

ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE UM COMPÓSITO CIMENTÍCIO LEVE REFORÇADO COM FIBRAS DE PIAÇAVA

Regilan Meira Silva
Ricardo de Carvalho Alvim
Dany Sanchez Dominguez

RESUMO: Atualmente, uma grande quantidade de resíduos sólidos é descartada no meio ambiente. Um desses resíduos é o EVA (Etil Vinil Acetato) que tem na indústria calçadista seu principal consumidor. O volume crescente de resíduos de EVA descartados compromete o meio ambiente, seja pela geração de resíduos tóxicos ou acúmulo de material não degradável. Estudos estão voltados ao reaproveitamento destes materiais, especialmente na Construção Civil, onde este material pode ser empregado como agregados leves para a produção de Argamassas Leves. Devido às características específicas do concreto leve, surge a necessidade de reforço desses materiais. A palmeira *Attalea funifera Martius*, conhecida por piaçava, pode representar uma excelente alternativa como elemento de reforço em misturas de cimento leve. Neste trabalho, verifica-se a resistência mecânica de um compósito cimentício leve com EVA e Fibras de Piaçava.

Palavras-chave: Compósito. Argamassas Leves. Fibras de Piaçava. Resistência Mecânica.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o processo de urbanização e os avanços tecnológicos vêm promovendo uma crescente agressão ao meio ambiente, em especial o descontrole na exploração de recursos naturais e o volume crescente de resíduos sólidos na natureza. A reciclagem e a reutilização de resíduos provenientes de diferentes processos industriais têm sido objeto de pesquisas em diversas instituições.

A preocupação com a exploração de recursos naturais e a preservação do meio ambiente, afetada pelo volume crescente de resíduos sólidos descartados, é cada vez maior. Esta preocupação tem propiciado o crescimento do número de pesquisadores voltados para estudo do reaproveitamento geral de resíduos industriais e urbanos na construção (GARLET, 1998).

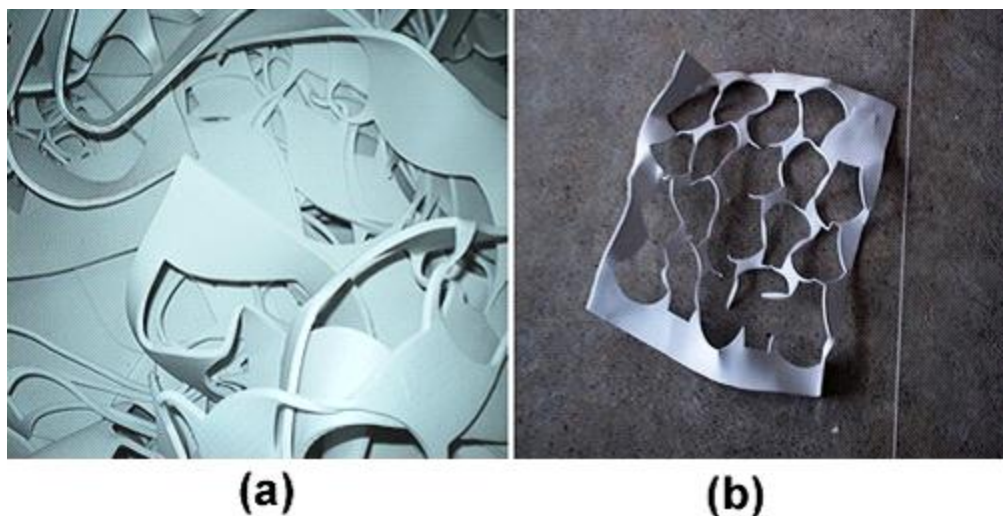
De acordo com John (2000) e Levy (2007), a indústria da construção civil, além de incorporar seus próprios resíduos, pode incorporar resíduos de diferentes indústrias, sendo um dos setores com maior potencial para absorver os resíduos minerais, industriais e agro-industriais. A incorporação de resíduos sólidos para produção de novos materiais já acontece com resíduos industriais e agroindustriais, como a escória de alto-forno, sílica ativa, cinzas do bagaço de cana, cinzas da casca de arroz, entre

outros. Além disso, muitos estudos vêm sendo desenvolvidos com vários outros tipos de resíduos, como, por exemplo, resíduo da própria construção civil, escória de cobre, restos de pneus, entre outros, para serem utilizados como adições em cimentos ou na forma de agregado para a produção de concreto.

Entre os resíduos sólidos, merece destacar o copolímero de etileno-acetato de vinila (EVA), que surgiu no começo da década de 70, como alternativa ao uso do couro pela indústria calçadista. O EVA está presente hoje em solados, entressolas de tênis, palmilhas, adesivos, pneus de carrinhos de bebê, brinquedos, assentos sanitários, chaveiros, artesanatos, entre outros produtos, mas a indústria de calçados e adesivos formam seus principais mercados. (Informes e Notícias, 2003)

De acordo com Zattera et AL (2005) e Santiago (2008), é na indústria calçadista que os resíduos pós-industriais de EVA são originados em maior escala, já que este setor utiliza placas de EVA expandidas retangulares, com aproximadamente 1m², para recortar as solas, entresolas e palmilhas dos calçados. Durante o processo de fabricação de calçados, geram-se resíduos na forma de retalhos das placas expandidas, usadas para a obtenção dos formatos pretendidos.

Figura 5 - Resíduo de EVA gerado no processo de fabricação de calçados(a) e bolas(b)



Segundo Garlet (1998), apenas 20% dos resíduos de EVA são aproveitados no próprio processo de produção, devido às limitações de suas características físicas. O grande volume de resíduos de EVA gerados nas suas atividades constitui um sério problema ambiental, que tem demandado alternativas para um tratamento mais adequado deste resíduo.

A atividade da construção civil é, ao mesmo tempo, grande consumista de recursos naturais, e detentora de grande potencial para absorver resíduos industriais. Uma opção é a utilização desse material como agregados leves usados para a produção de concreto e argamassas leves, fato esse que se justifica pela grande variedade de matérias-primas e pelo grande número de componentes aplicados no processo da construção civil.

Em seu trabalho, Filho et al (2003) destaca que os resíduos de EVA se caracterizam pela baixa massa específica, boas características acústicas e térmicas, sendo também estável, inerte, não suscetível a fungos e pode ser aproveitado como agregado sintético para elaboração de compósitos leves. Entre as aplicações e vantagens possíveis dos compósitos leves na construção civil, podem ser citadas: enchimento para lajes rebaixadas, isolamento acústico entre pavimentos, blocos e/ou painéis para vedação com redução da carga estrutural, isolamento térmico nas lajes de forro etc.

Essas características evidenciam a grande potencialidade desse resíduo para uso em diversos componentes e sistemas na construção civil, sem função estrutural.

De acordo com Carvalho (2007), o fato de o concreto possuir em seu interior poros capilares (tomados em parte por água e em parte por ar) e a constante modificação da zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento contribuem para a fragilidade e a petrificação destes, que, quando sujeitos a esforços de tensão, tendem a romper de forma abrupta. Desta forma, surge a necessidade de reforço desses materiais com a finalidade de aumentar a capacidade de suportar as tensões de tração. A partir dessa constatação, as fibras vegetais aparecem com potenciais perspectivas de utilização como reforço das matrizes cimentícias.

No Brasil, alguns estudos têm sido realizados para aplicar fibras naturais no concreto. Entre as fibras naturais já pesquisadas como elemento de reforço ao concreto, merecem destaque: fibras de coco, sisal, bagaço da cana de açúcar, e bambu.

Neste trabalho, é proposta a utilização de fibras da piaçava como elemento de reforço ao concreto. A palmeira *Attalea funifera Martius*, conhecida por piaçava ou piaçaba, foi escolhida por ser uma espécie nativa e endêmica do sul do Estado da Bahia. O nome vulgar piaçava é de origem tupi, traduzido como "planta fibrosa", com a qual se faz utensílios caseiros. CEPLAC (2011)

De acordo com a CEPLAC(2011), a piaçava produz uma fibra longa, resistente, rígida, lisa, de textura impermeável e de alta flexibilidade. Essa palmeira se desenvolve bem em solos de baixa fertilidade e com características físicas inadequadas para a exploração econômica de muitos cultivos. A necessidade de poucos recursos financeiros para o plantio, a manutenção e exploração tornam a piaçaveira uma opção agrícola atraente, pelos reduzidos riscos e altos rendimentos que proporciona ao investidor.

Nas seções a seguir, é apresentado o desenvolvimento de Corpos de Prova(CP) de argamassas leves reforçadas com fibras de piaçava, com objetivo de caracterizá-las através de ensaios de resistência mecânica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Todos os ensaios e procedimentos aqui descritos foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos e Resistências dos Materiais - LEMER, da Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus-BA.

Os CP preparados para ensaios de resistência mecânica à compressão e à tração na flexão simples a três pontos foram baseados em quatro tipos de mistura:

- Mistura A (Água, Cimento e Areia)
- Mistura B (Água, Cimento, Areia e Agregado Leve de EVA)
- Mistura C (Água, Cimento, Areia, Agregado Leve de EVA e Fibras de Piaçava)
- Mistura D (Água, Cimento, Areia e Fibras de Piaçava)

Para a mistura A, foram utilizados apenas água, cimento e areia, com o objetivo de obter um corpo de prova de concreto puro, que será objeto de comparação com as misturas B, C e D. Os CP desenvolvidos para os quatro tipos de misturas possuem o traço de 1:2:0,4, ou seja, 2 vezes mais areia do que cimento e relação água/cimento 0,4. A proporção de Agregado Leve de EVA e as Fibras de Piaçava adicionadas na mistura foram pré-determinadas em 1% da massa de areia, cimento e água.

A areia natural foi obtida em obras da construção civil na região. Como a areia possuía umidade, foi feito um processo de secagem, utilizando uma estufa, a uma temperatura de 110 °C. O processo durou 4 horas.

O EVA é proveniente de resíduos industriais obtidos no processo de fabricação de bolas da indústria Penalty, localizada no município de Itabuna-BA. Em visita técnica à empresa, observou-se que o EVA chega à empresa em fardos, sendo que cada fardo é composto por placas retangulares de EVA que podem variar de 1m² a 1,30 m². As placas são colocadas em fôrmas e cortadas em gomos, sendo que estes variam de acordo com o tipo de bola fabricado. Após a moldagem dos formatos dos gomos nas fôrmas, os resíduos são descartados. Em média, para uma bola de campo de 12 gomos, por exemplo, são produzidos aproximadamente 35% de resíduos de EVA.

O resíduo de EVA foi processado em um moinho de facas para obtenção da granulometria desejada na confecção dos corpos. A partir da separação granulométrica do EVA foi possível realizar um estudo granulométrico das porcentagens de EVA retido em cada peneira. Nas misturas B e C foram utilizados grãos de EVA retidos na peneira nº 20 Mesh, ou seja, grãos menores que 1,18mm e maiores que 850 µm.

A fibra de Piaçava utilizada nesta pesquisa é típica da Região Cacaueira (Sul da Bahia), plantada na Fazenda São Miguel, localizada na cidade de Itacaré. O arranjo produtivo da fibra tem início na plantação da Piaçava, onde o fruto é extraído da planta madura e plantado. Após brotar, essa muda segue para uma estufa apropriada, onde recebe cuidados até estar pronta para seguir para a plantação.

Após este estágio, em média sete anos, estas plantas estarão prontas para extração da fibra. A extração ocorre de forma manual e sua eficiência depende da experiência do trabalhador. As fibras aparecem como mantas envolvendo o caule da planta, onde é retirada cada camada de fibra.

A fibra de Piaçava mais dura é comercializada em fardos, para fábricas ou mercearias, que trabalham no seu beneficiamento, com a fabricação de vassouras ou elementos artesanais. Já a fibra com menos qualidade, chamada de borra, torna-se descarte, pois não tem valor comercial.

Figura 6 - Fibras de Piaçava



Neste trabalho, é utilizada a fibra mais dura, in natura, que foi cortada, com auxílio de um alicate, em partes menores, cada parte medindo 1 cm.

Para mistura dos materiais, foi utilizada uma argamassadeira, que, após obter uma mistura homogênea, foi colocada em formas com 4,0 cm de largura e altura, e 16 cm de comprimento, para a produção dos corpos de prova prismáticos. Os CP cilíndricos foram produzidos em formas com 5,0 cm de diâmetro e 10,0 cm de altura. Após 24 horas, foi feita a desforma dos corpos de prova de concreto. Cada CP recebeu uma nomenclatura, e estes foram curados por 28 dias, permanecendo 25 dias em tanque úmido e, em seguida, foram retirados do tanque e expostos em temperatura ambiente por mais 3 dias.

3 RESULTADOS

A resistência à compressão do concreto é uma das propriedades mais importantes quando se avalia o desempenho mecânico de uma estrutura. Para a determinação da resistência à compressão das argamassas produzidas, utilizou-se a Máquina universal de ensaios modelo Emic 100 (Prensa Hidráulica). Os corpos-de-prova foram capeados com disco de neoprene e prato de aço para disco de neoprene, com o objetivo de corrigir as imperfeições na superfície dos CP.

Todos os CP foram ensaiados até a ruptura, conforme as datas de confecção, após 28 dias de cura úmida, pelo mesmo

experimentador e na mesma máquina, seguindo a norma para ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

Para cada tipo de mistura, o ensaio foi repetido 3 (três) vezes, e os dados obtidos (Força Máxima) foram colocados em planilhas.

Figura 7 - Ensaio de Compressão



Para o cálculo da tensão máxima de compressão, são consideradas a força máxima e a área da seção transversal. O cálculo feito para determinar a tensão máxima (resistência à compressão) é representado pela equação (1) a seguir:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \text{ sendo que } A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (1)$$

onde:

σ = Tensão ou Resistência à compressão;

F = Força máxima;

A = Área da seção transversal;

d = diâmetro.

Figura 8 - CP Após Ensaio de Compressão



Pode-se verificar, na tabela abaixo (tensões médias na compressão), que há uma redução da resistência à compressão nas misturas com EVA. Com a adição das fibras, a resistência volta a aumentar.

Tabela 1 - Tensões médias dos grupos em Ensaio de Compressão

N°	Nome	Tensões médias dos grupos	Tipos de mistura
1	EVA0F0	50,45645135	Argamassa Pura
2	EVA1F0	35,3347191	Argamassa com EVA(1%) e Fibra (0%)
3	EVA1F1	39,48408714	Argamassa com EVA (1%) e Fibra (1%)
4	EVA0F1	41,26657533	Argamassa com EVA(0%) e Fibra(1%)

Pode ser observado, também, que, em argamassas da Mistura D (Argamassa + Fibras de Piaçava), há uma queda na resistência à compressão se comparada à argamassa pura, fato esse explicado uma vez que a presença das fibras gerou imperfeições no material.

Figura 9 - Gráfico das tensões médias dos grupos: Resistência à Compressão | Tensões Médias dos Grupos

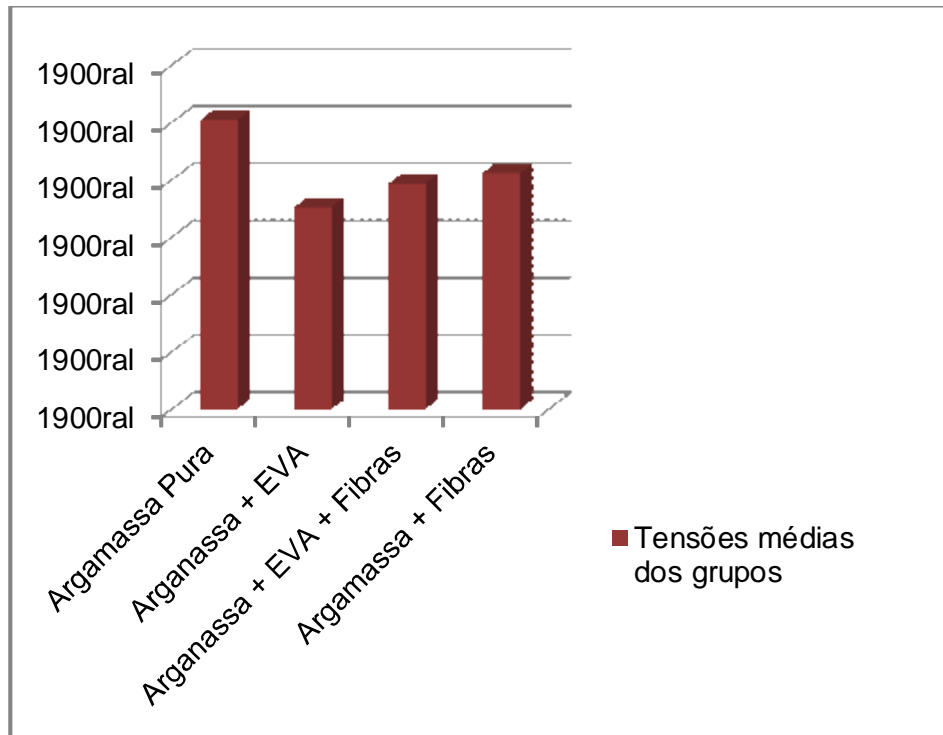
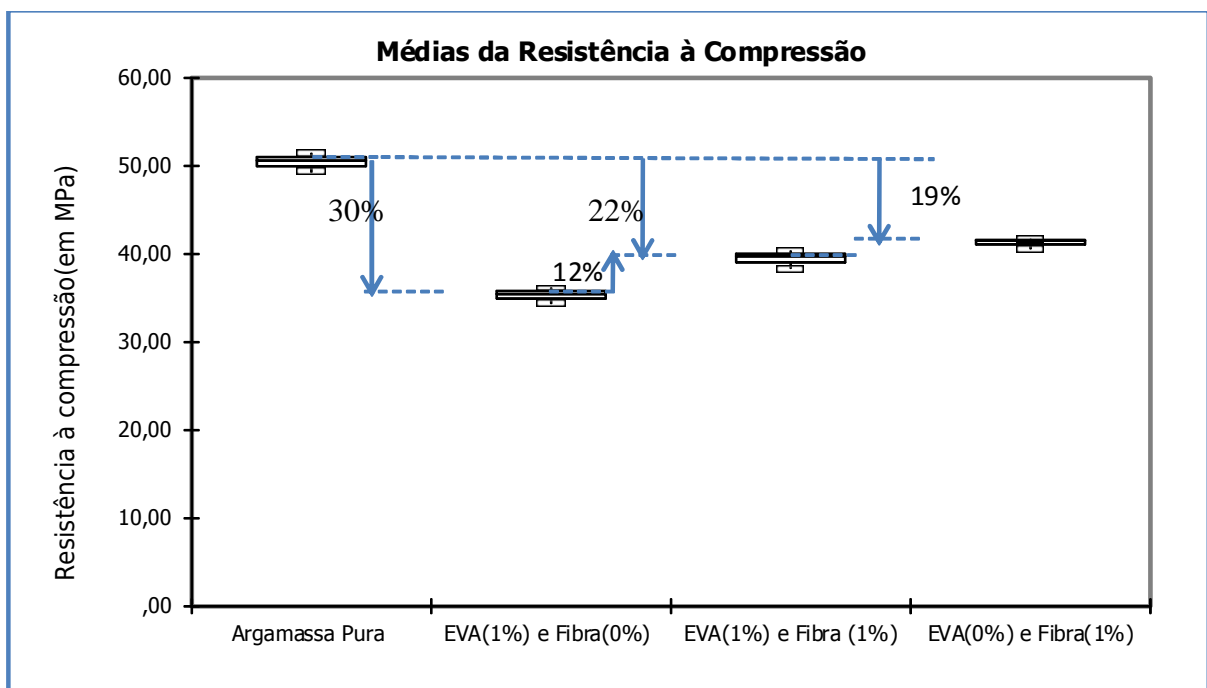


Figura 10 - Resistência à Compressão: Comparação entre as misturas



Os ensaios de Tração na Flexão Simples ocorreram a três pontos, com aplicação de força centrada. Para a determinação da resistência à tração na flexão das argamassas produzidas, utilizou-se a Máquina Universal de Ensaio GOTECH - AI 7000 K. Inicialmente, cada CP foi marcado, para que fosse posicionado corretamente na máquina.

Utilizou-se também o Software U60 Gotech Testing Machines Inc, no qual foram definidos os parâmetros dos ensaios, a citar: tipo de ensaio, força máxima aplicada, intervalo de tempo para aplicação de carga etc.

Inicialmente, todos os CP foram ensaiados até a ruptura, conforme as datas de confecção, pelo mesmo experimentador e na mesma máquina, seguindo a norma para ensaio de tração na flexão de corpos-de-prova prismáticos.

Os ensaios foram repetidos 3 (três) vezes em cada tipo de mistura, sendo a carga aplicada através de um atuador hidráulico, em velocidade contínua e constante no valor de 2,0 mm/min.

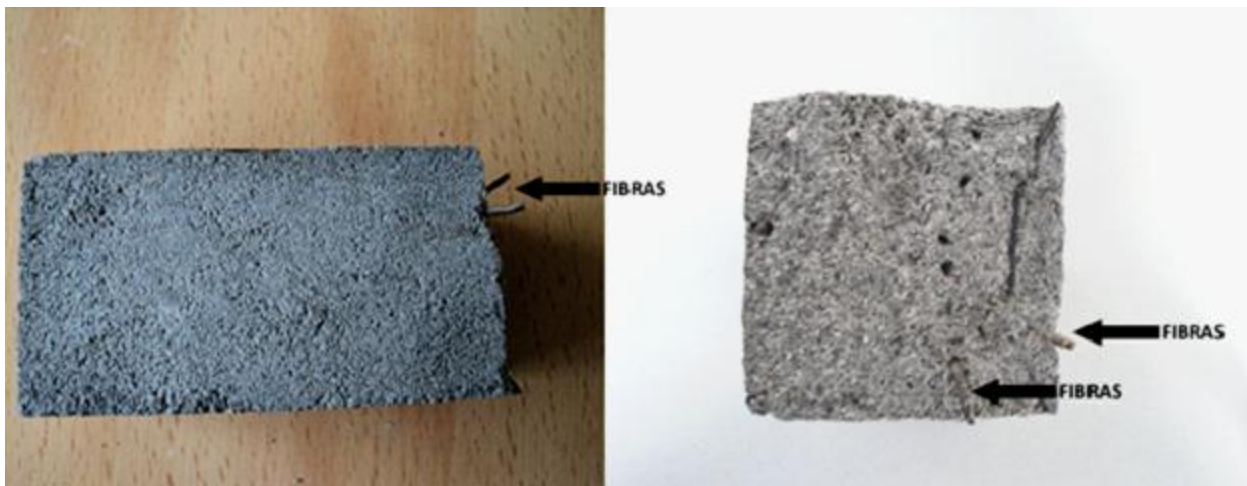
Figura 11 - Ensaio de Tração na Flexão Simples a Três Pontos



Figura 12 - Fissura em CP após Ensaio de Tração na Flexão



Figura 13 - CP após rompimento por Ensaio de Tração na Flexão



Para o cálculo da tensão máxima (f) é considerada o momento máximo ($M_{\text{máx}}$) e o módulo resistente (W) de uma viga biapoiada com carga centrada, conforme o ensaio de tração na flexão em 3 pontos. O cálculo da tensão máxima é obtido da Resistência dos Materiais.

O momento máximo pode ser calculado por meio da expressão (1):

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{(P \times L_{ef})}{4} \quad (1)$$

O m3dulo resistente 3e dado por:

$$W = \frac{b^2}{6} \quad (2)$$

$$f = \frac{M_{m\acute{a}x}}{W} \quad (3)$$

Onde:

P = for3a m3xima em Newtons (N)

L_{ef} = comprimento efetivo entre os apoios

b = base da se33o transversal do corpo-de-prova

Os resultados obtidos foram tratados nos softwares Mathcad e no Microsoft Excel, onde foi poss3vel construir as curvas experimentais, como pode ser observado nas figuras a seguir. As curvas experimentais representam as for3as em fun33o do deslocamento.

Figura 14 - Curvas Experimentais At3e a Ruptura

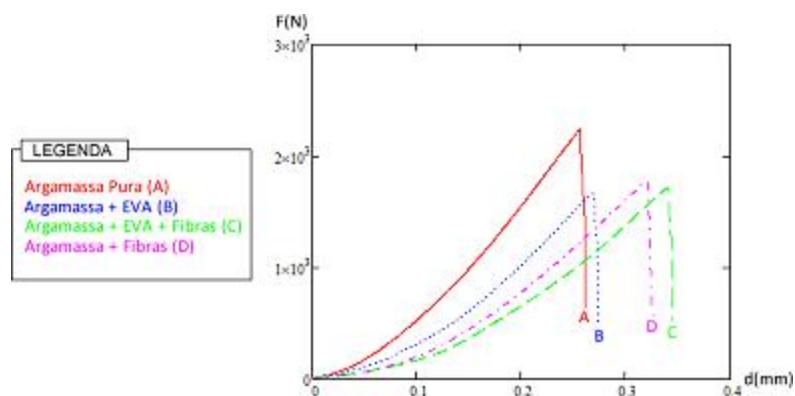
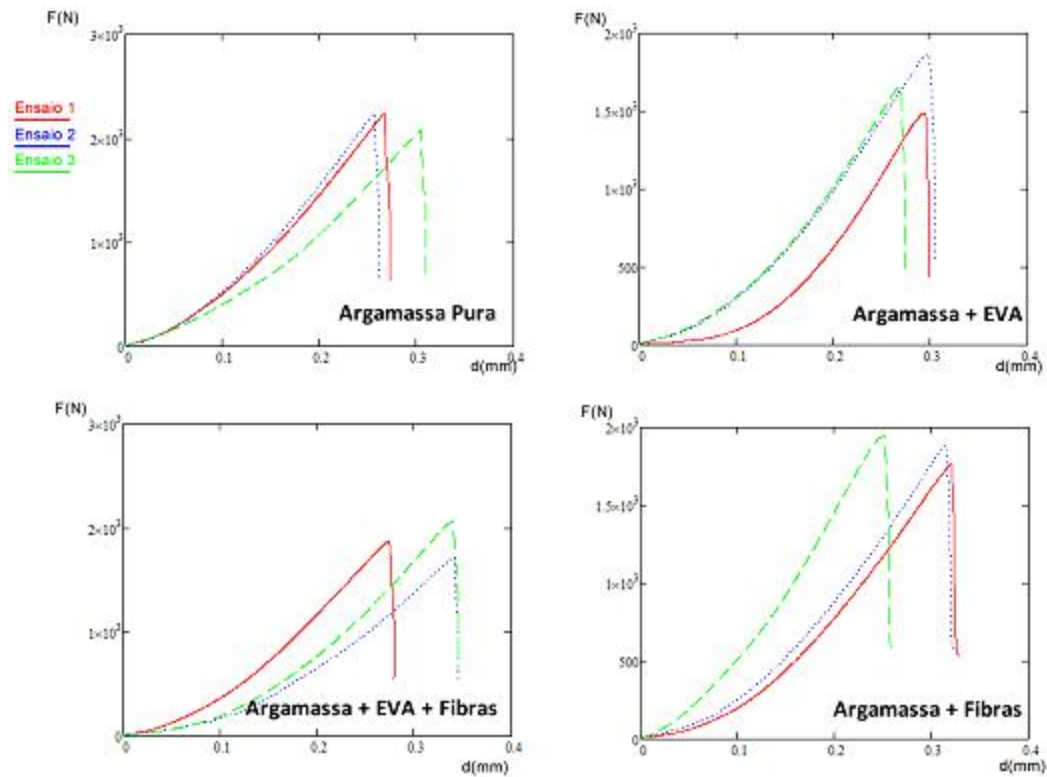


Figura 15 - Curvas Experimentais Até a Ruptura dos 4 Tipos de Amostras



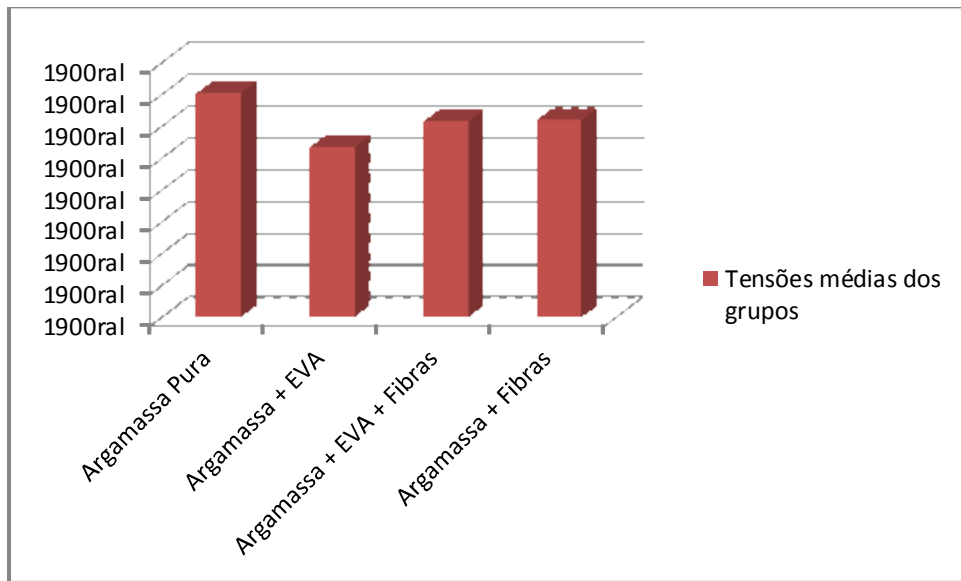
Nas curvas experimentais apresentadas acima, não foi possível verificar mudanças significativas do modo de ruptura e comportamento do material em fase inicial de carregamento, fase elástica. Verifica-se, também, nas curvas experimentais, maior capacidade de deslocamento nas misturas (C e D), que utilizam Fibras de Piaçava em sua composição.

A partir das curvas experimentais e dos dados obtidos, foi possível estabelecer a média das resistências; os resultados estão apresentados na tabela abaixo:

Tabela 2 - Tensões Médias dos Grupos: Ensaios de Tração na Flexão

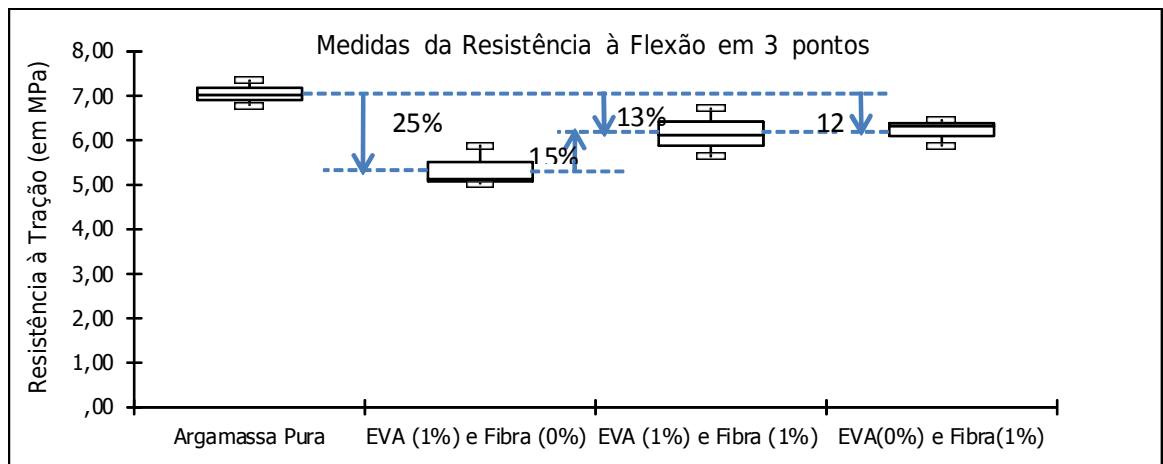
N°	Nome	Tensões médias dos grupos	Tipos de mistura
1	EVA0F0	7,051431089	Argamassa Pura
2	EVA1F0	5,346825667	Argamassa com EVA (1%) e Fibra(0%)
3	EVA1F1	6,159782068	Argamassa com EVA (1%) e Fibra(1%)
4	EVA0F1	6,217448601	Argamassa com EVA(0%) e Fibra(1%)

Figura 16 - Gráfico das Tensões Médias dos Grupos: Ensaios de Tração na Flexão



De acordo com os resultados obtidos, foi possível analisar que, com a adição de EVA, há uma queda da resistência, que é recuperada quando são adicionadas as Fibras de Piaçava. Foi observado, também, que, nas amostras de Argamassas com Fibras de Piaçava, a resistência é menor que em amostras de Argamassas Puras. Este comportamento é semelhante ao relatado nos Ensaios de Compressão

Figura 17 - Resistência à Tração na Flexão: Comparação entre as misturas



4 CONCLUSÕES

Uma das principais conclusões verificadas neste trabalho, é que com a utilização de EVA na mistura da argamassa há uma queda de resistência mecânica. Entretanto, essa queda de resistência é menos acentuada quando inserido 1% de fibra na mistura. Com a adição de fibras de piaçava na matriz cimentícia, há um aumento na capacidade de resistência

às fissuras, mas não se chega a ter uma resistência superior a matriz de cimento puro.

Este trabalho é a primeira parte de um trabalho maior, que culminará em uma dissertação de mestrado. Pretende-se, através das imagens obtidas por microtomografia computadorizada e pelos ensaios de resistência já realizados, estudar a degradação do concreto a partir da aplicação

de diferentes variações de cargas em ensaios de resistência mecânica, as microfissuras, defeitos, porosidade, distribuição das fibras na mistura, e o efeito da fibra de piaçava como elemento de reforço.

Em trabalhos futuros, sugere-se o desenvolvimento de corpos de prova com diferentes granulometrias de pelotas de EVA e Fibra, e diferentes porcentagens de quantidades destes elementos em misturas de argamassas, de forma a verificar qual combinação destes elementos representa melhores resultados.

5 REFERÊNCIAS

CARVALHO, Priscila Pereira Suzart; ALVIM, Ricardo de Carvalho; ALVIM Rosana de Albuquerque Arléo. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de fibras vegetais como reforço de matrizes cimentícias.** Anais(Seminário). XII Seminário de Iniciação Científica e 9ª Semana de Pesquisa e Pós-Graduação da UESC.Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2007.

CEPLAC. **A piaçaveira desponta como cultura de destaque na economia do sul da Bahia.** Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/piacava.htm>>. Acesso em 18 de abril de 2011.

FILHO, Rômulo Soares Polari; MÉLO, Aluísio Bráz de; BARBOSA; Normando Perazo. **A reciclagem de resíduos da indústria de calçados (EVA) na execução de painéis de vedação na construção civil: aplicação de desempenho.** Anais (Encontro). II Encontro Temático de Meio Ambiente e Educação Ambiental na UFPB, João Pessoa, 2003.

GARLET, Givanildo. **Aproveitamento de resíduos de E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil.** Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do sul. Porto Alegre, 1998, 146p.

INFORMES E NOTÍCIAS. **Polímeros.** São Carlos, v. 13, n. 2, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php?>

[script=sci_arttext&pid=S0104-14282003000200004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282003000200004&lng=en&nrm=iso)>.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PCC). São Paulo, 2000, 113p.

LEVY, S. M. **Materiais Reciclados na Construção Civil. In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais.** G.C. Isaia (Editor). São Paulo: IBRACON, 2007. Vol.2. p. 1629-1657.

SANTIAGO, Ediele Quinteiro Ribeiro. **Utilização de Agregados de EVA e RCD para obtenção de concretos leves.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Feira de Santa (UEFS), Feira de Santana, 2008.

SAVASTANO H. **Materiais à base de cimento reforçado com fibra vegetal: Reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** TESE (Livre-docência). DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL/EPUSP. São Paulo, 2000.

ZATTERA, Ademir J; BIANCHI, Otávio; ZENI, Mara; FERREIRA, Carlos A. **Caracterização de resíduos de Copolímeros de Etileno-acetato de vinila - EVA. Polímeros.** vol.15, n.1, 2005. São Carlos, 2005.

6 DADOS DOS AUTORES

REGILAN MEIRA SILVA

IFBA - Campus Ilhéus
regilan@gmail.com

RICARDO DE CARVALHO ALVIM

UESC - Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
rcalvim@globocom

DANY SANCHEZ DOMINGUEZ

UESC - Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
dsdominguez@gmail.com