

Comportamento Mecânico de Argamassas de Cimento Reforçadas com Fibras de Sisal Tratadas com Hidróxido de Sódio

Mechanical Behavior of Cement Mortars Reinforced with Sisal Fibers Treated with Sodium Hydroxide

Thaynon Brendon Pinto Noronha^a; Francisco Klebson Gomes dos Santos^b; Ricardo Henrique de Lima Leite^c; Jéssyca Karla Alves de Sousa^d; Rodrigo Nogueira de Codes^{*a}

^aUniversidade Federal Rural do Semi-Árido, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciência e Engenharia de Materiais. RN, Brasil.

^bUniversidade Federal Rural do Semi-Árido, Departamento de Ciências Exatas e Naturais. RN, Brasil.

^cUniversidade Federal Rural do Semi-Árido, Departamento de Engenharia e Tecnologia. RN, Brasil.

^dUniversidade Federal Rural do Semi-Árido, Curso de Engenharia Civil. RN, Brasil.

*E-mail: rn_codes@ufersa.edu.br

Resumo

Foram confeccionadas argamassas com 0,2% de fibras de sisal (traço: 1:3:0,65) e sem fibras (1:3:0,60). As fibras foram tratadas com NaOH a 5% por uma hora. Foram efetuados ensaios à flexão nas idades de 7 e 14 dias. O tratamento se mostrou eficiente para obtenção de fibras de celulose de sisal. Existiu diferença estatística nos resultados à flexão aos 14 dias. Nessa idade, a argamassa com fibra tratada apresentou resistência 5,80% maior que a argamassa com fibra sem tratamento.

Palavras-chave: Flexão. Tratamento. Resistência. Compósito.

Abstract

Mortars were made with 0.2% sisal fibers (trace: 1: 3: 0.65) and without fibers (1: 3: 0.60). The fibers were treated with 5% NaOH for one hour. Flexion tests were performed at the ages of 7 and 14 days. The treatment proved to be efficient for obtaining sisal cellulose fibers. There was a statistical difference in flexion results at 14 days. At this age, treated fiber mortar showed 5.80% greater resistance than untreated fiber mortar.

Keywords: Flexion. Treatment. Resistance. Composite.

1 Introdução

No momento atual, a indústria da construção se encontra na procura por maior sustentabilidade. Com o surgimento de políticas públicas, como a Lei nº 12.305/10 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), e de documentos, como do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), observa-se a crescente preocupação com a utilização de novos métodos construtivos, materiais com menor impacto ambiental incorporado e redução na geração de resíduos ou reaproveitamento destes.

Após a proibição em todo o país da produção, comercialização e do uso do amianto tipo crisotila, as fibras alternativas ganharam importância no reforço de matrizes cimentícias. Nos produtos à base de cimento, elas têm a função de transpor as fissuras que surgem decorrentes da umidade, variação de temperatura ou aplicação de cargas externas. A adição de fibras nas matrizes pode melhorar as propriedades mecânicas, como resistência à tração, flexão e ao impacto, e o comportamento após a fissuração, minimizando os efeitos de uma ruptura brusca (AGOPYAN et al., 2007). Elas auxiliam na redução da abertura das fissuras se forem resistentes, estiverem em quantidade adequada e tiverem boa aderência à matriz cimentícia.

Quando comparadas com as fibras industrializadas, as fibras vegetais são biodegradáveis, provenientes de fontes

renováveis, apresentam baixo custo de produção e são abundantes nos países tropicais. Dentre os materiais utilizados como reforço em matrizes cimentícias, as fibras vegetais alcançaram papel de evidência nos últimos anos, sendo objeto de muita pesquisa e desenvolvimento (PICANÇO; GHAVAMI, 2008; SAVASTANO, 2009; SILVA et al., 2014; SANTOS et al., 2017; TOLENTINO, 2017; BORGES et al., 2019). Sua utilização está sujeita às especificidades de cada construção, mas geralmente são utilizadas em reservatórios, pavimentos rígidos, piscinas, pisos de indústrias e entre outros.

Sabe-se que a adição de fibras curtas em matrizes cimentícias tradicionais pode reduzir a trabalhabilidade da mistura, dificultando a homogeneização das mesmas e aumentando a porosidade da matriz. Mesmo que sejam introduzidas baixas quantidades de fibra na matriz a redução da trabalhabilidade pode diminuir significativamente a resistência mecânica. Assim, a obtenção de matrizes de alto desempenho reforçadas com fibra pode ser possível se forem feitas modificações, como o uso de aditivos químicos, incorporação de adições minerais e emprego de agregados finos adequados que garantam a homogeneização das fibras na matriz (SANTOS et al., 2017).

No presente trabalho, procurou-se analisar o desempenho mecânico de argamassas de Cimento Portland, no traço 1:3:0,65 (aglomerante: agregado: relação água/aglomerante),

produzidas com 0,2% de adição, em volume, de fibras curtas (25 mm) de sisal tratadas com hidróxido de sódio (NaOH) a 5%, em massa, por uma hora. O comportamento mecânico foi analisado por meio da realização de ensaios de resistência à flexão nas idades de 7 e 14 dias. Na análise estatística dos resultados fez-se uso da Análise de Variância (ANOVA) de um fator, adotando-se como parâmetro um grau de confiança de 95%.

2 Material e Métodos

O aglomerante utilizado foi o Cimento Portland composto com filler (CPII-F-32), pois possui secagem rápida, alta resistência e apresenta diversas possibilidades de aplicação, podendo ser usado em lajes, reboco, contrapiso e concreto convencional. A massa específica real do cimento foi determinada no Laboratório de Construção Civil (LCC) do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) - Campus Mossoró/RN, de acordo com a NBR 16605 (ABNT, 2017).

Como agregado, utilizou-se areia natural disponível comercialmente no município de Mossoró/RN. A massa específica real da areia foi determinada no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) - Campus Mossoró/RN, de acordo com a norma ME 194 (DNER, 1998). Para determinar a composição granulométrica foi utilizado um agitador de peneiras mecânico, disponível no LCC do IFRN - Campus Mossoró/RN, conforme NBR NM 248 (ABNT, 2003). Antes de ser pesada e utilizada, a areia foi passada em uma peneira com abertura de malha de 4,75 mm e seca em estufa até constância de massa em temperatura de 105°C.

A água potável usada para confecção dos espécimes foi obtida da rede pública de distribuição da cidade de Mossoró/RN.

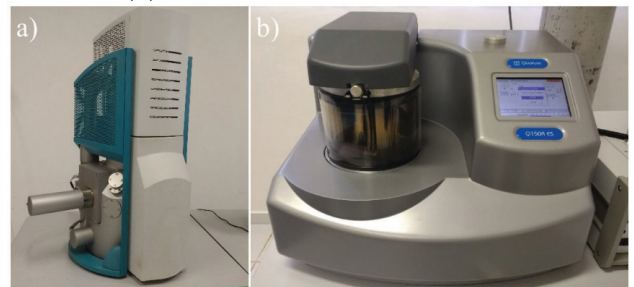
Na produção das argamassas, foram utilizados como elementos de reforço fibras vegetais de sisal que foram doadas gentilmente pela Sisaltec Indústria de Sisal. Essa fibra foi escolhida por possuir propriedades mecânicas satisfatórias, ser abundante no Brasil e uma das fibras mais estudadas em compósitos cimentícios (BORGES et al., 2019). A massa específica da fibra foi obtida por meio de ensaios realizados no LCC do IFRN - Campus Mossoró/RN, obedecendo os procedimentos preconizados pela NBR 6508 (ABNT, 1984). As fibras foram cortadas em comprimentos de aproximadamente 25 mm, pois trabalhos semelhantes tiveram resultados satisfatórios com esse tamanho (PICANÇO; GHAVANI, 2008; SILVA et al., 2014).

As fibras foram tratadas com hidróxido de sódio (NaOH) de grau analítico com pureza de 99% a 5%, em massa, por uma hora, pois Kathirselvam et al. (2019) constaram que esse tratamento melhorou a força mecânica das fibras da casca de *thespesia populnea*. Após o tratamento, as fibras foram submersas em água destilada e, posteriormente, em ácido

clorídrico (HCl 0,1 N) por 5 minutos para remover o excesso de depósitos alcalinos em sua superfície. O tratamento foi realizado no Laboratório de Química (LQ) do IFRN - Campus Mossoró/RN. Antes de serem utilizadas, as fibras foram secas em estufa a 105 °C para remover os traços de umidade em excesso.

Com o intuito de obter imagens em alta resolução da microestrutura das fibras, foi utilizada a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Esta técnica foi executada sob uma tensão de aceleração de 20 kV e uma distância de trabalho média de aproximadamente 9,46 mm. Utilizou-se o microscópio eletrônico de varredura (fabricante: Tescan, modelo: VEGA 3 MLU), Figura 1a, disponível no Centro de Pesquisas e Ciências Vegetais do Semiárido Nordestino (CPV) da UFERSA - Campus Mossoró/RN.

Figura 1 - Microscópio eletrônico de varredura (a) e revestidor de amostras (b).



Fonte: Os autores.

Para evitar o acúmulo de cargas eletrostáticas durante a emissão do feixe de elétrons, antes de serem ensaiadas no MEV, as amostras passaram por um revestidor (fabricante: Quorum Technologies, modelo: Q150R ES), Figura 1b, para receber uma fina camada de ouro (SEKI et al., 2013).

Para a mistura da argamassa, foi utilizada uma argamassadeira eletromecânica (fabricante: Contenco, modelo: C 3010). A sequência de colocação dos materiais se deu conforme a NBR 16541 (ABNT, 2016).

As matrizes foram moldadas no traço, em massa, de 1:3 (aglomerante: agregado), com base em estudos semelhantes (VIANA et al., 2009; KURZ et al., 2018). No Quadro 1 estão apresentadas as composições das misturas estudadas. Os compósitos foram produzidos com 0,2% de adição, em volume, de fibra de sisal, pois Tolentino et al. (2017) constataram que as argamassas com fibras de sisal tratadas por acetilação nessa porcentagem obtiveram aumento na resistência a tração de 17,37%, quando comparadas com as argamassas com fibra sem tratamento. Como mistura de referência, foi tomada à argamassa padrão (sem fibra) e com fibras sem tratamento, com o intuito de evidenciar as diferenças de desempenho das misturas com e sem tratamento.

Para garantir a trabalhabilidade das matrizes, foram efetuados diversos ensaios de consistência no estado fresco no LCC do IFRN - Campus Mossoró/RN, conforme a NBR 13276 (ABNT, 2016).

Quadro 1 - Quantidade de material, em massa (g), para moldar um corpo de prova prismático

Materiais	Sem fibra	Com 0,2% de fibra	
	Referência (REF)	Não tratada (FNT)	Tratada (FCT)
Cimento	146,03	142,43	142,43
Areia	438,09	427,28	427,28
Fibra	-	0,99	0,99
Água	87,62	92,58	92,58

Fonte: Dados da pesquisa.

Foram moldados três corpos de prova prismáticos (40 x 40 x 160 mm) para cada mistura, conforme indicado no Quadro 2. Depois da moldagem, os corpos de prova foram cobertos com filme plástico e, após aproximadamente 24h de cura ao ar livre, foram desmoldados e imersos em água até o momento do ensaio de resistência à flexão, realizados nas idades de 7 e 14 dias, de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005a).

Quadro 2 - Quantidade de corpos de prova utilizados para cada idade de ensaio

Tipo	7 dias	14 dias
REF	3	3
FNT	3	3
FCT	3	3
Total	9	9

Fonte: Dados da pesquisa.

O ensaio de flexão em três pontos foi realizado no LCC do IFRN - Campus Mossoró/RN em uma prensa mecânica para ensaio CBR com anel dinamométrico (fabricante: Solotest), Figura 2.

Figura 2 - Prensa utilizada no ensaio de flexão



Fonte: Os autores.

A análise estatística dos resultados foi feita por meio da Análise de Variância (ANOVA) de um fator. Essa análise permite verificar se existe diferença significativa entre as médias e se o fator em estudo influencia diretamente alguma variável dependente. Nas análises estatísticas dos resultados fez-se uso de *softwares* de análise de dados, adotando-se como parâmetro nos testes um grau de confiança de 95% (nível de significância de 5%).

3 Resultados e Discussão

A massa específica real dos materiais secos utilizados foram: 2,54 g/cm³ para a areia, 3,10 g/cm³ para o cimento e 1,94 g/cm³ para a fibra. A areia usada possui massa específica muito próxima (2,55 g/cm³) da utilizada por Pcziecsek et al. (2019). Na Figura 3 é possível observar a realização do ensaio de massa específica da areia e do cimento.

Figura 3 - Ensaio de massa específica da areia (a) e do cimento (b)

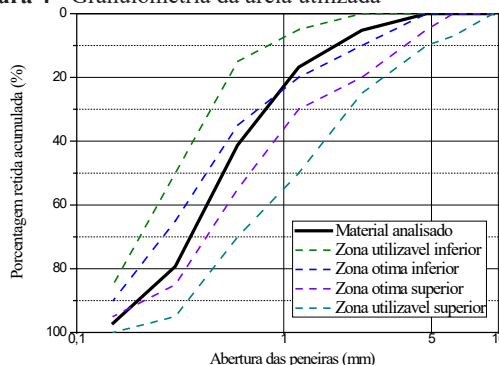


Fonte: Os autores.

A massa específica da fibra foi superior aos valores encontrados na literatura, sendo eles: 1,33 g/cm³ (SATYANARAYANA et al., 2007), 1,37 g/cm³ (SAVASTANO et al., 2009), 1,39 g/cm³ (SILVA et al., 2010) e 1,45 g/cm³ (LI et al., 2000). Contudo, é importante destacar que é muito difícil obter um valor fixo para qualquer uma das diversas propriedades das fibras naturais, como densidade, diâmetro, área de seção transversal, resistência à tração, etc. Isso ocorre porque as características da fibra dependem de vários parâmetros, como a idade da planta, localização geográfica, condição de cultivo, método de extração, existência de defeitos etc. (ELENGA et al., 2009). De acordo com Faruk et al. (2012), as fibras vegetais têm composição química diferente, que depende do tipo da planta, dos defeitos superficiais, da dimensão da célula cristalina, estrutura da macrofibra vegetal, das propriedades físicas e mecânicas das fibras e da interação que a fibra pode fazer com a matriz do compósito.

A curva granulométrica da areia está representada na Figura 4. Os resultados do diâmetro mínimo e máximo foram 0,15 e 4,75 mm, respectivamente. De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005b), a areia é classificada como agregado miúdo, pois seus grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 0,15 mm.

Figura 4 - Granulometria da areia utilizada



Fonte: Os autores.

As argamassas foram sujeitas ao ensaio de Índice de Consistência na mesa (*flow table*), Figura 5, com a finalidade de definir a quantidade de água necessária para atingir uma mistura com trabalhabilidade adequada. Com base no ensaio de consistência no estado fresco, preconizado pela NBR 13276 (ABNT, 2016), a relação água: aglomerante foi de 0,60 para a argamassa padrão e 0,65 para as argamassas com adição de fibra de sisal.

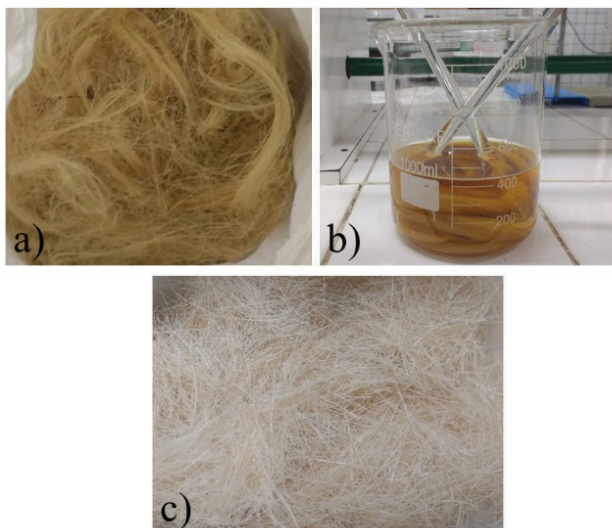
Figura 5 - Realização do ensaio de consistência na mesa de abatimento



Fonte: Os autores.

Para separar as fibras de celulose dos demais componentes (hemicelulose e lignina), as fibras de sisal foram tratadas com NaOH a 5%, em massa, por 60 minutos. Na Figura 6 é possível observar que o tratamento degradou a lignina e a hemicelulose, pois a coloração da fibra tratada tornou-se esbranquiçada enquanto a solução de NaOH tornou-se marrom, coloração típica de materiais lignocelulósicos.

Figura 6 - Fibras de sisal antes (a), durante (b) e após o tratamento com NaOH a 5%, em massa



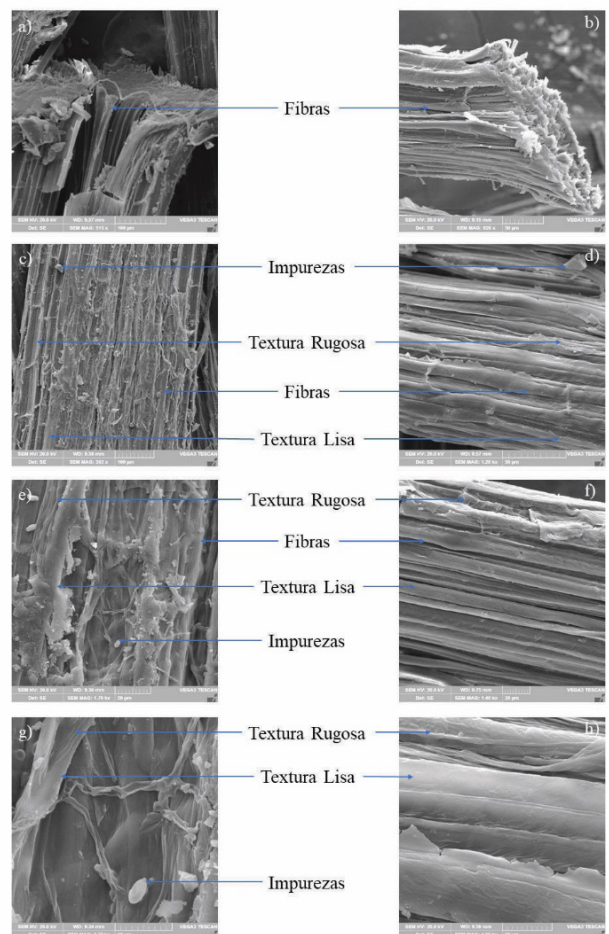
Fonte: Os autores

A coloração da fibra tratada (Figura 6c) foi muito semelhante à obtida por Tolentino et al. (2017), que concluíram que as argamassas com 0,2%, em volume, de fibra de sisal

tratada por acetilização obtiveram um aumento de 17,37% na resistência à tração, em comparação com as argamassas com fibra sem tratamento. De acordo com Jesus et al. (2019), a coloração esbranquiçada indica que a celulose obtida com o tratamento se apresenta mais pura.

Pode-se observar na Figura 7 que as fibras de sisal são formadas por um conjunto de microfibras com forma e dimensão irregular. Nas Figuras 7b, 7d, 7f e 7h percebe-se que as microfibras tratadas se apresentam com superfície mais lisa e definida que as fibras não tratadas. Isso ocorreu porque o tratamento quebrou os compostos de hemicelulose e lignina, enfraquecendo as ligações intermoleculares e desprendendo as fibras (RIDZUAN et al., 2016).

Figura 7 - Microimagens da fibra de sisal não tratada com ampliação de 515x (a), 392x (c), 1,79kx (e) e 5,72kx (g) e fibra tratada com ampliação de 820x (b), 1,28kx (d), 1,40kx (f) e 4,99kx (h)

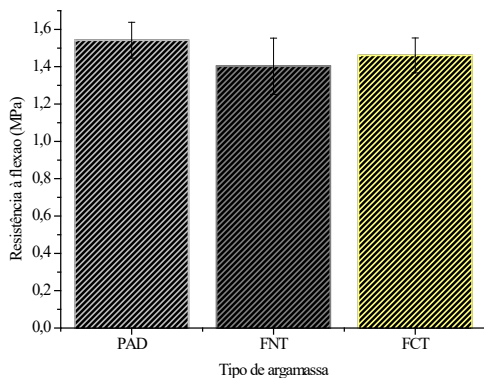


Fonte: Os autores.

A Figura 8 apresenta os valores de resistência à flexão dos diferentes tipos de argamassa na idade de 7 dias. Pela figura, é possível observar que o valor da resistência média da argamassa de referência (1,54 MPa) é 9,08% superior ao valor da argamassa com adição de fibra não tratada (1,40 MPa) e 5,25% maior que o valor da tratada (1,46 MPa). Embora a resistência à flexão das argamassas com fibras tenha sido inferior à da argamassa de referência, é possível observar que

a fibra tratada obteve uma resistência à flexão 4,04% maior que a fibra sem nenhum tipo de tratamento. Contudo, esses valores não são estatisticamente significativos, pois o valor de F (1,08) foi inferior ao $F_{\text{crítico}}$ (5,14) e o valor de P (0,40) foi maior que o nível de significância de 5%.

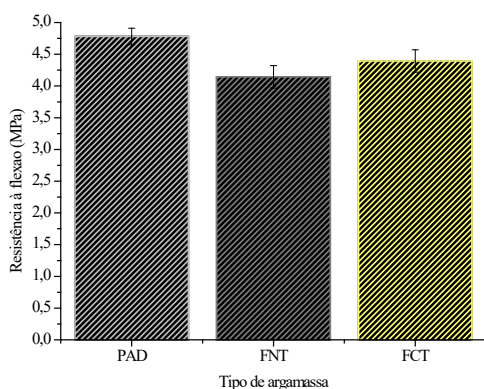
Figura 8 - Resistência à flexão dos diferentes tipos de argamassa aos 7 dias de idade



Fonte: Os autores.

A Figura 9 apresenta os valores de resistência à flexão dos diferentes tipos de argamassa na idade de 14 dias. Pela figura, é possível observar que o valor da resistência média da argamassa de referência (4,78 MPa) é 13,33% superior ao valor da argamassa com adição de fibra não tratada (4,14 MPa) e 7,99% maior que o valor da tratada (4,38 MPa). Embora a resistência à flexão das argamassas com fibras tenha sido inferior à da argamassa de referência, é possível observar que a fibra tratada teve resistência à flexão 5,80% maior que a resistência da fibra não tratada. Estes resultados são estatisticamente significativos, pois o valor de F (10,48) foi superior ao $F_{\text{crítico}}$ (6,94) e o valor de P (0,03) foi menor que o nível de significância de 5% (0,05), o que comprova, estatisticamente, que a resistência à flexão da argamassa foi influenciada pela adição de fibras. O Quadro 3 apresenta um resumo da Análise de Variância (ANOVA) para argamassas rompidas à flexão aos 14 dias.

Figura 9 - Resistência à flexão dos diferentes tipos de argamassa aos 14 dias de idade



Fonte: Os autores.

Quadro 3 - Resumo da ANOVA para argamassas rompidas à flexão aos 14 dias

FV	SQ	GL	MQ	F	P	$F_{\text{crítico}}$
EG	0,511	2	0,26	10,48	0,03	6,94
DG	0,098	4	0,02			
Total	0,608	6				

Sendo:

- FV: Fonte de Variação;
- EG: Entre Grupos;
- DG: Dentro dos Grupos;
- SQ: Soma de Quadrados;
- GL: Graus de Liberdade;
- MQ: Quadrados Médios.

Aos 14 dias, era esperado que o valor da resistência à flexão média da argamassa com fibras tratadas fosse superior ao valor da argamassa com fibra sem tratamento, pois Tolentino et al. (2017) perceberam que as argamassas com 0,2%, em volume, de fibras curtas (20,0 mm) de sisal tratadas por acetilação apresentaram resistência à flexão aos 28 dias 28,26% superior à resistência da argamassa de referência e 17,37% superior à da argamassa com fibra sem tratamento. Contudo, esses resultados podem ter sido obtidos porque as argamassas ainda não foram rompidas aos 28 dias, pois analisando a Figura 8 e 9 pode-se perceber que a resistência à flexão da argamassa com fibras tratadas está se tornando cada vez maior, em comparação com a argamassa com fibra sem tratamento.

4 Conclusão

O tratamento com NaOH se mostrou um método eficaz para obtenção de fibras de celulose de sisal, pois as fibras tratadas se apresentaram esbranquiçadas e definidas.

Os resultados da ANOVA mostraram que existe diferença significativa apenas nos resultados de resistência à flexão aos 14 dias de idade, com uma confiabilidade muito alta, superior a 0,95.

Embora a resistência à flexão das argamassas com fibras tenha sido inferior à da argamassa de referência, a argamassa com fibra tratada obteve resistência à flexão 5,80% superior à da argamassa com fibra não tratada. Analisando a evolução do ganho de resistência à flexão, espera-se que o resultado da resistência à flexão da argamassa com fibras tratadas aumente ainda mais, podendo superar os valores de resistência da argamassa com fibra sem tratamento e até mesmo da argamassa de referência.

Referências

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnica. NBR 16605 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnica. NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnica. NBR 13279 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.

Rio de Janeiro, 2005a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnica. NBR 16541 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnica. NBR 6508 - Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnica. NBR 7211 - Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005b.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnica. NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

AGOPYAN, V.; SAVASTANO JUNIOR, H. Fibras vegetais como materiais de construção. In: ISAIA, G.C. *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. São Paulo: Ibracon, 2007.

BORGES, A.P.S.N.; MOTTA, L.A.C.; PINTO, E.B. Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais. *Matéria*, v.24, n.2, 2019.

DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *ME 194 - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman*. 1998.

ELENGA, R.G. et al. On the microstructure and physical properties of untreated raffia textilis fiber. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, p.418-422, 2009.

FARUK, O. et al. Biocomposites reinforced with natural fibers. *Prog Polym Sci*, p.2000-2010, 2012.

JESUS, L.C.C. et al. Comportamento térmico de compósitos de poliestireno reciclado reforçado com celulose de bagaço de cana. *Matéria*, v.24, n.3, 2019.

KATHIRSELVAM, M. et al. Characterization of cellulose fibers in *Thespesia populnea* barks: Influence of alkali treatment. *Carbohydrate Polymers*, 2019.

KURZ, M.N. et al. A potencialidade do uso de resíduo de borracha de pneu em argamassa: análise das propriedades físicas e mecânicas. *Matéria*, v.23, n.3, 2018.

LI, Y.; MAI, Y-W.; YE, L. Sisal fibre and its composites: a review of recente developments. *Composites Scie. Technol.*, v.60, p.2037-2055, 2000.

PCZIECZEK, A. et al. Análise estatística de propriedades mecânicas de argamassas com cinza volante e resíduo de borracha de pneus. *IBRACON Structures Mat. J.*, v.12, n.4, 2019.

PICANÇO, M. S.; GHAVAMI, K. Comportamento à compressão de argamassas reforçadas com fibras vegetais da Amazônia. *Int. Eng. J.*, p.3-18, 2008.

RIDZUAN, M.J.M. et al. Characterisation of natural cellulosic fibre from *Pennisetum purpureum* stem as potential reinforcement of polymer composites. *Mat. Design*, p.839-847, 2016.

SANTOS, D.O.J.; FONTES, C.M.A.; LIMA, P.L.R. Uso de agregado miúdo reciclado em matrizes cimentícias para compósitos reforçados com fibras de sisal. *Matéria*, v.22, n.1, 2017.

SATYANARAYANA, K.G.; GUIMARÃES, J.L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. *Composites*, p.1694-1709, 2007.

SAVASTANO JR., H. et al. Fracture and fatigue of natural fiber-reinforced cementitious composites. *Cement & Concrete Composites*, v.31, n.4, p.232-243, 2009.

SEKI, Y. et al. Extraction and properties of *Ferula communis* (chakshir) fibers as novel reinforcement for composites materials. *Composites*, p.517-523, 2013.

SILVA, E.J. et al. Resistência à compressão de argamassas em função da adição de fibra de coco. *Rev. Bras. Eng. Agrícola Amb.*, v.18, n.12, p.1268-1273, 2014.

SILVA, F.D.A.; CHAWLA, N.; ROMILDO FILHO, D. T. Mechanical behavior of natural sisal fibers. *J. Biobased Mat. Bioenergy*, v.4, n.2, p.106-113, 2010.

TOLENTINO, E.; CAMPOS, L.A.; OLIVEIRA, F.C. *Comportamento mecânico de argamassas de cimento portland fabricadas com a adição de fibras de sisal modificadas por acetilização*. In: ABM ANNUAL CONGRESS, 2017. São Paulo, 2017. p. 3014-3021.

VIANA, C.E. et al. The use of submerged-arc welding flux slag as raw material for the fabrication of multiple-use mortars and bricks. *Soldagem & Inspeção*, v.14, n.3, p.257-262, 2009.