



AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.5.22.I-011>

Luciana Silvino Virgolino (*), Nayessa Evelyn Braga Teixeira, Karyna Sales Oliveira, Hugo Rodrigues da Silva, Aedjota Matos de Jesus

* Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia – IFRO Campus Calama
luciana.s.virgolino@hotmail.com

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é verificar a viabilidade da substituição parcial ou total do cimento Portland por lodo, oriundo da estação de tratamento de água (LETA), para a produção de argamassa, analisando as características físicas e mecânicas com diferentes dosagens. Para a produção da argamassa foram utilizados cimento Portland CP II -F, LETA, agregado miúdo (areia média) e água do sistema de abastecimento, adquiridos na região comercial de Porto Velho/ RO. Foram produzidas três dosagens de argamassa, considerando a substituição parcial apenas do cimento Portland por LETA, os demais parâmetros de dosagens foram fixos, utilizou-se a substituição de 0, 10 e 20% de LETA. Foi obtida a análise granulométrica, o índice de consistência em estado fresco e a resistência à compressão em estado endurecido. Os resultados do índice de consistência demonstram que a argamassa com 20% de substituição do cimento por LETA obteve um aumento na consistência da argamassa se comparado à argamassa convencional. Já a resistência à compressão foi realizada após 7 dias de cura e os resultados para a dosagem de 0, 10 e 20% foram respectivamente, 9,38; 5,49 e 3,30 MPa, ou seja, todas as argamassas atendem ao requisito de resistência à compressão para argamassa P3. Isso possibilita concluir que a quantidade de LETA causa a variação nos valores de resistência à compressão das argamassas, reduzindo sua resistência.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência à compressão, Resíduo urbano, Sustentabilidade.

ABSTRACT

The objective of this research is to verify the feasibility of partial or total replacement of Portland cement by sludge, coming from the water treatment plant (LETA), for the production of mortar, analyzing the physical and mechanical characteristics with different dosages. For the production of the mortar, Portland cement CP II -F, LETA, fine aggregate (medium sand) and water from the supply system, acquired in the commercial region of Porto Velho / RO, were used. Three mortar dosages were produced, considering the partial replacement of only Portland cement by LETA, the other dosage parameters were fixed, using the substitution of 0, 10 and 20% of LETA. The granulometric analysis, the consistency index in the fresh state and the compressive strength in the hardened state were obtained. The results of the consistency index show that the mortar with 20% replacement of cement by LETA obtained an increase in the consistency of the mortar when compared to the conventional mortar. The compressive strength was performed after 7 days of curing and the results for the dosage of 0, 10 and 20% were, respectively, 9.38; 5.49 and 3.30 MPa, that is, all mortars meet the strength requirement. This makes it possible to conclude that the amount of LETA causes a variation in the compressive strength values of the mortars, reducing their strength.

KEY WORDS: Compressive strength, Urban waste, Sustainability.

INTRODUÇÃO

Após a industrialização, o aquecimento global se tornou uma grande preocupação, com isso, o ramo da construção civil vem se preocupando cada vez mais com meios de diminuir a emissão de CO₂ na atmosfera, visto que esse gás atua diretamente no efeito estufa, aumentando a temperatura terrestre e gerando diversos problemas ambientais. A produção de cimento Portland, por exemplo, é responsável por 8% da emissão de CO₂ no mundo (LEHNE e PRESTON, 2018), tal que uma alternativa para diminuir os impactos ambientais e também o custo de sua produção é realizar a substituição parcial do cimento Portland por resíduos sem destinação específica.

O lodo gerado na Estação de Tratamento de Água, devido a transformação da água bruta em água potável, é um resíduo sólido heterogêneo que possui em sua composição minerais como sílica, alumina e óxido de ferro, porém esse material ao fim do processo também possui os agentes químicos empregados para a limpeza e purificação da água, e após todo o processo esse resíduo é



devolvido ao rio, pois não possui destino adequado, utilizá-lo na produção de argamassa pode ser uma solução para evitar o destino irregular desse resíduo (CUNHA, 2019).

Estudos já mostram ser possível obter argamassa com propriedades adequadas ao substituir parcialmente o cimento Portland por materiais naturais e resíduos. Oliveira (2004), ao substituir parcialmente o cimento comum por caulim, obteve argamassa com resistência superior ao referencial sem substituição do cimento Portland. Já Cunha (2019), realizou a substituição parcial do cimento Portland por lodo de estação de tratamento e encontrou resultados semelhantes.

No entanto, ainda faltam pesquisas para conhecer melhor a utilização do Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA) em Rondônia, especialmente em substituição parcial ao cimento convencional para produção de argamassas, dado que a literatura sobre o assunto é praticamente inexistente. Neste sentido, no intuito de reduzir o consumo de cimento e consequentemente as emissões de gases poluentes, é fundamental avaliar a incorporação de LETA em argamassas no que se refere as propriedades físicas e mecânicas, bem como a viabilidade do uso dessa argamassa na construção civil.

OBJETIVOS

O objetivo deste estudo é avaliar a propriedade física e mecânica das argamassas formuladas a partir de diferentes porcentagens de substituição de cimento Portland por lodo calcinado oriundo da Estação de Tratamento de Água de Porto Velho – RO. Para tanto, foram realizados a caracterização dos insumos utilizados, o planejamento experimental da formulação de argamassas com substituição parcial de cimento Portland por LETA calcinado e a análise estatística da influência da substituição parcial de cimento Portland por LETA nas resistências à compressão das argamassas desenvolvidas.

METODOLOGIA

Materiais

Para a produção das argamassas utilizou-se de cimento Portland, LETA calcinado, agregado miúdo e água do sistema de abastecimento. O cimento Portland foi do tipo composto com fíler (CP-II-F) e o agregado miúdo utilizado para a produção foi do tipo areia média, sendo ambos materiais adquiridos na região comercial de Porto Velho – RO.

O LETA utilizado foi coletado na Companhia de Águas e Esgotos (CAERD), localizada em Porto Velho – RO, em seguida o material foi seco com o auxílio de uma estufa a 105 °C, até a constância de massa. Após a secagem, o material foi moído utilizando almofariz e o pistilo e com auxílio de pincel foi peneirado na peneira de abertura de 150 micrômetros, tal que se aproveitou apenas o material passante na peneira. Posteriormente o material foi calcinado em forno mufla por 3 horas a temperatura de 750 °C.

Planejamento experimental, dosagem e preparo das argamassas

Foram produzidas três diferentes formulações de argamassas, tendo como variável a substituição parcial do cimento Portland por LETA, enquanto os demais parâmetros de dosagem foram fixos. Na tabela 1, têm-se as formulações das dosagens desenvolvidas neste estudo, em que se observa que a argamassa ARG0 não possui substituição, enquanto as argamassas ARG10 e ARG20 possuem substituição parcial em massa do cimento Portland por LETA nas proporções de 10 e 20%, respectivamente.

Tabela 1. Planejamento experimental com as formulações das argamassas desenvolvidas neste estudo.

Fonte: Autores do trabalho.

Argamassas	Composição dos materiais em massa (g)			
	LETA calcinado	Cimento Portland	Areia média	Água potável
ARG0	0	500	1500	240
ARG10	50	450	1500	240
ARG20	100	400	1500	240



A proporção de massa entre os materiais adotada neste estudo foi de 1:3:0,48 (areia:cimento:relação A/C), conforme recomenda a norma NBR 7215 (ABNT, 2019), sendo os componentes medidos em massa em uma balança semi-analítica com precisão de 0,01 gramas.

O preparo das misturas das argamassas foi realizado de acordo com procedimentos descritos da norma NBR 7215 (ABNT, 2019), porém a mistura dos componentes durante o preparo das argamassas foi realizada manualmente. Para tanto, o preparo das argamassas foi realizado primeiramente com a adição do agregado miúdo com as proporções dadas na Tabela 1 e homogeneizado manualmente. Após esse processo, adicionou-se água e misturou-se até que a argamassa estivesse completamente homogênea.

Foram utilizados moldes cilíndricos com a base rosqueada, com as dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. A moldagem do corpo de prova foi feita imediatamente após o preparo das argamassas, conforme orienta a norma NBR 7215 (ABNT, 2019). Para tanto, foram colocadas quatro camadas em cada molde com o auxílio de uma espátula e uma colher, sendo que em cada camada colocada foram dados 30 golpes em seguida para um nivelamento uniforme. Os corpos de provas foram curados em temperatura ambiente até o dia do ensaio de ruptura por compressão.

Ensaio de caracterização

A fim de classificar a areia como agregado miúdo, utilizado na mistura da argamassa, foi realizado o ensaio de granulometria. Por meio de peneiramento mecânico por um conjunto de peneiras inferior a abertura quadrada de 4,5mm, com uma massa de 1000g realizando o ensaio de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Para a caracterização das argamassas foram realizados ensaios no estado fresco e no estado endurecido. Durante o estado fresco obteve-se o índice de consistência, enquanto no estado endurecido determinou-se a resistência à compressão das amostras, ambos os ensaios foram realizados conforme orienta a norma NBR 7215 (ABNT, 2019).

A determinação do índice de consistência das argamassas foi realizada através de uma mesa de consistência com manivela manual. Para definir o índice de consistência, lubrificou-se superficialmente a mesa com um pano umedecido com água e com o auxílio de uma espátula, foram colocadas três camadas de argamassa na forma tronco cônica, recebendo respectivamente 15, 10 e 5 golpes cada. Após aplicação dos golpes, foram medidos os diâmetros de cada amostra com o auxílio de uma trena. Já a determinação de resistência à compressão foi realizada nos corpos de provas cilíndricas aos 7 dias de cura em temperatura ambiente. Para romper os corpos de prova foi utilizado uma prensa hidráulica com indicador digital e capacidade de 20 toneladas.

Análise estatística dos dados

A análise estatística dos dados de resistência à compressão e tabulação dos dados foram realizadas no software livre Jamovi. Os dados da resistência à compressão das três dosagens foram submetidos ao teste ANOVA que verifica se há ou não diferença significativa entre as médias dos valores da resistência à compressão. Em seguida, para obter-se dados mais precisos, os dados foram submetidos ao *test t de Student* que indica se duas médias têm ou não diferença estatística significativa. Para tanto, utilizou-se como parâmetro um intervalo de confiança de 95% e nível de significância de $\alpha = 0,05$, tal que se o p-valor calculado for menor que o valor de α , deve-se rejeitar a hipótese nula.

RESULTADOS

Na Tabela 2 tem-se a análise granulométrica da areia utilizada neste estudo, no qual observa-se que o diâmetro máximo do agregado é de 2,4 mm, que corresponde até 5% da massa percentual retida acumulada. Observa-se ainda que o módulo de finura da areia é 2,43, portanto, a areia é classificada como média, visto que seu módulo de finura fica entre 2,40 e 3,30.

Tabela 2. Resultados obtidos no ensaio de caracterização granulométrica.
Fonte: Autor do trabalho.

Nº	Peneiras Abertura	Massa retida (g)	Massa retida (%)	Massa retida acumulada (%)	Massa passante (%)
#8	2,4 mm	43,1	4,31	4,31	95,69
#16	1,2 mm	151,4	15,14	19,45	80,55
#30	0,6 mm	282,5	28,25	47,70	52,30

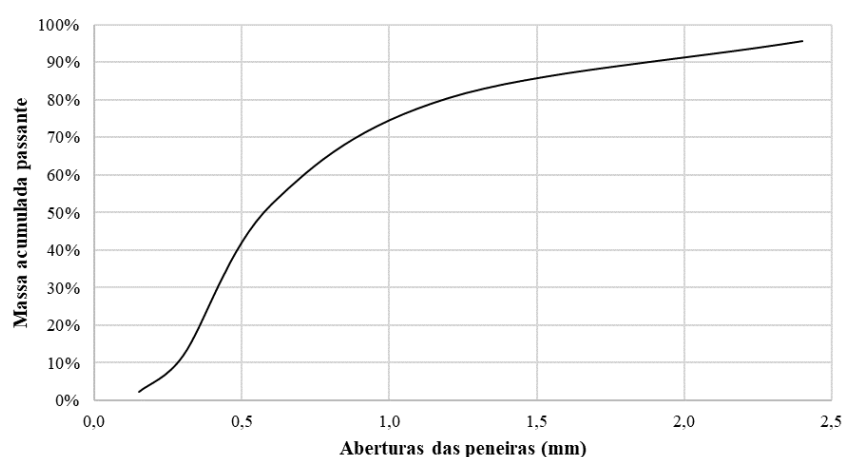


#50	0,3 mm	402,6	40,26	87,96	12,04
#100	0,15 m	96,8	9,68	97,64	2,63
Fundo		23,6	2,36	100	-

Por meio do ensaio de granulometria foi obtido a curva granulométrica, exposta no gráfico da Figura 1, no qual se observa uma areia bem graduada, pois o gráfico da curva granulométrica não dispõe de áreas planas na curva granulométrica. Além disso, constata-se uma graduação uniforme na variação dos diâmetros dos grãos observados. Logo, a areia utilizada neste estudo é adequada para produção de argamassas.

Figura 1. Curva granulométrica da areia utilizada no preparo das argamassas.

Fonte: Autor do trabalho.



Os resultados com as médias do índice de consistência das argamassas podem ser observados na Tabela 3, no qual se observa que argamassa com 20% de substituição do cimento por LETA (ARG20) promoveu um aumento no índice de consistência da argamassa, ao comparar o resultado com argamassa sem substituição (ARG0).

Tabela 4. Índice de consistência médio das argamassas desenvolvidas no estudo.

Fonte: Autor do trabalho.

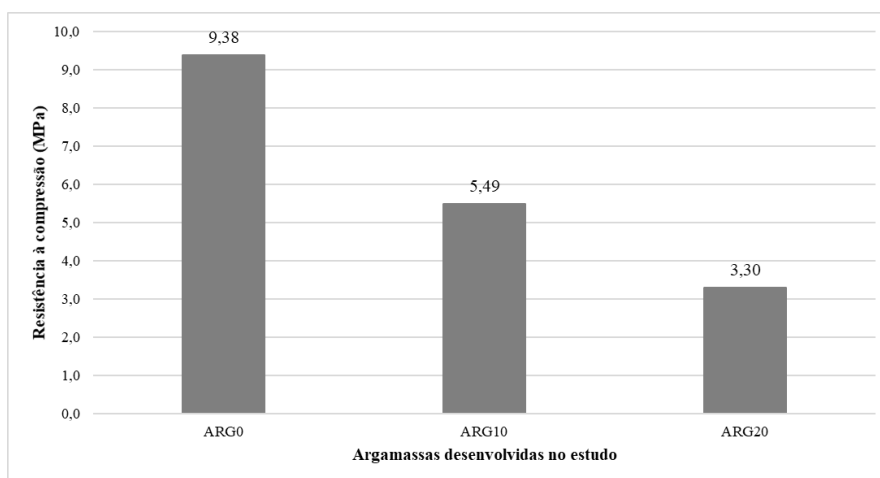
Argamassas	ARG0	ARG10	ARG20
Índice de consistência (cm)	255±25	250±10	270±10

A NBR 13276 (ABNT, 2016) prescreve como índice de consistência padrão para a argamassa convencional deve ter valor de 260 ± 5 mm, tal que apenas duas argamassas (ARG0 e ARG20) atenderam ao índice estipulado pela norma. Logo, a substituição parcial de cimento por 20% de LETA inviabiliza o índice de consistência da argamassa, visto que o índice de consistência da argamassa foi superior ao estabelecido por norma.

Na Figura 2 tem o gráfico com a resistência média à compressão dos corpos de prova das argamassas aos 7 dias de cura, no qual se observa que a argamassa sem substituição do cimento Portland (ARG0) apresentou maior resistência à compressão, enquanto a argamassa com maior substituição de cimento por LETA apresentou menor resistência à compressão. Com base na NBR 13281 (ABNT, 2005), que especifica os requisitos exigíveis para argamassas, nota-se que todas as argamassas atendem ao requisito de resistência à compressão estabelecido pela norma para classe de resistência P3.



Figura 1. Resistência média à compressão das argamassas desenvolvidas no estudo.
Fonte: Autor do trabalho.



Constata-se, portanto, que a substituição parcial de cimento Portland por um resíduo no preparo de argamassas promoveu uma redução na resistência média à compressão, conforme já verificado por Cunha (2019) e Alexandre e Luz (2020), que realizaram estudos sobre a incorporação de resíduos de Estação de Tratamento de Água em argamassas.

Na tabela 2 tem-se o resultado do teste ANOVA, que foi realizada para verificar se houve ou não diferenças significativas entre as médias dos valores de resistência à compressão das argamassas.

Tabela 5. Resultado da ANOVA calculada em função das resistências à compressão das argamassas desenvolvidas.

Fonte: Autor do Trabalho.

ANOVA a um fator (Welch)	gl1	gl2	p-valor
Resistência à compressão (MPa)	2	3,88	0,002

Pode-se observar que o valor de p é inferior ao nível de significância de 0,05, indicando diferença estatística significativa entre as médias das resistências à compressão das argamassas. Portanto, o resultado indica que a substituição parcial de cimento Portland por LETA influencia na propriedade física de resistência à compressão de argamassas.

Visando maior precisão na análise estatística, as argamassas foram submetidas ao teste t de Student para amostras independente, tal que se comparou os dados na seguinte ordem: ARG0 e ARG10; ARG0 e ARG20; ARG10 e ARG20, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 6. Resultado do teste T das resistências das argamassas ARG0, ARG10 e ARG20 para amostras independentes.

Fonte: Autor do Trabalho.

Comparações	Teste t	gl	p-valor
ARG0 e ARG10	6,35	4,0	0,003
ARG0 e ARG20	9,30	4,0	0,001
ARG10 e ARG20	-2,99	4,0	0,040

Observa-se nos três testes que os valores de p são inferiores ao valor de significância (0,05), indicando haver diferença estatística significativa entre as médias dos valores de resistência à compressão. Logo, pode-se deduzir que a quantidade de LETA incorporadas nas formulações de argamassas influencia diretamente na redução da resistência à compressão, conforme já analisado por Cunha (2019) e Alexandre e Luz (2020).



CONCLUSÕES

O presente estudo comparou as propriedades física e mecânica das argamassas obtidas a partir do cimento Portland com substituição parcial por lodo calcinado oriundo da Estação de Tratamento de Água de Porto Velho – RO e, a partir dos resultados obtidos, observou-se que o desempenho físico e mecânico da argamassa com substituição parcial do cimento foi menor em comparação com a argamassa convencional produzida a partir de cimento Portland.

Apesar de as argamassas produzidas com LETA atenderem os requisitos normativos, em comparação com o referencial, a argamassa com 20% de substituição desenvolvida neste estudo apresentou resistência à compressão 88,28% menor, enquanto a argamassa com 10% de substituição apresentou resistência à compressão 41,45% menor. Já o índice de consistência no estado fresco das argamassas ARG10 e ARG20 foram em média 1,96% maior.

Os resultados obtidos nos mostram que, embora o emprego do LETA no cimento não possa ser considerado uma alternativa tecnicamente viável ao cimento Portland, pois causa uma redução estatisticamente significativa na resistência à compressão, o uso desse resíduo é adequado para desenvolvimento de argamassa com características apropriadas a aplicação na construção civil. Isso se deve ao fato de as argamassas apresentarem resistências superiores a mínima estabelecida pela norma para classe de resistência P3, o que é compatível para produção, por exemplo, de reboco ou emboço.

Neste sentido, a utilização de argamassas com substituição parcial de cimento Portland por LETA possuem uma tendência ambientalmente sustentável, tendo em vista que o aproveitamento do resíduo de ETA na construção civil. Todavia, ainda há necessidade de realizar estudos sobre as propriedades dessas argamassas quantas as demais propriedades, como absorção de água, durabilidade e até mesmo o ciclo de vida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
2. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016.
3. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.
4. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: **Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2019.
5. ALEXANDRE, Elisandro; LUZ, Caroline Angulski da. Substituição parcial do cimento CPV-ARI por lodo de estação de tratamento de água (ETA). **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, 2020.
6. CUNHA, Bruna Baia da. **Resíduo do lodo da estação de tratamento de água da Região Metropolitana de Belém em substituição parcial ao cimento Portland em argamassa**. 2019. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.
7. FERREIRA, K. **Estudo comparativo entre argamassas convencionais e industrializadas**, p. 59-60, 2016.
8. LEHNE, Johanna; PRESTON, Felix. **Making Concrete Change. Innovation in Low-carbon Cement and Concrete**, 2018.
9. OLIVEIRA, Marília Pereira. **Estudo de um caulim calcinado do Estado da Paraíba como material de substituição parcial do cimento Portland**. 2004. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologias e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2004.