

UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSA PARA REBOCO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE LODO NA SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO

Vanessa Fonteles Ferreira¹

Fábio Sérgio da Costa Pereira²

RESUMO

Esta pesquisa analisou o uso do resíduo de lodo em substituição de 10% e 30% do cimento na fabricação de argamassa para reboco. É uma pesquisa de natureza aplicada e qualitativa explicativa, é um estudo de caso que emprega várias técnicas de pesquisa. A pesquisa foi realizada no Laboratório de Materiais de construção civil do UNI-RN. Foram fabricados 15 corpos de prova com substituição de 10% do cimento por resíduo de lodo e 15 corpos de prova com substituição de 30% do cimento pelo resíduo de lodo. Após o tempo de cura de 28 dias foram realizados os ensaios de compressão que obtiveram resultados superiores a 10 MPA, além dos ensaios de absorção que obtiveram uma média de porcentagem de 1,39% e 1,70% de absorção, para o *pull off test* os resultados também foram satisfatórios, com resistência superior a 0,2 MPA para ambientes internos e superior a 0,3 MPA para ambientes externos, sendo então aprovadas para o uso nos dois ambientes. Com estes resultados é comprovado que o uso do resíduo de lodo na argamassa para reboco com a substituição do cimento, trás resultados com resistências superiores aos estabelecidos nas normas da NBR 5739, 13528 e 9778 da ABNT para a argamassa sem adição do resíduo, além de trazer também economia, pois o resíduo de lodo seria descartado.

Palavras-chave: Resíduo. Argamassa. Lodo. Sustentabilidade.

USE OF MORTAR FOR PLASTERING WITH ADDED SLUDGE RESIDUE IN THE REPLACEMENT OF CEMENT

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Civil do centro universitário do Rio Grande do Norte.
Email:2022b031203@a.unirn.edu.br

² Professor Orientador do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Rio Grande do Norte.
Email:fabiosergio@unirn.edu.br

ABSTRACT

This research analyzed the use of sludge residue to replace 10% and 30% of cement in the manufacture of plastering mortar. It is an explanatory qualitative and applied research, it is a case study that employs various research techniques. The research was carried out at the Civil Construction Materials Laboratory of UNI-RN. 15 specimens were manufactured with replacement of 10% of the cement by sludge residue and 15 specimens with replacement of 30% of the cement by the sludge residue. After the curing time of 28 days, compression tests were performed, which obtained results greater than 10 MPA, in addition to the absorption tests that obtained an average percentage of 1.39% and 1.70% of absorption, for the pull off test the results were also satisfactory, with a resistance greater than 0.2 MPA for indoor environments and greater than 0.3 MPA for outdoor environments, being then approved for use in both environments. With these results, it is proven that the use of sludge residue in mortar for plastering with the replacement of cement, brings results with resistances superior to those established in the norms of NBR 5739, 13528 and 9778 of ABNT for mortar without addition of residue, in addition to also bring savings, as the sludge residue would be discarded.

Keywords: Residue. Mortar. Sludge. Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O cimento é um dos materiais responsável por um aumento significativo no orçamento de uma obra, visando a diminuição destes custos é sugerido a utilização do resíduo lodo na fabricação de argamassa para reboco com substituição de parte do cimento pelo resíduo. Foram feitos no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário do Rio Grande do Norte, 15 corpos de prova com substituição de 10% do cimento pelo resíduo derivado do lodo e 15 corpos de prova com 30% de substituição do cimento. Com o processo do tempo de cura finalizado espera-se um resultado igual ou superior a um corpo de prova produzido com os materiais usuais.

O objetivo desta pesquisa visa a utilização do resíduo lodo na produção de argamassa para reboco como forma de garantir a diminuição dos custos no preço do cimento,

encontrando também uma nova forma de reutilização para o lodo que seria descartado na natureza. Além de sugerir novas formas de reciclagem para os resíduos produzidos na construção civil que geralmente são descartados e inutilizados. Para o teste de resistência à compressão espera-se obter uma resistência de 2 a 10 MPA e para o teste de resistência à tração, o *pull off test*, uma resistência de 0,2 MPA para ambientes internos e 0,3 MPA para ambientes externos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O lodo (efluente orgânico) é um resíduo sólido resultante de processos industriais e Estações de Tratamento de Água (ETA). Foi determinado como resíduo sólido pela Lei nº 12.305 de 2010.

“A Lei 12.305/2010 define resíduos e rejeitos, sendo o primeiro passível de ser reutilizado e reciclado. O lodo do ETA se enquadra como resíduos sólidos e, portanto, precisa ser gerenciado de tal forma a garantir as premissas da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS” (ACHON, 2015, p. 2).

Os resíduos sólidos são categorizados como resíduos no estado sólido ou semissólido que resultam de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas e de serviços de varrição. Estão incluídos nesta definição lodos provenientes de resíduos de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas que encarecem o procedimento em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004)

O lodo pode ser utilizado na construção civil, na fabricação de agregados leves, como agregado em argamassa e concreto, podendo também ser utilizado no processo de fabricação de cimento portland, cerâmica vermelha e tijolos.

Agregados leves são adições de escória de alto forno, argilas e outros materiais que ajudam a dar volume e podem melhorar as propriedades de tijolos e outros produtos como concretos para indústria civil (Oliveira et al., 2018).

O Brasil foi um dos pioneiros da reutilização do lodo de esgoto como matéria-prima na produção de agregado leve por meio de um processo cerâmico. Em 1974, iniciou-se a pesquisa nacional sobre como poderia ser reaproveitado o lodo de esgoto como material de construção, em que a Sabesp solicitou ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) um estudo mais aprofundado sobre o assunto. Eles conseguiram obter, a partir de lodo digerido, um material que, após britagem, era classificado dentro das especificações de agregado leve para fins de construção civil, com emprego em estruturas de concreto, isolamento

térmico, enchimento de vazios, pré-fabricação de edifícios e blocos para alvenaria e pisos (Santos et al., 2004).

O processo de produção do agregado leve passava pelas seguintes operações unitárias: Desidratação do lodo, pós-secagem do lodo centrifugado, dosagem e mistura dos componentes, pelotização, secagem das pelotas por leito fluidizado, sinterização, quebramento e britagem do sínter e estabilização e classificação do sínter. (Oliveira et al., 2018).

Na fabricação de agregados leves para cimentos e construção civil, há uma experiência internacional que se destaca, desenvolvida pelo Dr. Georgi Harrison, para a San Diego Region Water Reclamation Agency. A produção de agregados leves foi possível a partir de um processo chamado CCBA (Coordinate Chemical Bonding Adsorption). O processo constava das seguintes etapas: mistura do lodo com argila, alumina e ácido poliacrílico; coagulação e floculação; decantação (lodo com 45% de sólidos); mistura com argila; extrusão; corte para formação de pelotas com cerca de 6 mm de diâmetro; e queima entre 1.070 °C e 1.095 °C. (Oliveira et al., 2018).

Na produção desses agregados leves, foi possível obter bom resultados e economicamente viáveis. Porém, antes do lodo entrar na mistura com a argila, ele deve ser incinerado a 550 °C. Também se observou nesse estudo a necessidade de controlar a quantidade de cinzas presente no lodo, pois a porcentagem muito alta de cinzas no agregado pode fragilizar a resistência à compressão quando aplicado junto com o cimento. Contudo, o processo se mostrou econômico e com benefícios agregativos ao cimento e construção civil, podendo reduzir a utilização de materiais na construção (Santos, 2003).

Em pesquisa realizada por Sales e Cordeiro (2001) foram utilizados os rejeitos do lodo de ETA's com os resíduos de construção civil para estudar formas de utilização como agregado em argamassa e concreto, podendo ser aplicados em concreto de contrapiso, argamassa de assentamento não estrutural e blocos de concreto não estrutural. Os experimentos foram realizados com resíduos resultantes de três estações, situadas nas cidades de São Carlos, Araraquara e Rio Claro, onde as vazões de lodo são aproximadas. O entulho foi coletado na região de São Carlos e separado em resíduos de material cerâmico (proveniente de restos de telhas, blocos e lajotas cerâmicas) e de material proveniente de argamassas e concretos endurecidos. O entulho foi moído, até atingir granulometria condizente com as aplicações propostas. Como agregado miúdo utilizou-se a areia de rio classificada como média, e para o agregado graúdo, a brita número 1 com dimensão máxima de 19 milímetros. Esses materiais foram misturados ao cimento Portland. Foram utilizados traços usuais às aplicações não estruturais de argamassas e concretos, sendo 1:3 e 1:2:3 em massa para argamassa e concreto, respectivamente. Foram realizados ensaios de resistência a compressão e à absorção conforme a normalização utilizada para argamassas e concretos, buscando-se comparar os valores obtidos com os valores de argamassas e concretos compostos de agregados naturais sem adições. O melhor resultado em termo de resistência foi com a adição de 3% de lodo com agregado miúdo natural que possibilitou a obtenção de concretos com características mecânicas similares às do concreto usual. A substituição dos agregados naturais por reciclados de entulho de concreto permitiu um ganho de resistência significativo. Com isso é possível definir que é viável a utilização de resíduos sólidos de ETA's em conjunto com agregados reciclados de entulho em matrizes de argamassa e concreto em diversas aplicações na construção civil (Maciel et al).

Hoppen, et al. (2006) avaliou a incorporação do lodo da ETA Passaúna, região metropolitana de Curitiba, in natura (centrifugado) na massa de concreto. Inicialmente realizou-se a caracterização do lodo, estudo de dosagens definindo-se quatro teores de lodo em relação ao peso seco da areia e escolha de três traços mais representativos e confeccionados corpos de prova para a realização de ensaios. Os resultados indicaram que 10% de lodo de ETA em concreto é um teor limitante para sua aplicabilidade prática, pelo abatimento do tronco cone nulo e baixa resistência mecânica a compressão, sendo inferior

a 15 MPa. De 4% a 8% de lodo em relação ao peso seco da areia no concreto resultaram em valores de resistência superiores a 27 MPa, aos 28 dias. As aplicações mais viáveis são para concreto não-estrutural como: contrapiso, blocos e placas de vedação, peças decorativas em concreto, calçadas, pavimentos residenciais, entre outros (Maciel et al).

Costa (2011) desenvolveu um estudo para utilizar o lodo proveniente da ETA Mirassol como agregado miúdo na confecção de concreto para recompor calçadas. Devido ao fato de a ETA Mirassol ainda não dispor de um plano de gerenciamento dos resíduos de seu tratamento, como metodologia de secagem das amostras de lodo, optou-se pela simulação de lagoa de lodo fora de escala em que o lodo ficou exposto ao sol durante períodos diferentes de 15 e 30 dias. A primeira amostra mais seca foi utilizada nos ensaios de lixiviação e solubilização e a segunda nos ensaios nos ensaios envolvendo o concreto. Foram realizados ensaios de lixiviação e solubilização com o objetivo de classificar o lodo de acordo com a ABNT NBR 10.004/2004 os quais, resultaram em excesso nos teores de cádmio, chumbo e, principalmente, de manganês, cerca de 400 vezes maior que o permitido. Por conta disto, o lodo pode ser classificado como um resíduo classe II A, ou seja, não perigoso e não inerte. Voltando a atenção para o concreto de calçada, verificou-se que não existem normas ou padrões que determinem a maneira adequada de executá-lo. Desta forma, optou-se por simular a confecção do concreto realizada no dia-a-dia pelos pedreiros, compreendendo o traço 1:2:3 (cimento: areia: brita) em massa e com o acompanhamento visual da sua trabalhabilidade. A análise de viabilidade da utilização do lodo como agregado foi realizada com base nos ensaios de compressão axial e compressão axial e compressão diametral. Estes ensaios demonstraram que para os traços que utilizam 5%, 10% e 20% de lodo foram obtidas resistências à compressão axial superiores à meta de 15 Mpa o que foi considerado bastante satisfatório uma vez que são recomendados para calçadas valores de 10 Mpa. Já para ensaios de tração, não há referências, mas pode-se constatar que a utilização do lodo como composto com areia como agregado miúdo interfere sensivelmente nos resultados, sendo que a utilização do lodo de ETA Mirassol em concretos para recomposição de calçadas é viável nas porcentagens até 10%, para minimizar os efeitos de redução nas resistências, principalmente à tração (Maciel et al).

2.1 CIMENTO PORTLAND

Tay et al. (1991) fizeram a experiência de substituir a argila por lodo desidratado na fabricação de cimento Portland. Inicialmente, foi realizada a secagem da torta de lodo a uma temperatura de 105 °C. Em seguida, a torta desidratada foi moída e misturada com pó de pedra calcária, CaCO₃, em diferentes proporções, sendo levadas para incineração, variando-se o tempo e a temperatura do procedimento (Santos et. al., 2007).

Os resultados relatados no trabalho de Tay et. al. (1991) podem ser considerados satisfatórios, de modo que mesmo com a utilização de apenas 2% de lodo seco como matéria-prima em fornos de clínquer, isso permitiria o consumo de todo o lodo gerado no Japão (santos et. al., 2007).

3 METODOLOGIA

A pesquisa é de natureza aplicada e qualitativa explicativa, é um estudo de caso que emprega várias técnicas de pesquisa. A pesquisa foi realizada no Laboratório de

Materiais de construção civil do UNI-RN. Visando o barateamento do cimento, os principais beneficiários serão fabricantes de argamassa e cimento, além dos potenciais compradores. Os dados serão analisados através da absorção de água e dos testes de compressão para os corpos de prova e *pull off test* para a placa de argamassa, esperando-se os seguintes resultados: Para o teste de resistência a compressão espera-se obter uma resistência de 2 a 10 MPA e para o teste de resistência a tração, o *pull off test*, uma resistência de 0,2 MPA para ambientes internos e 0,3 MPA para ambientes externos.

3.1 FABRICAÇÃO DOS CP'S E PLACAS DE ARGAMASSA COM 10% E 30% DE LODO

Os corpos de prova (CP's) foram feitos seguindo o traço de 1 kg de cimento para cada 3 kg de areia fina (1:3) e 0,7 L de água, utilizando moldes plásticos de dimensões 10x20. Para a quantia de 15 CP's e 1 placa de argamassa foram utilizados 14 kg de cimento sendo retirado 10% e adicionado o lodo, ficando então 12,60 kg de cimento e 1,4 kg de lodo para 42 kg de areia fina e 9,8 L de água. Para a substituição de 30% também foram feitas a mesma quantidade de CP'S e placa de argamassa, sendo 9,8 kg de cimento e 4,2 kg de lodo, totalizando os 14 kg para 42 kg de areia fina e 9,8 L de água.

Tabela 1: Traço com 10% de substituição

MATERIAIS	TRAÇO BASE	TRAÇO MODIFICADO (10%)
CIMENTO	1 KG	0,9 KG
AREIA FINA	3 KG	3 KG
ÁGUA	0,7 L	0,7 L
LODO	X	0,1 KG

Fonte: Autoria própria, (2023)

Tabela 2: Traço com 30% de substituição

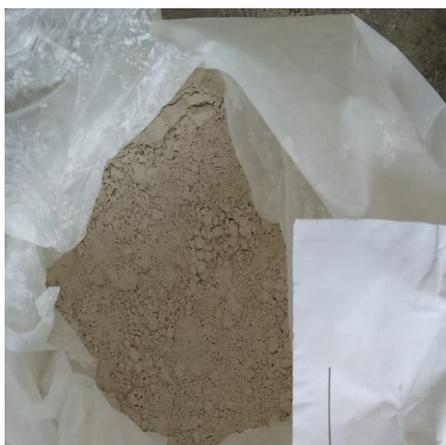
MATERIAIS	TRAÇO BASE	TRAÇO MODIFICADO (30%)
CIMENTO	1 KG	0,7 KG
AREIA FINA	3 KG	3 KG
ÁGUA	0,7 L	0,7 L

LODO	X	0,3 KG
------	---	--------

Fonte: Autoria própria, (2023)

Os materiais foram devidamente pesados e a argamassa foi preparada e colocada nos moldes plásticos, após 24 horas os corpos de prova foram desmoldados, pesados e colocados no tanque com água por 72 horas. Ao fim das 72 horas foram pesados novamente para obtenção do peso saturado, e recolocados no tanque para completar o tempo de cura de 28 dias da argamassa.

Imagem 1: resíduo lodo utilizado



Fonte: Autoria própria (2023)

Imagem 2: CP'S nos moldes aguardando o processo de secagem.



Fonte: Autoria própria (2023)

Imagem 3: CP'S desmoldados



Fonte: Autoria própria, (2023)

Imagem 4: Corpo de prova sendo pesado após 24h



Fonte: Autoria própria, (2023)

Imagem 5: Placa de argamassa 10%



Fonte: Autoria própria, (2023)

4 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para obter a absorção de água foi realizado e comparado de acordo com a NBR 9778 (ABNT) para determinação da absorção de água por imersão de argamassa e concreto endurecido, depois de prontos os corpos de prova foram pesados após 24h, obtendo o peso seco e após 72h no tanque com água são retirados e pesados novamente para obter o peso saturado, depois é realizado o seguinte cálculo:

$$\frac{(P_{\text{psat}} - P_{\text{psec}})}{P_{\text{psec}}} \times 100 = \% \text{ absorção de água}$$

P_{psat}= peso saturado

P_{psec}= peso seco

Para ser aprovado a argamassa é necessário apresentar uma porcentagem de no máximo 10% de absorção de água

5 PULL OFF TEST - ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

Para a determinação da resistência de aderência à tração, o *pull off test*, foi usado como base a NBR 13528 (ABNT), a resistência estabelecida para ser aprovada é de 0,2 MPA para ambientes internos e 0,3 MPA para ambientes externos. A NBR 14081-1 e NBR 14081-3 da ABNT para argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas, também foram utilizadas para comparação. A argamassa para reboco foi espalhada uniformemente em uma placa de concreto e após a cura as pastilhas foram coladas na placa, para o arrancamento, o aderímetro é fixado nas pastilhas e para obter a tensão, é preciso girar a manivela até ocorrer o arrancamento da peça. Com os resultados obtidos em KgF no aderímetro é realizado o seguinte cálculo para obter a área e resistência de aderência em MPA respectivamente:

$$A = \frac{D \times D^2}{4} \quad T = \frac{F}{A} \times 0,0980665$$

Onde:

D= diâmetro da pastilha em cm

T= tensão (MPA)

F= Força em Kgf

A= área (cm²)

Imagem 6: aderímetro fixado na placa



Fonte: Autoria própria, (2023)

Imagem 7: arrancamento das pastilhas da placa com argamassa para reboco com 10% de substituição.



Fonte: Autoria própria, (2023)

Imagem 8: arrancamento das pastilhas da placa com argamassa para reboco com 30% de substituição.



Fonte: Autoria própria, (2023)

6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Seguindo a NBR 5739 (ABNT) para ensaio de compressão de corpos de prova cilindros, após o tempo de cura de 28 dias da argamassa, os corpos de prova de dimensões 10x20 foram rompidos na prensa hidráulica, com os resultados obtidos em kgf é realizado o seguinte cálculo para obter a resistência do corpo de prova em MPA:

$$T = \frac{F \times 1000}{A} \times 0,0980665$$

Onde:

T= tensão em MPA

F= força em KgF

A= área em cm²

Para a argamassa ser aprovada é preciso obter uma resistência mínima entre 2 e 10 MPA.

Imagem 9: Prensa Hidráulica



Fonte: Autoria própria, (2023)

Imagem 10: Corpo de prova com substituição de 10% rompido



Fonte: Autoria própria, (2023)

Imagem 11: Corpo de prova com substituição de 30% rompido

Fonte: Autoria própria, (2023)

7 RESULTADOS

Todos os dados obtidos nos ensaios de absorção e nos ensaios de resistência à compressão estão disponibilizados nas tabelas 3 e 4 para 10% de substituição e tabela 5 e 6 para 30% de substituição abaixo:

Tabela 3: Resultados obtidos nos ensaios de absorção para os CP'S com 10% de lodo

CORPO DE PROVA	PESO SECO	PESO SATURADO	ABSORÇÃO
1	3.271 KG	3.314 KG	1,31%
2	3.279 KG	3.323 KG	1,34%
3	3.145 KG	3.179 KG	1,08%
4	3.264 KG	3.310 KG	1,40%
5	3.246 KG	3.294 KG	1,47%
6	3.190 KG	3.242 KG	1,63%
7	3.253 KG	3.296 KG	1,32%
8	3.241 KG	3.286 KG	1,38%
9	3.145 KG	3.188 KG	1,36%
10	3.142 KG	3.190 KG	1,52%
11	3.292 KG	3.344 KG	1,57%
12	3.201 KG	3.246 KG	1,40%

13	3.181 KG	3.227 KG	1,44%
14	3.159 KG	3.203 KG	1,39%
15	3.195 KG	3.239 KG	1,37%
MÉDIA ABSORÇÃO			1,39%

Fonte: Aatoria própria, (2023)

Tabela 4: Resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão para os CP'S com 10% de lodo

CORPO DE PROVA	KGF	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPA)
1	10.83	13,60
2	11.73	14,73
3	7.73	9,71
4	9.36	11,75
5	9.29	11,67
6	12.15	15,26
7	10.05	12,62
8	11.59	14,55
9	7.94	9,97
10	9.74	12,23
11	10.43	13,10
12	11.68	14,67
13	9.64	12,11
14	8.83	11,09
15	7.89	9,91
MÉDIA RESISTÊNCIA MPA		12,46

Fonte: Aatoria própria, (2023)

Tabela 5: Resultados obtidos nos ensaios de absorção para os CP'S com 30% de lodo

CORPO DE PROVA	PESO SECO	PESO SATURADO	ABSORÇÃO
1	3.154 KG	3.202 KG	1,52%
2	3.053 KG	3.106 KG	1,73%
3	3.195 KG	3.250 KG	1,72%
4	3.060 KG	3.113 KG	1,73%
5	3.196 KG	3.252 KG	1,75%
6	3.183 KG	3.234 KG	1,60%
7	3.194 KG	3.246 KG	1,62%
8	3.112 KG	3.161 KG	1,57%
9	3.062 KG	3.115 KG	1,73%
10	3.126 KG	3.181 KG	1,75%
11	3.168 KG	3.222 KG	1,70%
12	3.085 KG	3.138 KG	1,71%
13	3.119 KG	3.178 KG	1,89%
14	3.129 KG	3.185 KG	1,78%
15	3.073 KG	3.129 KG	1,82%
MÉDIA ABSORÇÃO			1,70%

Fonte: Autoria própria, (2023)

Tabela 6: Resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão para os CP'S com 30% de lodo

CORPO DE PROVA	KGF	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPA)
1	6.18	7,76
2	7.30	9,16
3	5.63	7,07
4	8.89	11,16
5	8.71	10,94

6	8,94	11,23
7	9,44	11,85
8	8,06	10,12
9	9,22	11,58
10	6,56	8,24
11	6,25	7,85
12	11,24	14,11
13	13,09	16,44
14	14,36	18,03
15	9,80	12,31
MÉDIA RESISTÊNCIA MPA		11,19

Fonte: Autoria própria, (2023)

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração, o *pull off test* estão disponibilizados nas tabelas 7 para a placa com 10% de lodo e tabela 8 para a placa com 30% de lodo.

Tabela 7: Resultados obtidos para a Placa de argamassa para reboco com substituição de 10% lodo

PASTILHAS	Nº DE VOLTAS NA MANIVELA	KgF	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPA)
1	5	130	0,65
2	8	147	0,73
3	3	092	0,46
MÉDIA			0,61

Fonte: Autoria própria, (2023)

Tabela 8: Resultados obtidos para a Placa de argamassa para reboco com substituição de 30% lodo

PASTILHAS	Nº DE VOLTAS NA MANIVELA	KgF	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPA)
1	7	137	0,68
2	5	105	0,52
3	4	108	0,54

4	6	129	0,64
MÉDIA			0,59

Fonte: Autoria própria, (2023)

Em uma pesquisa de mercado entre três fabricantes diferentes obteve-se uma média de preço de R\$35,45 para 1 saco de Cimento de 50kg. Para produzir os 15 corpos de prova sem a adição de lodo seria gasto R\$ 10,50, com a substituição de 10% do cimento por lodo, esse valor passou a ser R\$ 9,45 , e com a substituição de 30% do cimento passou a ser R\$ 7,35.

8 CONCLUSÃO

De acordo com a porcentagem de absorção máxima de 10% estabelecida para o ensaio de absorção de água, todos os corpos de prova foram aprovados, tanto os CP'S de 10% com uma média 1,39% de absorção, como também os CP'S de 30%, que obtiveram uma média de 1,70% de absorção.

Para o ensaio de resistência à compressão o valor estabelecido para o ensaio é de 2 a 10 MPA, os corpos de prova foram aprovados com uma média superior a resistência máxima esperada, os CP'S com 10%, obtiveram resistência de 12,46 MPA e os de 30% a média da resistência à compressão foi de 11,19 MPA.

Para o ensaio das placas de argamassa, o resultado estabelecido para o *pull off test* é de 0,2 MPA para ambientes internos e 0,3 MPA para ambientes externos. Para a placa com substituição de 10%, a média obtida foi de 0,61 MPA e para a placa com 30% de substituição, a média foi de 0,59 MPA. Portanto ambas as placas foram aprovadas tanto para ambientes internos como para ambientes externos.

Através das pesquisas de mercado pode-se perceber a economia que o lodo pode trazer à construção civil. Em um saco de 50 Kg de cimento é possível economizar na substituição de 10% do cimento pelo resíduo de lodo R\$3,55 e para a substituição de 30% pode-se economizar R\$10,64. Com a substituição de 30% do cimento por lodo, é possível obter uma economia maior para o orçamento de uma obra.

Conclui-se portanto que a utilização do lodo na produção de argamassa para reboco é satisfatória e sustentável, percebe-se através deste artigo que o lodo traz

resultados positivos para a resistência da argamassa, para a economia nos materiais com 10 e 30% de redução, e também para o meio ambiente, evitando que este resíduo seja descartado incorretamente na natureza.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 10004:2004 - Resíduos sólidos - classificação**. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

Achon, Cali Laguna. **Destinação e Disposição Final de Lodo Gerado em ETA - LEI 12.305/2010**. Poços de Caldas: Assembleia Nacional da Assemae, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –ABNT. **Classificação de Resíduos Sólidos. NBR 10004**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –ABNT. **Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio). NBR 10836**. Rio de Janeiro, 1994.

Costa, A. J. C. **Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA coagulado com cloreto de polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas: estudo de caso na ETA do município de Mirassol / SP**. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos –SP. 2011.

Hoppen, C. et al. **Uso de lodo de Estação de Tratamento de Água centrifugado em matriz de concreto de cimento Portland para reduzir o impacto ambiental**. *Química Nova*, Curitiba, v. 29, n. 1, p. 79 – 84, 2006.

Maciel, Patricia Rocha; MACHADO, Lygia Ravanelli. **Alternativas para a utilização de lodo das estações de tratamento de água (eta) como agregado na construção civil**. São Paulo.

Oliveira, G.; Kikkawa, L. S.; Santos, A. M. **Reutilização de lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE) na Região de Suzano, São Paulo, Brasil: alternativas e oportunidades**. São Paulo, 2018.

Sales, A.; Cordeiro, J.S. **Imobilização da fase sólida dos lodos de Estação de Tratamento de Água (ETAs)**. *Apud in: ANDREOLI, C.V. (Coord.). Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final*. Curitiba: ABES/PROSAB – Rede Cooperativa de Pesquisas, 2001. P. 241 – 257

Santos, A. D. **Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003. (Dissertação de Mestrado em Engenharia).

Santos, A. D.; John, V. M. **Reciclagem do lodo de esgoto da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP**. São Paulo: EPUSP, 2007. (Série BT/PCC).

Santos, A. D.; John, V. M.; Coelho, A. C. V. **Reciclagem do lodo de esgoto: uma alternativa de gestão**. Anais do X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, 2004. Disponível em: <ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP1102d.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2018.