

Desenvolvimento e teste de um compósito feito à base de agregados residuais

Janilce Negrão, Thalyta Maria Peres Genaro, Nicolle Christine Sotsek, Marcell Mariano Correia Maceno
Adriana de Paula Lacerda Santos

Resumo: A pesquisa de novos compósitos que possam ser utilizados como insumos nos diversos segmentos industriais tem sido o objeto de estudo de muitas pesquisas, devido à sua importância ambiental, social e econômica. No Brasil, as oportunidades de se realizarem estudos a respeito de compósitos feitos de resíduos são abrangentes, visto que a destinação certa desses resíduos ainda é um problema. Dessa forma, esta pesquisa tem como objetivo desenvolver compósitos a base de agregados residuais, como resíduos sólidos urbanos (RSU), e testar o comportamento da absorção de água por capilaridade neles, de modo a obter dados que possibilitem a análise para a viabilidade desses materiais, a partir da perspectiva de suas características físicas. Os estudos realizados tiveram como resíduos sólidos caixas de ovos, isopor e serragem de pinus e, para a análise, utilizou-se a norma NBR 9779 (ABNT, 2012). Por fim, os resultados revelaram que os compósitos de caixas de ovos apresentaram o melhor desempenho entre os demais testados.

Palavras chave: Compósito, desenvolvimento de produto, resíduo, reciclagem, teste de capilaridade.

Development and analysis of water absorption by capillarity of composites based on residual aggregates

Abstract: The research of new composites that can be used as inputs in several industrial sectors has been the object of study of many researches, due to their environmental, social and economic importance. In Brazil, there are wide opportunities for conducting studies regarding composite waste compounds, as the fate of these wastes is still a problem. Thus, this research aims to elaborate composites based on residual aggregates and test the behavior of water absorption by capillarity, in order to obtain data that verify the viability of these materials in relation to their exercised results. Used for this in NBR 9779 (ABNT, 2012) as a basis for experimental tests, the revealed results that make up the egg box shown or the best performance among the others tested.

Key-words: Composites, capillarity, residue, recycling.

1. Introdução

Os estudos a respeito da elaboração de materiais alternativos utilizando resíduos sólidos urbanos (RSU) têm proporcionado grandes avanços tecnológicos. Para isso, é necessário a compreensão do conceito de desenvolvimento de produtos, que é, segundo Krishnan (2001), a transformação de uma oportunidade de mercado e um conjunto de suposições sobre a

tecnologia de produto em um produto disponível para venda. Além disso, a sua importância, demonstrada pela quantidade de consumidores nos países em desenvolvimento (MITAL, 2008), não se dá apenas pela novidade em si, mas também pelo fato da utilização desses gerar contribuições significativas na indústria e na sociedade. A maior parcela da população mundial vive em países emergentes e, conforme esses indivíduos enriquecem, eles requerem mais bens que aprimorem seus padrões de vida, o que direciona para um aumento no consumo e demanda por matérias primas (MITAL, 2008). Considerando esse contexto, o desenvolvimento de produtos à base de resíduos sólidos urbanos (RSU), recursos em abundância e muitas vezes não aproveitados em sua forma plena, pode ser uma proposta interessante para suprir a demanda mundial e ao mesmo tempo agregar valor aos resíduos.

Mesmo identificando a oportunidade de desenvolver produtos à base de agregados residuais, existem dificuldades relacionadas à elaboração de novos materiais que se dão principalmente pela complexidade no processo de desenvolvimento do produto. É necessário que haja uma abordagem multidisciplinar que exige trabalho em equipe, a aplicação de práticas adequadas e diversos métodos de desenvolvimento, o que provoca uma acentuada interação entre diferentes áreas da engenharia para que se possam projetar melhores produtos. Portanto, são necessários amplos conhecimentos das diversas áreas da engenharia, noções gerenciais, visão sistêmica e integrada do negócio e relacionamento interpessoal (MUNDIM, 2002).

Ainda assim, sabe-se que as chaves para o desenvolvimento de novos produtos são: a informação que indica o que as pessoas querem, quais características do produto são consideradas essenciais, que preço elas estão dispostas a pagar pelo produto, quais características são desejáveis, mas que podem ser sacrificadas por um preço mais baixo, concorrentes atuais e potenciais e prováveis mudanças no valor e volume do mercado (MITAL, 2008). Com base nesses princípios, podem-se elaborar produtos eficientes e inovadores.

Dentre os objetos de estudo dessa temática, os compósitos, que são utilizados desde a pré-história, têm viabilizado novas possibilidades principalmente no setor de construção civil (MOSLEMI, 1999). Além disso, à capacidade de se desenvolver compósitos que podem ser utilizados como matéria prima, pode-se unir, também, à oportunidade de reutilizar materiais anteriormente descartados como resíduos, criando uma solução que, além de inovadora e ambientalmente positiva, pode ser uma alternativa economicamente viável, dado que os compósitos podem ser constituídos de materiais de baixo custo.

Isso posto, torna-se relevante obter parâmetros para a escolha dos insumos constituintes no planejamento da criação de novos compósitos. A abundância de alguns elementos destinados ao descarte pode ser considerada como um parâmetro apropriado de decisão dos materiais, uma vez que é conhecido que, desde 2014, cerca sete bilhões de seres humanos geram cerca de 1,4 bilhão de toneladas de resíduos sólidos ao ano e, para 2050, a previsão é de 4 bilhões de toneladas (SENADO, 2014). No Brasil, gera-se cerca de 219 mil toneladas de lixo por dia, sendo 57,4% matéria orgânica, 16,5% plástico e 13,2% papel e papelão (LEIA, 2018) e, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, cerca de 80% de suas cidades possuía baixa ou nenhuma condição de tratar o resíduo de maneira correta (ABRELPE, 2012). A partir dessa perspectiva pode-se realizar uma análise a respeito de materiais que são comumente destinados ao lixo sem que haja finalidades para os mesmos.

A serragem, por exemplo, é um resíduo abundante na indústria madeireira, segundo Hillig (2006) e sua viabilidade na utilização de compósitos cimentícios leves já tem sido analisada (GARCEZ, 2017). Similarmente, pode-se observar que caixas de ovos – constituídas de papelão ou papel, plástico e espuma de poliestireno – e materiais de isopor são destinados ao resíduo diariamente e, muitas vezes, sem a consideração de serem utilizados para outros propósitos, o que é prejudicial ao meio ambiente e acarreta um aumento no desperdício de materiais.

Em virtude dessas referências, foram desenvolvidos compósitos feitos a partir de serragem de pinus, caixas de ovos e isopor para serem utilizados numa proposta de produção de elementos de construção para moradias de famílias em situação de vulnerabilidade, uma vez que tais residências são, muitas vezes, precárias, dados aos baixos poderes aquisitivos de seus moradores. Sendo assim, o uso de novos materiais na elaboração dessas moradias pode ser socialmente, economicamente e ambientalmente benéfico e viável.

Para determinar a viabilidade desses materiais em edificações torna-se indispensável o entendimento de como esses reagem a certos tipos de esforços e utilizações. Segundo Brascher (2011) o primeiro passo no processo de seleção de materiais no desenvolvimento de produtos é especificar os requisitos de desempenho do componente, relacionar com as principais características dos materiais e exigências de processamento. Consequentemente, alguns materiais podem ser eliminados e outros escolhidos como prováveis candidatas.

Dessa forma, é necessário que haja um estudo a respeito de como os compósitos se comportam na presença chuva, umidade do ar e outros fatores que envolvam a absorção de água no material, uma vez que as construções são expostas a essas situações. A absorção de água por capilaridade, aspecto físico indispensável na avaliação de escolha de materiais, é, segundo Santos (2007), a característica que materiais porosos possuem de atrair ou repelir líquidos por meio de suas redes de capilares e que pode ser visualmente observada conforme as paredes dos materiais se molham ou não em contato com água de acordo com o tempo de análise especificado, conforme Paranhos (2017).

Baseando-se nas determinações definidas, torna-se essencial a escolha de um método específico para desenvolvimento de produtos. O *design thinking*, modelo mental baseado na empatia, colaboração e experimentação (PINHEIRO, 2011) oferece, segundo Brown (2010), uma perspectiva sistemática que viabiliza a inovação e tem como foco a visão do consumidor. Essa abordagem que apresenta um enfoque em observação, colaboração, aprendizado rápido, visualização de ideias, protótipo e análise da concorrência proporciona resultados positivos referentes a estratégia do negócio e na inovação do mercado (LOCKWOOD, 2009).

A partir desse modelo de inovação, que é dado por etapas, é possível obter um procedimento padrão para o processo de desenvolvimento de produtos que possa ser benéfico para a sociedade e para as empresas.

Por essa razão, o objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento do produto baseado na concepção de *design thinking* e em seguida, elaborar corpos de prova de serragem de pinus, isopor e caixas de ovos com maior e menor adição de celulose, afim de testar a absorção de água por capilaridade para a análise das reações dos compósitos e a verificação, a partir delas, da possibilidade de se trabalhar com eles, comparando seus resultados com os de um corpo de prova padrão, feito de cimento e areia. Dessa forma, visa-se desenvolver novos produtos para a construção de casas que sejam adequados e sustentáveis para o mercado.

2. Metodologia

A pesquisa desenvolvida tem como finalidade principal elaborar compósito a base de agregado residual e testar uma das suas propriedades física: a absorção de água por capilaridade. Para tal, foram estabelecidas seis principais etapas baseadas na concepção do *design thinking*, conforme está ilustrado na Figura 1.

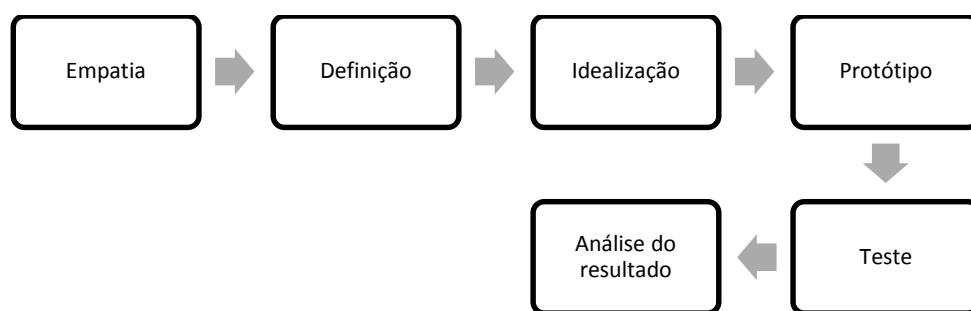


Figura 1 – Esquema representativo das seis etapas para a metodologia deste trabalho baseado no estudo de Pinheiro (2011).

Seguindo a metodologia do modelo, na primeira etapa, chamada de empatia ou imersão, é necessário que haja a aproximação dos desenvolvedores do produto com o problema – referente a perspectiva do usuário e da equipe do projeto –, definindo-o e propondo uma resolução para o mesmo (VIANNA, 2012). Busca-se, então, conhecer os requisitos dos clientes para a elaboração do produto.

Neste estudo a fase de empatia deu-se por caracterizar atributos necessários que o compósito, produto em questão, necessita apresentar para que seja utilizado na construção civil. Propriedades como resistência, retração, higroscopicidade e porosidade são aspectos físicos essenciais para o entendimento do comportamento do material em estruturas.

Já na etapa de definição devem ser estabelecidos os requisitos mais importantes na análise das particularidades do produto. A absorção de água por capilaridade é um fenômeno a partir do qual é possível constatar, mediante testes experimentais, características essenciais como a durabilidade, a tensão superficial, a degradação e estanqueidade de cada material (SANTOS, 2007) e esse foi escolhido devido ao fato de que os produtos a serem desenvolvidos se tratem de elementos de construção para paredes de casas e, dessa forma, torna-se essencial essa análise para verificar a viabilidade física deles.

Em seguida, na terceira etapa, ocorre a captação de ideias para possibilitar um maior entendimento na elaboração do produto (PINHEIRO, 2011). Dessa forma, buscaram-se na literatura trabalhos relacionados com o uso de compósitos a base de resíduos reciclados secos para fins de construção civil e, por meio dessa pesquisa, obtiveram-se informações que possibilitaram a seleção de um grupo de resíduos reaproveitados. Foi realizada a coleta dos materiais que foram selecionados a partir da pesquisa na literatura como constituintes dos compósitos, que são: caixa de ovos, isopor e serragem de pinus, citados anteriormente na sessão 1.

Com essas informações, a quarta etapa foi realizada. Os corpos de prova dos compósitos no Laboratório de Materiais e Estruturas do Departamento de Construção Civil da

Universidade Federal do Paraná foram desenvolvidos como base a matriz de pasta de cimento Portland e areia adicionada de caixas de ovos com maior e menor adição de celulosa, isopor e serragem de pinus.

Na quinta etapa os testes de absorção de água por capilaridade foram realizados com base na norma ABNT NBR 9779 (ABNT, 2012). No experimento deste estudo não foram utilizados dessecador e estufa e os corpos de prova foram posicionados em um recipiente sem tampa dentro da câmara seca, com temperatura e umidades controladas a 23°C e 50%, respectivamente. Além disso, as massas dos corpos de prova foram determinadas após 1/2, 1, 2, 3, 6 e 72 horas contadas a partir da colocação deles em contato com a água.

Assim sendo, os corpos de prova permaneceram posicionados na cuba com água em uma altura de cinco milímetros, como é possível ver na Figura.2. Após os tempos determinados, os corpos de prova foram retirados da cuba, enxugados com um pano, pesados em uma balança de precisão e retornados ao lugar onde estavam até o momento em que eram novamente pesados. O processo foi realizado até às 72 horas premeditadas após a colocação na cuba desde o posicionamento dos corpos de prova no recipiente com água conforme recomendações da norma.



Fonte: Os autores

Figura 2 – Corpos de prova posicionados em recipiente com 5 mm de água em contato com a superfície lateral do corpo de prova

Após às 72h, os corpos de prova foram retirados do recipiente e levados à prensa para quebrá-los ao meio e expor seu interior para observação. Após a ruptura, foi realizada a mensuração das faixas secas no interior dos corpos de prova com a utilização de um paquímetro digital, de precisão milimétrica, tomando as medidas das faixas secas na face do interior do exposta pela ruptura, dimensionando tais faixas nas extremidades e no centro da seção transversal de cada material para uma maior análise a respeito da passagem de água pelas suas paredes.



Fonte: Os autores

Figura 3 – Mensuração, em milímetros, da faixa seca no corpo de prova de cimento e areia

Por fim foi realizada a análise dos resultados obtidos nos testes para realizar as considerações a respeito da utilização dos compósitos na construção civil.

3. Resultados

Empregando o conceito de *design thinking* previamente apresentado e usando a terminologia que esse método determina, deu-se início ao processo de desenvolvimento de produto a partir do primeiro estágio, denominado por empatia.

O processo de desenvolvimento de produto iniciou-se em função da demanda proveniente de uma cooperativa que realiza coleta, separação, aproveitamento e descarte de materiais recicláveis em Curitiba, no Paraná. A proposta foi criar produtos a partir dos resíduos reciclados que não tem valor comercial significativo e por este motivo são descartados em grandes lixões, áreas em que são descartados resíduos a céu aberto.

A partir disso, pesquisas na literatura foram realizadas com objetivo de verificar quais compósitos já no mercado e quais são as demandas latentes. Essas pesquisas foram realizadas em duas bases de dados principais, a SciELO (*Scientific Electronic Library Online*) e *ScienceDirect*. Num segundo momento da pesquisa, percebeu-se que um setor que necessita de muitos materiais para seu desenvolvimento e que atualmente utiliza muitos insumos não renováveis era o setor da construção civil. Desta forma, tendo tais referências como bases, entendeu-se que o mercado de construção civil tinha como necessidade atual o uso de materiais que possam ser resistentes, duráveis e que possam, também, apresentar aspectos ambientais positivos. Dessa forma, definiram-se a cooperativa referenciada como cliente e, também, o setor de construção civil como cliente dos produtos a serem desenvolvidos.

Em seguida, dentro da etapa de definição do *design thinking* e sabendo as principais propriedades físicas a serem consideradas, o fenômeno de absorção de água por capilaridade foi definido como a característica a ser testada nesses materiais.

Na fase de idealização e protótipo, utilizaram-se as pesquisas obtidas nas bases de dados anteriormente referenciadas neste estudo e, a partir dessas, foram encontradas as normas e os métodos necessários para o desenvolvimento dos compósitos, dando-se início a elaboração

deles. Os corpos de prova foram, então, misturados e moldados de acordo com a norma ABNT NBR 9779 (ABNT, 2012) e tiveram suas dimensões, ao final das moldagens, de 4 x 4 x 16 cm, com forma prismática.

Para fins de entendimento, os corpos de prova de serragem, isopor, caixas de ovos e o corpo de prova padrão tem suas notações, respectivamente, como CP1, CP2, CP3-A no caso corpo de prova de caixas de ovos com maior concentração de celulose, CP3-B no caso do corpo de prova de caixas de ovos com menos celulose, e CP4. É importante pontuar, novamente, que o corpo de prova de cimento e areia, CP4, foi elaborado para que houvesse uma comparação entre um padrão conhecido e cada compósito desenvolvido, dado que essa mistura já é utilizada em construções convencionais no Brasil, de alvenaria estrutural.

As quantidades, em massa, dos materiais constituintes de cada corpo de prova encontram-se na Tabela 1, expressando o quanto de cada componente foi agregado nas misturas, em gramas. É possível verificar na tabela, também, o traço de cada corpo de prova, que indica as dosagens de cada material que os constituem.

	Massa (g)							
	Cimento	Agregados				Água	Plastificante	Traço
		Serragem de Pinus	Isopor	Caixa de Ovo	Areia			
CP1	1000	280				600	6	1:0,28:0,6
CP2	500		15		1400	300		1:0,03:2,8:0,3
CP3-A	1000			50		500		1:0,05:0,5
CP3-B	1000			40		500		1:0,04:0,5
CP4	600				1800	300		01:03:01

Fonte: Os autores

Tabela 1 – Quantidades em massa dos componentes dos corpos de prova

Após a moldagem dos corpos de prova, iniciaram-se os testes de absorção de água por capilaridade nos corpos de prova cerca de 14 dias após a desmoldagem. Tendo como referência as notações dos corpos de prova utilizadas anteriormente (CP1, CP2, etc), têm-se, na Tabela 2, as massas, em gramas, de cada corpo de prova nos momentos em que foram pesados. O tempo zero representa o momento inicial que os materiais foram pesados, ainda secos. Após isso, os tempos 0,5, 1, 2, 3, 6 e 72 horas retratam os períodos em que os corpos foram pesados após serem posicionados na cuba.

	Tempo (h)						
	0	0,5	1	2	3	6	72
CP1	244,83	356,20	358,89	361,52	362,51	364,33	371,32
CP2	345,61	355,46	358,42	362,87	364,89	368,72	374,33
CP3-A	404,11	413,91	415,72	418,74	420,22	423,54	442,14
CP3-B	393,68	405,60	407,86	411,06	412,36	415,75	432,10
CP4	530,06	533,84	534,83	536,53	537,15	539,93	545,98

Fonte: Os autores

Tabela 2 – Medidas das massas dos corpos de prova em cada tempo determinado

Fazendo a análise dos resultados em porcentagem de aumento de massa pela da absorção de água pelos capilares que cada corpo de prova teve, em massa, pode-se notar que o CP4, corpo de prova de referência neste estudo, teve uma incorporação de massa de apenas 3%, enquanto os demais tiveram no mínimo 8,31% de aumento de massa, como é o caso do corpo de prova constituído de isopor, CP2. Os corpos de prova CP3-A e CP3-B, feitos de caixa de ovos, tiveram, respectivamente, 9,41 e 9,75% de adição de massa, enquanto o corpo de prova de serragem de pinus, CP1, teve um acréscimo de massa elevado se comparado aos demais, com 51,66% de massa incorporada por absorção de água pelos capilares.

De acordo com a ABNT NBR 9779 (ABNT, 2012), os corpos de prova que sofreram saturação devem ter suas hipóteses descartadas, uma vez que se tornam impróprios para o uso tendo que seus capilares foram inteiramente preenchidos com água. Os corpos de prova foram retirados da cuba e, conforme é possível perceber pelas imagens da Figura 4, pode-se constatar que, neste experimento, os corpos de prova CP1 e CP2, compósitos de serragem de pinus e isopor, respectivamente, sofreram saturação e, assim, de acordo com a ABNT NBR 9779 (ABNT, 2012), esses devem ser descartados da análise e que qualquer hipótese sobre a utilização desses compósitos deve ser excluída.



Fonte: Os autores

Figura 4 – Corpos de prova 72h após o primeiro contato com a água no recipiente

Além disso, pôde-se observar, a partir da ruptura dos corpos de prova, que aqueles que não sofreram saturação apresentam uma faixa seca em seu interior, revelando até onde houve a absorção de água nesses materiais. Assim, na Tabela 3 tem-se as medidas, em centímetros, de tais faixas, verificadas nas extremidades e no centro da seção transversal exposta pela ruptura de cada corpo de prova.

Faixa seca (cm)	Média
-----------------	-------

CP3-A	0,184	0,348	0,289	0,27
CP3-B	0,141	0,258	1,132	0,51
CP4	1,168	0,978	0,629	0,93

Fonte: Os autores

Tabela 3 – Medidas

Após a verificação das faixas de absorção dos corpos de prova que sofreram saturação, é necessário determinar o índice de absorção de água por capilaridade. O cálculo da absorção de água por capilaridade em corpos de prova, segundo a ABNT NBR 9779 (ABNT, 2012), é dado por:

$$C = \frac{A - B}{S}$$

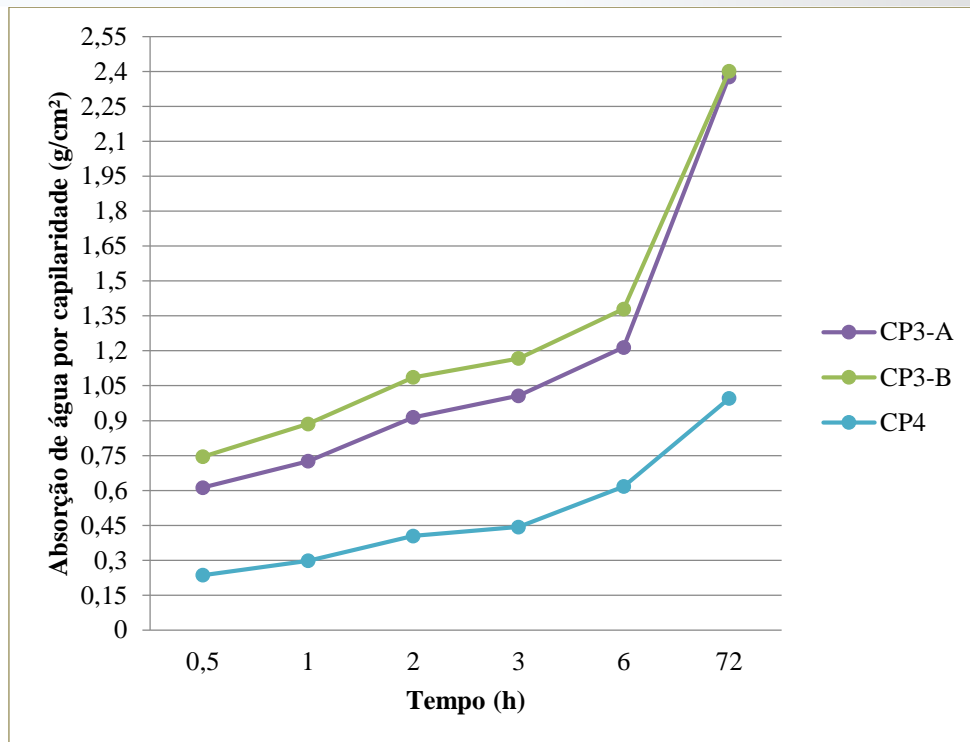
Onde C é a absorção de água por capilaridade [g/cm²], A é a massa do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado [g], B é a massa do corpo de prova no instante zero, ou seja, antes de que esse fosse colocado em contato com a água [g] e S é área da seção transversal do corpo de prova [cm²].

Dada a equação citada e que as dimensões dos corpos de prova é de 4 x 4 x 16 cm com área de seção transversal de 16 cm², a Tabela 4 contém a absorção de água por capilaridade de CP3-A, CP3-B e CP4 expressa em g/cm² para cada tempo contabilizado após o posicionamento dos corpos de prova na cuba com água, retirando CP1 e CP2 da análise, conforme justificado anteriormente.

	Tempo (h)					
	0,5	1	2	3	6	72
CP3-A	0,6125	0,725625	0,914375	1,006875	1,214375	2,376875
CP3-B	0,745	0,88625	1,08625	1,1675	1,379375	2,40125
CP4	0,23625	0,298125	0,404375	0,443125	0,616875	0,995

Fonte: Os autores

Tabela 4 – Medidas de absorção de água por capilaridade em g/cm² para cada tempo determinado após o contato dos corpos de prova CP3-A, CP3-B e CP4 com a água



Fonte: Os autores

Figura 5 – Medidas de absorção de água por capilaridade em g/cm² para cada tempo determinado após o contato dos corpos de prova CP3-A, CP3-B e CP4 com a água

Examinando graficamente os resultados, é possível observar, a partir da Figura 5, que o CP4, corpo de prova padrão, composto de cimento e areia, obteve menor absorção de água por capilaridade, enquanto os compósitos de caixa de ovos obtiveram resultados superiores, porém com diferença de apenas 0,024 g/cm² de absorção entre eles no tempo final, de 72 horas.

Na observação dos resultados é possível verificar que a faixa seca do corpo de prova com menor adição de caixa de ovos é maior do que a do CP3-A mas, de acordo com o cálculo do coeficiente de absorção de água por capilaridade, ele é o que apresenta uma maior absorção entre os demais corpos de prova do teste.

Sabendo que as densidades dos corpos de prova de caixas de ovos são diferentes e que suas massas se distinguem por apenas 10 gramas, pode-se considerar mínima e desprezível a diferença do coeficiente de absorção de água por capilaridade e a medida da faixa seca existente nos corpos de prova CP3-A e CP3-B. Portanto, torna-se infactível determinar qual desses dois compósitos apresentaram um melhor desempenho referente a absorção de água por capilaridade.

4. Conclusão

O uso do modelo mental *design thinking* foi adequado para a agilização do processo de desenvolvimento de produtos, proporcionando uma boa contribuição no que diz respeito a relação direta com a necessidade dos clientes compreendidos neste estudo e também uma

maior estruturação nas etapas da elaboração dos compósitos.

Em decorrência dos testes realizados, verificou-se que os compósitos constituídos de serragem de pinus e isopor não são estruturalmente viáveis em elementos que sejam destinados à exposição de umidade, visto que sofreram saturação e, dessa forma, transportam líquidos de um meio para outro.

Em contrapartida, nas análises referentes ao índice de absorção de água por capilaridade e também a medida dos tamanhos de faixa seca dos corpos de prova, além do corpo de prova padrão constituído de cimento e areia, o corpo de prova de caixas de ovos apresentou o melhor desempenho no que diz respeito ao transporte de água no interior do material entre os outros compósitos. Mas estes testes foram preliminares. Recomenda-se, assim, um estudo a respeito da absorção de água por capilaridade contendo, nos testes, corpos de prova com diferenças na quantidade de adição de caixas de ovos nos corpos de prova superiores à deste estudo para uma consideração mais precisa a respeito de um melhor ou pior desempenho de acordo com as composições dos compósitos.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779:** Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.
- BRASCHER, G. C., SCALISE, R. K., BECKER, D.** Metodologia para seleção de materiais baseada no QFD. 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento do Produto. Porto Alegre, 2011.
- BROWN, T.** *Design Thinking*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- GARCEZ, M., GARCEZ, E., MACHADO, A., GATTO, D.** Avaliação de traços para desenvolvimento de compósitos cimentícios leves com resíduos de madeira. *Revista Árvore*, 2017.
- HILLIG, E., SCHNEIDER, V.E., WEBER, C., TECCHIO, R.D.** Resíduos de madeira da indústria madeireira — caracterização e aproveitamento. XXVI ENEGEP, 2006.
- KRISHNAN, V., ULRICH, K.T.** *Product Development Decisions: A Review of the Literature*. Texas, 2001.
- LANÇAMENTO PANORAMA 2012. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS**. 2012. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/noticias_detalhe.cfm?NoticiasID=1420>. Acesso em: Julho. 2018.
- LOCKWOOD, T.** *Design Thinking: Integrating Innovation, Customer Experience and Brand Value*. Allworth Press, 2009.
- MITAL, A., DESAI, A., SUBRAMANIAN, A., MITAL, A.** *Product Development: A Structured Approach to Consumer Product Development, Design, and Manufacture*. 2008.
- MOSLEMI, A. A.,** *Emerging technologies in mineral-bonded wood and fiber composites. Advanced Performance Materials*, v. 6, p. 161-179, 1999.
- MUNDIM, A. P. F., ROZENFELD, H., AMARAL, D.C., SILVA, S. L., GUERRERO, V., HORTA, L. C.** Aplicando o Cenário de Desenvolvimento de Produtos em um Caso Prático de Capacitação Profissional. São Carlos, 2002.
- NO BRASIL, 80% DAS CIDADES NÃO DÃO DESTINAÇÃO CORRETA AO LIXO, DIZ ENTIDADE DO SETOR. **REVISTA ENCONTRO**. 2018. Disponível em: <<https://www.revistaencontro.com.br/canal/atualidades/2018/01/80-das-cidades-nao-lidam-direito-com-o-lixo.html>> Acesso em: Julho. 2018.
- O DRAMA DO LIXO: BRASILEIRO JÁ PRODUZ 383 QUILOS POR ANO. **LEIA**. 2018. Disponível em: <<http://blog.leia.org.br/o-drama-do-lixo-brasileiro-ja-produz-383-quilos-por-ano/>> Acesso em: 24 de set. De 2019.
- PARANHOS, A., VECHIA, D., BELTRAME, M.** Capilaridade: um fenômeno de superfície com aplicações cotidianas. VIII Encontro Latino Americano de Pós Graduação. 2008.

PINHEIRO, T. *Design Thinking: empatia, colaboração e experimentação para pessoas, negócios e sociedade.* Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

RUMO A 4 BILHÕES DE TONELADAS POR ANO. **SENADO FEDERAL.** 2014. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/noticias/jornal/emdiscussao/residuos-solidos/materia.html?materia=rumo-a-4-bilhoes-de-toneladas-por-ano.html>> Acesso em: 24 de set. De 2019.

SANTOS, F. I. G., ROCHA, J. C., CHERIAF, M. Influência da cinza pesada empregada em substituição ao agregado natural nos mecanismos de transferência de umidade em argamassas. *Revista Matéria*, v. 12, n. 2, pp. 253 – 268, 2007.

VIANNA, M. J., FILHO, Y. V. e S., ADLER, I. K., LUCENA, B. de F., RUSSO, B. *Design Thinking: inovação em negócios.* Rio de Janeiro: MJV Press, 2012.