- A formação de gás faz com que, no estado endurecido, as argamassas com adições de escória apresentem uma densidade inferior à argamassa referência, pela formação de vazios.
- Com relação aos ensaios de compressão axial, a influência não foi uniforme, ou seja, para as argamassas com adição de 15% houve uma queda no valor da resistência, mas para a adição de 30%, houve um aumento significativo, de aproximadamente 34%;
- Para os ensaios de compressão diametral, o que se notou foi uma melhora expressiva da resistência com a adição do material. Tanto para a argamassa com 15% quanto à argamassa de 30% houve um aumento, de 30 e 59% respectivamente.
- Entende-se a necessidade da continuação dos estudos e análise dos resultados dos ensaios aos 28 dias tanto de compressão quanto de absorção, para uma comparação mais precisa e detalhada da influência da adição do novo material, mas apenas com os resultados parciais aos 7 dias, pode-se afirmar que houve grande influência da adição da escória de alumínio proveniente da fundição de latinha de bebidas na argamassa e que os resultados, em sua maioria apresentam vantagens significativas;
- Entre os dois traços escolhidos, pode-se notar uma vantagem ao traço com adição de 30%, pois melhora em todos os pontos analisados a argamassa. Apresenta o maior valor no ensaio a compressão axial, um valor considerável para o ensaio de compressão diametral e o menor valor de densidade, ou seja, consegue uma ótima resistência com menor peso.

6. AGRADECIMENTO

FEIS- UNESP Ilha Solteira.

ETEC - Ilha Solteira - Departamento de mecânica

Professor Dr. José Luiz Pinheiro Melges

Professor Dr. Jorge Luis Akasaki

Professor Me. Igor Seicho Kiyomura

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 10004**. Resíduo sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR NM 248**. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. ISO 13320**. Particlesizeanalysis - Laser diffractionmethods. Rio de Janeiro, 2009. 51 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR NM 46**. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm , por lavagem. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 15823 - 2**. Concreto autoadensável - Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 7222**. Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 5739**. Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 9778-2**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 13280**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 13279.** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração no flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 13281.** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 7 p.

ABAL - **Associação Brasileira do Alumínio. Cadeia primária.** Acessado em: nov/2018. Disponível em: <http://abal.org.br/aluminio/cadeia-primaria/> (1)

ABAL - **Associação Brasileira do Alumínio. - Vantagens do alumínio.** Acessado em: nov/2018. Disponível em: <http://abal.org.br/aluminio/vantagens-do-aluminio/> (2)

ABAL - **Associação Brasileira do Alumínio. Índice de reciclagem de latas de alumínio para bebidas- 2003 a 2016 - 2016.** Acessado em: nov/2018. Disponível em: <http://abal.org.br/estatisticas/nacionais/reciclagem/latas-de-aluminio/>

ABAL - **Associação Brasileira do Alumínio. - Fundição.** Acessado em: nov/2018. Disponível em: <http://abal.org.br/aluminio/processos-de-producao/fundicao/>

CARVALHO, A.V.P. et al. **Alumínio: Material 100% reciclável.** In: Revista de Trabalhos Acadêmicos - Universo Recife. vol 4, n. 2-1. 2007.

THE ALUMINIUM ASSOCIATION. **Aluminum Statistics Review.** Acessado em: nov/2018. Disponível em: <https://www.aluminum.org/aluminum-statistical-review-2015>.

VERRAN, G.O. KURZAWA, U. GABOARDI, G.G. **Reciclagem de latas de alumínio usando fusão em forno elétrico à indução.** In: *Estudos Tecnológicos*, v. 3, n. 1, p.01-11, 2007.

TAKAHASHI, E.A.N. **Utilização da escória de alumínio na fabricação de argila expandida.** Dissertação (Mestrados em Ciências) pela Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

DINIZ, A.G.F. OLIVEIRA, I.L. **Influência das fontes de alumínio secundário na geração de escória: uma análise estatística.** *Revista Produção Online*, v.9, n.2, p.284-302, jun/2009.

SHINZATO, Mirian Chieko; HYPOLITO, Raphael. **Como reciclar alumínio sem riscos ambientais.** *Ciência Hoje[S.l.]*, v. 29, n. 169, p. 66-68, 2001.

MOURA, W.A. **Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

HARIS, A. **The influence aluminium waste addition on density and compressive strength mortar.** In: *Journal of Engineering and Applied Sciences*, v.11, n. 13, July/2016.

FONT, A.; BORRACHERO, M. V.; SORIANO, L.; MONZÓ, J.; MELLADO, A.; PAYÁ, J. **New eco-cellular concretes: sustainable and energy-efficient material.** *Green Chemistry*, 2018, DOI: 10.1039/C8GC02066.