

PRODUÇÃO DE ARGAMASSA ADITIVADA COM RESÍDUO DE FIBRA DE VIDRO PÓS - PROCESSADA

EIGI MUNIS OKADA⁽¹⁾; PEDRO APOLINÁRIO CHIBLI⁽²⁾; LUCAS AUGUSTO DE CASTRO
BASTOS⁽³⁾; RENATA FRANK ELIANE⁽⁴⁾; WANNA CARVALHO FONTES⁽⁵⁾; RICARDO
ANDRÉ FIOROTTI PEIXOTO⁽⁶⁾

⁽¹⁾ UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto – eigi.m.okada@hotmail.com ; ⁽²⁾ UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto – pedrochibli@hotmail.com; ⁽³⁾ UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto – bastoseng@yahoo.com; ⁽⁴⁾ VALE – renata.frank@vale.com; ⁽⁵⁾ UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto – wannarquit@gmail.com; ⁽⁶⁾ UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto – ricardofiorotti@em.ufop.br

RESUMO

Estima-se que pouco mais que metade dos materiais extraídos da natureza retorna como resíduos, pois todo produto, no final de sua vida útil, se transforma em lixo ou resíduo pós-uso, gerando assim problemas ambientais. Em contrapartida a este contexto, o projeto visa encontrar métodos adequados para a reutilização de sucata de fibra de vidro através da sua incorporação em matrizes cimentícias, atuando como agregados e/ou adições. Através de uma metodologia baseada em normas de argamassas destinadas a revestimentos e assentamentos, sendo que os resultados obtidos forneceram subsídios necessários para formação de recursos humanos especializados no tratamento e manejo de resíduos sólidos de fibra de vidro, bem como dados que comprovam a viabilidade técnica da aplicação das argamassas em obras de engenharia. Ao atingir bons resultados, além de cumprir o objetivo de reduzir a extração de materiais naturais e o volume de resíduos gerados, contribuir-se-á para geração de novos materiais tecnológicos.

Palavras-chave: Fibra de vidro, reutilização, matriz cimentícia.

PRODUCTION FROM WASTE WITH MORTAR ADDITIVED FIBERGLASS POST PROCESSED

ABSTRACT

It is estimated that slightly more than half of the materials extracted from nature returns as waste, because every product, at the end of its useful life, inevitably turns into garbage or waste after use, thus generating various environmental problems. In contrast to this context, the project aims to find appropriate methods for reusing scrap glass fiber through its incorporation in cementitious matrices, acting as aggregates and/or additions. Through a methodology based on standards of mortars and coatings designed to settlements, since the results obtained provided information necessary for the formation of human resources specialized in the treatment and solid waste management fiberglass, as well as data that prove the technical feasibility applying the mortar in current engineering works. To achieve good results, in addition to meeting the goal of reducing the extraction of natural materials and environmental waste volume generated, simultaneously, will contribute to the generation of new technological materials.

Keywords: Fiberglass, reuse, cement matrix.

1. INTRODUÇÃO

A geração de sucata de materiais compostos com fibra de vidro (MCFV) tem crescido consideravelmente nos últimos anos. Segundo dados do FEAM, no período de um ano, o estado de Minas Gerais gerou entorno de 104,160t de resíduos de vidro⁽¹⁾. Por ser pouco explorado seu reaproveitamento, o resíduo de MCFV demanda grandes áreas de disposição para descarte. Situação esta preocupante em vista aos inúmeros problemas ambientais gerados.

Ao coletar este resíduo, tratá-lo e destiná-lo à um (re)uso adequado, pretende-se neste projeto viabilizar métodos e produzir conhecimento necessário para manuseio e aplicação deste material.

Argamassas produzidas com cimento Portland apresentam custo relativamente baixo, e isto aliado à grande resistência à compressão e boa rigidez, tornam este material estruturalmente adequado à construção civil. Contudo, este material possui características deficientes tais como: resistência à tração, ao impacto, à fadiga, além de baixa tenacidade e ductibilidade⁽²⁾. Ao incorporar as fibras pós-processadas às matrizes cimentícias pretende-se um incremento dessas deficiências mecânicas de argamassas e concretos proporcionado pelas características inerentes as fibras.

Contudo, “A fibra de vidro tipo E (elétrico), algumas vezes chamada de convencional, tem inadequada resistência ao meio alcalino da matriz de cimento Portland, causando uma deteriorização das propriedades mecânicas e fazendo com que a fibra de vidro convencional perca sua flexibilidade e sua resistência à tração, o que fragiliza todo o compósito”⁽³⁾. Mesmo havendo esta degradação, pretende-se com este trabalho produzir resultados que viabilizem a utilização do resíduo de MCFV como adições para produção de argamassa.

A partir de concepções viáveis dentro dos eixos econômicos e socioambientais, planejou-se uma metodologia capaz de caracterizar física e quimicamente as fibras de vidro pós-processadas, tanto separadas quanto incorporadas aos artefatos cimentícios. Entende-se por eixos econômicos e ambientais a atual necessidade de reduzir resíduos industriais sem impedir o progresso tecnológico, diminuindo, assim, o impacto ambiental promovido pelo descarte deste material e reduzindo os custos de produção de argamassas para a crescente demanda da construção civil.

2. MATERIAIS

Os ligantes utilizados para produção das argamassas experimentais foram o cimento CP IV 32 RS e a cal hidratada aditivada CH I tipo magnésiana ($0,65 \leq \text{CaO} \leq 0,9$), com $\text{CaO} = 72,4\%$. A areia natural utilizada como agregado nas argamassas é procedente do Rio Piranga, região de Ponte Nova, Minas Gerais. Optou-se por esses materiais pela disponibilidade e possibilidade de replicação dos resultados desta pesquisa.

As fibras de vidros do tipo EGlass são constituídas por diversos óxidos, tais como SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , B_2O_3 , MgO , CaF_2 , Na_2O e K_2O . A Tabela 1 ilustra a concentração desses componentes nas fibras de vidro do tipo EGlass⁽⁴⁾.

Tabela 1 – Concentração dos componentes da fibra de vidro

Componente	SiO_2	Al_2O_3	CaO	B_2O_3	MgO	CaF_2	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$
Concentração	59%	13%	22%	5%	4%	1%	1%

O resíduo de MCFV utilizado nesse experimento como aditivo/adição para argamassas, foi obtido do pós-processamento de peças estruturais produzidas comercialmente com fibras de vidro. De acordo com Carvalho, “as fibras de vidro são obtidas através da passagem do vidro fundido por pequenos orifícios revestidos de platina e posteriormente soprados. Dependendo do diâmetro dos orifícios e da pressão de insuflamento obtêm-se fibras de diversos diâmetros até a lã de vidro.”⁽⁵⁾

As peças de fibra de vidro recebidas como sucatas para estes experimentos consistiam em peças estruturais como vigas, pilares placas e dispositivos acessórios (flanges e conectores). É importante ressaltar que a produção destas peças compostas com fibra de vidro utilizam, como ligantes, resinas poliméricas de diversas composições e características. Considerando que as sucatas utilizadas neste projeto não são separadas segundo sua diversidade, ao triturar, moer e peneirar as sucatas in-natura, o material resultante contém, além das fibras de vidro, uma composição mista de vários polímeros termofixos reduzidos a um material fino e homogêneo. A Figura 1 evidencia a diversidade de peças coletadas.

Figura 1 - Sucatas de Fibra de vidro.



3. METODOLOGIA

3.1. Preparação do material

As amostras do resíduo de MCFV foram enviadas ao laboratório de materiais de construção em lotes identificados, coletados de acordo com a NBR 10007/2004⁽⁶⁾. Para processamento deste material foram utilizados trituradores sequenciais e moinhos para cominuição das adições. As peças obtidas foram separadas granulometricamente conforme a NBR 7217/1987⁽⁷⁾. As frações finas, com diâmetro máximo de 0,075mm (peneira #200), foram utilizadas nas argamassas como adição e em substituição da cal. A Figura 2 mostra os materiais resultantes do processamento do resíduo de MCFV com diferentes granulometrias.

Figura 2 - Materiais resultantes do processamento do resíduo de MCFV.



3.2. Dimensionamento dos traços

O método utilizado para dosagem dos traços das argamassas foi o estabelecido pela BS (British Standards)⁽⁸⁾, dosagens segundo proporção 1:3, em massa. Para os traços das argamassas compostas com cimento e areia, utilizou-se o resíduo (MCFV) como adição, segundo proporções 0%, 5%, 10%, 20% e 50%, conforme indicado na Tabela 2.

Tabela 2 - Traços com adição de Fibra de Vidro (massa).

Traço	adição	cimento	Areia	Adição
TA0	Natural	1	3	0
TA5	FV	1	3	0,05
TA10		1	3	0,1
TA20		1	3	0,2
TA50		1	3	0,5

Já nos traços de argamassas mistas, nos quais se utilizou como ligante a cal hidratada aditivada CH I em proporção 1: 1: 6 houve a substituição gradativa da cal pelo resíduo

(MCFV) segundo proporções 0%, 5%, 10%, 20% e 50%, 100%, conforme indicado na Tabela 3.

Tabela 3 - Traços com substituição da cal por Fibra de Vidro (massa).

Traço	Substituição	cimento	cal	Substituição	Areia
TS0	Natural	1	1	0	6
TS5	FV	1	0,95	0,05	6
TS10		1	0,9	0,1	6
TS20		1	0,8	0,2	6
TS50		1	0,5	0,5	6
TS100		1	0	1	6

Foram produzidos traços naturais (TA0 e TS0), sem adições ou substituições, a fim de servirem como referencia em comparação aos resultados das argamassas aditivadas.

A quantidade de água necessária para execução das argamassas foi determinada através do ensaio de índice de consistência, onde se procurou atingir consistência com abertura de espalhamento de 260 ± 5 mm, NBR 13276/2005⁽⁹⁾.

3.3. Consistência

Afim de produzir argamassas que apresentem características idênticas de trabalhabilidade foi realizado o ensaio para determinação do índice de consistência para cada um dos traços experimentais, NBR 13276/2005⁽⁹⁾.

3.4. Densidade de massa aparente no estado endurecido

A densidade de massa aparente no estado endurecido foi determinada segundo prescrições da NBR 13280/2005⁽¹⁰⁾.

3.5. Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado segundo prescrições da NBR 7215/1996⁽¹¹⁾; no qual três corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 5,0cm (diâmetro) x 10,0cm (altura) foram desmoldados após 24h e submetidos à cura em câmara úmida, à temperatura de 29,7°C e umidade relativa de 100%, por 28 dias, até a ruptura.

Após período de cura, as superfícies dos corpos-de-prova foram capeadas e, rompidos a uma carga constante e taxa de carregamento de 0,5N/m, com auxílio do dispositivo de RILEM para compressão axial.

3.6. Resistência à tração na flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado segundo prescrições da NBR13279/2005⁽¹²⁾; no qual três corpos-de-prova prismáticos com dimensões de 4,0cm (comprimento) x 4,0cm (altura) x 16,0cm (largura) foram desmoldados com 24h e submetidos à condição de cura em câmara úmida à temperatura de 29,7°C e umidade relativa de 100%, para idade de 28 dias.

Após período de cura os corpos de prova foram submetidos à tração na flexão com carga constante e taxa de carregamento de 0,2N/m.

3.7. Capilaridade

O ensaio de capilaridade foi realizado segundo especificações da NBR 15259/2005⁽¹³⁾ afim de determinar o coeficiente de capilaridade das argamassas ensaiadas.

4. RESULTADOS

4.1. Consistência

Segundo a NBR 13276/2005⁽⁹⁾, o índice de consistência da mistura foi determinado em mesa de fluxo para espalhamento de 260 ± 5 mm. As Tabelas 4 e 5 apresentam, em porcentagem, as quantidades de água necessárias para os traços 1:3 e 1:1:6 respectivamente.

Tabela 4 - Quantidade de água das misturas, traços 1:3.

Traço	Adição	Porcentagem de adição	Água (%)
TA0	Natural	0%	80
TA5	FV	5%	69
TA10		10%	66
TA20		20%	69
TA50		50%	77

Tabela 5 - Quantidade de água das misturas, traços 1:1:6.

Traço	Substituição	Porcentagem de substituição	Água (%)
TS0	Natural	0%	160
TS5	FV	5%	161
TS10		10%	161
TS20		20%	150
TS50		50%	134
TS100		100%	133

Nota-se que a adição de fibras de vidro proporcionou maior plasticidade aos traços, como no TA10, com redução de 17,5% da água de amassamento, e no traço TS100, com redução de 16,8% da água de amassamento.

4.2. Densidade do estado endurecido

A densidade no estado endurecido foi determinada segundo NBR 13280/2005⁽¹⁰⁾. Os Gráficos 1 e 2 apresentam os dados obtidos respectivamente dos traços 1:3 com adição de fibra de vidro e dos traços 1:1:6 com substituição gradual da cal por fibra de vidro.

Gráfico 1 - Densidade no estado endurecido, traços 1:3, adição.

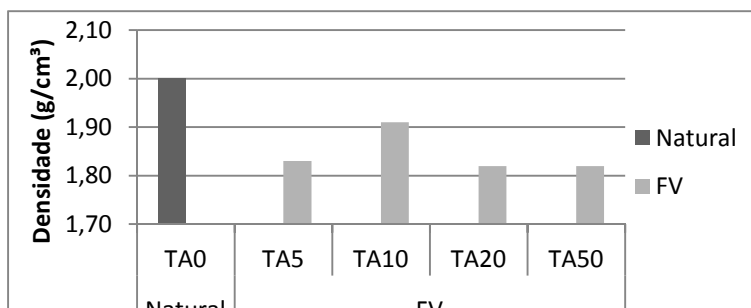
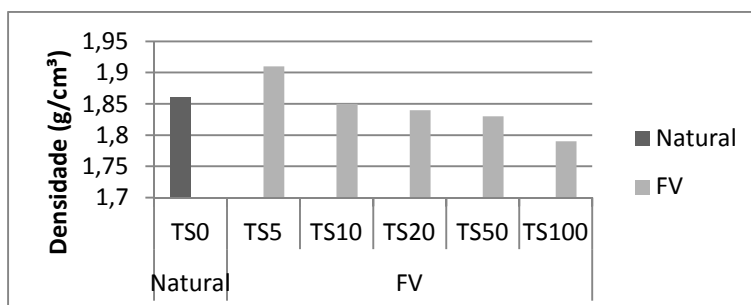


Gráfico 2 - Densidade no estado endurecido, traços 1:1:6, Substituição.



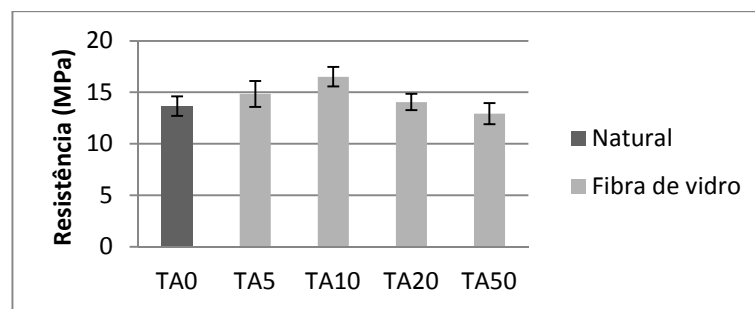
Com exceção do traço TS5, nota-se uma redução de densidade nas argamassas produzidas com MCFV em comparação com os traços comparativos naturais; com

destaque aos traços com adição TA20 e TA50, ambos com reduções de 9%, e ao traço de substituição da cal TS100, com redução de 3,76%.

4.3. Resistência à compressão e à tração na flexão

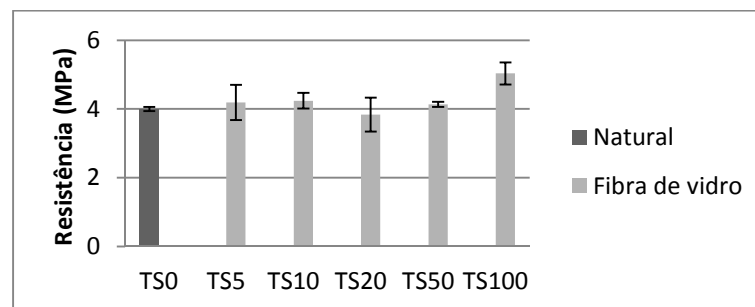
Os resultados de resistência à compressão representam valores médios para cada traço conforme NBR 7215/1996⁽¹¹⁾. Os Gráficos 3 e 4 que correspondem à resistência à compressão dos traços com adição e dos traços com substituição, respectivamente.

Gráfico 3 – Resistência à compressão (MPa), traços 1:3, adição.



Todos os traços aditivados com fibra de vidro apresentaram melhor desempenho mecânico, exceto para a adição de 50%.

Gráfico 4 – Resistência à compressão (MPa), traços 1:1:6, Substituição.

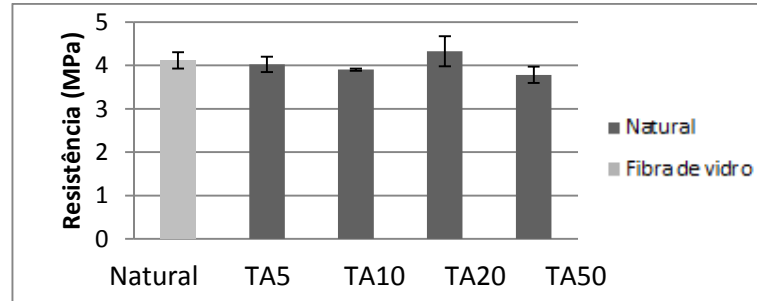


Para os traços produzidos com substituição da cal pela fibra de vidro, verificou-se apenas para o traço TS100 incremento na resistência à compressão, enquanto os traços TS5, TS10, TS20 e TS50 apresentaram resultados estatisticamente idênticos ao traço natural.

Os resultados de resistência à tração na flexão representam valores médios para cada traço conforme NBR13279/2005⁽¹²⁾. Os Gráficos 5 e 6 correspondem à resistência à

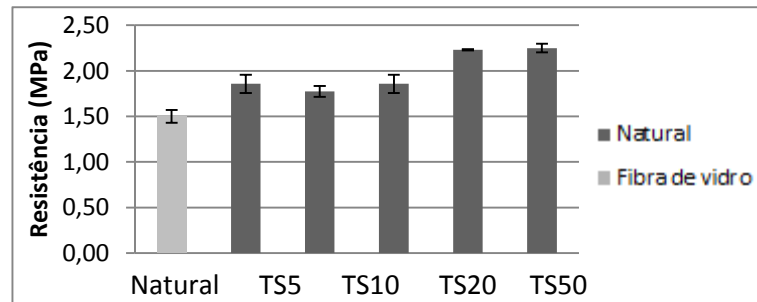
tração na flexão dos traços 1:3 com adição e dos traços 1:1:6 com substituição da cal, respectivamente.

Gráfico 5 – Resistência à tração na flexão (MPa), traços 1:3, adição.



Apenas o traço com adição de 20% de fibra de vidro TA20, apresentou melhor comportamento relativamente à tração na flexão, comparativamente ao traço natural. Os demais tratamentos apresentaram resultados estatisticamente inferiores.

Gráfico 6 – Resistência à tração a flexão (MPa), traços 1:1:6, substituição.

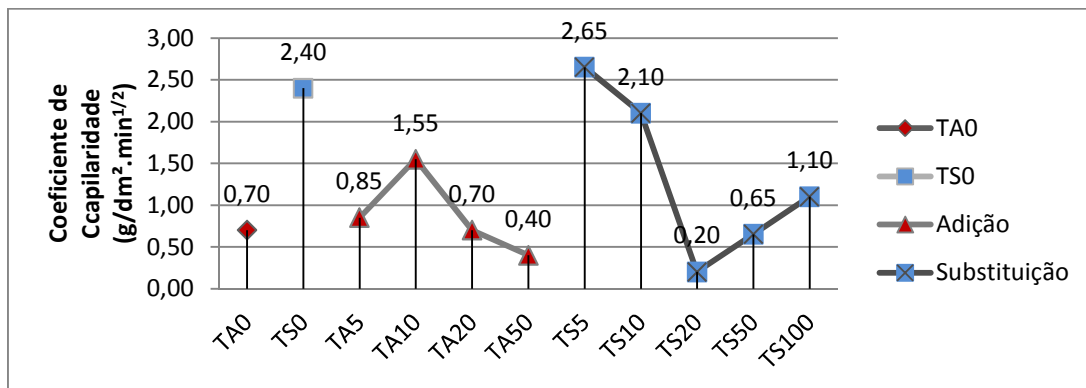


A substituição da cal por fibra de vidro proporcionou incremento dos resultados para resistência a tração na flexão para todos os tratamentos, sendo que maiores teores produziram melhores resultados; aumentos de 24%, 18%, 24%, 48,7% e 50% respectivamente dos traços TS5, TS10, TS20, TS50 e TS100

4.4. Capilaridade

O ensaio de capilaridade foi realizado com os corpos de prova prismáticos de 40mm x 40mm x 160mm inseridos em uma lâmina de água de 5 ± 1 mm, como especificado na NBR 15259/2005⁽¹³⁾. O gráfico 7 apresenta, de maneira comparativa com os traços “naturais”, os coeficientes de capilaridade alcançados para os traços com adição de fibra de vidro e substituição da cal por fibras de vidro.

Gráfico 7 - Capilaridade – traços 1:3 e 1:1:6.



Nos traços de adição TA5 e TA10 apresentaram aumento de absorção de água por capilaridade. Por sua vez, TA20 apresentou mesmo coeficiente de capilaridade, e TA50 obteve uma redução de 42,85% do coeficiente de absorção por capilaridade em relação ao TA0 (comparativo).

Já nos traços de substituição, apenas TS5 apresentou resultado maior do que TS0. Os traços TS10, TS20, TS50 e TS100 apresentaram, respectivamente, redução de 12,5%, 91,6%, 72,9% e 54,2% no coeficiente de capilaridade em relação ao comparativo natural.

4.5. Viabilidade

O processo de obtenção das fibras apresentou-se viável, pois além de possuir baixo custo, o processamento utiliza métodos convencionais, como a trituração, a moagem e o peneiramento. A utilização de materiais de tipos comumente encontrados no mercado, como a areia, a cal e o cimento, tornam a reprodutibilidade dos produtos finais deste projeto acessíveis e viáveis.

Em comparação com outros projetos semelhantes que envolvem a utilização de fibra de vidro em matrizes cimentícias, este projeto possui caráter inovador devido à origem do material. Ao utilizar a sucata de fibra de vidro ao invés da fibra de vidro à venda no mercado, incorpora-se um caráter socioambiental fundamental para o atual contexto econômico do Brasil.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Considerando que os parâmetros de plasticidade e resistências são melhores quanto maior a porcentagem, em quanto à densidade e a capilaridade agem de maneira contrária. Os resultados expressos em porcentagem foram calculados em relação com os traços naturais.

TA5 e TA10 obtiveram incrementos de 13,75% e 17,50% em plasticidade, 8,60% e 20,80% na resistência à compressão, 21,42% e 121,42% na capilaridade respectivamente. E tiveram decréscimos de 8,50% e 4,50%, na densidade, e de 2,20% e 5,30% na resistência à tração na flexão respectivamente.

TA20 obteve incrementos em plasticidade e nas resistências à compressão e à tração na flexão de 13,75%, 2,80% e 5,10% respectivamente. Além de decréscimo na densidade de 9,00% e valores nulos na capilaridade.

TA50 incremento de 3,75% em plasticidade e decréscimos de 9,00%, 5,30%, 8,25% e 42,85% para densidade, resistência à compressão, resistência à tração na flexão e capilaridade respectivamente.

Os traços com substituição da cal por fibra de vidro apresentaram os seguintes valores: TS5 obteve incrementos de 2,68% na densidade, 4,75% na resistência à compressão, 24,00% na resistência à tração na flexão e 10,41% na capilaridade.

TS10 apresentou incrementos de 6,00% na resistência à compressão e 24,00% na resistência à tração na flexão. E apresentou decréscimos de 0,62%, 0,53% e 12,50% em plasticidade, densidade e capilaridade respectivamente.

TS20 obteve incrementos em plasticidade e na resistência à tração na flexão de 6,25% e de 24,00% respectivamente. Decréscimos de 1,07% em densidade, 4,25% na resistência à compressão e 91,60% na capilaridade.

TS50 apresentou incrementos de 16,25% em plasticidade, 3,25% na resistência à compressão e 48,70% na resistência à tração na flexão.

TS100 apresentou os melhores parâmetros, constituindo incrementos de 16,87% na plasticidade, 25,75% na resistência à compressão e 50,00% na resistência à tração na flexão. Além de decréscimos de 3,76% na densidade e 54,20% na capilaridade.

6. CONCLUSÃO

Ao apresentar uma solução econômica e ambientalmente eficiente para o descarte de um resíduo industrial, este projeto tem por objetivo uma metodologia adaptada a normatização brasileira, de forma que se possam indicar alternativas viáveis para a destinação adequada dos resíduos industriais estudados.

Por se tratar de um resíduo de MCFV e não fibra de vidro comercializada inverte-se o conceito de viabilidade de incorporação. Ou seja, ao adquirir fibras no mercado, o processo final torna-se viável com quantidades pequenas de material. Já ao destinar um resíduo produzido em grande escala, o processo final torna-se mais eficiente quanto mais resíduo for incorporado. Esta diferença tornou a pesquisa inovadora por testar matrizes de cimento Portland com maiores e variadas porcentagens de fibras de vidro recicladas. Contudo, também acarreta dificuldades de comparação entre resultados de projetos que visam à incorporação de fibras de vidro em matrizes cimentícias.

Na análise dos resultados até agora alcançados, destaca-se o traço com substituição total da cal (TS100), cujos resultados foram relativamente bons. Isto sugere que a cal e o resíduo processado de MCFV não possuem boa interação dentro de uma matriz cimentícia. Mas separados podem ser comparados em relação as suas qualidades de incorporação. Apesar de ainda haverem ensaios a serem realizados para concluir o custo benefício da substituição da cal pelo resíduo processado de MCFV, aparentemente esta substituição pode ser realizada com ganhos de plasticidade, resistência à compressão e tração, diminuição da densidade e da capilaridade. Além disso, do ponto de vista ambiental, o resíduo aqui estudado possui outra grande vantagem sobre a cal; é feito com material reciclável.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio e fomento concedidos pela FAPEMIG, UFOP, RECICLOS e Fundação Gorceix.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Industriais**. Belo Horizonte, 2010.
2. METHA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. – **Concreto estrutural, propriedades e materiais**. Editora PINI. São Paulo. 1994
3. PERUZZI, A. P. – **Comportamento das fibras de vidro convencionais em matriz de cimento Portland modificada com látex e adição de sílica ativa**. Dissertação (Mestrado). São Carlos, 2002
4. OWENS CORNING. Disponível em <http://www.owenscorning.com/>, acessado em 7 de março de 2013.
5. CARVALHO, E. F. T. – **Apostila da disciplina de materiais de construção II**. 2008.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**. Amostragem de Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**. Agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987 NEVILLE, A. M. – **Propriedades do concreto**. 2ª edição. Editora PINI. São Paulo. 1997
8. BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI) - **BS 4551**. Methods of testing mortar screeds and plasters. Londres, 2005
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**. Cimento Portland - determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.
13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.