

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE REUTILIZAÇÃO DA AREIA DE FUNDIÇÃO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO E CONCRETO CONVENCIONAL**

DOI: 10.19177/rgsa.v9e012020551-570



**Geisiele Ghisleni <sup>1</sup>**

**Geannina Terezinha dos Santos Lima <sup>2</sup>**

**RESUMO**

A utilização de rejeitos da indústria caracteriza-se como fonte tecnológica na construção civil, proporciona redução nos custos de produção, no uso de fontes naturais e tornam-se uma fonte de descarte ambientalmente correta. A areia de fundição apresenta-se com potencial devido suas características de aglomerante. O estudo objetivou analisar a reutilização da areia de fundição como fonte alternativa na produção de concreto e blocos de concreto, caracterizando-os como materiais sustentáveis. Produziu-se misturas com a areia de fundição gerada no processo quebra de canal em substituições de 10%, 20% e 30% à granilha nos blocos de concreto e por areia natural em 10%, 20%, 30% e 50% em concretos convencionais, tanto com areia quebra de canal quanto com areia macharia. As areias de fundições classificaram-se na Classe II, não inertes. Quanto aos materiais, avaliou-se ensaios de resistência à compressão, ensaios de Microscopia Eletrônica De Varredura (MEV) conjuntamente Espectrometria de Energia Dispersiva de Raio-X (EDS) e Lixiviação. Com os resultados verificou-se, as misturas contendo areia de fundição obtiveram resistências à compressão acima do preconizado em norma, e classificaram-se como resíduo Não Inerte- Classe II. Conclui-se, que a areia de fundição é uma alternativa viável no desenvolvimento de materiais tecnológicos e ecologicamente corretos.

**Palavras-chave:** Areia de fundição. Materiais alternativos. Desenvolvimento sustentável. Reutilização.

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Civil. Centro Universitário Avantis. Ghisleni.geisi@gmail.com

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. geanninasantos@hotmail.com

# FEASIBILITY STUDY OF FOUNDRY SAND REUSE IN THE PRODUCTION OF CONCRETE AND CONVENTIONAL CONCRETE BLOCKS

## ABSTRACT

The use of industrial waste is characterized as a technological source in civil construction, provides a reduction in production costs, the use of natural sources and becomes a source of environmentally sound disposal. Foundry sand has potential due to its bonding characteristics. The study aimed to analyze the reuse of foundry sand as an alternative source in the production of concrete and concrete blocks, characterizing them as sustainable materials. Produces mixtures with foundry sand generated in the process of channel breakage in substitutions of 10%, 20% and 30% granulation in concrete and natural sand blocks at 10%, 20%, 30% and 50% in concrete boundaries, both with sand channel break as with sand masquerade. The sands features they were classified in Class II, not inert. As for materials, compressive strength tests, scanning electron microscopy (SEM) assays, X-ray dispersive energy spectrometry (EDS) and leaching. With the verified results, if the mixtures containing bottom sand obtain compressive strengths above the standard, and classified as Non-Inert Class II residue. In conclusion, foundry sand is a viable alternative in the development of technologically and environmentally friendly materials.

**Key words:** Foundry sand; Alternative materials; Sustainable development; Reuse.



## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais produtores de fundidos do mundo. Segundo dados da ABIFA (2016), a indústria brasileira de fundidos gera anualmente mais de 3 milhões de toneladas de resíduos de areia de fundição.

De acordo com dados da Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos Sólidos (ABETRE) (2013) somente 22% dos resíduos industriais gerados recebem a destinação correta, 16% desses resíduos são depositados em aterros enquanto apenas 5% são co-processados e somente 1% são incinerados. O restante, 78%, são despejados diretamente na natureza de maneira irregular.

As areias devido sua alta condutividade térmica, tem ampla utilização no processo de fundição, não somente na fabricação de moldes para o vazamento do metal, mas também para dar forma ao metal, ou seja, admitem uma perfeita

sincronização entre a operação de moldagem e a de fusão do metal (BHARDWAJ *et al.*, (2017)).

Segundo Bhardwaj e Kumar (2017) a areia de fundição é um material constituído à base de areia de sílica. A qual classifica-se em duas categorias: areia de fundição verde e areia de fundição química. A areia de fundição verde é constituída com 85-95% de areia de sílica, 4-10% de argila de bentonita como aglutinante e, 2-10% de aditivo carbonoso (responsável por melhorar o acabamento da superfície de fundição). Já a areia de fundição química consiste em 93-99% de areia de sílica e aproximadamente 1 - 3% de aglutinante químico (SIDDIQUE *et al.*, 2009).

A areia ao atingir o seu limite de reutilização na produção de fundidos, devido ao excesso de contaminantes inseridos na mistura são descartadas para aterros industriais (BHARDWAJ *et al.*, (2017)).

Quando esses aterros não são monitorados corretamente podem originar sérios riscos ao meio ambiente, pois alteram as características físicas, químicas e biológicas do local, podendo ocasionar a contaminação do solo e da água.

Além disso, as empresas de fundição sabendo dos perigos e do grande custo que a construção e a manutenção de novas valas, buscam alternativas de descarte final.

A indústria da construção civil mostra-se com grande potencial na solução desta problemática, uma vez que a incorporação de resíduos em materiais de construção torna-se viável a ambos âmbitos, pois além da diminuição da deposição de resíduos no meio ambiente possibilitam a redução dos custos de matérias primas naturais.

De acordo com Bhardwaj e Kumar (2017) a areia de fundição é uma ótima opção para ser utilizada em substituição parcial e/ou total da areia natural. O módulo de finura deste resíduo varia entre uma faixa de 0,9 a 1,6, já a areia natural apresenta um módulo de 2,3 a 3,1.

Diante destes fatores, estudos com concreto, argamassa e artefatos a base de cimento Portland, estão sendo desenvolvidos, no âmbito acadêmico e industrial, com resultados satisfatórios.

Matos *et al.*, (2019), em seus estudos com substituição de 50% e 100% de areia de fundição por areia natural, demonstraram a redução da fluidez e a resistência à compressão das argamassas. Com até 100% de areia de fundição na substituição de areia natural resultou em argamassas com propriedades frescas e endurecidas

semelhantes à referência. Já nos blocos de concreto a substituição total por areia de fundição resultou em resistências aproximadas a referência.

No estudo de concreto com alta resistência de Guney *et al.*, (2010), a areia natural foi substituída por areia de fundição residual nos teores de 5%, 10% e 15%, através dos resultados nos estados fresco e endurecido, observaram redução de fluidez e nas propriedades mecânicas nas misturas com areia de fundição. Entretanto, o concreto com 10% de resíduo, obteve resultados semelhantes a mistura referência.

Já para Torres *et al.*, (2017), as substituições de areia de fundição nos teores de 10%, 20% e 30% por areia natural em função da massa, não afetaram as propriedades mecânicas do concreto.

Neste contexto, pensando na preservação ambiental, sustentabilidade, e economia da matéria prima, o presente trabalho buscou, através do tema de novos materiais e novas tecnologias aplicadas a construção civil, avaliar as propriedades de blocos de concreto e concreto convencional com substituição parcial de areia natural por areia de fundição.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Materiais**

Os materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova de concreto convencional foram a areia natural, brita 1, cimento CP IV-32, e água. Quanto aos materiais utilizados na produção dos blocos de concreto no traço referência foram cimento CP IV-32, areia natural, granilha, pó de pedra e brita zero.

Todos os materiais citados, vieram de empresas próximas do local de confecção dos produtos. Na composição dos traços com a areia de fundição, a substituição realizou-se pela areia natural na produção de concreto e à granilha nos blocos de concreto.

#### **2.1.1 Areia de fundição**

A areia de fundição utilizada para este estudo foi gerada no processo de quebra de canal, proveniente da empresa FUNDIMISA localizada no município de Santo Ângelo – RS. Foi analisado a classificação química e a caracterização deste resíduo, através dos ensaios de lixiviação e solubilização de acordo com as normas ABNT NBR

10005 (2004) e ABNT NBR10006 (2004) e classificação pela ABNT NBR 10004 (2004).

Segundo os diagnósticos realizados, a areia de fundição se apresentou dentro dos limites permitidos pela ABNT NBR 10004 (2004). No ensaio de lixiviação pela ABNT NBR 10005 (2004) os parâmetros satisfazem os limites permitidos, o resíduo apresentou-se como não tóxico, ou seja, classificando-se na Classe II-A (Não Inertes).

Posteriormente, foram realizados os ensaios de caracterização física das areias, os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização das areias

Propriedades	Areia Natural	Areia de Fundição	
		Quebra de Canal	Macharia
Massa Específica (kg/cm <sup>3</sup> )	2584	2460	2010
D <sub>máx.</sub> Característico (mm)	1,2	0,6	2,4
Módulo de Finura	1,84	1,44	1,88

Fonte: Autoras (2019)

## 2.2 Moldagem dos corpos de prova

As moldagens tanto do concreto quando do bloco de concreto, seguiram as prescrições normativas e métodos técnicos de execução.

### 2.2.1 Moldagem dos corpos de prova de concreto

Foram realizadas as moldagens dos corpos de prova com as substituições de 10%, 20%, 30% e 50% de areia natural por areia de fundição com o objetivo de analisar a influência do resíduo na resistência à compressão do material.

Foi realizado o teste de Slump Test, que consiste na determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, onde se estabeleceu um limite entre 80 e 100 mm, representado na Figura 1.

Figura 1- Slump Test na mistura de concreto



Fonte: Autoras (2014)

A moldagem realizou-se através de duas camadas de concreto, compactadas pela haste de aço com 12 golpes uniformemente distribuídos pela força manual, seguindo as prescrições da ABNT NBR 5738 (1984).

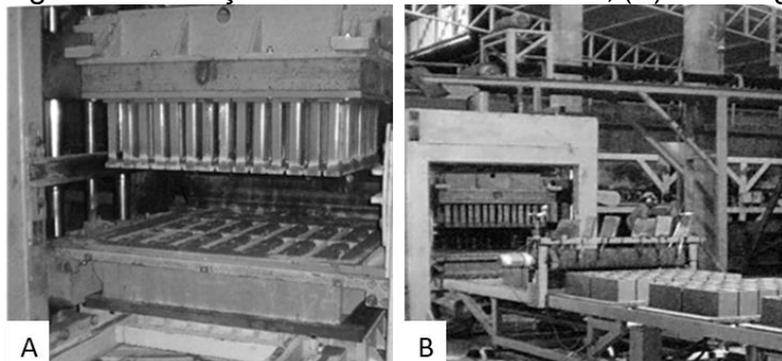
Após a moldagem, os corpos de prova ficaram expostos à temperatura ambiente nas primeiras 24 horas, sendo posteriormente desmoldados e acondicionados em câmara úmida sob temperatura de  $23 \pm 2$  °C e umidade > 95%, onde permaneceram até as datas dos ensaios de 7 e 28 dias após a moldagem.

### **2.1.3 Moldagem dos blocos de concreto**

A produção dos blocos de concreto realizou-se no processo mecanizado, pois este artefato é confeccionado com concreto seco. Esta técnica é composta por baixo teor de água e elevada coesão, sendo produzido por meio de equipamentos que simultaneamente aplicam compressão e vibração, para a fabricação desta peça.

Na execução deste estudo, teve-se acesso a fábrica Cisbra, localizada na cidade de Ijuí, RS, que disponibilizaram suas máquinas e equipamentos, seguindo seu método de produção, conforme representados na Figura 2. A e Figura 2.B.

Figura 2- Produção dos blocos de concreto; (A) Prensagem e vibração; (B) Finalização



Fonte: Autoras (2014)

Os blocos de concreto permaneceram em estufa de cura úmida, no decorrer de 24 horas, posteriormente, foram embalados e mantidos à temperatura ambiente até datas de ensaios.

### **2.3. Ensaio de resistência a compressão axial**

O ensaio de resistência à compressão axial dos concretos foi avaliado por meio de corpos de prova no Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ, em prensa normatizada para as idades de 7 e 28 dias a partir da moldagem realizada, conforme a ABNT NBR 5739 (2018). De acordo com a referida norma o corpo de prova cilíndrico deve ser posicionado de modo que, quando estiver centrado, seu eixo coincida com o da máquina, fazendo que a resultante das forças passe pelo centro.

Os ensaios de resistência à compressão aos blocos de concreto realizaram-se conforme ABNT NBR 12118 (2014) e ABNT NBR 6136 (2016), que fixam as condições exigíveis para a aceitação de blocos vazados de concreto simples. As amostras foram ensaiadas nas idades de 7 e 28 dias, sendo também realizados no Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ.

### **2.4 Ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV)**

Os ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), conta com um equipamento de detector de energia dispersiva EDS (energy dispersive x-ray detector, EDX ou EDS), com capacidade para ampliações até 400 mil vezes, e para análise semiquantitativa da composição química elementar das amostras.

As amostras foram analisadas no MEV, com a finalidade de observar a microestrutura para cada cubo de concreto e bloco referência, assim como para as misturas com 50% e 10% de areia de fundição, respectivamente.

## **2.5 Ensaio de Lixiviação**

Este ensaio referiu-se à NBR 10.005 (2004), a qual objetiva a “fixar os requisitos exigíveis para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados pela ABNT NBR 10004 como classe I – perigosos - e classe II – não perigosos”.

Para esta norma, a lixiviação é conceituada como o processo na determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator. Estes ensaios realizaram-se nas amostras de concreto, no traço 50% de areia de fundição e ao bloco de concreto no traço com 10% de areia de fundição.

## **3 RESULTADOS**

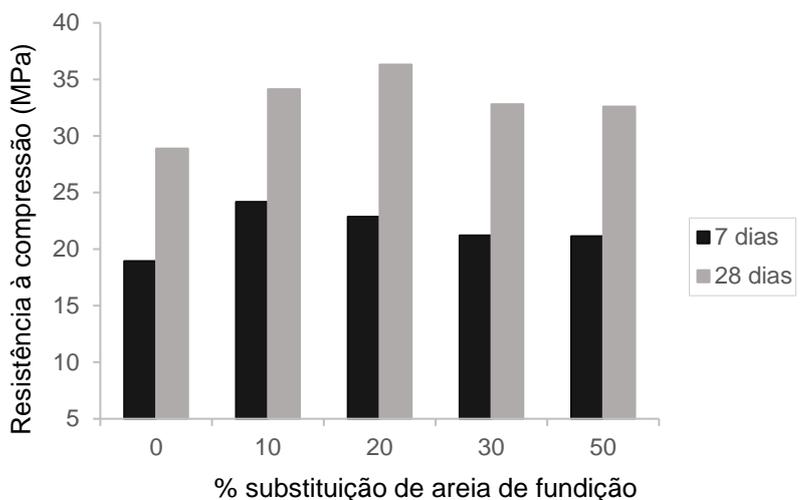
Os resultados obtidos com concreto e bloco de concreto, referem-se as misturas realizadas com as areias quebra de canal e macharia.

### **3.1 Resistência à compressão**

#### **3.1.1 Concreto com areia de fundição tipo quebra de canal**

A Figura 3 apresenta os resultados à compressão aos 7 e 28 dias das misturas de concreto, referência e 10%, 20%, 30% e 50% de substituição da areia natural pela areia de fundição quebra de canal. Observa-se que todas as amostras com areia de fundição obtiveram valores de resistência à compressão superiores à amostra referência.

Figura 3- Resistência à compressão das amostras de concreto com areia de fundição (quebra de canal) aos 7 e 28 dias



Fonte: Autoras (2019)

Em análise a Figura 3, aos 7 dias a porcentagem com maior resistência à compressão foi 10%, obtendo queda para as misturas com os teores 20% e 30% de areia de fundição. A amostra com 50% e 30% mantiveram as resistências, resultando 21,2 MPa.

Com um tempo de cura maior, aos 28 dias de idade, é possível observar com evidência o avanço da resistência à compressão nas amostras.

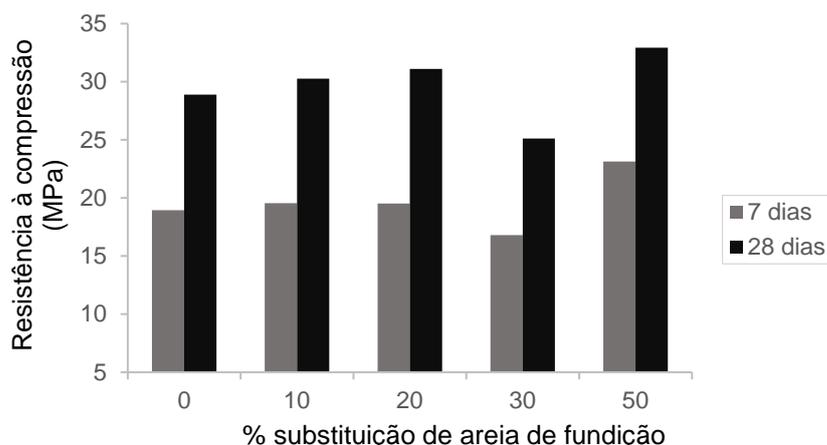
As misturas com até 20% apresentaram um crescimento de resistência considerável, chegando a um ganho de 7,5 MPa. Para as amostras com 30% e 50% de substituição os resultados foram semelhantes 32,70 MPa.

O aumento de resistência à compressão que a areia de fundição quebra de canal proporcionou às misturas de concreto é explicado por sua granulometria, pois, a areia de fundição apresenta grãos mais finos, com menos variações de tamanho, sendo mais uniformes e ocorrendo o tamponamento dos poros.

### 3.1.2 Concreto com areia de fundição tipo Macharia

Os resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias das misturas de concreto com substituição de 0%, 10%, 20%, 30% e 50% da areia de fundição Macharia estão apresentados no Figura 4.

Figura 4 - Resistência à compressão das amostras de concreto com areia de fundição (Macharia) aos 7 e 28 dias



Fonte: Autoras (2019)

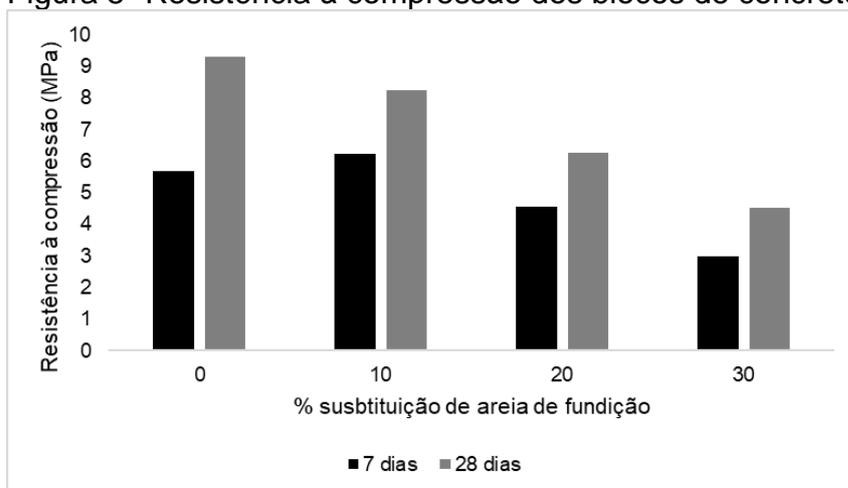
Ao analisar a resistência à compressão aos 7 dias, Figura 4, observa-se que a mistura com 30% teve queda de resistência quando comparada as demais. Porém o traço com 50% de substituição de areia natural por areia de macharia, obteve uma resistência de 23,13 MPa, resultando em aumento de 4,2 MPa quando comparado a referência.

Aos 28 dias, destaca-se o avanço da resistência nos concretos. O traço referência, como previsto à referida pesquisa resultou 28,89 MPa. A mistura com 30% de areia de fundição macharia, apresentou resistência inferior aos demais concretos. A maior resistência a composição com 50% de areia macharia, com resistência à compressão de 32,93 MPa.

### 3.2 Blocos de concreto com areia de fundição tipo quebra de canal

As amostras foram ensaiadas aos 7 dias e 28 dias, propositando comparar a evolução de reação nas composições. Ao verificar a ABNT NBR 6136 (2016), a qual exige resistência à compressão mínima de 4 MPa e máxima de 8MPa aos 28 dias, para blocos de concreto classe B, todas as composições enquadraram-se ao prescrito na normativa, Figura 5, entretanto as amostras referência e 10% de areia de fundição, foram superiores, resultando 9,31 MPa e 8,24 Mpa, respectivamente.

Figura 5- Resistência à compressão dos blocos de concreto aos 7 e 28 dias



Fonte: Autoras (2019)

Em análise comparativa entre as misturas de estudo, fixa-se como parâmetro a amostra referência com 5,67 Mpa de resistência à compressão. Comparando-a com as amostras de 20% e 30% de areia de fundição, expõem-se como resistência superior, entretanto, em relação à amostra 10% de areia de fundição torna-se inferior, pois esta atingiu uma resistência de 6,22 MPa aos 7 dias, Figura 5.

Quanto aos resultados de 28 dias todas as misturas obtiveram um aumento em acareação aos 7 dias, Figura 5. Verifica-se que, as composições referência e 10% de areia de fundição quebra de canal, resultaram em resistências à compressão de 9,31 MPa e 8,24MPa, respectivamente, sendo superiores ao prescrito na ABNT NBR 6136 (2016), consideram-se ótimas composições para blocos de concreto classe B.

### 3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectrometria de Energia Dispersiva de Raio-X– EDS

Aplicaram-se nas composições de concreto com 50% de areia de fundição e blocos de concreto com 10% de areia de fundição.

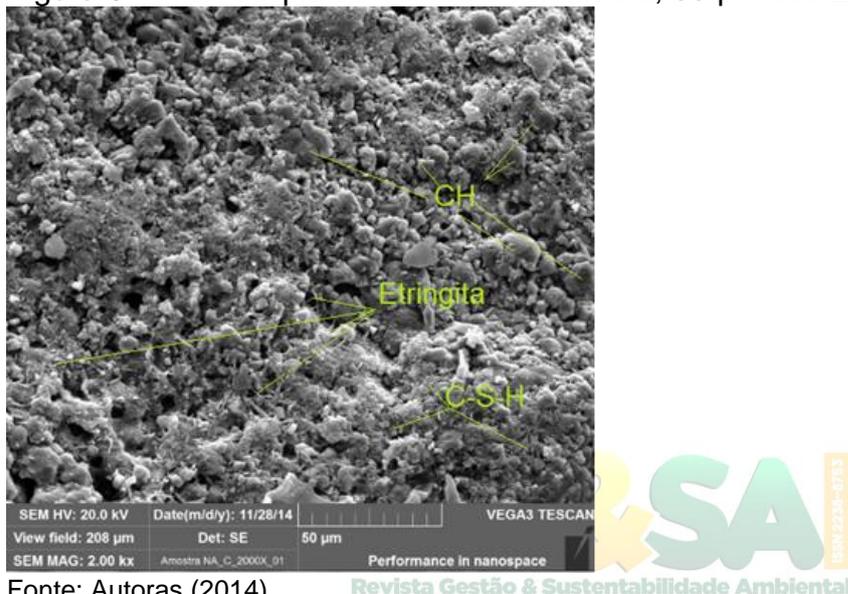
#### 3.3.1 Microestrutura e EDS nas amostras de concreto

Os principais compostos do cimento são o C3S, C2S, C3A e C4AF, ao adicionar água ao cimento, o primeiro composto a reagir é o C3A, responsável pela resistência em idades iniciais reagindo predominante até os 7 dias. Após os 28 dias a reação química predominante é do C2S, responsável pelas resistências em idades mais

elevadas. O C4AF atua na fase intersticial do clínquer, já o gesso, é quinto elemento no cimento, o qual atua como regulador da pega.

Analisa-se as composições na Figura 6, as quais referem-se a amostra referência. Já a Figura 7, representa a composição com 50% de areia de fundição macharia e, a Figura 8 apresenta a microestrutura da composição de concreto com 50% de areia de fundição quebra de canal.

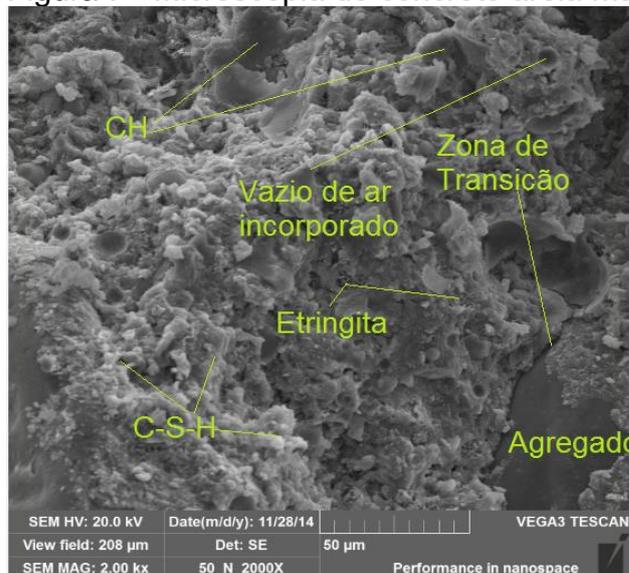
Figura 6 - Microscopia do concreto referência, 50 µm aos 28 dias



Fonte: Autoras (2014)

Verifica-se a presença de entregita, CH e C-S-H na amostra referência, Figura 6, sendo os mesmos compostos verificados na Figura 7.

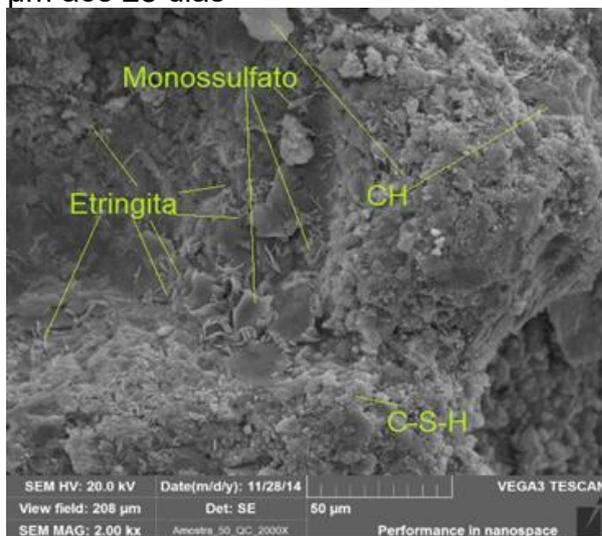
Figura 7 - Microscopia do concreto areia macharia, 50 µm aos 28 dias



Fonte: Autoras (2014)

Verifica-se na Figura 7 a presença de mais composto resultantes da hidratação dos materiais, assim como, na Figura 8.

Figura 8 - Microscopia concreto com 50% de areia de fundição quebra de canal, 50 µm aos 28 dias



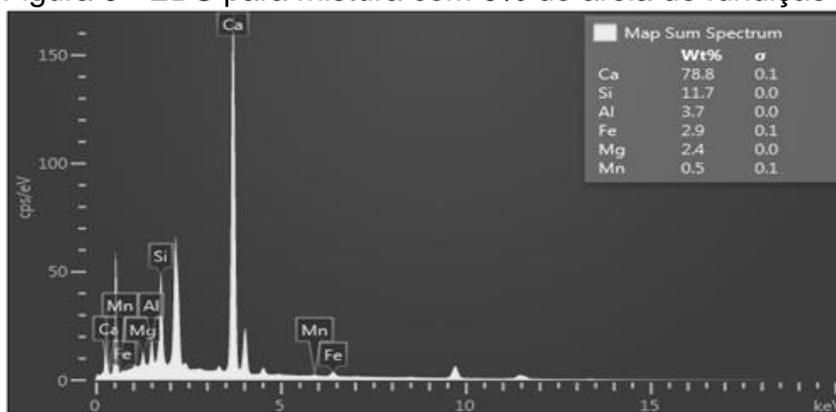
Fonte: Autoras (2014)

Observa-se que as misturas referência, Figura 6, 50% de Macharia, Figura 7, e 50% quebra de canal, Figura 8, obtiveram refinamento da pasta, com formação de um número mais elevados de cristais, principalmente grumos de C-S-H.

Esse aumento dos cristais elevou os níveis de resistência à compressão, indicando a reação entre a areia de fundição beneficiada e o CH, promovendo a criação de C-S-H secundários. Outro ponto relevante são o número elevado de etringita, que se transformam em monossulfatos, o que afirma as reações de hidratação na composição.

A Figura 9 apresenta o Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) para a mistura referência aos 28 dias.

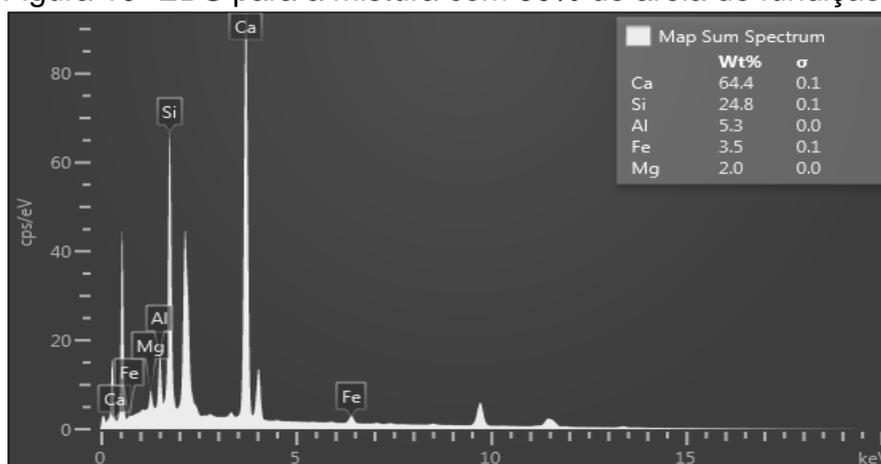
Figura 9 - EDS para mistura com 0% de areia de fundição



Fonte: Autoras (2014)

Verifica-se picos de compostos na Figura 9, assim como caracterizados como alongados, sendo as mesmas características na Figura 10, referente a mistura com 50% de areia de fundição macharia.

Figura 10- EDS para a mistura com 50% de areia de fundição macharia

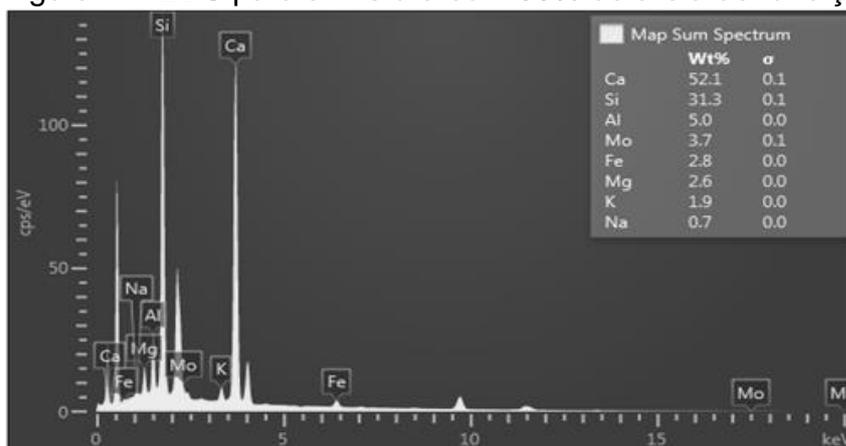


Fonte: Autoras (2014)

Na Figura 9, observa-se que os picos máximos foram de Sílicio e Cálcio, respectivamente, sendo estreitos e longos referenciando uma microestrutura.

Como apresentado na Figura 10, os resultados de EDS para o concreto com 50% de areia de fundição macharia, enquanto a Figura 11, apresenta o EDS, para a mistura de 50% com areia de fundição quebra de canal aos 28 dias de idade.

Figura 11- EDS para a mistura com 50% de areia de fundição quebra de canal



Fonte: Autoras (2014)

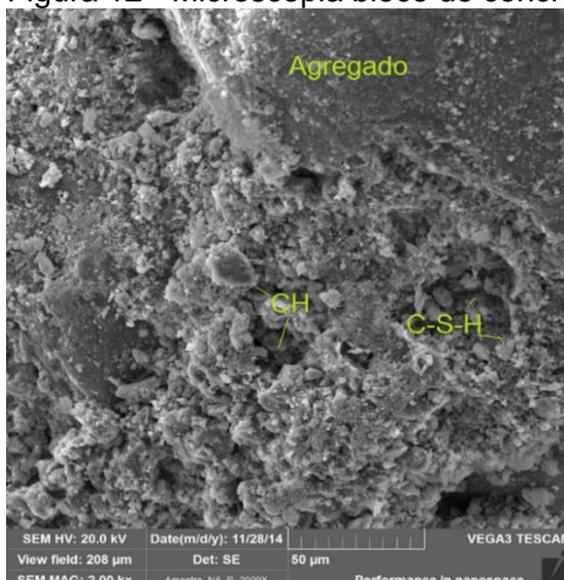
Analisando-se as Figuras 9, 10 e 11, observa-se que a presença de silício aumentou significativamente na mistura referência às misturas com areia de fundição (50%). Como as reações de hidratação foram mais intensas para a mistura com areia de fundição macharia, as quais resultaram nas maiores resistências à compressão, verifica-se que os picos de silício foram maiores, pois estes representam a presença do composto C-S-H.

Comparando-se as misturas areia natural e areia de fundição quebra de canal, observa-se que os picos de silício aumentaram e os picos de cálcio diminuíram, pois a reação química da areia de fundição beneficiada consome o CH, formando C-S-H menores, aumentando os níveis de resistência à compressão.

### 3.2.2 Microestrutura e EDS nas amostras de blocos de concreto

Nas composições dos blocos de concreto as amostras analisadas mais detalhadamente foram, amostra referência, Figura 12, e composição com 10% de areia de fundição quebra de canal, Figura 13, a qual apresentou os melhores resultados entre as composições com o resíduo.

Figura 12 - Microscopia bloco de concreto referência aos 28 dias

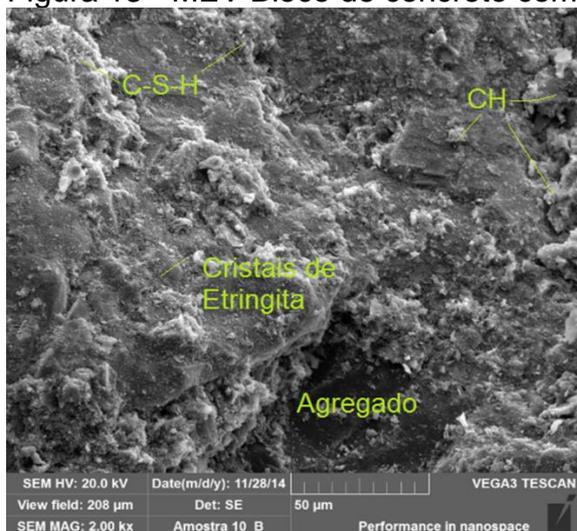


Fonte: Autoras (2014)

Observa-se, na Figura 12, a presença do agregado, o C-S-H e o CH. Os ensaios ocorreram aos 28 dias, não houve significativa parcela de contribuição do C2S na formação do C-S-H. Assim como o grau de ampliação utilizado, não se pode verificar detalhadamente os cristais individuais, apenas os grupos apresentados.

Entretanto verifica-se modificações na amostra com a mistura com 10% de areia de fundição, Figura 13.

Figura 13 - MEV Bloco de concreto com 10% areia de fundição aos 28 dias



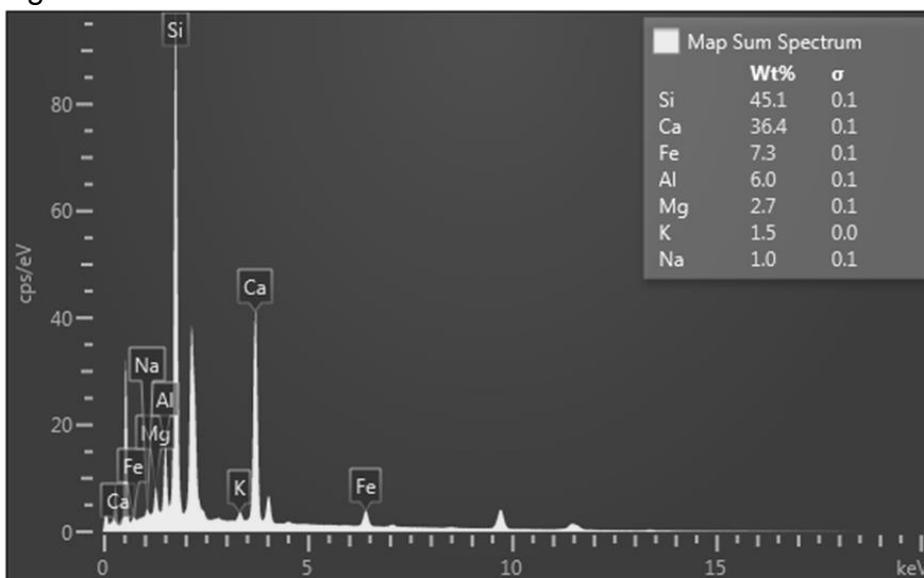
Fonte: Autoras (2014)

A Figura 13, apresenta a microscopia do bloco de concreto com 10% de areia de fundição em relação a amostra referência, Figura 12, verifica-se o refinamento da

pasta, com a formação de um número mais elevados de cristais, principalmente grumos de C-S-H. O aumento dos cristais elevou os níveis de resistência à compressão devido as reações entre a areia de fundição e os compostos de CH, promovendo a criação de C-S-H secundários.

Quanto as análises de Espectrometria De Energia Dispersiva De Raio-X (EDS) para a amostra referência, aos 28 dias, Figura 14, observa-se que os picos máximos foram de Silício e Cálcio, respectivamente, sendo picos estreitos e longos referentes a microestrutura.

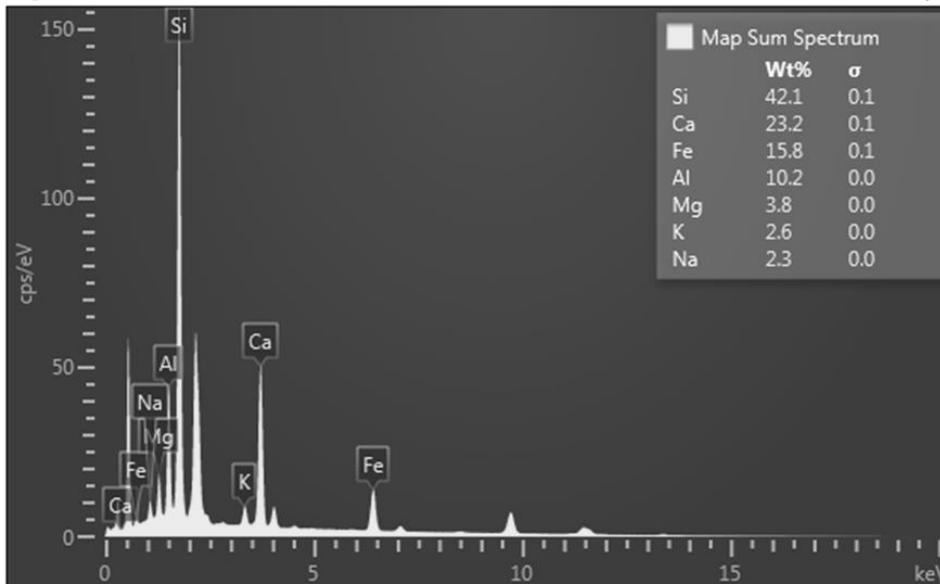
Figura 14- EDS da amostra de bloco de concreto referência



Fonte: Autoras (2014)

Já a Figura 15 apresenta a análise EDS aplicada na mistura com 10% de areia de fundição aos 28 dias, em análise visual ambas misturas apresentam uma desenvoltura próxima.

Figura 15- EDS do bloco de concreto com 10% de areia de fundição



Fonte: Autoras (2014)

Em análise comparativa, entre Figuras 14 e 15, observa-se que a presença de cálcio e silício aumentaram significativamente da amostra referência para a mistura com 10% de areia de fundição. As reações de hidratações, foram mais intensas na mistura 10% de areia de fundição, resultando nas maiores resistências à compressão, já, os picos de silício e cálcio foram maiores, pois estes representam respectivamente os C-S-H e CH.

### 3.3 Lixiviação

A ensaio de lixiviação foi aplicado nas composições que se realizou o ensaio de MEV-EDS, sendo nas amostras de concreto com 50% de substituição de areia natural por areia de fundição quebra de canal e macharia, já aos blocos de concreto, na composição 10% areia de fundição.

Os procedimentos especificados na ABNT NBR 10005 (2004), cada resultado de elementos presentes na mistura e analisados, comparados com os parâmetros estabelecidos na ABNT NBR 10004 (2004). Em ambas análises, com concreto e bloco de concreto, nenhum dos elementos presentes ultrapassaram o limite máximo indicado pela norma técnica, ambos classificando-se como Resíduo Não Perigoso-Classe II.

## 4 CONCLUSÃO

Com todos os resultados obtidos e analisados, conclui-se que é extremamente viável a utilização do resíduo industrial, areia de fundição, tanto do processo Quebra de Canal quanto Macharia, na produção de concretos e artefatos de concretos. Leva-se em consideração, que o reaproveitamento além de ser uma ótima alternativa para a diminuição do impacto ambiental, é uma solução economicamente vantajosa para a indústria de fundição, já que as empresas são responsáveis por descartar esses resíduos e pagam um preço alto para a manutenção dos aterros industriais.

No âmbito da indústria da construção civil, a produção do concreto e do bloco de concreto com a substituição da areia natural e granilha, respectivamente, por areia de fundição, também tendem a ter um custo menor, uma vez que o fabricante reduz a quantidade de matéria-prima natural e reutiliza um resíduo. Contudo, a sustentabilidade é destaque, pois há uma redução de materiais perigosos em contato com o solo e a retirada de matéria prima da natureza.

## REFERÊNCIAS

ABIFA, 2016. Fundação Brasileira de Assoc. (2016), p. 196. Disponível: [http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2016/09/revista\\_abifa\\_193.pdf](http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2016/09/revista_abifa_193.pdf)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS - **ABETRE**, Disponível em < <http://www.abetre.org.br/> >, acesso em 16 de abril de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 10.004**. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 77 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2017. 14 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2017. 9 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria. Rio de Janeiro, 2016. 10 p.

BHARDWAJ, B; KUMAR, P. **Waste foundry sand in concrete: a review**. Construction and Building Materials. v. 156, p 661-674. 2017.

- BITTENCOURT, T. N.. **Estudo experimental do fraturamento do concreto estrutural por meio de corpos de prova cilíndricos**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON. **CEB-FIP Model Code 1990**. London, Thomas Telford, 1993.
- CORNELL FRACTURE GROUP. **Franc3D Menu & Dialog Reference**. Cornell University, Ithaca, 1998.
- FERNANDES, C. A., et al.. Reforço de pilares de elevado do metrô de São Paulo, **41º Congresso Brasileiro do Concreto**. São Paulo, IBRACON, 1999.
- MATOS, P. R; MARCON, M. F; SCHANKOSKI, R. A; PRUDÊNCIO, L. P. **Novel applications of waste foundry sand in conventional and dry-mix concretes**. Journal of Environmental Management. v. 244, p 294-303. 2019.
- SHAH, S.P.; SWARTZ, S.E.; OUYANG, C.. **Fracture mechanics of concrete** - applications of fracture mechanics to concrete, rock and other quasi-brittle materials, New York, John Wiley & Sons, 1995.
- SIDDIQUE, R; SCHUTTER, G; NOUMOWE A. **Effect of used-foundry sand on the mechanical properties of concrete**. Construction and Building Materials . v. 23, p 976-980. 2009.
- TORRES, A; BARTLETT, L; PILGRIM, C. **Effect of foundry waste on the mechanical properties of Portland cement concrete**. Construction and Building Materials. v. 135, p 674-681. 2017.
- Y. GUNEEY, Y; SARI, Y.D; YALCIN, M; TUNCAN, A; DONMEZ, S. **Re-usage of waste foundry sand in high-strength concrete**. Waste Manag. v. 30. p 1705-1713. 2010.