

08 a 11 de Outubro de 2018
Instituto Federal Fluminense
Búzios - RJ

EFEITOS DOS CICLOS DE UMEDECIMENTO E SECAGEM NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE COMPÓSITOS CONSTITUÍDOS DE CIMENTO, RESÍDUO DE CELULOSE E FLAKES DE PET

Paulo Gedeão Barroso Gomes Júnior¹ – paulogedeaojr@gmail.com

José Luiz Ernandes Dias Filho¹ – jlernandes@hotmail.com

Sergio Rafael Cortes de Oliveira² – sergio.oliveira@iff.edu.br

Cassia Maria de Assis Rangel Melo² – cassia.melo@iff.edu.br

Jessika Rogério de Azevedo¹ – azevedojessika21@gmail.com

José Gabriel Rodrigues Mendonça Schettino de Castro¹ – jgrmsc@gmail.com

¹ Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) – Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

² Instituto Federal Fluminense *campus* Campos-Centro (IFF) – Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

Resumo: Este artigo avaliou os efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem em compósitos constituídos de cimento, resíduo industrial de lodo de celulose e flakes de PET aplicados como material de construção. A avaliação das propriedades físicas são baseadas em três aspectos: absorção de água, porosidade e resistência à compressão. As amostras foram confeccionados nas proporções 1:3, 1:4 e 1:5 de cimento e lodo de papel, em volume, variando-se o teor de lodo de papel em 10, 20 e 30% para fibras de PET. Verifica-se que, à medida que ocorre o aumento da inserção de resíduo de lodo de papel, a resistência mecânica das amostras diminui e a absorção de água e a porosidade aumentam. Entretanto, no procedimento de ciclagem, verificou-se, em geral, uma tendência de ganho de resistência mecânica, justificada pelo procedimento de cura que se sobrepõe à degradação imposta, enquanto a absorção de água e a porosidade aumentam. De modo geral, conclui-se que o material apresenta potencial como alternativa na indústria da construção civil.

Palavras-chave: Compósitos, Umedecimento e Secagem, Materiais de Construção.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os materiais utilizados pela construção civil brasileira, o tijolo de cerâmica vermelha se destaca por ser um produto que representa 90% das alvenarias e coberturas construídas no Brasil (ABCERAM, 2018); sua produção mensal gira em torno de 4 bilhões de blocos estruturais e de vedação e sua fabricação está distribuída em todo o país, de forma pulverizada, em micro e pequenas empresas (SEBRAE, 2015). Entretanto, desde as etapas de

obtenção, beneficiamento e produção dos materiais cerâmicos, diversas atividades realizadas causam impacto ao meio ambiente e à sociedade, tais como o processo agressivo de extração da argila - sem estudo prévio da reserva explorada -, o processo de derrubada de árvores para utilização como lenha e a queima da madeira, lançando gases e particulados na atmosfera devido à ausência de filtro nas chaminés.

Depois da água, o concreto é o segundo material mais consumido no mundo e largamente empregado na construção civil devido a sua expressividade, múltiplas possibilidades de uso e resistência. Porém, a produção de cimento gera grande impacto, sendo responsável pela emissão de 5 a 7% do CO₂ no planeta. Uma forma de reduzir o impacto do concreto no meio ambiente é a redução do uso do cimento Portland e a sua substituição por outros compósitos (RADONJANIN *et al.*, 2013).

Em 2010, a lei federal 12.305 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Esta medida foi de grande importância no que tange os problemas ambientais e socioeconômicos provocados pelo manejo inadequado dos resíduos sólidos. Um dos pontos destacados pelo plano é a logística reversa, um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2018). Técnicas que reciclam recursos podem ser satisfatoriamente usadas para transformar lixo em um novo recurso, oferecendo proteção ambiental e uma nova funcionalidade para o produto (HUNAG *et al.*, 2015).

Diversos trabalhos têm buscado a incorporação de materiais alternativos para a confecção de novos compósitos, baseados nos princípios socioambientais. Azevedo (2018) estudou o desenvolvimento de placas cimentícias reforçadas com incorporação de lodo primário da indústria de papel de celulose; Teske *et al.* (2015) estudaram o desenvolvimento de um modelo de telha ecológica empregando resíduos de PET – politereftalato de etileno – e gesso da construção; Pinheiro (2008) propôs a utilização do lodo da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel incorporado à cerâmica vermelha para avaliar o efeito da presença do resíduo nas propriedades físicas e mecânicas da microestrutura do material cerâmico; Ochi *et al.* (2007) estudaram o desenvolvimento de fibras de PET recicladas aplicadas como reforço estrutural de misturas de concreto e Paiva (2007) utilizou lodos provenientes de duas empresas produtoras de papel na confecção de compósitos com diversos teores de cimento e areia destinados à aplicações não estruturais.

Novas tecnologias buscam dar um novo destino aos resíduos industriais e domésticos de materiais poliméricos, que representam uma grande parcela do lixo depositado em aterros sanitários ou descartados de forma inapropriada (GALVÃO *et al.*, 2011). A indústria da construção civil, por ser um setor que colabora negativamente para a geração de resíduos sólidos, vem trabalhando nesse sentido. Borg *et al.* (2016), por exemplo, utilizaram fibras de PET para reforço estrutural de concreto, fornecendo uma alternativa sustentável para este material não biodegradável. Vale ressaltar que estudos que incorporam materiais alternativos em misturas de concreto ganham cada vez mais destaque, sendo promissoras a sua disseminação no mercado (GALVÃO *et al.*, 2011).

Portanto, esta pesquisa tem o objetivo de estudar a durabilidade de compósitos constituídos de cimento, resíduo sólido da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de produção de papel e *flakes* de PET aplicados como material de construção alternativo. Para isso, foram investigadas as propriedades físicas e mecânicas deste compósito, como a absorção de água, a porosidade e a resistência à compressão uniaxial para amostras que foram submetidas a ciclos de desgaste por umedecimento por água e secagem, comparadas com o material intacto. Além disso, este trabalho busca colaborar para uma prática mais racional da construção, de modo a possibilitar a redução dos custos das obras, a reciclagem de resíduos e a diminuição da

degradação ambiental, sem que haja perda das condições de funcionalidade e aplicabilidade do produto proposto.

2. MATERIAIS UTILIZADOS

Cimento Portland tipo CP-II-E. O cimento utilizado foi do tipo CP-II-E (Cimento Portland tipo II com escória de alto forno). Este tipo de cimento é produzido pela moagem conjunta de clínquer Portland com escória granulada de alto-forno, resíduo da fabricação do ferro-gusa (NEVILLE e BROOKS, 2013). Seu uso é recomendado quando se deseja um moderado calor de hidratação e é aplicado em locais onde um moderado ataque de sulfatos pode ocorrer. Este tipo de cimento Portland é fácil de ser encontrado no mercado e amplamente utilizado no setor construtivo, para uso geral em concretos e argamassas.

Resíduo sólido de estação de tratamento de efluentes de indústria de papel. Em consonância com a abordagem da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), um dos materiais que constitui este compósito é o lodo primário oriundo de estação de tratamento de efluentes de indústria de papel. O lodo primário possui em sua composição caulim, celulose, traços de substância química e água. Sua coloração é cinza-escuro, quando úmido, e cinza-claro quando seco. Pela classificação de resíduos sólidos, é considerado tipo Classe II-A – não-inerte e não-perigoso (PINHEIRO, 2008).

Flakes de PET (Politereftalato de Etileno). O PET é um material não-biodegradável que, se não for reciclado, resulta em um maior consumo de matéria-prima não renovável e no aumento da deposição deste resíduo em aterros sanitários ou em destinos inapropriados (MODRO *et al.*, 2009). Pesquisas que estudam a aplicação de fibras de PET como reforço estrutural de concreto e argamassas estão em andamento há pelo menos uma década (BORG *et al.*, 2016). Uma aplicação considerável das fibras de PET se dá pela sua contribuição para aumento da resistência; além disso, comparadas às fibras de aço utilizadas para reforço estrutural de concreto, seu uso é vantajoso devido aos fatores econômicos e sociais, além do aumento da durabilidade do composto (FOTI, 2013).

Proporções de cimento, lodo residual de papel e flakes de PET. Para a confecção das amostras, foram adotadas as proporções 1:3, 1:4 e 1:5 de cimento Portland e lodo de resíduo de indústria de papel, calculados em relação ao volume dos corpos de prova. A adição de flakes de PET deu-se em cima do lodo residual adotado. A quantidade de água utilizada para a confecção da mistura foi, inicialmente, a mesma para todos os traços. Porém, à medida que a proporção de resíduo industrial de lodo foi aumentando, necessitou-se um acréscimo de água até 12% acima da quantidade prevista, para facilitar a trabalhabilidade da mistura. A Fig. 1 apresenta as proporções finais utilizadas para fabricar os corpos de prova, com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura e confeccionados observando as diretrizes da NBR 7215 (ABNT, 1996).

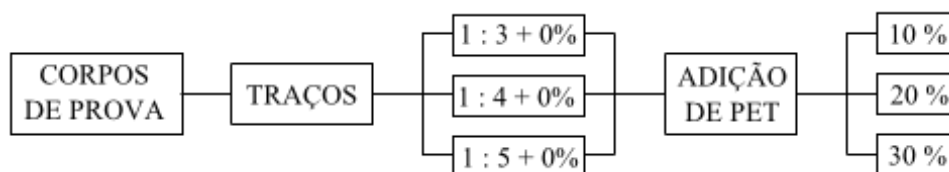


Figura 1- Proporções de cimento Portland, lodo de papel e flakes de PET adotados.

3. ENSAIOS REALIZADOS:

Ensaio de umedecimento e secagem. Para a realização deste ensaio, utilizou-se o equipamento de degradação universal da UENF, que consiste na reprodução, em laboratório, de ciclos de umedecimento e secagem, de forma acelerada, simulando uma ação que aconteceria no material quando aplicado em ambiente externo. Este processo utiliza água em temperatura ambiente por duas horas, alternado com secagem à 105°C e posterior ventilação para não haver choque térmico. Assim, a variação da umidade durante a saturação dos corpos de prova acelera o processo de degradação. Dias Filho *et al.* (2016) empregaram este mecanismo para avaliar a degradação de rochas ornamentais, uma vez que a perda das propriedades de um material é influenciada pelos fatores climáticos.

Absorção de água e Porosidade. A NBR 15270-2 (ABNT, 2017) estabelece que, para blocos cerâmicos para alvenaria estrutural, o índice de absorção de água não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%. O índice de absorção de água (A.A.) de cada corpo-de-prova é determinado pela Eq. (1), onde m_u e m_s representam a massa úmida e a massa seca de cada amostra, respectivamente, expressas em gramas.

$$A. A. = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

A Eq. (2), estabelecida pela NBR 12766 (ABNT, 1992), determina os valores da porosidade para as amostras estudadas. Neste caso, a variável m_{sub} representa a massa submersa de cada corpo de prova, também expresso em gramas.

$$\eta = \frac{m_u - m_s}{m_u - m_{sub}} \times 100 \quad (2)$$

Resistência à compressão uniaxial. O ensaio de resistência à compressão uniaxial foi realizado de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996). Foram utilizados 5 CP's (corpos de prova) para cada traço estudado. A faixa de resistência à compressão adequada, de 1,5 a 3,0 MPa, está estabelecida na NBR 15270-2 (ABNT, 2017) para blocos cerâmicos, admitidas aqui para fins de comparação.

Etapas dos ensaios. A Figura 2 apresenta o esquema de realização dos ensaios deste artigo. As amostras foram submetidas ao processo de cura imersa, por 28 dias. Os CP's, então, foram colocados no equipamento de degradação universal da UENF, onde ficaram por 15 dias sob ciclos acelerados de resfriamento-aquecimento. No fim do 1º ciclo, aos 7 dias, foram medidas a absorção de água, a porosidade e a resistência à compressão uniaxial, repetidos também para o 2º ciclo de desgaste, tomados no 15º dia.

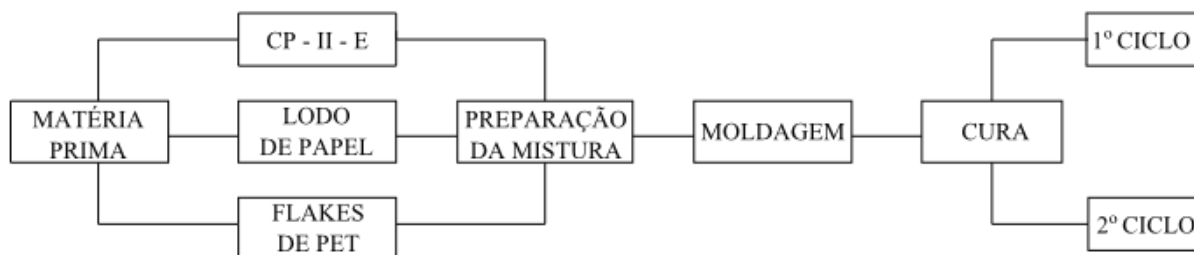


Figura 2- Etapas adotadas para confecção das amostras e realização dos ensaios correlatos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Absorção de água

A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de absorção de água realizados nas amostras que não sofreram processo de degradação acelerada (intacta) e naquelas que passaram pelo processo de degradação acelerada por umedecimento e secagem.

Tabela 1- Resultados dos ensaios de absorção de água realizados (%).

Traço	Intacto	1° ciclo	2° ciclo	Traço	Intacto	1° ciclo	2° ciclo	Traço	Intacto	1° ciclo	2° ciclo
	A.A. S*	A.A. S*	A.A. S*		A.A. S*	A.A. S*	A.A. S*		A.A. S*	A.A. S*	A.A. S*
1:3+	9,32	13,87	45,73	1:4+	11,20	22,13	37,21	1:5+	15,93	28,60	44,47
0%	0,40	0,51	0,97	0%	8,15	4,90	0,37	0%	1,44	3,41	1,39
1:3 +	10,49	19,02	41,24	1:4 +	11,68	25,83	41,48	1:5 +	17,92	27,45	46,15
10%	0,90	1,68	1,85	10%	0,76	0,94	0,46	10%	6,83	3,32	1,15
1:3 +	10,57	23,28	43,05	1:4 +	18,01	22,43	37,75	1:5 +	17,99	28,55	45,64
20%	5,33	1,68	0,62	20%	1,86	1,54	1,06	20%	4,43	0,33	1,10
1:3 +	16,32	17,88	38,86	1:4 +	16,24	22,51	43,83	1:5 +	18,57	26,40	46,20
30%	2,54	2,67	0,36	30%	8,57	2,13	0,82	30%	3,44	1,96	0,34

*Desvio Padrão.

Com os resultados apresentados na Tabela 1, entende-se que os valores numéricos de absorção de água tendem a aumentar à medida que se aumenta a proporção de resíduo da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel. O mesmo acontece, para cada proporção estudada, quando se adiciona *flakes* de PET. A absorção de água para o traço 1:3 variou de 9,32% (sem adição de PET) até 16,32% (para adição máxima de PET); para o traço 1:4, esse valor varia de 11,20% a 16,24% enquanto que para o traço 1:5 há uma variação de 15,93% a 18,57% - neste caso, analisando-se as amostras intactas. A Figura 3 apresenta o comportamento da absorção de água de acordo com os traços estudados, globalmente, relacionando os resultados para as amostras intactas e aquelas expostas à degradação mecanizada.

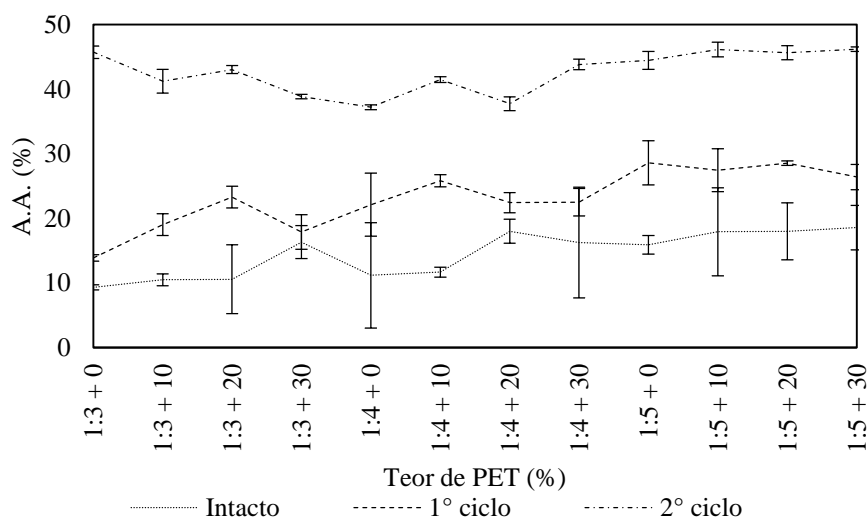


Figura 3- Absorção de água para as amostras intactas e degradadas por umedecimento e secagem.

Porém, deve-se observar que, para cada traço estudado, a tendência é uma redução da taxa de absorção de água global, relacionando a evolução da absorção de água sem a adição de PET para o teor máximo de incorporação deste resíduo. Enquanto que os valores para o traço 1:3 (de 0 a 30% de PET) aumentaram em 75,07%, percebe-se um ganho de 45,05% e 16,59% para os traços 1:4 e 1:5, respectivamente. A adição de *flakes* de PET na composição da mistura favorece o aumento de vazios, uma vez que não há interação entre o lodo e o *flake*. Isto fica nítido para o traço 1:3 e o seu valor expressivo da taxa global. Sendo eles materiais inertes e a geometria do *flake* de PET, o embricamento e a compactação do compósito contribuem para uma disposição irregular dos particulados poliméricos, possibilitando assim uma maior capacidade de absorção de água. Vale ressaltar a contribuição da celulose na composição da mistura, que eleva também a capacidade de absorção de água (PAIVA, 2007).

Quando observadas as amostras submetidas aos ciclos de umedecimento e secagem, o processo obteve uma tendência comportamental semelhante à amostra intacta; porém, as taxas de absorção de água são inferiores. Para o traço 1:3, no 1º ciclo, a absorção de água varia de 13,87% a 17,88%, com taxa de aumento de 28,29%; no 2º ciclo, esta taxa cai para 15,03%. Para o traço 1:4, no 1º ciclo, os valores variam de 22,13% a 22,51%, com taxa de 1,53%; no 2º ciclo, os valores variam de 37,21% a 43,83%, com taxa de 17,81%. Para o traço 1:5, no 1º ciclo, os valores variam de 28,60% a 26,40%, com taxa de 7,71%; no 2º ciclo, os valores variam de 44,47% a 46,20%, com taxa de 3,88%.

4.2. Porosidade

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para o cálculo da porosidade dos corpos de prova intactos e degradados por ciclos de umedecimento e secagem.

Tabela 2- Resultados dos ensaios de porosidade realizados (%).

Traço	Intacto	1º ciclo	2º ciclo	Traço	Intacto	1º ciclo	2º ciclo	Traço	Intacto	1º ciclo	2º ciclo
	η S*	η S*	η S*		η S*	η S*	η S*		η S*	η S*	η S*
1:3+	13,80	18,12	48,69	1:4+	16,44	29,33	42,93	1:5+	22,29	34,83	47,30
0%	0,83	0,51	0,44	0%	11,07	5,42	0,17	0%	1,84	3,16	1,30
1:3 +	15,11	24,61	44,26	1:4 +	16,58	31,67	45,17	1:5 +	23,54	32,87	47,42
10%	1,09	1,80	1,91	10%	0,82	1,05	0,13	10%	7,66	2,83	0,55
1:3 +	14,61	29,53	44,23	1:4 +	24,02	28,22	41,89	1:5 +	23,43	33,42	46,99
20%	6,73	1,72	0,73	20%	2,10	1,54	0,82	20%	4,98	0,38	0,59
1:3 +	21,43	24,42	40,85	1:4 +	20,43	27,20	44,86	1:5 +	21,39	30,75	45,92
30%	2,86	0,80	0,24	30%	8,72	2,13	0,82	30%	5,35	1,61	0,32

*Desvio Padrão.

Com os resultados apresentados na Tabela 2, entende-se que os valores numéricos de porosidade tendem a aumentar à medida que se aumenta a proporção de resíduo de estação de tratamento de efluentes de indústria de papel. Esses valores eram esperados, uma vez que os dados de absorção de água aumentaram de acordo com os traços estudados. O mesmo acontece, para cada proporção estudada, quando se adiciona *flakes* de PET. A porosidade para o traço 1:3 variou de 13,80% (sem adição de PET) até 21,43% (para adição máxima de PET); para o traço 1:4, esse valor varia de 16,44% a 20,43% enquanto que para o traço 1:5 há uma variação de 22,29% a 21,39% - neste caso, analisando-se as amostras intactas. A Figura 4 apresenta o comportamento da porosidade de acordo com os traços estudados, relacionando os resultados para as amostras intactas e aquelas expostas aos ciclos de degradação.

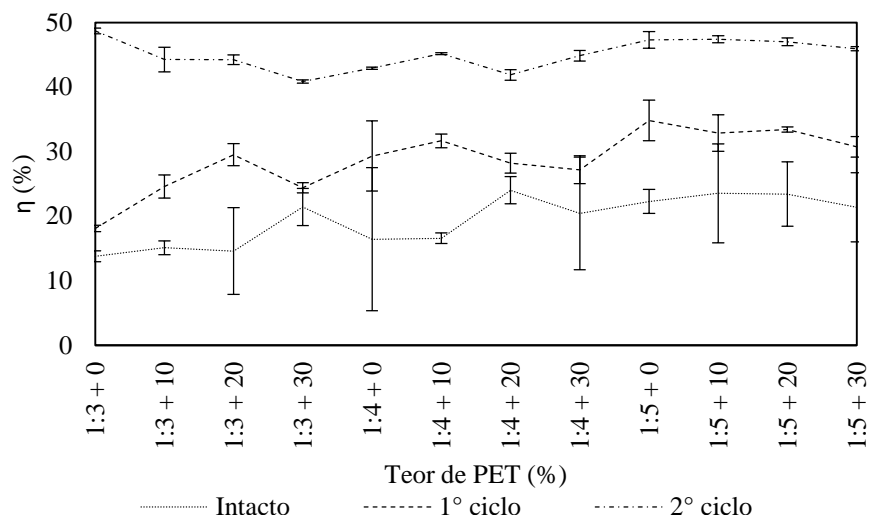


Figura 4- Porosidade para as amostras intactas e degradadas por umedecimento e secagem.

A tendência de redução da taxa de porosidade global também se confirmou para cada traço estudado; enquanto que os valores para o traço 1:3 aumentaram em 55,34%, houve um ganho de 24,32% e 5,09% nos valores para os traços 1:4 e 1:5, respectivamente. Paiva (2007) destaca que o aumento do teor do resíduo industrial de lodo de papel contribui para a elevação do índice de vazios, afetando assim a durabilidade e resistência do compósito.

Quando observadas as amostras submetidas aos ciclos de umedecimento e secagem, o processo obteve uma tendência comportamental semelhante à amostra intacta; porém, as taxas de porosidade são inferiores, tendendo a se estabilizar. Para o traço 1:3, no 1º ciclo, a porosidade varia de 18,12% a 24,42%, com taxa de aumento de 34,78%; no 2º ciclo, esta taxa cai para 16,10%. Para o traço 1:4, no 1º ciclo, os valores variam de 29,33% a 27,20%, com taxa de 7,26%; no 2º ciclo, os valores variam de 42,93% a 44,86%, com taxa de 4,49%. Para o traço 1:5, no 1º ciclo, os valores variam de 34,83% a 30,75%, com taxa de 11,73%; no 2º ciclo, os valores variam de 47,30% a 45,92%, com taxa de 2,91%.

4.3. Ensaio de resistência à compressão uniaxial

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para o cálculo da resistência à compressão das amostras intactas (rompidos aos 28 dias) e degradadas por umedecimento e secagem.

Tabela 3- Resultado dos ensaios de resistência à compressão (MPa).

Traço	Intacto	1º ciclo	2º ciclo	Traço	Intacto	1º ciclo	2º ciclo	Traço	Intacto	1º ciclo	2º ciclo
	σ S*	σ S*	σ S*		σ S*	σ S*	σ S*		σ S*	σ S*	σ S*
1:3+	2,51	4,47	3,14	1:4+	2,22	3,34	3,43	1:5+	1,28	1,94	2,21
0%	0,31	0,11	1,05	0%	0,56	0,05	0,36	0%	0,20	0,05	0,03
1:3 +	2,53	4,62	4,28	1:4 +	2,02	2,85	3,44	1:5 +	1,36	1,69	1,77
10%	0,16	0,04	0,13	10%	0,27	0,17	0,11	10%	0,04	0,03	0,10
1:3 +	2,89	4,18	3,67	1:4 +	2,36	3,35	3,54	1:5 +	1,55	2,06	2,27
20%	0,17	0,17	0,11	20%	0,05	0,18	0,13	20%	0,07	0,10	0,00
1:3 +	2,93	5,66	4,39	1:4 +	1,89	2,38	2,67	1:5 +	1,62	2,10	1,68
30%	0,32	0,11	0,09	30%	0,29	0,41	0,38	30%	0,06	0,37	0,03

*Desvio Padrão.

Com os resultados apresentados na Tabela 3, entende-se que os valores numéricos de resistência à compressão uniaxial tendem a diminuir à medida que se aumenta a proporção de resíduo de estação de tratamento de efluentes de indústria de papel. Isso já era esperado, uma vez que a absorção de água e a porosidade tendem a aumentar de acordo com o aumento das proporções estudadas, e elas influenciam na resistência à compressão uniaxial do compósito – a presença do cimento, que contribui para a resistência mecânica, diminui de acordo com o aumento da presença do resíduo industrial. A Figura 5 apresenta o comportamento da resistência à compressão uniaxial das amostras submetidas à degradação acelerada.

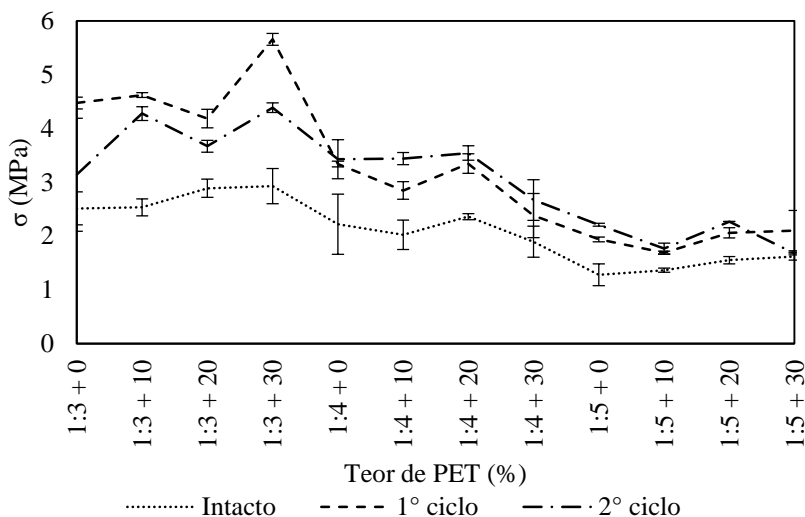


Figura 5- Resistência à compressão para as amostras degradadas por umedecimento e secagem.

Porém, o mesmo não acontece, para cada proporção estudada, quando se adiciona *flakes* de PET. A resistência à compressão uniaxial para o traço 1:3, no 1º ciclo, variou de 4,62 MPa (1:3 + 10% de PET) a 5,66 MPa (1:3 + 30% de PET), com um ganho de resistência de 26,48%; para o traço 1:4, variou de 3,34 MPa (1:4 + 10% de PET) a 2,38 MPa (1:4 + 30% de PET), com uma perda de resistência de 28,76% enquanto que para o traço 1:5 há uma variação de 1,94 MPa (1:5 + 10% de PET) a 2,10 MPa (1:5 + 10% de PET) com um ganho de resistência de 8,28%. A tendência do comportamento se repete para os valores de resistência à compressão uniaxial no 2º ciclo de umedecimento e secagem.

5. CONCLUSÃO

A academia tem dedicado esforços para o desenvolvimento de tecnologias que consigam minimizar os impactos que os métodos tradicionais de construção causam ao planeta. Sendo assim, propostas como esta defendida pelo artigo vão ao encontro de conceitos e ideias que empregam a ótica da reciclagem de produtos que são descartados em aterros sanitários ou de forma inapropriada, corroborando a importância da Lei 12.305 (BRASIL, 2010). A gestão de resíduos que otimiza seus fluxos desafia o desenvolvimento urbano sustentável, onde existe um consenso crescente de que os resíduos devem ser considerados como um recurso valioso (MANSOU e ALI, 2015);

Com relação à influência dos ensaios de umedecimento e secagem, pode-se concluir que a exposição à degradação mecanizada favorece o aumento da capacidade de absorção de água, uma vez que há o aumento da porosidade do compósito. Porém, esta constatação não se

confirma com Tonoli (2006) *apud* Paiva (2007), que afirmam que os ciclos acelerados de umedecimento e secagem alteram a condição estrutural dos corpos de prova, possibilitando a redução dos vazios introduzidos pela adição do resíduo industrial de lodo de papel. Uma justificativa para o aumento da absorção de água e porosidade se deve à condição heterogênea do composto, especialmente quando se acrescenta *flakes* de PET e a hidrofobia deste último.

Os dados de resistência à compressão mostraram que, à medida que a presença de resíduo de lodo de papel aumenta, diminui-se a resistência à compressão. O valor mínimo de 1,68 MPa, no 2º ciclo de degradação, para o traço 1:5 + 30%, atesta que os valores encontrados estão de acordo com a faixa estabelecida pela NBR 15270-2 (ABNT, 2017). Quando se observa cada traço de forma isolada, a presença de *flakes* de PET favorece o ganho de resistência mecânica. Para todos os traços estudados, percebe-se a tendência para o ganho de resistência de acordo com o aumento do *flake* de PET. Portanto, confirma-se a aplicabilidade do compósito no que tange à resistência mecânica exigida por norma. Uma justificativa para o ganho de resistência nos ciclos de umedecimento e secagem encontram respaldo em Hannant e Hughes (1986) *apud* Paiva (2007), que abordam o efeito cicatrizante proporcionados pelo processo de hidratação do cimento durante o processo de cura e molhagem.

Apesar de alguns desvios dos resultados, consideradas as tendências esperadas, pode-se concluir que o material apresenta potencial como alternativa na construção civil. A partir da avaliação dos critérios de desempenho dados nos ensaios, complementando com ensaios futuros, é possível apresentá-lo como uma solução que certifica a busca por novos conceitos visando a sustentabilidade das atividades da construção civil.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem também ao Instituto Federal Fluminense e, especialmente, à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro pelas instalações físicas e suporte necessários ao desenvolvimento desta pesquisa, mesmo em um cenário de penúria e descaso com a educação pública, gratuita e de qualidade.

REFERÊNCIAS

- ABCERAM (2018). Associação Brasileira de Cerâmica. Cerâmica no Brasil - Número do Setor. Disponível em: <<https://abceram.org.br/numeros-do-setor/>>. Acesso em: 06 jul. 2018.
- ABNT. NBR 7215 (1996). Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 8 p.
- ABNT. NBR 12766 (1992). Rochas para revestimento: Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 2 p.
- ABNT. NBR 15270-2 (2017). Componentes cerâmicos - Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 11 p.
- AZEVEDO, A.R.G. (2018). Desenvolvimento de Placas Cimentícias Reforçadas com Incorporação do Lodo Primário da Indústria de Papel de Celulose. 168 f. Tese (Doutorado) - Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2018.
- BORG, R.P.; BALDACCHINO, O.; FERRARA, L. (2016). Early age performance and mechanical characteristics of recycled PET fibre reinforced concrete. *Construction And Building Materials*, [s.l.], v. 108, p.29-47.
- BRASIL. (2010). Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos: altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 06 jul. 2018.

- DIAS FILHO, J.L.E., XAVIER, G.C., MAIA, P.C.A. e SANTOS, V.G.P. (2016). Durability of Ornamental Gneisses from Pádua-RJ as Covering Stone. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 21, p. 1957 – 1976.
- FOTI, D. (2012). Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete. Composite Structures, [s.l.], v. 96, p.396-404.
- GALVÃO, J.C.A.; PORTELLA, K.F.; JOUKOSKI, A.; MENDES, R.; FERREIRA, E.F. (2010). Use of waste polymers in concrete for repair of dam hydraulic surfaces. Construction And Building Materials, [s.l.], v. 25, n. 2, p.1049-1055.
- HANNANT, D. J; HUGHES, D. C. (1986). Durability of cement sheets reinforced with layers of continuous network of fibrillated polypropylene film. In: Developments in fibre reinforced cement and concrete. Edited by RN Swamy, RL Wagstaffe and DR Oakley, Proceedings RILEM Symposium, Sheffield 1986 Jul 13.
- HUNAG, Li-jeng; WANG, Her-yung; WANG, Shi-yang. A study of the durability of recycled green building materials in lightweight aggregate concrete. Construction And Building Materials, [s.l.], v. 96, p.353-359, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.018>.
- MANSOUR, A. M. H.; ALI, S. A. (2015). Reusing waste plastic bottles as an alternative sustainable building material. Energy For Sustainable Development, [s.l.], v. 24, p.79-85.
- MODRO, N.L.R.; MODRO, N.R.; MODRO, N.R.; OLIVEIRA, A.P.N. (2009). Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET. Matéria (Rio de Janeiro), [s.l.], v. 14, n. 1, p.725-736.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. (2013). Tecnologia do Concreto. 2. ed. Porto Alegre: Bookman. 448 p.
- OCHI, T.; OKUBO, S.; FUKUI, K. (2007). Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. Cement And Concrete Composites, [s.l.], v. 29, n. 6, p.448-455.
- PAIVA, S. N. (2007). Compósito cimento-lodo de ETE de indústria de papel para aplicação na construção civil. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 110 p.
- PINHEIRO, R. M. (2008). Reciclagem de lodo primário da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel em cerâmica argilosa. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 102p.
- RADONJANIN, V.; MALEŠEV, M.; MARINKOVIĆ, S.; AL MALTYA, A.E.S. (2013). Green recycled aggregate concrete. Construction And Building Materials, [s.l.], v. 47, p.1503-1511.
- SEBRAE. (2015). Serviço de Inteligência do Mercado. Boletim de Inteligência. Disponível em: <<https://bit.ly/2z6caxa>>. Acesso em: 06 jul. 2018.
- TESKE, S.; GONÇALVES, P. F. A.; NAGALLI, A. (2015). Desenvolvimento de modelo conceitual de telha ecológica a partir de resíduos de PET e gesso da construção. Cerâmica, [s.l.], v. 61, n. 358, p.190-198.
- TONOLI, G. H. D. (2006). Aspectos produtivos e análise do desempenho do fibrocimento sem amianto no desenvolvimento de tecnologia para telhas onduladas. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga.

EFFECTS OF WETTING AND DRYING CYCLES ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF COMPOSITIES CONSTITUTED OF CEMENT, RESIDUE OF CELLULOSE AND PET

Abstract: *This paper evaluated the effects of wet and dry cycles on composites composed of cement, industrial waste paper sludge and PET flakes applied as building material. The evaluation of the physical properties are based on three aspects: water absorption, porosity and uniaxial compressive strength. The samples were made in 1: 3, 1: 4 and 1: 5 proportions of cement and paper slurry by volume, the paper slurry being varied in 10, 20 and 30% for PET fibers. It is verified that, as the increase in the insertion of paper sludge residue occurs, the mechanical resistance of the samples decreases and increase the water absorption and porosity. However, in the cycling procedure, a tendency of gain of mechanical resistance was verified, justified by the curing procedure that overcomes the imposed degradation, while the water absorption and the porosity increase. In general, it is concluded that the material presents potential as an alternative in the construction industry.*

Keywords: *Composities, Wetting and Drying, Building Materials.*