



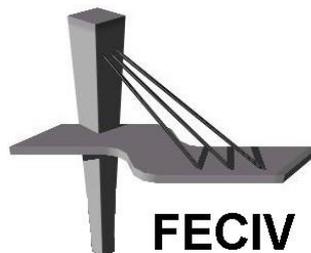
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TRATAMENTO DE BUCHA VEGETAL POR MEIO
DE ADESÃO DE LÁTEX E RESÍDUO DE TELHA
CERÂMICA À SUA SUPERFÍCIE, PARA
APLICAÇÃO EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS.**

CÁSSIO DE OLIVEIRA CAIXETA.

UBERLÂNDIA, FEVEREIRO DE 2020.

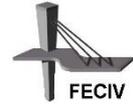


FECIV

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



CÁSSIO DE OLIVEIRA CAIXETA

**TRATAMENTO DE BUCHA VEGETAL POR MEIO DE
ADESÃO DE LÁTEX E RESÍDUO DE TELHA CERÂMICA
À SUA SUPERFÍCIE, PARA APLICAÇÃO EM
COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS.**

Relatório apresentado à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Leila Aparecida de Castro Motta

Uberlândia, 2020.

FOLHA DE ASSINATURAS

CÁSSIO DE OLIVEIRA CAIXETA

**TRATAMENTO DE BUCHA VEGETAL POR MEIO DE ADESÃO DE LÁTEX E
RESÍDUO DE TELHA CERÂMICA À SUA SUPERFÍCIE, PARA APLICAÇÃO
EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentando ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenharia Civil.

Professora Dra. Leila Aparecida de Castro Motta

Presidente da banca – Orientadora

Professora Lorayne Cristina da Silva Alves

Membro

Professor Dr. Paulo Roberto Cabana Guterres

Membro

Uberlândia, 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por todas as bênçãos, por iluminar meu caminho e por fortalecer-me durante toda a graduação.

Aos meus pais, Edivone e Fabrízia, que nunca mediram esforços para permitir que este momento fosse possível.

Ao meu irmão, Tales, que sempre me trouxe conforto e esperança nos momentos de dificuldade.

À minha namorada, Alice, por me apoiar e incentivar incondicionalmente do primeiro ao último dia da graduação.

À minha orientadora, Prof.^a Leila, pela oportunidade de realização dessa pesquisa. Agradeço pelos ensinamentos e sabedoria compartilhada, não só no presente trabalho, como também em minhas pesquisas de iniciação científica. Agradeço, também, pela atenção, paciência e amizade.

À minha amiga, Ma. Cristiane Pires, pela imprescindível ajuda durante todas as etapas deste trabalho, pelos ensinamentos, atenção e paciência.

Ao meu amigo Hiago Caixeta, pela amizade, fraternidade e incentivo.

À Universidade Federal de Uberlândia, à Faculdade de Engenharia Civil, e todos os seus professores, técnicos, demais funcionários e alunos que participaram e possibilitaram minha formação profissional e pessoal.

RESUMO

Compósitos cimentícios reforçados com fibras são materiais de grande utilidade na construção civil. São compostos basicamente por cimento, água e fibra de amianto; contudo esse último mostrou-se um problema no que se refere à nocividade à saúde humana, embora possua propriedades bastante convenientes para a fabricação de fibrocimento. Inúmeros estudos vêm sendo feitos acerca de fibras alternativas, destacando-se as fibras vegetais: materiais biodegradáveis, renováveis e de baixo custo. Contudo, estas apresentam diminuição no desempenho e durabilidade em matriz alcalina, principalmente devido à degradação da fibra e a variação do seu volume com a mudança do teor de umidade do compósito. Visando melhorar o desempenho das fibras de bucha vegetal no compósito, pretende-se diminuir o ataque do meio alcalino à fibra, por meio da adição de látex e da pozolana resíduo de telha cerâmica (RTC) à fibra, que reage com os compostos alcalinos resultantes da hidratação do cimento, formando C-S-H – principal responsável pelo ganho de resistência. Realizou-se tal adição de pozolana RTC por meio da colagem da pozolana diretamente na fibra, pela ação do látex. Cria-se, então, um revestimento ao redor das fibras de bucha vegetal, que tende a amenizar o ataque do meio cimentício às mesmas. Com o intuito de verificar suas propriedades e validar a eficácia do tratamento, moldaram-se, então, compósitos com buchas sob três condições: referência, em que a bucha foi submetida a nenhum tratamento; látex, em que a bucha foi impregnada com látex; látex e RTC, em que a bucha recebeu o tratamento completo. Após a moldagem, ensaiaram-se os compósitos aos 28 e 90 dias para obtenção de suas propriedades. Observou-se que a referência apresentou melhor módulo de ruptura e módulo de elasticidade. O tratamento completo resultou em compósitos com melhor tenacidade: 20% maior que a referência. Quanto às propriedades físicas, o tratamento completo obteve menor absorção e porosidade que os demais, enquanto a menor massa específica foi obtida pela referência.

ABSTRACT

Fiber reinforced cementitious composites are very useful materials in civil construction. They are basically composed of cement, water and asbestos fiber; however, the latter proved to be a problem with regard to harmfulness to human health, although it has very convenient properties for the manufacture of fiber cement. Numerous studies have been carried out on alternative fibers, especially vegetable fibers: biodegradable, renewable and low-cost materials. However, they show a decrease in performance and durability in alkaline matrix, mainly due to the degradation of the fiber and the variation of its volume with the change of the moisture content of the composite. Aiming to improve the performance of vegetable bushing fibers in the composite, it is intended to reduce the attack of the alkaline medium to the fiber, by adding latex and the pozzolan ceramic tile residue (RTC) to the fiber, which reacts with the resulting alkaline compounds hydration of the cement, forming CSH - the main responsible for the resistance gain. Such addition of RTC pozzolan was performed by gluing the pozzolan directly to the fiber, by the action of latex. A coating is then created around the fibers of the vegetable loofah, which tends to soften the attack of the cementitious medium on them. In order to verify its properties and validate the effectiveness of the treatment, composites were then molded with bushings under three conditions: reference, in which the bush was subjected to no treatment; latex, in which the bushing was impregnated with latex; latex and RTC, in which the bushing received the complete treatment. After molding, the composites were tested at 28 and 90 days to obtain their properties. It was observed that the reference showed better rupture modulus and elastic modulus. The complete treatment resulted in composites with better toughness: 20% higher than the reference. As for physical properties, the complete treatment obtained less absorption and porosity than the others, while the lowest specific mass was obtained by reference.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Esquema do processo Hatschek para a produção de telhas de fibrocimento..	12
Figura 2 – Estruturas da bucha vegetal.....	13
Figura 3 – Comparação entre matrizes cimentícias com e sem fibras.....	14
Figura 4- Comportamento de compósito submetido à flexão. 1 e 2: deslocamento da fibra; 3: arranchamento da fibra; 4: ruptura da fibra.	15
Figura 5 – Celulose após trituração.	16
Figura 6 – Resíduo de telha cerâmica.....	17
Figura 7 - Bucha vegetal pronta para lavagem.....	18
Figura 8 - Lavagem da bucha vegetal em água aquecida.....	18
Figura 9- Bucha após prensagem.....	19
Figura 10 - Mantas imersas em látex.....	19
Figura 11 - Mantas tratadas em processo de secagem.....	20
Figura 12 - Imagem microscópica da fibra submetida ao tratamento completo.	20
Figura 13 - Imagem microscópica da fibra submetida ao tratamento com látex.....	21
Figura 14 - Imagem microscópica da fibra natural.....	21
Figura 15 - Processo de moldagem.....	22
Figura 16 - Prensagem.....	22
Figura 17 - Compósitos após moldagem e prensagem.	23
Figura 18 - Compósitos após o corte com serra elétrica.	23
Figura 19 - Ensaio de Flexão em quatro pontos.	24
Figura 20 – Curvas obtidas do ensaio de flexão dos compósitos referência aos 28 e 90 dias de idade.	27
Figura 21 – Curvas obtidas do ensaio de flexão dos compósitos com adição de látex às fibras, aos 28 dias de idade.....	27
Figura 22 – Curvas obtidas do ensaio de flexão dos compósitos com adição de látex e RTC às fibras, aos 28 dias de idade.....	28
Figura 23– Curvas obtidas do ensaio de flexão dos de referência, aos 90 dias de idade.	28
Figura 24– Curvas obtidas do ensaio de flexão dos compósitos com adição de látex às fibras, aos 90 dias de idade.....	29
Figura 25– Curvas obtidas do ensaio de flexão dos compósitos com adição de látex e RTC às fibras, aos 90 dias de idade.....	29
Figura 26 - Gráfico de comparação da Resistência à flexão.	30
Figura 27 - Gráfico de comparação do Módulo de Elasticidade.	30
Figura 28 - Gráfico de comparação da Tenacidade.	30
Figura 29 – a) região de ruptura de compósito de referência; b) região de ruptura de compósito tratado com látex; c) região de ruptura de compósito tratado com látex e RTC.	32
Figura 30 – Absorção dos compósitos nas diferentes idades.	35
Figura 31 – Massa específica dos compósitos nas diferentes idades.	35
Figura 32 – Porosidade dos compósitos nas diferentes idades.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Ganho de massa em função do tratamento de adesão.....	25
Tabela 2 – Resultados do ensaio de flexão aos 28 dias de idade.....	26
Tabela 3 – Resultados do ensaio de flexão aos 90 dias de idade.....	26
Tabela 4 - Teor de sólidos na água succionada durante a moldagem.....	33
Tabela 5 - Cálculo de índices físicos.....	34
Tabela 6 – Índices físicos dos compósitos aos 28 dias.....	34
Tabela 7 – Índices físicos dos compósitos aos 90 dias.....	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVO	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 Fibrocimento	12
3.2 Fibra de bucha vegetal <i>Luffa cylindrica</i>	13
3.3 Resíduo de telha cerâmica (RTC)	15
3.4 Látex	15
4 MATERIAIS	16
4.1 Bucha vegetal	16
4.2 Cimento CPV ARI	16
4.3 Celulose	16
4.4 Resíduo de telha cerâmica (RTC)	17
4.5 Látex	17
5 METODOLOGIA	17
5.1 Preparação das mantas de bucha vegetal	17
5.2 Preparação dos compósitos	21
5.3 Ensaio de flexão dos compósitos	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1 Ganho de massa das fibras de bucha vegetal com o tratamento.....	25
5.2 Propriedades mecânicas dos compósitos	26
5.2.1 Comparativo entre os diferentes tratamentos e as diferentes idades	30
5.3 Propriedades físicas dos compósitos	33
6 CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

Compósitos cimentícios reforçados com fibras são materiais de grande utilidade na construção civil. São compostos basicamente por cimento, água e amianto, contudo esse último mostrou-se um problema no que se refere à nocividade à saúde humana, embora possuísse propriedades bastante convenientes para a fabricação de fibrocimento. Com isso, torna-se necessário a substituição do amianto por outra fibra com propriedades semelhantes, e que não represente um risco à população. Surgiu então o interesse na utilização das fibras vegetais por serem materiais biodegradáveis, renováveis e de baixo custo. Portanto, as fibras vegetais já apresentam vantagens econômicas e ambientais, mas ainda se verificam impasses no que se refere à viabilidade técnica.

Fibras vegetais não representam riscos à saúde como a fibra de amianto, que ainda é usada por países em desenvolvimento. Contudo, as fibras vegetais têm algumas desvantagens, como a diminuição no desempenho e durabilidade em matriz alcalina, principalmente devido à degradação da fibra e a variação do seu volume com a mudança do teor de umidade do compósito, o que resulta na perda do contato físico com a matriz cimentícia, que tem propriedades de absorção e deformação diferentes das fibras (MOTTA, et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2015).

Métodos de melhoramento dos compósitos cimentícios com fibras vegetais são investigados pelos pesquisadores. Através de tratamentos químicos ou físicos das fibras ou modificação da matriz é possível melhorar o desempenho do material. Motta (2006) estudou o tratamento termomecânico de fibras de sisal e coco, e observou que as fibras de coco prensadas apresentam grande redução da porosidade, aumento do módulo de elasticidade, redução da deformação final e alteração não significativa da resistência à tração para temperaturas abaixo de 200 °C. As fibras de sisal prensadas, contudo, apresentam queda da resistência à tração e pequena elevação do módulo de elasticidade.

Oliveira et al. (2015) verificou que as fibras de bucha vegetal sujeitas a numerosos ciclos de molhagem e secagem, apresentaram diminuição no índice de absorção de umidade, como também uma redução da variação dimensional que anteriormente era resultante da variação de umidade do compósito. Isso permitiu a formação de um componente com maior desempenho físico e mecânico.

Sabe-se que, no processo de hidratação do cimento *Portland*, o hidróxido de cálcio representa cerca de 20% dos produtos finais da hidratação, e não contribui para a resistência final do material endurecido (FILHO et al., 2012). O hidróxido de cálcio, também conhecido como a Cal Hidratada, é um composto altamente alcalino. As fibras vegetais, ao entrarem em contato com meio alcalino, apresentam deterioração considerável, o que prejudica o desempenho mecânico e a durabilidade que se espera obter do compósito cimentício.

Uma alternativa para diminuir o teor de hidróxido de cálcio, e conseqüentemente a alcalinidade no compósito, é através da adição de pozolana. A pozolana ao reagir com o hidróxido de cálcio tem como produto o CSH (Silicato Hidratado de Cálcio), um dos principais responsáveis pelo ganho de resistência do compósito, além de ocasionar a diminuição do ataque do meio cimentício às fibras vegetais (DOS ANJOS et al., 2003). As pozolanas são substâncias constituídas de sílica e alumina que, em presença de água, combinam-se com o hidróxido de cálcio e com os diferentes componentes do cimento formando compostos estáveis à água e com propriedades aglomerantes (DAL MOLIN et al., 2002).

Vista a necessidade de adição pozolânica, o resíduo de telha cerâmica (RTC) mostra-se como uma alternativa, tendo em mente sua viabilidade econômica, além de possibilitar considerável contribuição para o meio ambiente. Segundo os estudos de Dal Molin et al. (2002) a resistência média à compressão da argamassa com adição de material cerâmico foi de 7,7 MPa aos 28 dias e o índice de atividade pozolânica do material cerâmico em relação à argamassa de referência foi de 87,2%, fato este que comprovou o caráter pozolânico do resíduo de cerâmica vermelha.

Conforme Pires (2017), a substituição parcial do cimento por pozolana RTC em compósitos cimentícios com fibras de bucha vegetal, implicam no aumento da resistência à flexão, módulo de elasticidade e tenacidade, sendo este último bastante interessante, pois indica melhoria da interface matriz e fibra, que evidentemente sofreu menor processo de degradação. Pires (2017) demonstrou, ainda, que quanto maior o percentual de substituição, com limitante máximo de 40%, melhores os resultados.

2 OBJETIVO

O objetivo deste estudo é avaliar o desempenho e a durabilidade de compósitos de matriz cimentícia com incorporação de fibras de bucha vegetal *Luffa cylindrica*, tratadas por

meio de impregnação de suas fibras com látex natural e/ou resíduo de telha cerâmica (RTC), quando comparados a compósitos de referência, com bucha vegetal sem tratamento.

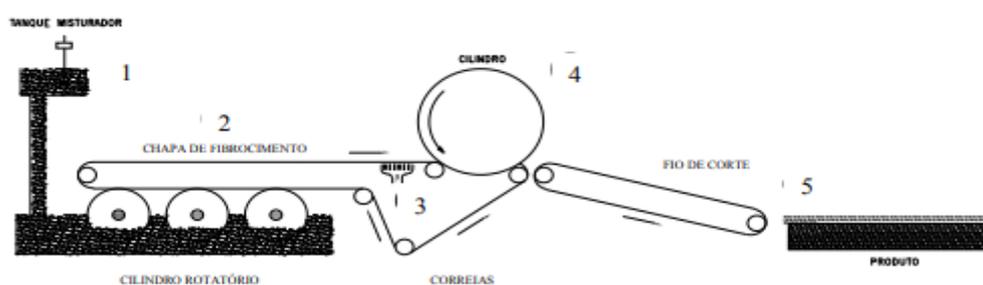
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Fibrocimento

O fibrocimento é um compósito de pasta de cimento e fibras, sendo a fibra de amianto a mais difundida. Na construção civil, é destinado ao uso em placas para paredes, chapas, reservatórios de água e telhas onduladas.

Atualmente, a forma de fabricação mais empregada é o Processo de Hatschek, desenvolvido por Ludwig Hatschek em 1900, ilustrado na figura 1. Este é empregado desde fabricação de compósitos destinados a telhas onduladas até a fabricação de papel, e consiste em: mistura de água, cimento, fibras e adições minerais, retenção do excesso de água, prensa do material restante, obtendo-se o produto final (OLIVEIRA, 2010).

Figura 1- Esquema do processo Hatschek para a produção de telhas de fibrocimento



Fonte: Oliveira (2010).

As primeiras fibras a serem utilizadas em larga escala na produção de fibrocimento foram as fibras de amianto, por agregarem aos compósitos propriedades mecânicas convenientes (PIRES, 2017). Contudo, hoje sabe-se que o amianto é nocivo à saúde humana, e como consequência há a busca por novos materiais e tipos de fibras que possam vir a substituí-la de maneira adequada.

Todavia, há a dificuldade da durabilidade baixa ao empregar-se fibras vegetais nos compósitos cimentícios, pois o meio alcalino da matriz não favorece uma longa vida útil dessas fibras. Para avaliar a degradação, devem ser observados as propriedades físicas mecânicas e microestruturais, em que a tenacidade é a melhor indicadora de degradação, pois sua redução indica que a fibra está fragilizada e/ou que já não apresenta uma interface

adequada com a matriz. Logo, é conveniente realizar tratamento de modificação da matriz ou da fibra, seja ela uma modificação química ou física, para promover melhor compatibilidade entre ambos os materiais, e resultar em um melhor desempenho. (PIRES, 2017).

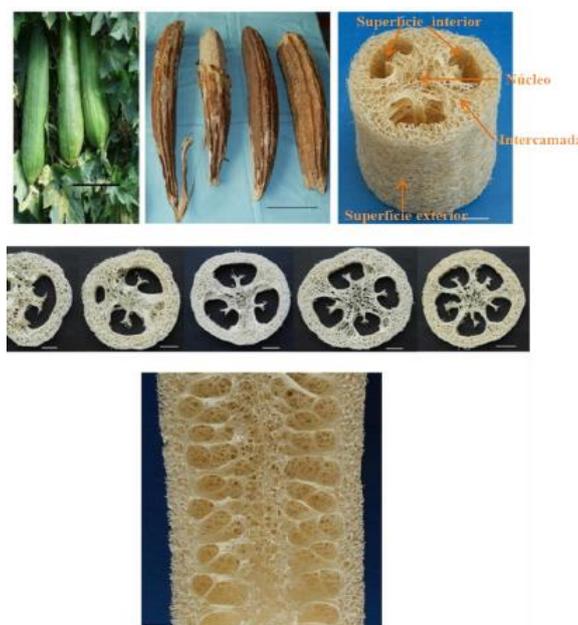
3.2 Fibra de bucha vegetal *Luffa cylindrica*

A bucha vegetal *Luffa cylindrica*, produzida em regiões subtropicais, tais como América Latina, África, China, Coréia e Japão, tem o Brasil como um dos seus maiores produtores e exportadores, com destino predominante para os Estados Unidos e Europa, onde é utilizada principalmente como esponja de banho (SATYANARAYANA et al., 2007).

No Brasil, esta planta é cultivada nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso, e nas regiões Norte e Nordeste, com destaque para a cidade de Bonfim, Minas Gerais, tida como a capital brasileira da bucha vegetal (PIRES, 2017).

Com hábitos de crescimento trepador, a *Luffa Cylindrica* é caracterizada ainda como uma planta de safra anual e herbácea (FERREIRA et al., 2010). Pode ser dividida em diferentes regiões, sendo elas: superfície exterior, superfície interior, camadas internas e núcleo, como mostra a figura 2.

Figura 2 – Estruturas da bucha vegetal.



Fonte: Shen et al (2014).

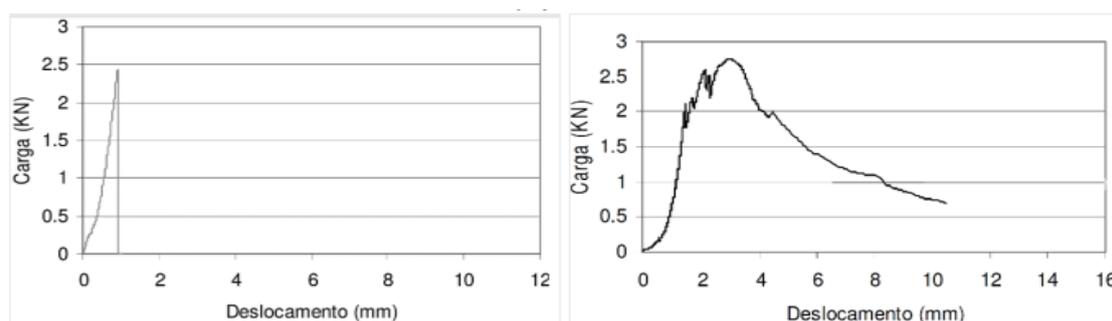
As fibras da bucha vegetal apresentam direção radial na superfície interna, longitudinal na superfície externa, e nas três direções espaciais na camada interna (SHEN et al., 2012). O fruto *in natura* pode chegar a medir 1,50 m de comprimento, apresentando diâmetro médio de aproximadamente 10 cm. Atualmente, a bucha vegetal *Luffa cylindrica* é empregada na indústria, farmacologia, biotecnologia e domesticamente, bem como em artesanatos (TANOBE, 2003; FERREIRA et al., 2010).

Visando soluções sustentáveis, materiais renováveis como a bucha vegetal apresentam-se como excelentes alternativas de utilização. Para sua aplicação em compósitos, esta é utilizada na forma prensada, adquirindo um formato de placa, permitindo uma redistribuição das tensões na matriz, o que é conveniente para manutenção da resistência após o pico de tensão. Posteriormente às primeiras fissurações, tensões são transferidas às fibras; viabilizando, portanto, a manutenção da tensão (SOUZA et al., 2017).

O tratamento químico realizado por Souza et al. (2017), melhorou as propriedades mecânicas e físicas das fibras: compósitos com fibras sem tratamento apresentaram propriedades mecânicas e físicas inferiores àqueles com fibras submetidas ao tratamento. Isto é um bom indicativo de que seja possível alcançar propriedades satisfatórias por meio de alterações químicas e/ou físicas das fibras de bucha vegetal.

A adição de fibras nas matrizes mais comumente empregadas na engenharia civil, tais como argamassas e concretos que são materiais frágeis e não apresentam boa tenacidade, possibilita uma absorção de deformação e, conseqüentemente, melhor resistência ao impacto. A figura 3 ilustra o comportamento de matrizes sem e com fibras adicionadas, respectivamente. Percebe-se que, no primeiro caso, sem a adição do material de reforço, a ruptura é frágil. No segundo caso, em que há a incorporação da fibra na matriz, existe um aumento da deformação do material, indicando uma maior tenacidade e absorção de esforços.

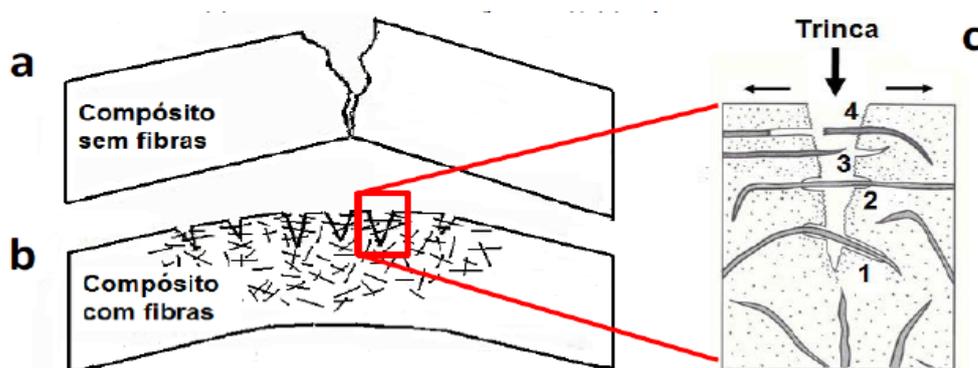
Figura 3 – Comparação entre matrizes cimentícias com e sem fibras.



Fonte: Pimentel *et al* (2016).

Para que o desempenho de matrizes frágeis com adição de fibras seja satisfatório, deve haver entre ambos diferentes tipos de aderência: ancoragem mecânica, atrito, adesão física e química (PIRES, 2017). Na Figura 4 a seguir, está ilustrado o mecanismo de aderência entra a matriz e as fibras durante ensaio de flexão.

Figura 4- Comportamento de compósito submetido à flexão. 1 e 2: deslocamento da fibra; 3: arranchamento da fibra; 4: ruptura da fibra.



Fonte: Tonoli (2009).

As fibras presentes na matriz frágil possibilitam aumento da tenacidade, resultando em comportamento pseudoplástico do compósito, o que promove melhoria nas resistências e demais propriedades mecânicas (PIRES, 2017).

3.3 Resíduo de telha cerâmica (RTC)

Visando propiciar um meio mais suscetível a uma maior vida útil das fibras no compósito, há a possibilidade de realizar-se incorporações minerais a fim de diminuir o pH do meio. O resíduo de cerâmica vermelha (RTC) é um material pozolânico, de baixo custo e pouco reaproveitado (GARCIA *et al.*, 2015). Estes materiais podem ser empregados em substituição parcial ao aglomerante em concretos, pastas e argamassas em virtude de seu caráter pozolânico: o índice de atividade pozolânica indica o teor de hidróxido de cálcio igual a 714,81mg por grama de RTC, valor que representa boa reatividade do material (PIRES, 2017).

3.4 Látex

Ao utilizar-se de látex nos compósitos cimentícios, ocorre menor geração de CH (hidróxido de cálcio) no processo de hidratação do cimento, fator favorável à vida útil de fibras vegetais na matriz (SILVA *et al.*, 2017).

Silva et al (2017) estudaram a influência de material pozolânico impregnado a fibras de coco, com e sem a utilização de látex, para aplicação em compósitos, e mostraram que naqueles compósitos com a fibra de coco tratada com o látex, houve maior tenacidade – em virtude, também, de seu poder adesivo – módulo de ruptura e módulo de elasticidade, quando comparados aos compósitos somente com a fibra e a pozolana utilizada. De acordo com o estudo, isso ocorre devido ao látex que, ao aderir a pozolana e a fibra, promove reações pozolânicas locais, que protegem a superfície da fibra do meio.

4 MATERIAIS

4.1 Bucha vegetal

A bucha vegetal estudada foi adquirida da empresa ISA Brasil, locada em São José dos Campos - SP, na condição *in natura*, sem casca.

4.2 Cimento CPV ARI

Com a necessidade da utilização de um cimento que não influenciasse na avaliação do compósito, necessitou-se de um cimento sem adições minerais reativas. Desta forma, optou-se pela utilização do CPV ARI.

4.3 Celulose

A polpa celulósica é de fundamental importância para a moldagem dos compósitos. Ela é responsável pela retenção do fino (cimento, pozolana) durante o processo de sucção, onde o objetivo é somente a retirada do excesso água.

A celulose utilizada é proveniente de eucalipto. Foram adquiridas placas de celulose, que passaram por um processo de retalhamento, e posterior trituração via úmida para preservação da integridade da fibra (figura 5).

Figura 5 – Celulose após trituração.



Fonte: Autor.

4.4 Resíduo de telha cerâmica (RTC)

O resíduo de telha cerâmica utilizado – figura 6 - foi adquirido de indústrias da cidade de Monte Carmelo-MG, em forma de cacos. Posteriormente, realizou-se sua trituração por meio de um equipamento Abrasão Los Angeles, e o material adquirido foi posteriormente refinado em um liquidificador industrial. Por fim, realizou-se o peneiramento, a fim de utilizar-se somente o material passante na peneira #200 (75 μ m). Ao fim deste processo, o material adquire aspecto demonstrado na Figura 6.

Figura 6 – Resíduo de telha cerâmica.



Fonte: Autor.

4.5 Látex

O látex natural foi doado pela Fazenda Varginha, Araguari – MG. Para evitar sua coagulação e ataques de bactérias, estabilizou-se o látex com uma solução de hidróxido de amônia na proporção de 50 mL a cada 5 litros de látex.

5 METODOLOGIA

5.1 Preparação das mantas de bucha vegetal

A princípio, realizou-se a abertura da bucha vegetal, remoção do núcleo e retirada de sementes (figura 7). Então, foi necessário cortá-las de forma retangular, com dimensões de aproximadamente 20cm×20cm. Com o objetivo de retirar as impurezas, a bucha, já com formato quadricular, foi lavada em água aquecida a 70°C (figura 8). E posteriormente secas em estufa a 60°C por 24 horas.

Figura 7 - Bucha vegetal pronta para lavagem



Fonte: Autor.

Figura 8 - Lavagem da bucha vegetal em água aquecida.



Fonte: Autor.

Realizou-se, então, o tratamento mecânico na fibra vegetal *Luffa cylindrica* à temperatura ambiente. Tal tratamento utiliza-se de uma termoprensa, em que as mantas de bucha recebem a pressão de 90 MPa. As fibras foram prensadas na condição saturada e posteriormente foram secas em estufa.

Ao final deste processo, a bucha vegetal assume o aspecto de uma malha fina, como ilustra a Figura 9.

Figura 9- Bucha após prensagem.



Fonte: Autor.

Após o tratamento mecânico, as buchas foram impregnadas com o látex e a pozolona RTC. As mantas foram imersas no látex durante 5 minutos (figura 10). Após isso, foi realizada a adição do RTC. A adição do RTC consistiu no peneiramento do resíduo sobre as mantas encharcadas com o látex, em ambos os lados. As mantas foram, então, dispostas em uma grade suspensa, para possibilitar adequada drenagem gravitacional do excesso de material, conforme figura 11.

Figura 10 - Mantas imersas em látex.



Fonte: Autor.

Figura 11 - Mantas tratadas em processo de secagem.



Fonte: Autor.

Foram selecionadas quatro buchas de referência, que não receberam tratamento com látex e/ou RTC. Outras quatro foram destinadas ao tratamento somente com látex, enquanto quatro foram tratadas com látex e RTC, totalizando 12 amostras.

Nas figuras 12, 13 e 14, estão evidenciados os aspectos das fibras após cada tratamento, por meio de imagem microscópica.

Figura 12 - Imagem microscópica da fibra submetida ao tratamento completo.



Fonte: Autor.

Figura 13 - Imagem microscópica da fibra submetida ao tratamento com látex.



Fonte: Autor.

Figura 14 - Imagem microscópica da fibra natural.

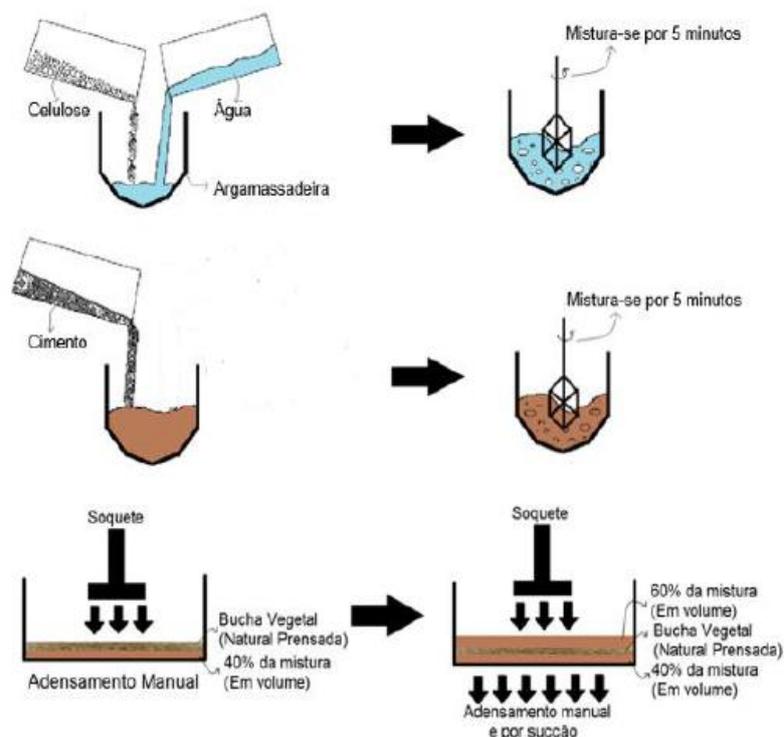


Fonte: Autor.

5.2 Preparação dos compósitos

Para a preparação dos compósitos, baseou-se no processo Hatschek. A polpa celulósica foi utilizada em um teor de 2% em volume da mistura total. Moldou-se compósitos de referência – sem adição de látex e/ou pozolana, compósitos com adição de látex às fibras e compósitos com adição de látex e pozolona às fibras. O processo de moldagem está ilustrado na Figura 15.

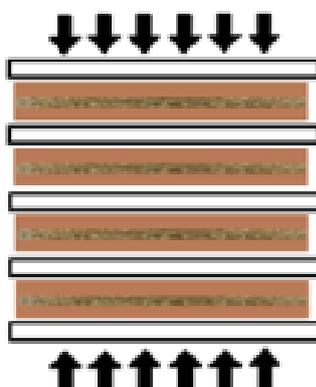
Figura 15 - Processo de moldagem.



Fonte: Autor.

Após a moldagem de 4 compósitos, estes eram levados à uma prensa manual. Separados por placas metálicas, eles foram submetidos à tensão de 3,2 MPa, conforme recomendado por Motta (2006). O intuito da prensagem (figura 16) é diminuir os vazios presentes no compósito, e retirar o excesso de água que não foi succionada. O tempo de prensagem foi de 6 horas, prazo este que abrangia o tempo final de pega do cimento.

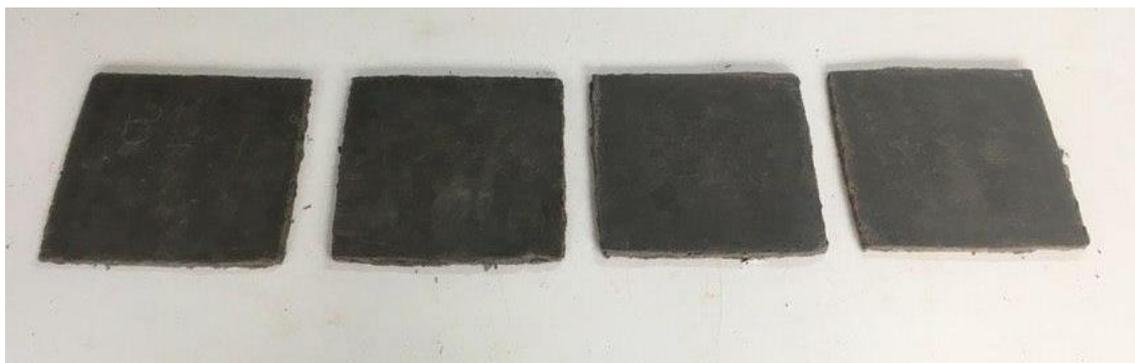
Figura 16 - Prensagem.



Fonte: Autor.

Com os compósitos confeccionados (figura 17) estes foram levados à câmara úmida para cura, com umidade relativa 75% e temperatura de 23°C. As placas moldadas permaneciam em cura por 28 dias. Após este período, alguns compósitos foram prontamente ensaiados, e o restante destinado ao envelhecimento em câmara úmida, com prazo de 90 dias.

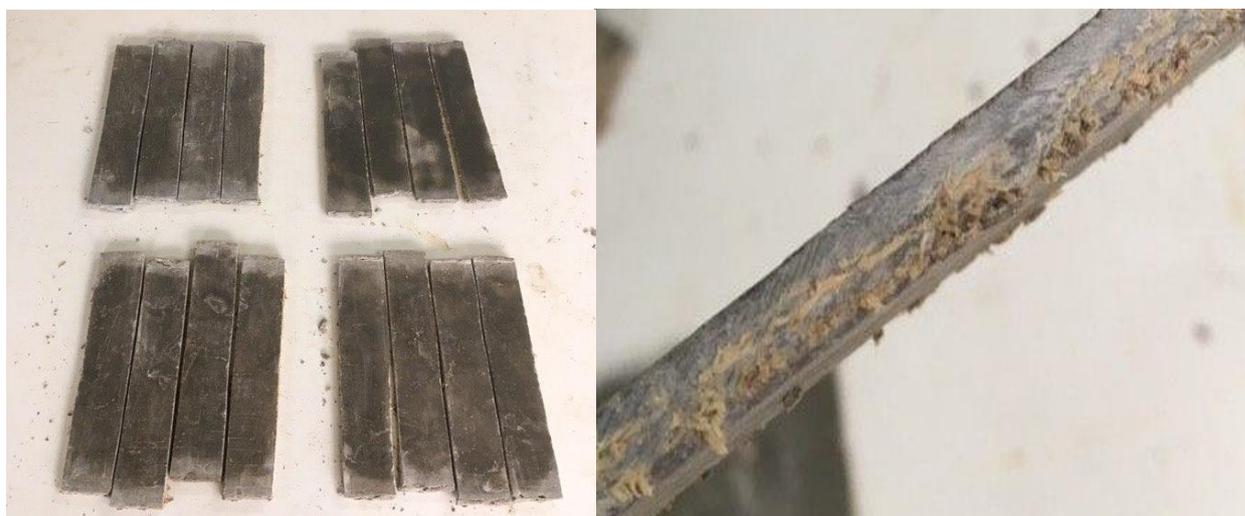
Figura 17 - Compósitos após moldagem e prensagem.



Fonte: Autor.

Previamente ao ensaio, era necessário o corte das placas em corpos de prova de dimensões 4cm x 20cm, conforme ilustra a figura 18. Para o corte, utilizou-se de uma serra de disco.

Figura 18 - Compósitos após o corte com serra elétrica.



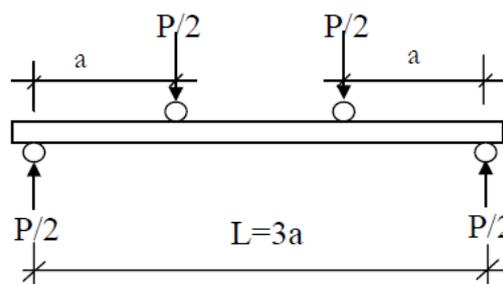
Fonte: Autor.

5.3 Ensaio de flexão dos compósitos

A determinação das propriedades mecânicas foi efetuada utilizando-se do ensaio de flexão em 4 pontos, baseado em Motta (2006). Nas idades pré-estabelecidas, foi realizado então o ensaio, conforme ilustra a Figura 19.

Para a realização do ensaio, utilizou-se de uma máquina universal marca Instron, modelo 5982, com célula de carga com capacidade de 5 kN e velocidade automática do deslocamento igual a 2,0 mm/min. A distância entre os apoios inferiores (3a conforme Figura 19) foi de 15 cm. A flecha adotada como parâmetro para finalização dos ensaios foi de 5 mm.

Figura 19 - Ensaio de Flexão em quatro pontos.



Fonte: Adaptado de Motta (2006).

Com o ensaio, foi determinado o módulo de ruptura (MOR), expresso pela Eq. 1 e módulo de elasticidade (E), expresso pela Eq. 2.

$$MOR = \frac{P_{\max} L}{be^2} \quad \text{Eq. 1}$$

$$E = \frac{23L^3}{1296I} \left(\frac{P}{\delta} \right) \quad \text{Eq. 2}$$

- P_{\max} = força máxima durante o ensaio (N);
- L = vão do ensaio (mm);
- b = largura do corpo-de-prova (mm);
- e = espessura do corpo-de-prova (mm);

• E = módulo de elasticidade (MPa);

• I = momento de inércia da seção transversal: $\frac{be^3}{12}$ (mm⁴);

• P/δ = coeficiente angular da reta obtida da curva $P \times \delta$ (Força x Flecha) no trecho elástico (N/mm).

A tenacidade, por sua vez, foi determinada pela energia de fratura das amostras, em kJ/m². A energia específica foi obtida dividindo-se o valor dado pela integração do gráfico Força x Deflexão (com deflexão máxima de 5 mm), pela área da seção transversal dos corpos de prova.

Através dos dados obtidos com os ensaios, foi possível determinar o módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (E) e tenacidade de cada amostra individualmente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Ganho de massa das fibras de bucha vegetal com o tratamento

As buchas que receberam tratamento de adesão, apresentaram ganho de massa considerável. Na tabela 1, está especificado o ganho de massa das amostras em função do tratamento recebido.

Tabela 1- Ganho de massa em função do tratamento de adesão.

Tratamento	Bucha	Massas das buchas prensadas (g)	Massa após tratamento (g)	Ganho de massa (%)	Ganho médio
RTC + Látex	B1	12,48	65,72	527%	554%
	B2	13,09	73,38	561%	
	B3	12,59	57,71	458%	
	B4	13,28	89,25	672%	
	B5	11,88	38,65	325%	
Látex	B6	8,6	30,73	357%	417%
	B7	10,57	46,18	437%	
	B8	14,43	79,35	550%	

Fonte: Autor.

As buchas tratadas com látex e RTC apresentaram ganho de massa médio igual a 5,5 vezes a sua massa inicial, enquanto as buchas tratadas apenas com látex apresentaram um fator de ganho de massa médio de 4,2.

5.2 Propriedades mecânicas dos compósitos

Nas tabelas 2 e 3, estão detalhados todos os dados referentes aos compósitos, para todos os tratamentos, aos 28 e 90 dias de idade. As curvas obtidas pelo ensaio aos 28 dias, dos compósitos de referência, tratadas com látex, e tratadas com látex e RTC, estão expostas nas figuras 20, 21 e 22 respectivamente. Da mesma forma, nas figuras 23, 24 e 25 estão ilustradas as curvas aos 90 dias

Tabela 2 – Resultados do ensaio de flexão aos 28 dias de idade.

Idade	Ensaio a flexão					
	Resistência à flexão (MPa) [Desvio Padrão]		Módulo de elasticidade (GPa) [Desvio Padrão]		Tenacidade (kJ/m ²) [Desvio Padrão]	
	28 dias		28 dias		28 dias	
REF	6,63	[1,98]	9,03	[1,98]	0,67	[0,12]
LÁTEX	2,98	[0,76]	3,7	[0,51]	0,35	[0,11]
LATEX+RTC	5,29	[0,78]	7,7	[2,43]	0,82	[0,11]

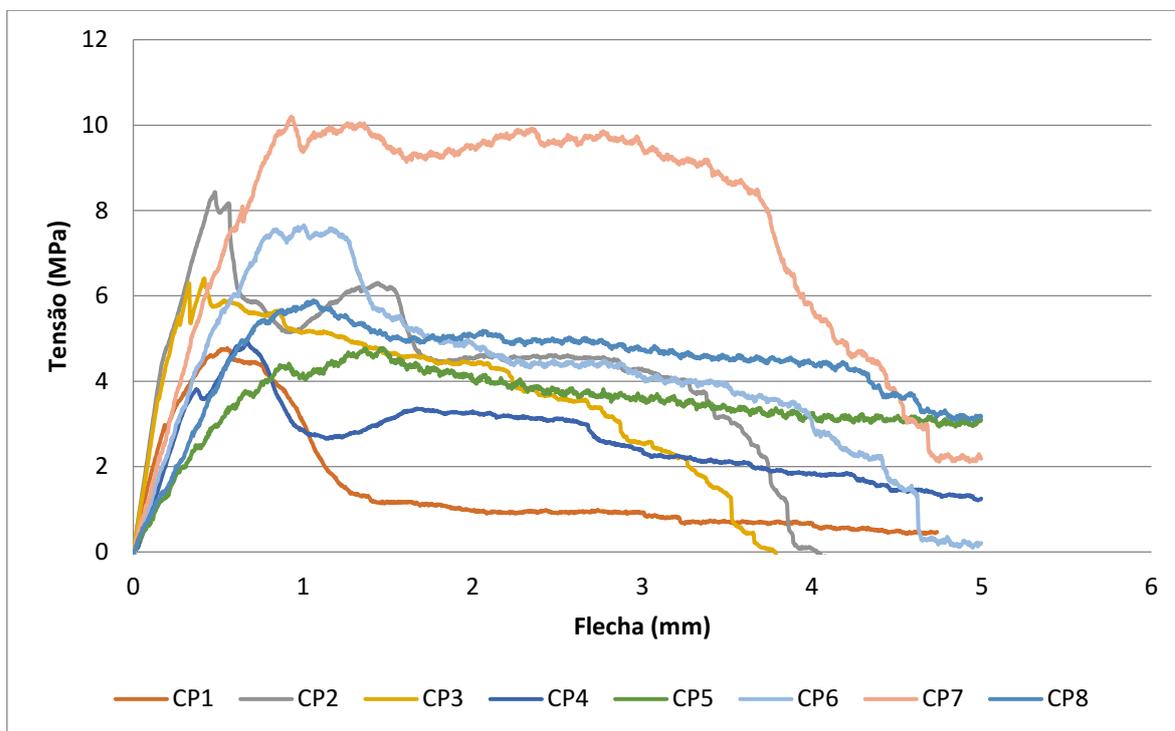
Fonte: Autor.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de flexão aos 90 dias de idade.

Idade	Ensaio a flexão					
	Resistência à flexão (MPa) [Desvio Padrão]		Módulo de elasticidade (GPa) [Desvio Padrão]		Tenacidade (kJ/m ²) [Desvio Padrão]	
	90 dias		90 dias		90 dias	
REF	8,55	[2,03]	8,90	[2,32]	0,75	[0,18]
LÁTEX	4,80	[0,68]	4,40	[0,88]	0,67	[0,11]
LATEX+RTC	5,03	[0,63]	3,74	[0,23]	0,90	[0,14]

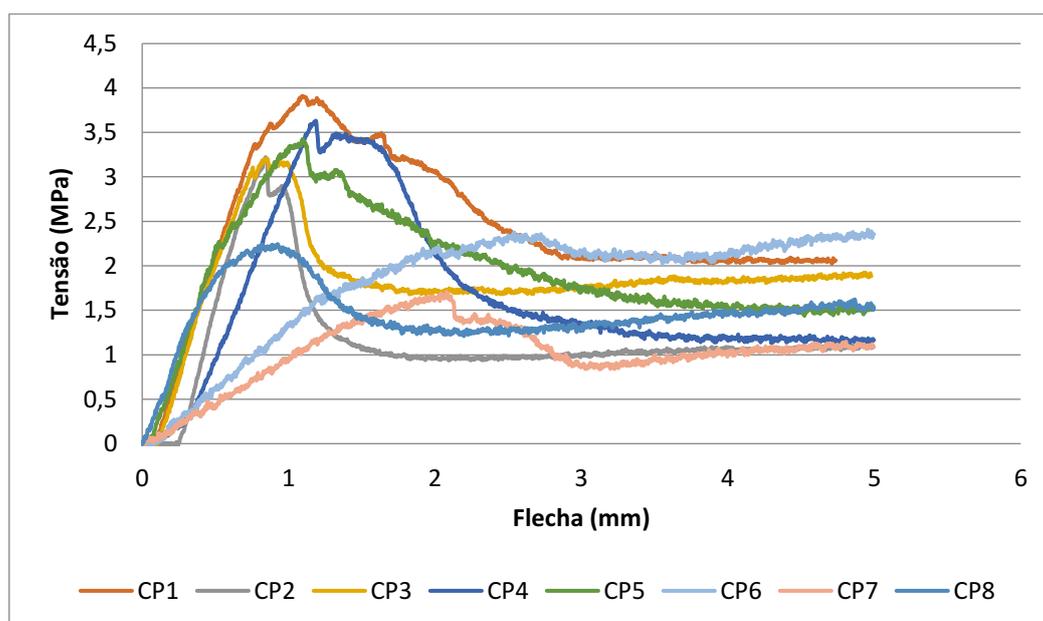
Fonte: Autor.

Figura 20 – Curvas obtidas do ensaio de flexão dos compósitos referência aos 28 dias de idade.



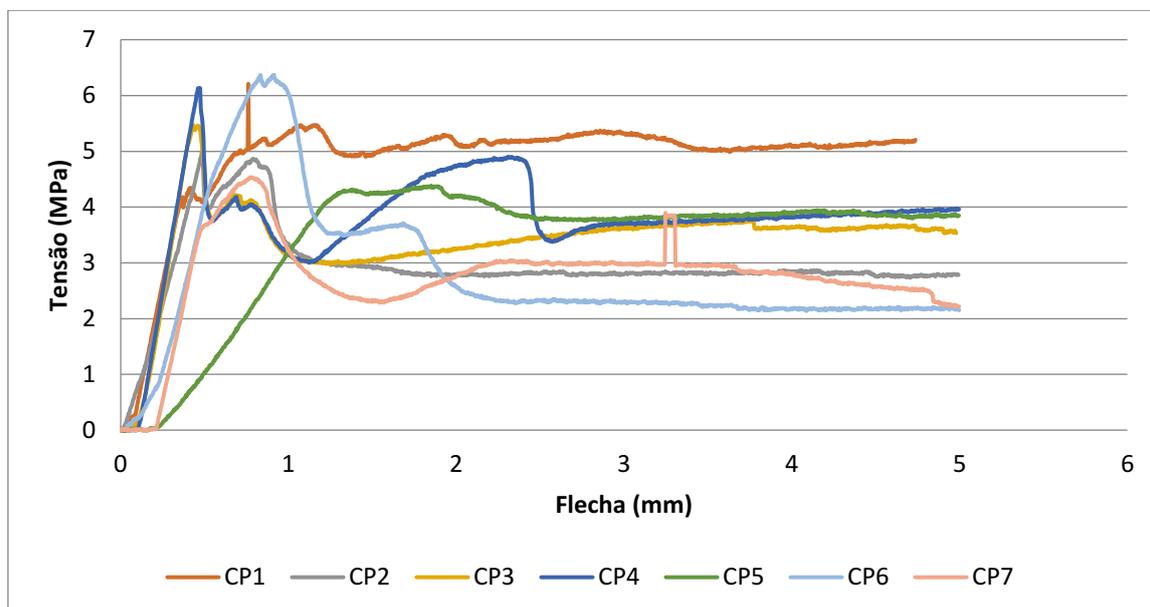
Fonte: Autor.

Figura 21 – Curvas obtidas do ensaio de flexão dos compósitos com adição de látex às fibras, aos 28 dias de idade.



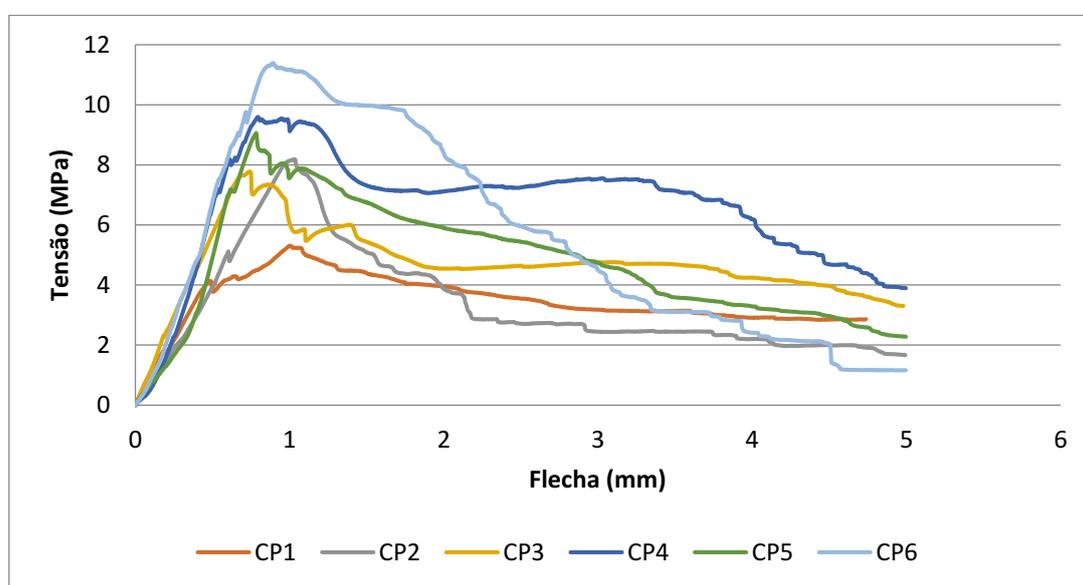
Fonte: Autor.

Figura 22 – Curvas obtidas do ensaio de flexão dos compósitos com adição de látex e RTC às fibras, aos 28 dias de idade



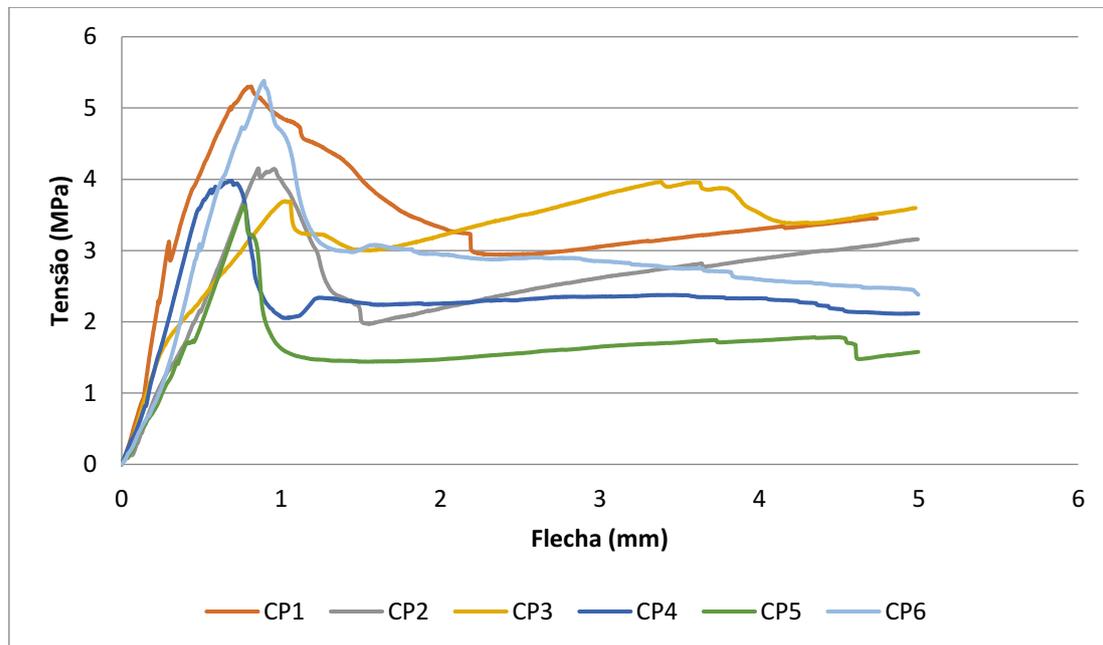
Fonte: Autor.

Figura 23– Curvas obtidas do ensaio de flexão dos compósitos de referência, aos 90 dias de idade.



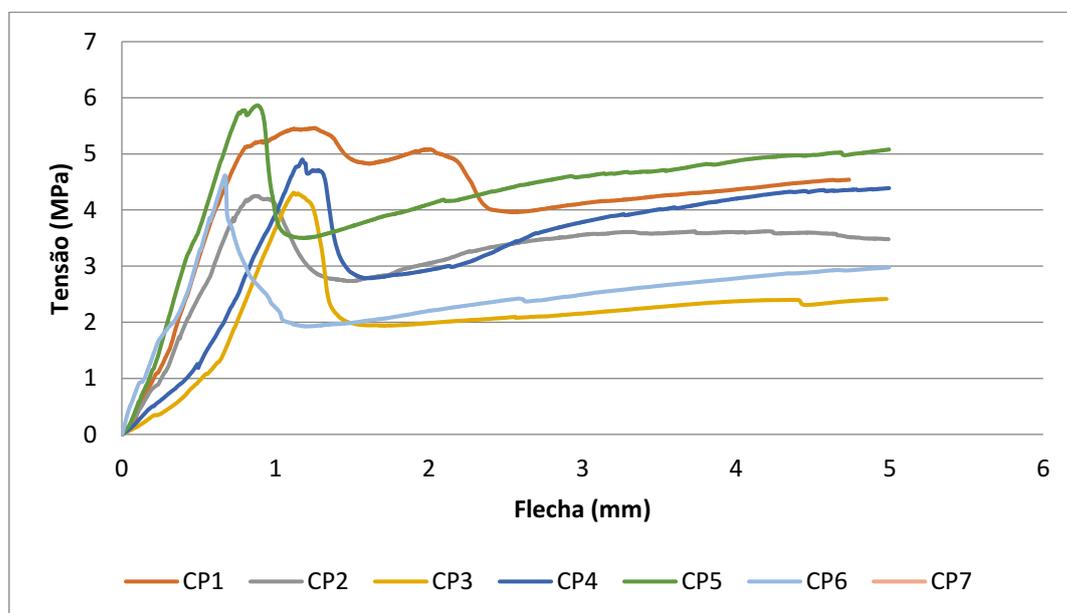
Fonte: Autor.

Figura 24– Curvas obtidas do ensaio de flexão dos compósitos com adição de látex às fibras, aos 90 dias de idade.



Fonte: Autor.

Figura 25– Curvas obtidas do ensaio de flexão dos compósitos com adição de látex e RTC às fibras, aos 90 dias de idade.



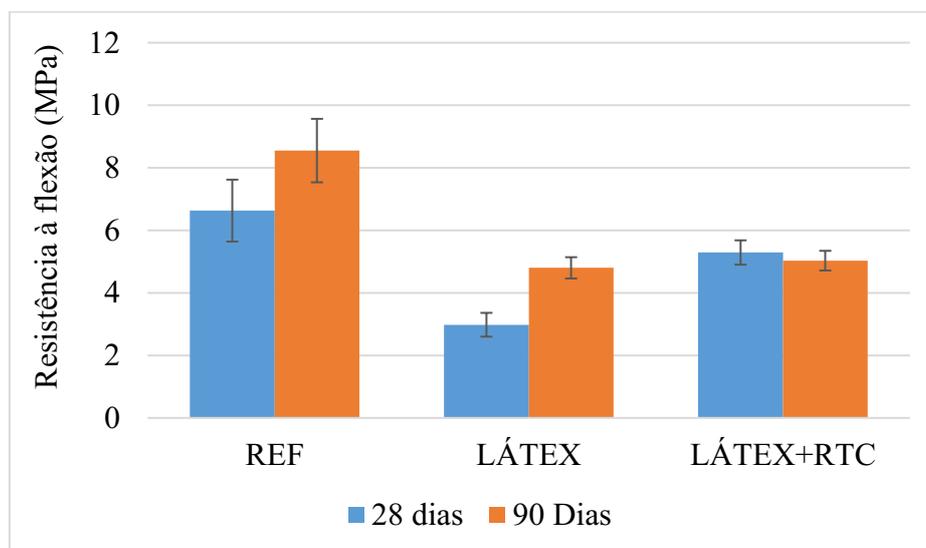
Fonte: Autor.

5.2.1 Comparativo entre os diferentes tratamentos e as diferentes idades

Aos 28 dias, observa-se que os compósitos de referência obtiveram melhor desempenho que os demais no que se refere à resistência à flexão e módulo de elasticidade. Quanto à tenacidade, entretanto, os compósitos tratados com RTC apresentaram resultado mais satisfatório. Este comportamento se repete aos 90 dias, de maneira mais atenuada.

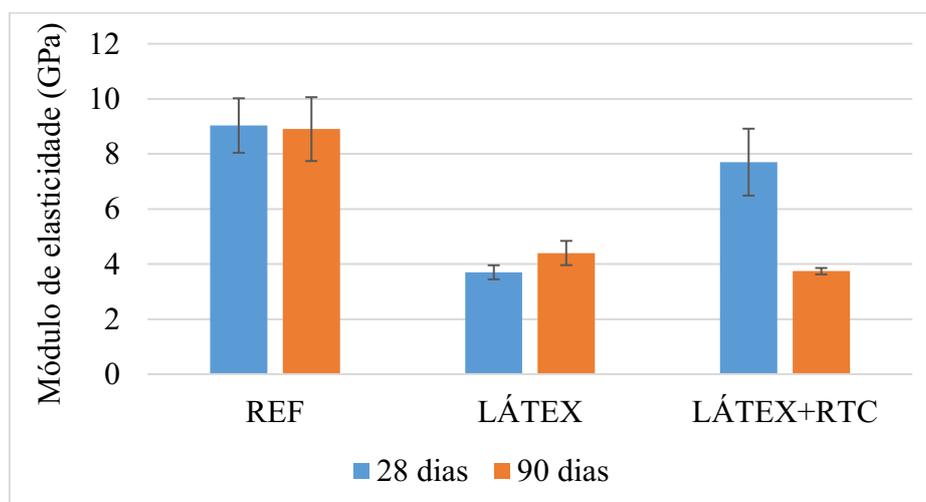
Tais comparativos estão demonstrados nas figuras 26, 27 e 28.

Figura 26 - Gráfico de comparação da Resistência à flexão.



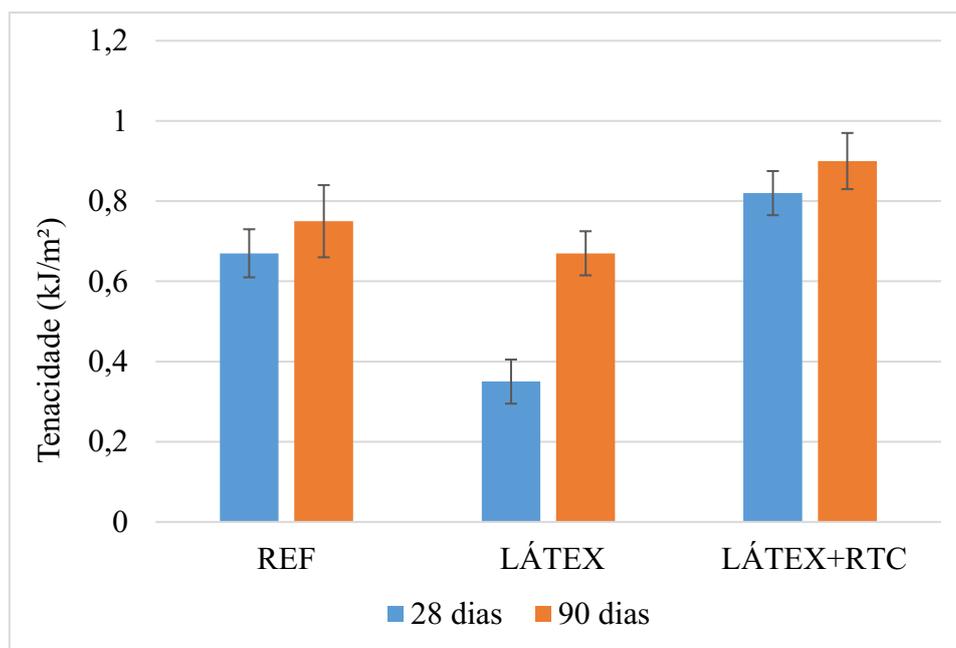
Fonte: Autor.

Figura 27 - Gráfico de comparação do Módulo de Elasticidade.



Fonte: Autor.

Figura 28 - Gráfico de comparação da Tenacidade.



Fonte: Autor.

Por meio da análise de variância (ANOVA), método estatístico que permite verificar se há diferenças significativas entre médias de diferentes amostras, foi possível concluir que aos 28 dias, os diferentes tratamentos produziram, de fato, diferentes resultados. Entretanto, aos 90 dias, os compósitos tratados apresentaram resistência à flexão e módulo de elasticidade estatisticamente iguais, destacando-se somente a tenacidade.

A resistência à flexão e o módulo de elasticidade dos compósitos de referência apresentaram melhores resultados do que os compósitos com tratamento. Isso se deve ao fato de que a ausência de tratamento nas fibras, garantindo contato direto entre a pasta de cimento e a mesma, contribui para uma melhor aderência inicial, com a pasta de cimento CPV, que apresenta desenvolvimento de resistência elevada nas primeiras idades. Isto resulta em um módulo de ruptura e módulo de elasticidade mais elevados nas primeiras idades. Contudo, em idades mais avançadas a interação matriz – fibra tende a degradar, mas isso não foi observado nos compósitos de referência.

Talvez o tempo de envelhecimento não tenha sido suficiente para mostrar diferenças entre os compósitos com as fibras tratadas e as não tratadas. Não houve tempo hábil para as fibras naturais se deteriorarem e causar, por exemplo, queda na tenacidade, que é a propriedade mais sensível à deterioração das fibras de reforço e da interface fibra/matriz

Observa-se também que os compósitos com tratamento Látex + RTC, apesar de não terem apresentado o módulo de ruptura mais elevado, são melhores que os compósitos com

tratamento somente de látex nas demais propriedades, o que indica uma melhor aderência das fibras em virtude da reação pozolânica na interface fibra/matriz, contribuindo para o aumento da resistência.

O tratamento somente com o látex parece reduzir a aderência fibra/matriz, prejudicando o desempenho mecânico do compósito, considerando a queda nas propriedades mecânicas observadas. Provavelmente essa redução do desempenho foi causada pela hidrofibização da superfície das fibras pelo revestimento com o filme polimérico.

Quanto à tenacidade, foi possível avaliar a eficiência do tratamento com látex + RTC, que apresentou tenacidade mais elevada, o que garante ao compósito maior capacidade de absorção de tensões, em um comportamento pseudoplástico após a tensão de pico. Nos compósitos tratados ensaiados aos 90 dias, figuras 24 e 25, observa-se que há absorção ascendente de tensões até o final do ensaio, que é limitado à deflexão de 5mm. Nos compósitos com fibras naturais, no entanto, a tensão apresenta redução com o aumento da deflexão. A adesão fibra/matriz nos compósitos com fibras tratadas parece estar mais preservada após o envelhecimento.

Na figura 29, está evidenciada a região de ruptura dos compósitos após o ensaio. Observa-se a diferença no aspecto entre o compósito de referência e os compósitos com tratamento. Naqueles tratados, há o que aparenta ser a formação de uma liga que associada à pozolana RTC, justifica a absorção ascendente de tensões.

Figura 29 – a) região de ruptura do compósito de referência; b) região de ruptura do compósito tratado com látex; c) região de ruptura do compósito tratado com látex e RTC.



Fonte: Autor.

5.3 Propriedades físicas dos compósitos

Durante o processo de moldagem dos compósitos, recolheu-se a água succionada no processo e realizou-se ensaio para verificação do teor de sólidos presente nesta água, a fim de verificar se houve sucção de partículas sólidas tais como cimento, RTC e Látex. Os resultados estão expressos na tabela 4.

Tabela 4 - Teor de sólidos na água succionada durante a moldagem.

Tratamento	Teor de sólidos na água succionada
Referência	1,44%
Látex	1,19%
Látex + RTC	1,15%

Fonte: Autor.

Mesmo apresentando maiores massas e com maior presença de sólidos em sua composição em virtude das adições, os compósitos com buchas tratadas apresentaram menor teor de sólidos na água succionada durante a moldagem, quando comparado aos compósitos de referência, fator positivo que evidencia que o tratamento também contribui para a manutenção de sólidos.

Após o ensaio de flexão dos compósitos, realizou-se ensaios para obtenção dos índices físicos para cada tipo de tratamento. Os índices físicos estabelecidos foram: massa específica aparente; absorção, porosidade. O método de cálculo desses índices está expresso na tabela 5, e os resultados nas tabelas 6 e 7.

Tabela 5 - Cálculo de índices físicos.

Propriedade avaliada	Unidade	Cálculo	Legenda
Massa específica aparente	kg/dm ³	$M_s/(M_{sss}-M_i)$	Mi - Massa imersa
Absorção	%	$(M_{sss}-M_s)/M_s$	M _s - Massa seca em estufa
Porosidade	%	$(M_{sss}-M_s)/(M_{sss}-M_i)$	M _{sss} - Massa saturada com superfície seca

Fonte: Adaptado de Pires (2017) *apud* Silva (2002).

Tabela 6 – Índices físicos dos compósitos aos 28 dias.

	Absorção (Desvio Padrão)	Massa específica kg/dm ³ (Desvio Padrão)	Porosidade (Desvio Padrão)
REF	18,35% [1,61%]	1,73 [0,058]	31,65% [1,66%]
LAT	19,81% [1,18%]	1,60 [0,040]	31,74% [1,22%]
RTC+LAT	17,23% [1,60%]	1,66 [0,074]	28,52% [1,78%]

Fonte: Autor.

Tabela 7 – Índices físicos dos compósitos aos 90 dias.

	Absorção (Desvio Padrão)	Massa específica (Desvio Padrão)	Porosidade (Desvio Padrão)
REF	18,31% [0,92%]	1,76 [0,036]	32,14% [1,11%]
LAT	18,47% [1,98%]	1,60 [0,1015]	29,44% [1,56%]
RTC+LAT	15,52% [0,69%]	1,71 [0,0244]	26,51% [0,98%]

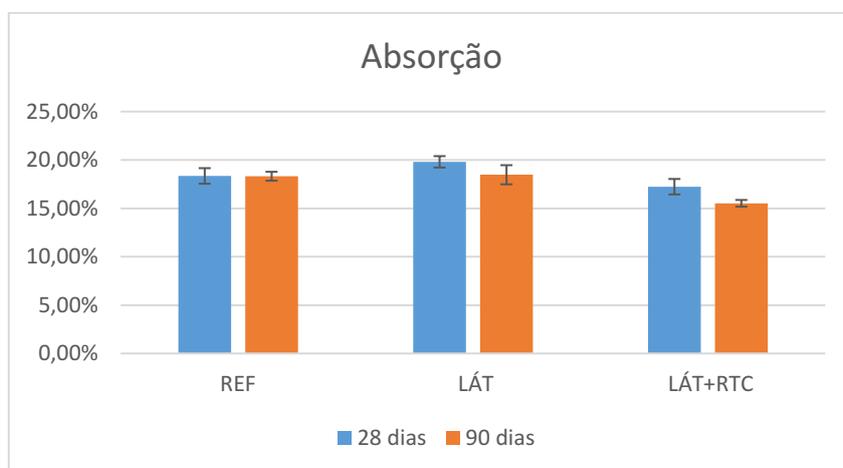
Fonte: Autor.

Aos 28 dias, todos os compósitos confeccionados apresentaram índices físicos semelhantes. Por meio da análise de variância (ANOVA), pôde-se concluir que, independente tratamento, os compósitos apresentaram índices físicos estatisticamente iguais.

Contudo, aos 90 dias, os compósitos tratados com látex e RTC apresentaram menor absorção e porosidade, fator benéfico à sua vida útil. A análise de variância permitiu concluir que, aos 90 dias, os índices físicos são estatisticamente diferentes, com exceção da absorção dos compósitos de referência e tratado somente com látex, que apresentam igualdade estatística.

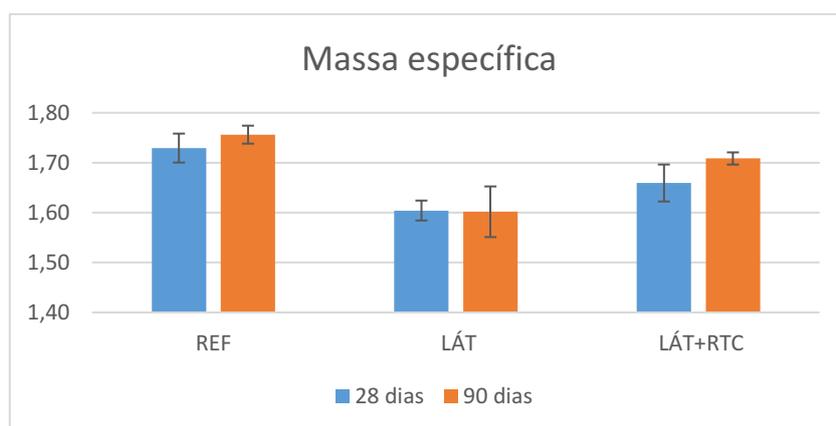
Nas figuras 30, 31 e 32 está ilustrada a evolução dos índices físicos dos 28 aos 90 dias de idade.

Figura 30 – Absorção dos compósitos nas diferentes idades.



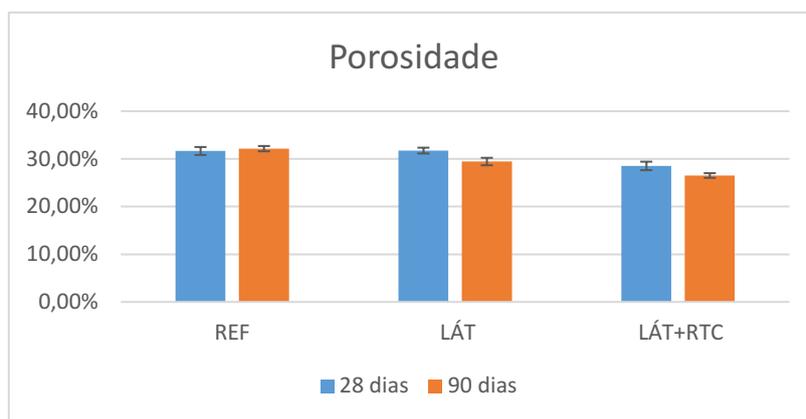
Fonte: Autor.

Figura 31 – Massa específica dos compósitos nas diferentes idades.



Fonte: Autor.

Figura 32 – Porosidade dos compósitos nas diferentes idades.



Fonte: Autor.

O compósito referência foi o único que apresentou elevação da porosidade com o envelhecimento. Este aumento pode ser resultado de microfissuras que surgiram, por exemplo, por causas dos ciclos de molhagem e secagem nos compósitos expostos às intempéries, ou ainda por aumento da porosidade na interface fibra/matriz devido aos mesmos ciclos. Nos compósitos com fibras tratadas houve redução da porosidade, isto é, a fibra parece estar atuando bem como reforço, minimizando fissuração durante o envelhecimento. Também a interface fibra/matriz nestes compósitos parece estar sendo mantida íntegra, o que é corroborado pelos resultados de tenacidade aos 90 dias e pelos diagramas tensão x deflexão, com manutenção das tensões pós pico para os compósitos com fibras tratadas.

6 CONCLUSÃO

O tratamento realizado somente com o látex não apresenta, por si só, grandes vantagens quanto às propriedades mecânicas, devido aos seus resultados semelhantes e/ou inferiores aos resultados do compósito de referência. Entretanto, o tratamento somente com o látex foi o que mais apresentou evolução de suas propriedades físicas com o envelhecimento.

O tratamento completo, com látex e resíduo de telha cerâmica incorporado à fibra, apresentou menor resistência à flexão e módulo de elasticidade do que a referência. A sua tenacidade, entretanto, apresentou melhores resultados, o que mostra sua melhor capacidade de absorção de tensões pós pico. Este apresenta ainda menor absorção, porosidade e massa específica em relação à referência, fatores convenientes para sua possível aplicação.

A priori, a incorporação de látex por si só não é suficiente para possibilitar sua real aplicação. Como este tratamento foi o que apresentou maior evolução dos resultados de

28 para 90 dias, torna-se interessante sua avaliação em idades ainda mais avançadas, na expectativa de que as propriedades da referência sejam superadas.

O látex associado ao resíduo de telha cerâmica, entretanto, mostra potencial. São necessários mais estudos acerca do tema, tais como obtenção de resultados em longos períodos de envelhecimento natural, em diferentes ambientes e condições de salubridade, entre outros.

Sugere-se para estudos futuros a obtenção de resultados para idades mais avançadas e em ambientes externos para ambos os tratamentos, para avaliação do comportamento dos compósitos nessas condições.

REFERÊNCIAS

DOS ANJOS, M. A. S., GHAVAMI, K., BARBOSA, N. P. Compósitos à base de cimento reforçado com polpa celulósica de bambu. Parte II: Uso de resíduos cerâmicos na matriz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.346-349, 2003.

FERREIRA, I.C.P.V.; ARAUJO, A.V.; CAVALCANTI, T.F.; COSTA, C.A.; FERREIRA, M.A.J.F. Caracterização morfológica de frutos de 17 acessos de bucha vegetal cultivados no Norte de Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 2192-2198, 2010.

FILHO, N. T. de A., DANTAS, C. P., LEAL, N. F., BARBOSA, N. P., SILVA, C. G., ALEXANDRE, M. V. Resistência mecânica de compósitos cimentícios leves utilizando resíduos industriais e fibras de sisal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, p.894–902, 2012.

GARCIA, E.; CABRAL JUNIOR, M.; QUARCIONI, V.A.; CHOTOLI, F.F. Avaliação das atividades pozolânica do resíduo de cerâmica vermelha produzidos nos principais polos ceramistas do Estado de São Paulo, **Cerâmica**, v. 61, p. 251-258, 2015.

MOLIN, D. D., LEITE, M. B. Avaliação da atividade pozolânica do material cerâmico presente no agregado reciclado de resíduo c&d. **Sitientibus, Feira de Santana**, n.26, p.111–130, 2002.

MOTTA, L. A. DE C., **Melhoria do desempenho de fibras de coco e sisal para reforço de matrizes cimentícias através de tratamento termomecânico e impregnação de resinas. São Paulo**. 133p. Tese – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2006.

MOTTA, L.A. DE C., JOHN, V. M, AGOPYAN, V. Thermo-Mechanical Treatment to Improve Properties of Sisal Fibers Composites. **Materials Science Forum**, v. 636-637, p. 253-259, 2010.

OLIVEIRA, W. J.; VIEIRA, J. G.; PONCIANO, C. A.; MOTTA, L. A. C. Influence of hornification of luffa cylindrica fibres in the reinforcement of cementitious composites. **10th International Conference on Composite Science and Technology**, Lisboa, p. 1-8, 2015.

OLIVEIRA, A. B. de. **Melhoria do processo hatschek, por meio de tratamento de dados históricos, para fabricação de telhas onduladas.** São Paulo, 2010.

PIMENTEL, M.G.; BORGES, J.P.C.; PICANÇO, M.S.; GHAVAM, K. Resposta à flexão e análise de tenacidade de argamassas reforçadas com fibras de Curauá. **Revista Matéria**, v.21, n.1, p.18-26, 2016.

PIRES, C. **Tratamento termomecânico com fibras de bucha vegetal para aplicação em compósitos cimentícios.** 132 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

SATYANARAYANA, K.G.; GUIMARÃES, J.L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Source, production, morphology, properties and application. **Composites: Part A**, vol. 38, p. 1694-1709, 2007.

SHEN, J.; XIE, Y.M.; HUANG, X.; ZHOU, S.; RUAN, D. Mechanical properties of luffa sponge. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**. v. 15, p. 141-152, 2012.

SHEN, J.; XIE, Y.M.; HUANG, X.; ZHOU, S.; RUAN, D. Water-responsive rapid recovery of natural cellular material. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Material**, v. 34, p. 283-293, 2014.

SOUZA, J.D.G.T.de; MOTTA, L.A. de C.; PASQUINI, D.; VIEIRA, J.G.; PIRES, C. Modificação química superficial de fibras de bucha vegetal visando à compatibilização e aplicação como reforço em matriz cimentícia. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 2, p. 269-283, 2017.

TANOBE, V. O. DE A. **Caracterização de fibras de esponjas de Luffa cylindrica para utilização em compósitos com matriz polimérica.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

TONOLI, G. H. D. **Fibras curtas de eucalipto para novas tecnologias em fibrocimento.** Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.