CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE ARGAMASSAS REFORÇADAS COM PINUS SPP.

Tema: Sustentabilidade, vida útil e meio ambiente.

Grupo[1]: 2

MATHEUS HENRIQUE ALVES[1], ADALBERTO MATOSKI[2]

[1]Estudante PIBIC de Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR, matheus.henrique.alves@outlook.com

[2] Prof. Dr., Departamento Acadêmico de Construção Civil/DACOC, Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR, adalberto@utfpr.edu.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho é identificar o comportamento físico e mecânico de argamassas com resíduos de Pinus spp. Como método, empregou-se teores de 0, 10, 15 e 20% de resíduo em substituição a massa de cimento. Verificou-se que a adição de Pinus spp. diminui significativamente a massa específica seca e índice de vazios das argamassas ($p < 0,01$). Não houve significância do teor de resíduo na absorção de água das composições. Constatou-se que um teor de Pinus spp. de 15% é efetivo na redução da massa específica e índice de vazios das argamassas, sem queda significativa de resistência à compressão.

Palavras-chave: Pinus spp., celulose, argamassa reforçada, compósito, cimento.

PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF MORTARS REINFORCED WITH PINUS SPP. RESIDUES

ABSTRACT

The aim of this study was to analyse the physical and mechanical behaviour of mortars reinforced with Pinus spp. residues. Four compositions were tried varying the Pinus spp. substitution percentage: 0, 10, 15 and 20% in relation to cement weight. The residue addition leads to a significant decrease in the mortars' dry density and porosity ($p < 0,01$), whereas there was no significant influence in its water absorption. It was found that the addition of 15% of Pinus spp. residues in the mortars is effective to decrease its dry density and porosity without reducing significantly its compressive strength resistance.

Key-words: Pinus spp., cellulose, reinforced mortar, composite, cement.

[1] **Grupo 1:** Oriundos de teses, dissertações e relatórios finais de projetos de pesquisa; ou **Grupo 2:** oriundos de disciplinas de pós-graduação, iniciação científica, trabalhos de conclusão de curso (TCC), pesquisas aplicadas e outros.

1. INTRODUÇÃO

Os compósitos cimento-madeira (CCM) possuem grande potencial construtivo e benefícios ecológicos e são geralmente compostos por 30% a 90% em peso de uma matriz inorgânica e de 10% a 70% em peso por uma fase dispersante composta por elementos de madeira [5]. As argamassas de cimento Portland são comumente utilizadas como matriz inorgânica em CCM devido a suas propriedades ligantes, resistência ao fogo, resistência a umidade e a biodegradação, alta durabilidade e aplicabilidade, como em blocos de vedação[1,2], painéis cimentícios [3] e componentes de cobertura[4]. Adições minerais também podem constituir a matriz inorgânica de CCM. Já para a fase dispersante, podem ser empregados resíduos de base celulósica, como as partículas e fibras de madeira oriundas de resíduos florestais, diminuindo o consumo de agregados minerais convencionais e aglomerantes e contribuindo para a melhoria do seu desempenho termo acústico e leveza, tendo em vista a baixa massa específica e elevada porosidade da madeira[6].

A principal desvantagem dos CCM reside na incompatibilidade química entre o cimento e a madeira. O ambiente altamente alcalino fragiliza a estrutura celular da madeira aumentando sua porosidade, enfraquecendo a estrutura e elevando sua capacidade de absorção de água, além de gerar extrativos solúveis em água que são inibidores da pega do cimento e, portanto, prejudiciais para a resistência do compósito[7], sendo recomendado o uso de materiais cimentícios suplementares (*e.g.* metacaulim) para a redução da alcalinidade do meio cimentício, atenuando a degradação da fibra e aumentando a durabilidade do compósito. Também, o uso de aditivos aceleradores de pega, como o cloreto de cálcio ($CaCl_2.2H_2O$) em proporções otimizadas e o emprego de cimentos com alto calor de hidratação, como é o caso do Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV-ARI), contribuem para um processo de cristalização mais eficiente da matriz cimentícia, possibilitando o uso da fibra in natura[8].

Dessa forma, este trabalho visa analisar a adequabilidade física e mecânica de argamassas reforçadas com fibras de Pinus spp., mediante a substituição parcial do CPV – ARI por farinha de Pinus spp.

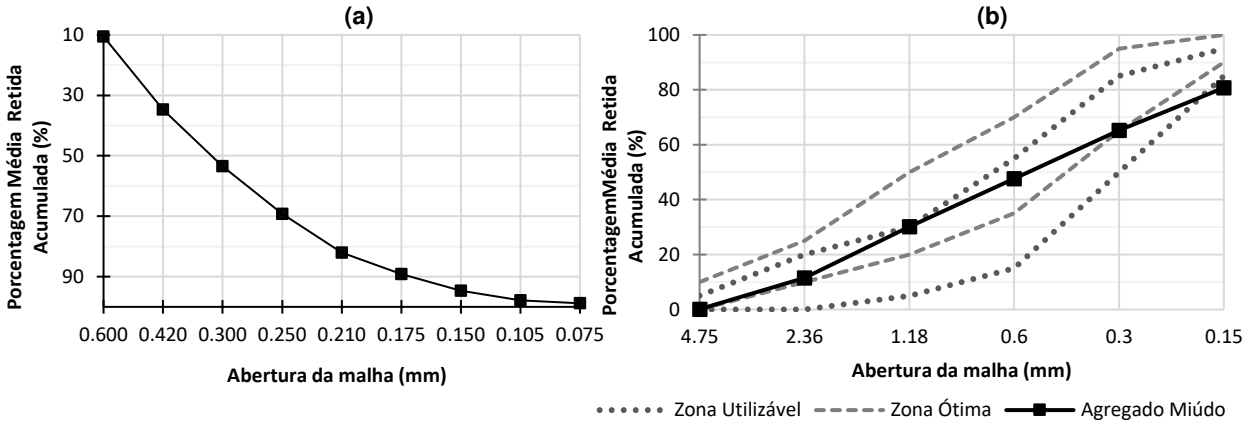
2. PROGRAMA EXPERIMENTAL: MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização dos materiais e preparação dos corpos de prova

Foi utilizado como fase dispersante o resíduo de Pinus spp. in natura sob a forma de farinha com granulometria controlada (Figura 1a). O módulo de finura (MF) do resíduo foi de 1,59 e sua massa específica absoluta e aparente foram de 0,968 g/cm³ e 0,296 g/cm³, respectivamente, determinadas conforme adaptação da NBR NM 52[9]. A absorção de água em 24h do resíduo foi de 279,4%, conforme a NBR NM 30[10].

Foi utilizado agregado miúdo granítico artificial com distribuição granulométrica determinada de acordo com a NBR NM 248[11] (Figura 1b). O MF do agregado miúdo foi de 2,35, sua massa específica de ρ = 2,69 g/cm³ e a absorção de água em 24h de 9,60%.

Figura 1. Distribuição granulométrica do Pinus spp. (a) e agregado miúdo (b).



Fonte: Os autores.

Utilizou-se cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV – ARI) (ρ = 3,09 g/cm³), Metacaulim (ρ = 2,56 g/cm³) e cloreto de cálcio (ρ = 2,15 g/cm³) em todas as composições. A água utilizada é proveniente da rede de abastecimento de Curitiba – PR.

Foram realizadas quatro composições de argamassas, onde variou-se somente a quantidade de resíduo de Pinus spp., fixados em 0%, 10%, 15% e 20% em relação à massa de cimento para as composições C-10 (Referência), C-10, C-15 e C-20, respectivamente. A quantidade de Metacaulim em substituição à massa de cimento foi de 15% para todas as composições. Utilizou-se 4% de cloreto de cálcio relativo à massa de cimento, conforme recomendações da literatura [12]. A relação água/aglomerante foi fixada em 0,55 para todas as composições.

A Tabela 1 mostra os consumos de materiais necessários para a confecção de 12 corpos de prova cilíndricos de dimensões 5x10cm, incluindo percentual de perdas de 10% e os respectivos traços unitários em massa seca para cada composição.

Tabela 1 – Consumo de materiais utilizados nas composições

Composição		Consumo em massa seca (g)			
	Pinus spp.	CPV-ARI (1) *	Agregado Miúdo (2)	Metacaulim (0,15)	Cloreto de Cálcio (0,04)
C-0	-	1200,0	2406,0	180,0	48,0
C-10	109,3 (0,1) *	1100,0	2205,5	165,0	44,0
C-15	149,1 (0,15)	1000,0	2005,5	150,0	40,0
C-20	179,0 (0,20)	900,0	1804,5	135,0	36,0

*Coeficientes referentes ao traço unitário em massa seca.

Para a confecção dos corpos de prova, utilizou-se uma argamassadeira. Após a mistura, foram moldados 12 corpos de prova cilíndricos de dimensões 5x10cm para cada composição. A preparação e moldagem foi feita conforme a NBR 7215[13]. A cura dos corpos de prova foi realizada em câmara úmida, onde permaneceram até as idades requeridas para a realização dos ensaios posteriores.

2.2. Avaliação dos parâmetros físicos e da resistência à compressão axial

Para a aferição dos parâmetros físicos utilizou-se três corpos de prova de cada composição após a cura em câmara úmida aos 28 dias. Os seguintes parâmetros foram analisados: absorção de água, massa específica e índice de vazios, conferidos após 72h de imersão em água, de acordo com a NBR 9778 [14].

A resistência a compressão axial foi avaliada após a cura úmida aos 3, 7 e 28 dias, com base na NBR 7215[13]. Foram ensaiados 3 corpos de prova de cada composição para cada idade.

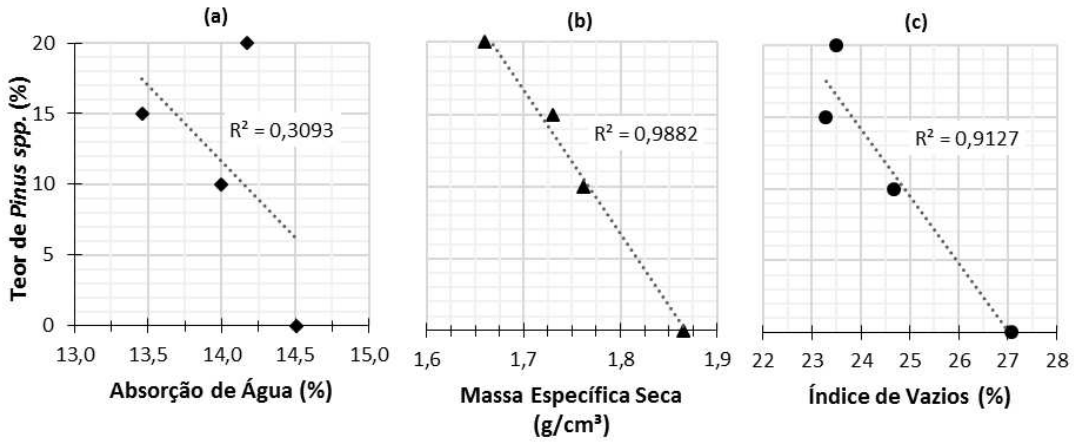
O diagnóstico dos dados foi realizado com base na análise de variância (ANOVA) seguida de teste Tukey para comparações entre médias, com nível de significância de $\alpha = 0,05$. Foi realizada também a análise de correlação linear entre médias para os parâmetros físicos. Para todas as análises foi utilizado o software PAST (versão 3.20).

3. APRESENTAÇAÕ E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1. Parâmetros físicos

A Figura 2 mostra a análise de correlação linear entre os resultados médios obtidos para os parâmetros físicos e o teor de Pinus spp. de cada composição.

Figura 2. Correlações entre teor de Pinus spp. e parâmetros físicos.



Fonte: Os autores.

A Tabela 2 apresenta os dados médios obtidos para as propriedades físicas das composições.

Tabela 2 – Resultados médios obtidos para os parâmetros físicos em 72h

Composição	Absorção de água		Índice de vazios		Massa específica seca	
	Média (%)	CV (%)	Média (%)	CV (%)	Média (g/cm³)	CV (%)
C-0	14,51	0,87	27,01[a]	1,28	1,87[a]	0,70
C-10	14,00	0,19	24,66[a]	0,26	1,75[b]	0,41
C-15	13,46	3,95	23,29[b]	3,00	1,73[b]	1,24
C-20	14,17	12,42	23,48[b]	10,21	1,66[c]	2,32

*Letras diferentes denotam diferenças significativas ao nível de significância de 5%.

Com base na Tabela 2, observa-se que as absorções médias das argamassas foram menores para as composições C-15 e C-20 quando comparadas com a composição referência C-0. Esperava-se uma absorção de água maior para as composições com resíduo de Pinus spp. devido à alta absorção de água do resíduo. De fato, a partir da análise ANOVA verifica-se uma inconsistência na relação entre a quantidade de Pinus spp. e a absorção do compósito ($p = 0,59$), o que pode ser observando também na Figura 2a ($r = 0,56$).

Em relação ao índice de vazios, este foi menor para as composições contendo Pinus spp. (Figura 2c). Devido à baixa massa específica absoluta e aparente das fibras, esperava-se um aumento no índice de vazios conforme o aumento da adição de fibras na composição. O teste Tukey (Tabela 2) identificou que o índice de vazios da composição C-20 é significativamente menor ao comparado com as composições C-0 e C-10 ($p < 0,01$), ao passo que o índice de vazios da composição C-15 não difere significativamente se comparada à C- 20 ($p = 0,83$). Também, com base na Figura 2c notou-se uma correlação negativa muito forte entre o teor de resíduo e o índice de vazios ($r = 0,96$).

Como os corpos de prova foram ensaiados aos 28 dias de cura, é possível que o processo de mineralização das fibras tenha influenciado na diminuição do índice de vazios e da absorção da argamassa, sendo forte a correlação entre estes últimos dois parâmetros ($r = 0,77$). Ainda, embora tenha-se usado Metacaulim- que atua no consumo da portlandita, principal agente causador da mineralização - em todas as composições, o teor utilizado nesta pesquisa é significativamente menor se comparado com dados da literatura, onde os teores chegam a 50% em relação à massa de cimento [15]. Pisello et al. [16], ao analisarem o comportamento acústico de blocos cimentícios com resíduo de madeira, identificaram que a mineralização atua na densificação do compósito ao longo do tempo e reduz o índice de vazios do mesmo (Figura 2c), diminuindo, consequentemente, a absorção de água.

Ainda nesse contexto, de acordo com Souza et al. [17], a absorção de água pela fibra vegetal durante o processo de mistura do compósito atua na hidratação tardia dos aglomerantes, o que pode contribuir para o selamento de poros e microfissuras na matriz cimentícia,

reduzindo sua absorção de água. Também, como a composição C-0 possui elevado consumo de cimento, durante o processo de mistura e cura é gerado um elevado calor de hidratação, provocando uma fissuração excessiva da matriz cimentícia e consequente aumento do seu índice de vazios e absorção de água. A adição de fibras vegetais vem sendo amplamente relatada na literatura como benéfica para a redução da propagação de microfissuras na matriz cimentícia [18–20]. Ainda, a distribuição granulométrica uniforme do resíduo contribui na obtenção de argamassas de maior compacidade (Figura 1).

A partir do teste de Tukey verifica-se que todas as composições com resíduo de Pinus spp. mostraram significativa redução da massa específica seca média quando comparadas com o traço referência ($p < 0,01$), apresentando reduções médias de 11,23%, 7,49% e 5,88% para as composições C-20, C-15 e C-10, respectivamente. Não houve apreciável redução da massa específica seca da composição C-15 em relação à composição C-10 ($p = 0,12$), ao passo que a redução foi expressiva entre as composições C-20 e C-15. Tal fato também fica claro na Figura 2b ($r = 0,99$).

Observou-se forte associação entre o índice de vazios e a massa específica seca ($r = 0,92$), o que já era esperado, pois para uma mesma massa, o volume de sólidos aumenta conforme a diminuição do volume de vazios. Tal análise sustenta ainda mais a hipótese de ocorrer o processo de mineralização nas composições com resíduo, que como visto, diminui o índice de vazios, ocasionando decrescimento na massa específica conforme o aumento no teor de resíduo ($r = 0,99$).

3.2. Resistência à compressão axial

A Tabela 3 abaixo apresenta os dados de resistência a compressão axial média das composições para cada tempo de cura.

Tabela 3 – Resultados médios obtidos para as propriedades mecânicas

Composição	Resistência à compressão axial					
	3 dias		7 dias		28 dias	
	Média (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	CV (%)
C-0	13,98[a]	2,81	23,47[a]	8,33	26,20	9,74
C-10	15,06[a]	7,58	19,86[a]	15,83	22,64	10,64
C-15	12,69[b]	5,07	19,08[a]	8,83	21,58	9,13
C-20	9,63[c]	6,28	14,48[b]	12,09	20,94	9,94

*Letras diferentes denotam diferenças significativas ao nível de significância de 5%.

Observa-se pela Tabela 3 que aos 3 dias, o compósito de referência C-0 apresentou menor resistência à compressão axial ao comparado com a composição C-10. Possivelmente, como a composição C-0 possui elevado consumo de cimento e, por se tratar de uma idade de cura precoce, o elevado calor de hidratação e a alta relação água/aglomerante podem ter levado a uma incorporação de ar excessiva e ter ocasionado microfissuras na matriz cimentícia,

diminuindo sua tenacidade. Como a composição C-10 possui 10% de Pinus spp., é provável que as fibras tenham absorvido parte da energia dissipada pelas reações de hidratação do cimento, diminuindo a ocorrência de fissuras na matriz cimentícia. Conclusões semelhantes foram obtidas por Lima [12] para CCM ensaiados aos 3 dias. No entanto, observa-se que esse fenômeno não ocorre para as composições C-15 e C-20 aos 3 dias, provavelmente devido à diminuição da massa específica.

Ao analisarmos os resultados de resistência a compressão para cada idade, aos 3 dias a análise ANOVA mostrou boa correlação entre o teor de resíduo e a resistência a compressão axial ($p < 0,01$). Ainda, o teste Tukey para 3 dias mostrou que a composição C-20 teve significativa redução de resistência à compressão quando comparada com as demais composições ($p < 0,01$), havendo queda de resistência expressiva de resistência da composição C-15 em relação à composição C-10 ($p = 0,02$). Aos 7 dias, também houve elevada correlação entre o teor de resíduo e a resistência à compressão axial ($p < 0,01$), onde somente a composição C-20 apresentou redução significativa de resistência à compressão ao ser comparada com a composição C-0 ($p < 0,01$). No entanto, não houve significância do teor de Pinus spp. na resistência à compressão aos 28 dias das composições ($p = 0,10$), não sendo possível inferir sobre a influência do teor de Pinus na resistência à compressão característica das mesmas.

4. CONCLUSÕES

A adição de Pinus spp. na composição das argamassas propicia queda significativa na massa específica seca e índice de vazios das mesmas, sendo que o teor de 15% se mostrou mais efetivo.

O decrescimento do índice de vazios e da absorção quando do aumento do teor de Pinus spp. na composição pode estar relacionado com o processo de mineralização e granulometria das fibras e seu potencial de redução de propagação de fissuras na matriz cimentícia, bem como a hidratação tardia dos aglomerantes devido a elevada absorção de água das fibras de Pinus spp. Já o elevado índice de vazios e alta absorção da composição de referência podem estar associados ao intenso calor de hidratação do compósito, sendo necessárias avaliações calorimétricas e análises microscópicas para uma investigação aprofundada.

Quanto à resistência à compressão, aos 3 dias a composição de referência teve resistência menor ao ser comparada com o traço que continha 10% de Pinus spp., o que pode estar relacionado ao calor de hidratação da argamassa de referência e a propagação de fissuras na sua matriz cimentícia. Verificou-se que a composição com 20% de resíduo diminui significativamente a resistência à compressão da argamassa aos 3 e 7 dias de cura.

5. REFERÊNCIAS

1. SOTO IZQUIERDO, I.; SOTO IZQUIERDO, O. I; RAMALHO, M.A.; TALIERCIO, A. Sisal fibre reinforced hollow concrete blocks for structural applications: Testing and modelling. **Construction and Building Materials**, v.151, p.98-112, jun.2017.

2. VILLAS-BÔAS, B.T. **Utilização de Cimento Portland e Resíduo de Pinus spp. para Fabricação de Blocos Vazados de Baixa Densidade para Alvenaria**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

3. MATOSKI, A.; RIBEIRO, R.S. Evaluation of the acoustic performance of a modular construction system: Case study. **Applied Acoustics**, v.106, p.105-112, jan.2016.

4. DARSANA, P.; ABRAHAM, R.; JOSEPH, A.; JASHEELA, A.; BINURAJ, P.R.; SARMA, J. Development of Coir-fibre Cement Composite Roofing Tiles. **Procedia Technology**, v. 24, p.169-178, 2016.

5. YOUNGQUIST, J.A. Wood-based Composites and Panel Products. *In:* Ross, R.J. (ed.). **Wood Handbook—Wood as an Engineering Material**. Wisconsin: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. cap.10, p.1-31.

6. CHEN, Y.; YU, Q.L.; BROUWERS, H.J.H. Acoustic performance and microstructural analysis of bio-based lightweight concrete containing miscanthus. **Construction and Building Materials**, v.157, p.839-851, out.2017.

7. WEI, J.; MA, S.; THOMAS, D.G. Correlation between hydration of cement and durability of natural fibre-reinforced cement composites. **Corrosion Science**, v.106, p.1–15, jan.2016.

8. AGGARWAL, L.K.; SINGH, J. Effect of plant fibre extractives on properties of cement. **Cement and Concrete Composites**, v.12, n.2 p.103-108, fev.1990.

9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 52**: Agregado miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 30:** Agregado miúdo – determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248:** Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

12. LIMA, A.J.M. **Utilização de Resíduos de Pinus spp e Materiais Cimentícios Alternativos na Produção de Blocos para Alvenaria Estrutural**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7215:** Cimento Portland – determinação da resistência à compressão axial de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

15. FILHO, J.D.A.M.; SILVA, F.D.A.; TOLEDO FILHO, R.D. Degradation kinetics and aging mechanisms on sisal fiber cement composite systems. **Cement and Concrete Composites**, v. 40, p-30-39, abr. 2013.

16. PISELLO, A.L.; FABIANI, C.; MAKAREMI, N.; CASTALDO, V.L.; CAVALAGLIO, G.; NICOLINI, A. Sustainable new brick and thermo-acoustic insulation panel from mineralization of stranded driftwood residues. **Energies**, v.9, n.8, p. 1-20, ago.2016.

17. SOUZA, L.; SOUZA, L.; SILVA, F. Autogenous healing capability of natural curauá textile reinforced concrete. **Procedia Engineering**, v.200, p.290-294, jun.2017.

18. BOGHOSSIAN, E.; WEGNER, L.D. Use of flax fibres to reduce plastic shrinkage cracking in concrete. **Cement and Concrete Composites**, v.30, n.10, p.929-937, set.2008.

19. SILVA, F de A.; MOBASHER, B.; FILHO, R.D.T. Cracking mechanisms in durable sisal fibre reinforced cement composites. **Cement and Concrete Composites**, v.31, n.10. p.721-730, jul.2009.

20. HWANG, C.L.; TRAN, V.A.; HONG, J.W.; HSIEH, Y.C. Effects of short coconut fibre on the mechanical properties, plastic cracking behaviour, and impact resistance of cementitious composites. **Construction and Building Materials**, v.127, p.987-992, out.2016.