

**UTILIZAÇÃO DA AREIA DE FUNDição PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO
PARA PAVIMENTAÇÃO**

**Angela Zamboni Piovesan (1); Carolina Gemelli (2); Maria da Luz Silva (3); Angela Borges
Masuero (4)**

- (1) Programa de Pós Graduação de Engenharia Civil – NORIE - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil – e-mail: angelazpiovesan@yahoo.com.br
- (2) Programa de Pós Graduação de Engenharia Civil – NORIE - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil – e-mail: cbgemelli@gmail.com
- (3) Programa de Pós Graduação de Engenharia Civil – NORIE - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil – e-mail: mluzpsilva@hotmail.com
- (4) Programa de Pós Graduação de Engenharia Civil – NORIE - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil – e-mail: bmasuero@cpgec.ufrgs.br

RESUMO

O aumento da industrialização tem provocado o crescimento significativo do número de resíduos gerados, onde a disposição final destes tem sido um problema enfrentado nos dias de hoje. Este estudo busca a utilização de um resíduo como substituto ao agregado miúdo na fabricação de blocos de concreto para pavimentação. A fim de analisar o desempenho da areia de fundição em substituição à areia fina nos blocos, constituíram-se dois traços, onde em cada um foram utilizados os dois tipos de areia, areia de fundição e areia natural. O traço 01 proposto por Pagnussat (2004) e o traço 02 estabelecido com base na NM 45- Determinação da massa unitária e dos espaços vazios. Através dos resultados do ensaio de compressão simples e ensaios ambientais aos 28 dias pode-se concluir que é possível a utilização da areia de fundição em substituição à areia fina na fabricação destes blocos uma vez que os mesmos atingiram resistências acima de 25 MPa. Desta forma um resíduo que é gerado abundantemente nas indústrias de fundição e que necessita de uma disposição final adequada, teria uma utilização na fabricação de blocos de concreto para pavimentação contribuindo economicamente e ambientalmente.

Palavras chaves: utilização de resíduo, areia de fundição, bloco de pavimentação.

ABSTRACT

The raise of the industrialization has been increasing significantly the number of produced waste, where the final disposal of this waste has been a problem faced nowadays. This study looks for the use of waste like a substitute to the fine aggregate in the manufacture of concrete pavement blocks. In order to analyze the performance of the foundry sand in substitution of the fine sand in the blocks, two compositions were constituted, where in each one two types of sand were used, foundry sand and regular sand. The composition 01 proposed by Pagnussat (2004) and the composition 02 established on basis of NM 45- Determination of unit mass and the empty spaces. Through the results of the test of simple compression to 28 days it is possible to conclude the potential use of the foundry sand in substitution of the fine sand in the manufacture of these blocks as soon as they reached resistances above 25 MPa. In this way a residue that is produced abundantly in the industries of fusing and that needs a final appropriate disposal, would have an use in the manufacture of concrete pavement blocks and would contribute economically and environmental.

Key words: waste utilization, foundry sand, pavement blocks

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos tempos, o grande impulso dado para o desenvolvimento de novas tecnologias e novos materiais nas mais diversas áreas, leva a que, especificamente, no ramo da Engenharia Civil, se tenham destacado vários trabalhos de pesquisa, focando-se na utilização e ou substituição de componentes construtivos por resíduos gerados tanto na construção civil como nas indústrias siderúrgica e metalúrgica. Daí a necessidade de reciclar e reutilizar resíduos industriais e de demolição/construção visando minimizar o impacto ambiental provocado pela deposição incorreta destes resíduos que, na maioria das vezes, apresentam na sua composição elementos tóxicos.

Segundo ABIFA (2003) apud Bitencourt (2006), a produção de fundidos, que são materiais produzidos através de ligas ferrosas (aço e ferro fundido) e não ferrosas (alumínio, cobre, zinco, magnésio entre outros), vem crescendo gradativamente ao longo dos anos, o que significa que os resíduos gerados por este setor também estão crescendo.

Na indústria metalúrgica, atualmente cerca de 85% das areias utilizadas no processo de moldagem das peças fundidas retornam ao sistema produtivo. As areias são reutilizadas, através do processo de recuperação das mesmas, necessitando assim, de apenas 15% de areia virgem. Essa recuperação das areias torna-se um ponto positivo tratando-se da questão ambiental, porém o volume de descarte desse material, após todo seu recurso ter sido aproveitado, é extremamente elevado. Dentre os resíduos gerados na indústria de fundição, a areia é sem dúvida o resíduo que apresenta maior volume, segundo Ceccatto (2003). Aproximadamente 80% das peças fundidas produzidas mundialmente se originam de moldes de areia aglomerada. Segundo dados de 2006, produzem-se mais de dois milhões de toneladas de peças fundidas, gerando cerca de 1,8 milhões de toneladas de areia descartada do processo industrial. Estes números demonstram a dimensão do problema enfrentado pelas indústrias de fundição, na área de preservação ambiental.

Este estudo busca a utilização da areia de fundição em substituição a areia fina, na fabricação de blocos de concreto para pavimentação, a fim de que a construção civil, que atualmente utiliza fontes naturais não renováveis como matéria-prima, possa vir a utilizar subprodutos, da indústria de fundição, como matéria-prima. E assim, a indústria de fundição que é grande geradora de resíduos, segundo Bitencourt (2006), poderia passar para posição de geradora de subprodutos com valor agregado, não apenas deixando de ser poluidora, mas também dando um exemplo de práticas ambientais.

Na pesquisa em que se baseia este artigo, trabalha-se a substituição de areia fina por areia de fundição, em blocos de concreto para pavimentação utilizando diferentes traços e diferentes relações a/c. Após a fabricação dos blocos os mesmos foram submetidos ao ensaio de compressão simples para avaliar sua resistência e também a ensaios ambientais de solubilização para a análise ambiental.

2 OBJETIVOS

O objetivo da pesquisa é analisar a viabilidade técnica da utilização da areia de fundição no processo de fabricação de blocos de concreto para pavimentação em substituição da areia fina. A análise foi feita com base nas características mecânicas de resistência à compressão dos blocos, bem como a relação a/c necessária para os mesmos apresentarem um bom acabamento final. Para tanto, a influência da substituição de areia fina por areia de fundição foi analisada em traços distintos e com relação a/c variável.

3 MATERIAIS UTILIZADOS

3.1 Caracterização do Resíduo Utilizado

A areia mencionada é utilizada na moldagem de peças de ferro fundido, fabricadas numa empresa no estado de Santa Catarina. Esta empresa possui um sistema de moldagem e macharia, onde são criados moldes e machos de areia para o vazamento do ferro fundido. Após a fundição, o ferro é vazado para estes moldes, cuja determinação do seu tipo de moldagem varia de acordo com as dimensões, especificações,

qualidade e acabamento superficial, e quantidade de peças a serem fabricadas. Essa moldagem é dividida em células de dois diferentes processos: moldagem com areia de cura a frio e moldagem com areia verde.

A areia fina é proveniente do litoral de Santa Catarina e, dentro do processo produtivo, ela é misturada com Triacetina (triacetato de glicerina) e resina fenólica, tornando-se a areia cura-frio (ACF), destinada para os machos e peças especiais, que exigem um melhor acabamento. Para moldes de peças mais simples, então é preparada a areia verde (AVD), que é a areia fina misturada com farinha de milho pré-gelatinizada e carvão.

O resíduo utilizado na pesquisa é proveniente da mistura das duas areias utilizadas no processo de fabricação dos moldes para a fundição das peças. Segundo laudo fornecido pela empresa (Tabela 1), o resíduo não possui características de inflamabilidade, apresenta pH igual a 10, sem características de corrosividade, não apresenta características de toxicidade, e é classificado segundo ensaio de solubilização como resíduo Classe II A – Não Inerte.

Tabela 1 - Resultados Laudo de Classificação do Resíduo fornecido pela empresa

Parâmetro	Amostra	Limites da NBR 10004/04
Caracterização Amostra Bruta		
pH 1:1 em água	10	2,0 - 12,5
umidade	0,78%	-
Caracterização Solubilizado		
cloreto	59,17 mg/L	250,00 mg/L
fenóis totais	0,067 mg/L	0,01 mg/L
sulfato	14,64 mg/L	250,00 mg/L
alumínio	1,83 mg/L	0,20 mg/L
bário	< 0,50 mg/L	0,70 mg/L
cádmio	< 0,0005 mg/L	0,005 mg/L
chumbo	< 0,005 mg/L	0,01 mg/L
cobre	< 0,10 mg/L	2,00 mg/L
cromo total	< 0,05 mg/L	0,05 mg/L
ferro	1,36 mg/L	0,30 mg/L
manganês	0,28 mg/L	0,20 mg/L
sódio	159,69 mg/L	200,00 mg/L
zinco	< 0,10 mg/L	5,00 mg/L

A viabilização da utilização desta areia de fundição para a fabricação de blocos de concreto deve também considerar o custo e transporte deste material. Por questões de transporte, o uso deste material, conforme especificado neste estudo, é mais viável, economicamente, em empresas locais da região meio oeste de Santa Catarina. Em termos de custo do material, por se tratar de uma areia que já foi utilizada pela indústria, a mesma pode ser adquirida por valores menores do que a areia fina virgem, material utilizado na fabricação de blocos. Assim, a substituição da areia fina por areia de fundição na confecção de blocos de concreto para pavimentação, vai diminuir o custo deste tipo de pavimento.

Este trabalho busca, dentro das normas estabelecidas, a possibilidade de uso desta areia de fundição, gerada após todo o seu recurso ter sido aproveitado, para confecção de blocos para pavimentação. Os blocos de concreto são materiais de construção constituídos por uma mistura de aglomerante, agregados e água, e desta forma se busca, neste estudo, a utilização deste resíduo como substituto à areia fina, procurando melhorar e ou acrescentar determinadas propriedades a todo o conjunto.

3.2 Outros Materiais Utilizados

Os demais materiais utilizados para confecção dos blocos de concreto para pavimentação foram: cimento CPV-ARI, justamente por ser o mais puro e comumente utilizado na fabricação de pré-moldados de concreto; pedrisco de origem granítica como agregado graúdo; areia média quartzosa do Rio Jacuí; areia

fina do litoral do Rio Grande do Sul. Tais materiais foram escolhidos por terem sido utilizados em pesquisas já desenvolvidas e estarem disponíveis no laboratório. A areia de fundição, conforme descrita anteriormente, foi utilizada em substituição à areia fina sem sofrer nenhum tratamento prévio, ou seja, in-natura.

4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

4.1 Caracterização dos Materiais

A análise granulométrica dos materiais e a massa específica foram realizadas conforme normas NM 45 (ABNT, 1995), NM 248 (ABNT, 2001) e NBR 9776 (ABNT, 1987a) em vigor, e os valores encontrados estão apresentados nas tabelas 2 a 5.

Tabela 2 – Distribuição granulométrica e caracterização física da areia média

GRANULOMETRIA DA AREIA MÉDIA			
Abertura	Quantidade (g)	% retida	% acumulada
4,8 mm	0,00	0	0
2,4 mm	8,30	3	3
1,2 mm	21,60	7	10
600 μm	64,70	22	32
300 μm	151,10	52	84
150 μm	44,70	15	99
< 150 μm	1,70	1	100

Dimensão Máxima Característica (DMC): 2,40 mm
 Massa Unitária (g/cm³): 1,53
 Massa Específica (g/cm³): 2,61
 Módulo de Finura: 2,28

Tabela 3 – Distribuição granulométrica e caracterização física da areia fina

GRANULOMETRIA DA AREIA FINA			
Abertura	Quantidade (g)	% retida	% acumulada
4,8 mm	0,00	0	0
2,4 mm	0,00	0	0
1,2 mm	1,90	1	1
600 μm	1,70	1	2
300 μm	48,2	16	18
150 μm	194,7	65	83
< 150 μm	51,0	17	100

Dimensão Máxima Característica (DMC): 600 μm
 Massa Unitária (g/cm³): 1,40
 Massa Específica (g/cm³): 2,62
 Módulo de Finura: 1,02

Tabela 4 – Distribuição granulométrica e caracterização física da areia de fundição

GRANULOMETRIA DA AREIA DE FUNDIÇÃO			
Abertura	Quantidade (g)	% retida	% acumulada
4,8 mm	0,00	0	0
2,4 mm	0,00	0	0
1,2 mm	0,00	0	0
600 μm	5,70	2	2
300 μm	59,3	20	22
150 μm	219,7	73	95
< 150 μm	14,5	5	100

Dimensão Máxima Característica (DMC): 600 μm

Massa Unitária (g/cm³): 1,37

Massa Específica (g/cm³): 2,28

Módulo de Finura: 1,19

Tabela 5 - Distribuição granulométrica e caracterização física do pedrisco

GRANULOMETRIA DO PEDRISCO			
Abertura	Quantidade (g)	% retida	% acumulada
9,5 mm	0,70	0	0
4,8 mm	269,20	27	27
2,4 mm	445,2	45	72
1,2 mm	263,20	26	98
600 μm	15,40	2	100
300 μm	2,80	0	100
150 μm	0,00	0	100
< 150 μm	0,00	0	100

Dimensão Máxima Característica (DMC): 9,50 mm

Massa Unitária (g/cm³): 1001,00

Massa Específica (g/cm³): 2,619

Módulo de Finura: 4,97

4.2 Preparação do Concreto

A fim de analisar o desempenho da areia de fundição em substituição à areia fina nos blocos, constituíram-se inicialmente dois traços, onde em cada um foram utilizados os dois tipos de areia.

O traço 01A utilizado foi proposto por Pagnussat (2004), sendo este o traço considerado ideal para o equipamento disponível no laboratório e os materiais empregados. O traço 01B foi constituído do traço 01A, entretanto substituindo 100% da areia fina utilizada por areia de fundição.

O traço 02A foi estabelecido com base no empacotamento granulométrico entre os agregados utilizados, onde se gerou uma composição ideal entre os mesmos, com menor índice de vazios e maior massa unitária (NM 45 – Agregados: Determinação da massa unitária e dos espaços vazios). O primeiro passo foi estabelecer a composição ideal entre a areia média e o pedrisco (Tabela 6), onde, de 100% do volume do recipiente utilizados no ensaio descrito na NM 45, a mistura de 35% de pedrisco e 65% de areia gerou o menor índice de vazios. Tendo como base esta composição (areia média e pedrisco), buscou-se agora, a porcentagem ideal de areia fina a ser inserida nesta mistura para que se obtenha a maior massa (Tabela 7).

Seguindo os mesmos procedimentos da NM 45, a composição ideal foi 20% de areia fina e 80% da mistura de areia média mais pedrisco. Desta forma para o traço 02B, a areia fina foi substituída pela areia de fundição em estudo. Os traços utilizados neste estudo estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 6 – Composição de massa unitária entre brita e areia média

Composição de massa unitária - 1				
%p	%a	peso areia (g)	peso brita (g)	peso final (g)
100	0	0,0	1400,0	1400,0
85	15	247,1	1400,0	1498,1
75	25	466,7	1400,0	1545,4
65	35	753,8	1400,0	1592,6
55	45	1145,5	1400,0	1615,9
45	55	1711,1	1400,0	1628,9
35	65	2600,0	1400,0	1630,0
25	75	4200,0	1400,0	1614,0

Tabela 7 – Composição de massa unitária entre composição 1 e ária fina

Composição de massa unitária - 2				
% comb.1	%af	peso areia (g)	peso comp. 1 (g)	peso final
100	0	0,0	1600,0	1600,0
90	10	177,8	1600,0	1677,8
85	15	282,4	1600,0	1696,9
80	20	400,0	1600,0	1723,7
75	25	533,3	1600,0	1702,1
70	30	685,7	1600,0	1701,0
65	35	861,5	1600,0	1693,5

Tabela 8 – Traços empregados para confecção dos blocos

TRAÇOS UTILIZADOS NA MOLDAGEM DOS BLOCOS (EM MASSA)							
TRAÇO	c	m	A	am	af	p	a/c
01 A*	1	4,56	3,50	2,80	0,70*	1,06	0,37
01 B**	1	4,56	3,50	2,80	0,70**	1,06	0,35
02 A*	1	4,47	3,20	2,30	0,90*	1,27	0,39
02 B**	1	4,47	3,20	2,30	0,90**	1,27	0,41

* Com areia fina

** Com areia de fundição

A relação a/c não foi fixada em função de não se ter conhecimento do comportamento dos materiais para a fabricação dos blocos. A quantidade de água foi estabelecida visando um melhor acabamento final dos blocos, ou seja, sem rebarbas e sem exudação de água, conforme Figura 1 (b).

4.3 Moldagem e Cura dos Blocos

Os blocos foram produzidos em uma vibro prensa PMB -10 Vibramaq, ilustrada na Figura 1 (a), com uma matriz Unystein, equipamento este disponível no laboratório de materiais do NORIE/UFRGS. Para cada traço de concreto foram produzidas três bandejas, com capacidade de produção de seis blocos de cada vez, assim em média foram conseguidos dezessete blocos, limitados em função da quantidade do material e capacidade da betoneira utilizada.



Figura 1 – Confecção (a) e acabamento final dos blocos (b)

A condição de cura foi de cura em ambiente de laboratório visando aproximar a mesma que é utilizada na produção dos blocos em fábricas, onde os mesmos são curados ao ar livre, porém protegidos da exposição direta do sol e da chuva.

4.4 Ensaios Realizados

Os blocos intertravados foram ensaiados quanto à resistência à compressão, única propriedade exigida para estes componentes quando utilizados em pavimentação (ABNT, 1997). Pelo fato dos blocos incorporarem resíduos, estes também foram submetidos ao ensaio de solubilização, baseados na NBR 10004 (ABNT, 2004).

Para o ensaio de resistência à compressão, as idades de ruptura foram estabelecidas conforme especificações conhecidas, geralmente utilizadas para blocos pré-fabricados. Além da idade característica de 28 dias estabelecida pela norma, foram escolhidas idades de 7 e 14 dias. Isso por que os blocos de pavimentação em geral necessitam de resistências altas nas primeiras idades, por questões comerciais. O procedimento seguido para ensaio dos blocos seguiu as recomendações propostas pela norma. Os blocos foram primeiramente capeados, Figura 2 (a), com argamassa de cimento e areia fina. Após a secagem do capeamento as peças foram imersas por 24 horas, Figura 2 (b), visando saturação completa no momento do ensaio.



Figura 2 – Preparo dos blocos intertravados para o ensaio de resistência à compressão (a) capeamento (b) imersão

Aos 28 dias, as peças foram submetidas ao ensaio de compressão, devidamente capeadas e saturadas buscando analisar o desempenho das mesmas frente a diferentes situações de exposição.



Figura 3 – Ensaio de resistência à compressão (a) vista geral (b) detalhe do bloco após ensaio

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

- **Resistência à compressão**

Conforme discutido anteriormente o ensaio realizado para avaliação do desempenho dos blocos foi o de resistência à compressão, uma vez que o mesmo é de fundamental importância na produção de blocos de pavimentação intertravados. Os resultados obtidos através da média do rompimento de 6 blocos estão expostos nas figuras 1 e 2.

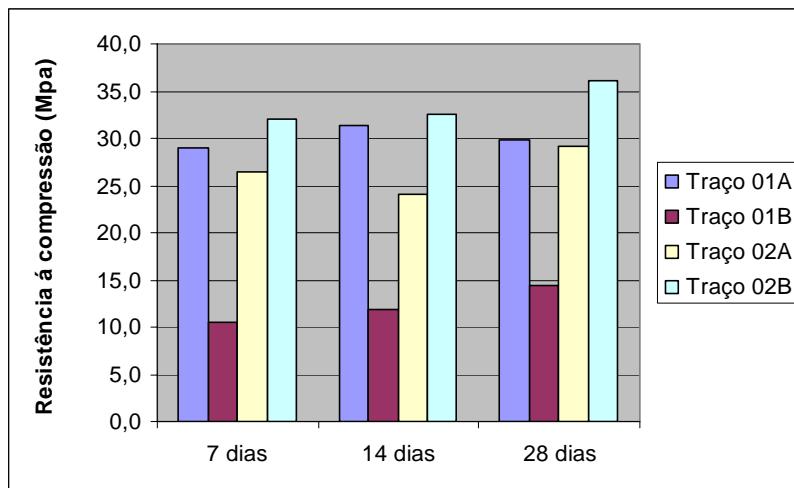


Figura 4 – Resistência à compressão dos blocos

Comparando os traços utilizados, observa-se que o traço obtido através da combinação granulométrica entre os agregados e com areia de fundição (Traço 02B) foi o que apresentou maior resistência à compressão em todas as idades, e isso se deve ao menor índice de vazios conseguido na composição entre os materiais, gerando uma menor porosidade no bloco.

O Traço 01A estabelecido por Pagnussat (2004) obteve bons resultados, para as diferentes idades, devido à utilização do mesmo equipamento de moldagem e utilização dos mesmos materiais para o traço com 0% de adição. Entretanto quando substituída a areia fina do traço por areia de fundição, Traço 01B, observa-se uma queda de resistência de aproximadamente 50%, sendo necessária uma reformulação do mesmo para a utilização do resíduo.

Tabela 9 – Resistência à compressão média e massas (kg) dos blocos nos diferentes traços

IDADES	7 dias	14 dias	28 dias	Massa média (kg)
	(MPa)			
Traço 01 A	28,95	31,29	29,83	3,86
Traço 01 B	10,55	11,94	14,34	3,55
Traço 02 A	26,49	24,05	29,19	3,80
Traço 02 B	32,05	32,53	36,10	3,92

A resistência dos blocos produzidos está diretamente associada à compacidade dos mesmos, e consequentemente ao menor número de vazios no concreto dos blocos, assim blocos mais pesados acabam apresentando maiores resistências. Este fato pode ser observado na Tabela 6, onde o Traço 02B demonstra este fato.

A figura 02 mostra o aumento de resistência dos blocos conforme o avanço nas idades de rupturas. Pode-se observar que o ganho de resistência já ocorre nas primeiras idades, em todos os traços. Isso é explicado pelo uso do cimento CPV-ARI, que por si já confere resistências altas aos primeiros dias. Durante o rompimento dos blocos Traço 02A aos 14 dias, supõe-se que tenha havido falha na colocação dos mesmos na prensa, onde a carga não foi distribuída corretamente. Isto se reflete nos baixos valores obtidos e apresentados no Gráfico 02, onde ao contrário do previsto a resistência à compressão diminuiu.

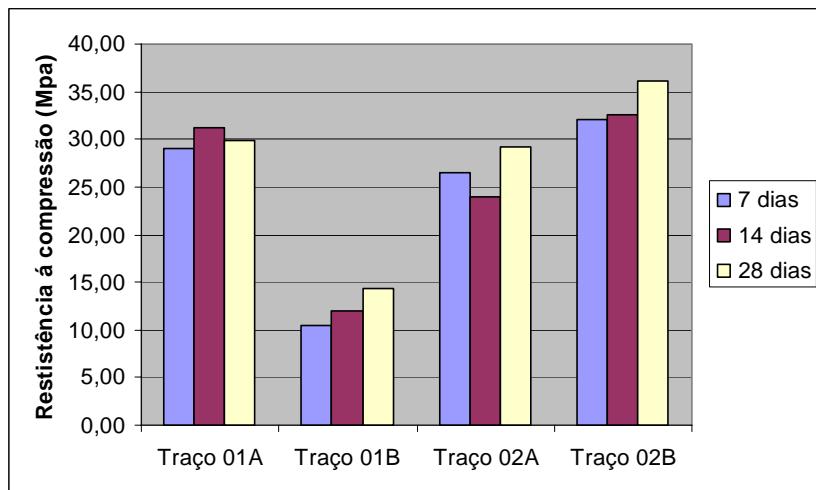


Figura 5 – Resistência à compressão conforme as idades de rompimento

Quanto à relação a/c se observou que os traços com areia de fundição exigiram maior quantidade de água para manter trabalhabilidade durante a moldagem dos blocos bem como para conferir bom acabamento final. Entretanto, a produção de blocos de concreto para pavimentação não segue a Lei de Abrams, e conforme citado por Pagnussat (2004), ela envolve uma tecnologia peculiar, onde geralmente se utilizam equipamentos de vibro-prensagem, em que um consumo maior de água pode contribuir para um melhor adensamento.

- **Solubilização**

Conforme exposto anteriormente, devido à caracterização do resíduo como classe II – não inerte, pelo fornecedor do mesmo, optou-se por realizar apenas o ensaio de solubilização. Assim o ensaio apresenta a caracterização química referente às concentrações máximas permitidas, para solubilização de certos elementos químicos, e assim este foi realizado de acordo com as normas NBR 10004 (ABNT, 2004) e NBR 10005 (ABNT, 1987b) em amostras de 28 dias de idade. Os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela .

Tabela 10 – Resultado do ensaio de solubilização

Parâmetros	Unidade	Amostra bloco	Limite Max. NBR 10.004
Zinco	mg/L	0,02	5,0
Sódio	mg/L	28	200
Alumínio	mg/L	0,62	0,2
Silício	mg/L	1,1	-
Sulfato	Mg/L	288	250

Pode-se observar na Tabela , que a amostra do bloco com areia de fundição apresentou teores de alumínio e sulfatos superiores ao limite especificado pela norma, o que não inviabiliza o uso do material, por não tratar-se de metais pesados, entretanto devem ser tomados cuidados, com relação ao transporte e disposição do material.

6 CONCLUSÃO

A reciclagem e a reutilização de resíduos industriais são, então, alternativas aos resíduos gerados e a seus problemas complementares. Além de resolverem questões ambientais, a minimização dos resíduos, também resolve questões de ordem econômica e social. Os “produtores” poderão proceder à venda destes resíduos a preços reduzidos ou mesmo reutilizá-los em outros setores das suas empresas, como, por exemplo, para pavimentação de áreas abertas das empresas ou outras localidades próximas. Evitando assim a disposição final incorreta destes resíduos e minimizando a utilização de recursos naturais escassos.

Neste trabalho, após a confecção dos blocos de pavimentação, os resultados demonstraram que, mais uma vez, é viável a reutilização da areia de fundição, um resíduo que em seu processo produtivo foi já esgotado o seu uso. Como descrito anteriormente, os blocos de pavimentação fabricados, com areia fina e com substituição dessa mesma areia por areia de fundição, foram sujeitos a ensaio de resistência à compressão e solubilização. Com base no ensaio de propriedade mecânica foi possível verificar que, com um ajuste de materiais é possível obter componentes com resíduos com mesmo desempenho aos tradicionais, como foi observado na fabricação do traço 02B, o qual foi estabelecido através da composição granulométrica dos agregados. Cabe importante ressaltar, que apesar de não ser exigência de norma, recomenda-se a realização de ensaios de absorção e resistência à abrasão.

7 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776**: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapmam. Rio de Janeiro, 1987a.
- _____. **NBR 9780**: Método de ensaio para determinação da resistência à compressão de peças de concreto para pavimentação. Rio de Janeiro, 1997.
- _____. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 10005**: Solubilização de Resíduos. Rio de Janeiro, 1987b.
- _____. **NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e dos espaços vazios. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. **NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001.
- BITENCOURT, D. **Estudo investigativo para Utilização de Areias de Fundição na Confecção de Concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia: Energia, Ambiente e Materiais, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2006.
- CECCATTO, D. M. **Avaliação da Utilização de Escória Granulada de Fundição (EGF) como Substituição de Parte do Cimento em Concreto**: propriedades mecânicas. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- PAGNUSSAT, D. T. **Utilização de Escória Granulada de Fundição em Blocos de Concreto para Pavimentação**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.