



Estudo da incorporação do Lodo de ETA em Argamassa

Fernanda Pasini dos Santos¹, Mateus Guimarães da Silva²

¹Universidade Federal do Pampa/ n.pasini@hotmail.com

² Universidade Federal do Pampa/ guimaraesmateus@hotmail.com

Resumo

No processo de tratamento de água, mais precisamente na lavagem dos filtros e descarga dos decantadores, é produzido um resíduo conhecido como lodo. Na maioria dos casos, esse lodo tem sua disposição final inadequada. Em Caçapava do Sul, o lodo gerado na Estação de Tratamento de Água (ETA) é conduzido por gravidade para uma unidade de secagem a céu e, posteriormente, é descartado em um terreno baldio. Este trabalho teve como objetivo analisar o uso do lodo em substituição parcial e total da cal hidratada, material presente na composição da argamassa como alternativa de aproveitamento para esse resíduo e minimização dos impactos ambientais gerados por ele. A metodologia consistiu em realizar análises dos elementos químicos (fluorescência de Raios X), matéria orgânica (M.O), pH, teor de umidade, distribuição granulométrica e massa específica real, além da confecção de corpos de provas de argamassa com dosagens de lodo nas proporções de 5, 10, 15 % em substituição a cal hidratada. Os resultados mostraram que os elementos que estão presentes em maior quantidade no lodo são o óxido de alumínio, o óxido de ferro, o óxido de silício e a matéria orgânica. A dose incorporada de 5% na argamassa mostrou-se satisfatória, apresentando uma resistência à compressão igual à amostra convencional da argamassa (4MPa), e valores muito próximos para a resistência a flexão (1,903 MPa) de 2MPa. Portanto, de acordo com o ensaio de resistência mecânica, a concentração de 5% de lodo na argamassa atingiu os níveis apropriados de resistência para poder ser utilizada.

Palavras-chave: Aproveitamento de resíduo. Impactos ambientais. Disposição final.

Área Temática: Resíduos Sólidos

Study of the incorporation of WTP sludge into mortar

Abstract

In the process of water treatment, more precisely in washing the filters and discharging the decanters, a residue known as sludge is produced. In most cases, this sludge has its inadequate final disposition. In Caçapava do Sul, sludge generated at the Water Treatment Plant (WTP) is gravity driven to a sky-drying unit and is later disposed of in wasteland. The objective of this work was to analyze the use of sludge in partial and total replacement of hydrated lime, a material present in the composition of the mortar as an alternative to the use of this residue and to minimize the environmental impacts generated by it. The methodology consisted of analyzing the chemical elements (FRX), organic matter (OM), pH, moisture content, particle size distribution and actual specific mass, as well as the preparation of test mortar bodies with sludge dosages in proportions of 5, 10, 15% in replacement of hydrated lime. The results showed that the elements that are present in greater quantity in the sludge are aluminum oxide, iron oxide, silicon oxide and organic matter. The 5% incorporated dose in the mortar was satisfactory, presenting a compressive strength equal to the conventional mortar sample (4MPa), and values very close to the flexural strength (1,903 MPa) of 2MPa. Therefore, according to the mechanical strength test, the concentration of 5% of sludge in the mortar has reached the appropriate levels of resistance to be used.



Key words: Use of waste. Environmental impacts. Final provision.

Theme Area: Solid Waste.

1 Introdução

As estações de tratamento de água (ETAs) são importantes estruturas dos sistemas sanitários e tem como principal função reduzir as impurezas contidas na água tornando-a potável para o consumo humano. O processo de transformação da água bruta em potável no tratamento convencional envolve as etapas coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Em alguns desses processos são adicionados produtos químicos tais como carvão ativado para adsorção de compostos orgânicos, cal hidratada para correção do pH, polímeros e coagulantes (cloreto férrico, sulfato de alumínio, entre outros), dependendo da água bruta.

Nesse processo de tratamento da água é gerado lodo, um problema para as instituições que gerenciam tais sistemas. Na maior parte dos casos, o lodo tem sido descartado diretamente nos corpos hídricos e no solo, causando impactos ambientais nesses locais. A constante atualização da legislação ambiental e de recursos hídricos do país, a intensificação da ação fiscalizadora dos órgãos ambientais e a crescente poluição dos corpos receptores, têm ocasionado ao aumento de ETAs que incorporam o tratamento destes resíduos, ainda que, de forma incipiente. O conhecimento e discussão sobre “o que fazer com esses resíduos”, ainda é muito recente, permanecendo, de certa maneira, o desafio inicial de se conhecer melhor as características dos resíduos de ETAs e das alternativas de manejo, tratamento e disposição final.

Em Caçapava do Sul, o lodo gerado na ETA é conduzido por gravidade para a unidade de secagem a céu aberto e, posteriormente, é descartado em um terreno baldio porque ainda foi encontrado um destino final adequado.

A incorporação do lodo em argamassa, produto fabricado por muitas empresas da região de Caçapava do Sul, pode ser uma solução para disposição e diminuição dos resíduos gerados nas ETAs. O seu aproveitamento pode ser realizada através da substituição parcial de uns dos principais constituintes da argamassa que são cimento, areia e cal hidratada.

Diante deste cenário, este trabalho tem como objetivo analisar o uso de diferentes concentrações de lodo de ETA, em substituição parcial e total das matérias-primas utilizadas no processo de fabricação da argamassa, com o propósito de encontrar uma aplicabilidade para esse resíduo

2 Materiais e Métodos

A preparação da matéria-prima, envolvendo a secagem, moagem, análises granulométricas e físico-químicas do lodo foram realizadas no Laboratório de Química, Laboratório de Mineralogia e Petrografia e no Laboratório de Lavra, Planejamento e Tratamento de Minérios da Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul. A análise de matéria orgânica (M.O.) foi realizada no Laboratório de Argamassas da indústria Dagoberto Barcellos. A preparação da argamassa, confecção dos corpos de prova e os ensaios de resistência mecânica foram realizados no Laboratório de Argamassas da FIDA.

2.1 Matéria-prima

A matéria-prima (lodo) coletada para incorporação na argamassa provém da Estação de Tratamento de Água (ETA) do município de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul. Na



ETA trata-se em média 5.000 m³/dia de água, para aproximadamente, 34.654 mil habitantes (IBGE, 2015). A ETA é do tipo convencional, onde são realizadas as etapas de correção do pH, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. A correção do pH é feita com a adição de cal hidratada e a coagulação por sulfato de alumínio.

A água bruta é captada por meio de bombas instaladas no canal próximo às margens da Barragem do Salso e da Fonte do Mato, sendo 40% da água captada da Fonte do Mato e 60% da Barragem do Salso, com uma vazão total em média 95L/s.

O lodo gerado na ETA é proveniente dos filtros e decantadores nos processos de limpeza realizados uma vez ao dia e a cada 30 dias, respectivamente. A quantidade gerada de lodo é aproximadamente 300 m³ por mês. O lodo é conduzido por meio de tubulação por gravidade para uma unidade de desaguamento, sendo que, posteriormente, é disposto em um terreno baldio.

As amostras de lodo (Figura 1) foram coletadas nos leitos de desaguamento no mês de agosto de 2016.

Figura 1- Amostra de lodo coletada do leito de secagem.



Fonte: Autoria própria.

2.2 Análise físico-químicas do lodo

A caracterização do lodo por análises físico-químicas fez-se necessária para a avaliação preliminar das características deste resíduo, além da identificação dos principais componentes.

A determinação do teor de umidade do lodo foi realizada empregando o método gravimétrico. As análises foram realizadas em triplicata, em estufa (Solab - modelo SL100) na temperatura de 110 °C até as amostras alcançarem a massa constante (Figura 3).

O pH foi determinado com auxílio de um pHmetro de bancada (Hanna - modelo HI 2214-01). Conforme o procedimento descrito no Manual de métodos de análise de solo da Embrapa (EMBRAPA, 1997).

A composição química foi determinada a partir da análise de fluorescência de raio X (BRUKER – modelo S1 TURBO SD). Para realização desta análise, a amostra coletada, primeiramente, foi encaminhada ao processo de secagem a 110°C, até alcançar massa constante, em seguida foram trituras no almofariz e classificadas no agitador eletromagnético (Bertel – potência 300 W) de peneiras, sendo que apenas as partículas contidas na peneira mesh 80 foram encaminhadas para a análise de fluorescência de raio X.



A análise da matéria orgânica (M.O.) foi realizada em mufla conforme os procedimentos estabelecidos pela Norma NBR 13600:1996 (ABNT, 1996). Primeiramente selecionou-se a quantidade de 100 g de lodo os quais foram divididos em duas cápsulas de porcelana contendo 50 g cada. As cápsulas de porcelana com lodo foram transferidas para a estufa com temperatura de 110°C por 24 horas. Em seguida foram retiradas da estufa e levados ao dessecador, onde permaneceram até atingir temperatura ambiente. Após atingir a temperatura ambiente, as cápsulas foram pesadas novamente para determinar a massa que restou do conjunto, obtendo a massa “A”. A queima total do lodo foi realizada na mufla a temperatura de 445 °C pelo período de 12 h. Após a calcinação, as cápsulas foram levadas para o dessecador até atingir temperatura ambiente e novamente pesada para obter a massa “B”. Utilizou-se a equação 1 para o cálculo da matéria orgânica:

$$MO (\%) = (1 - B/A) \times 100 \quad \text{Equação(1)}$$

2.3 Caracterização física das partículas do lodo

A caracterização física da matéria-prima seguiu as etapas de secagem, moagem e determinação granulométrica.

O processo de secagem do lodo foi realizado na estufa de secagem (Solab - modelo SL 100) na temperatura de 110 °C até atingir a massa constante. Após o procedimento de secagem cerca 455,9 g de amostra foi fragmentada no moinho de bolas para jarros (Marconi - modelo MA 500), por um período de 1h, com intervalos de 10 minutos. Para a análise granulométrica pesou-se cada peneira e a bandeja de fundo na balança analítica e adicionou-se 455,9 g de lodo na primeira peneira (mesh 9), após colocou-se a coluna de peneiras no agitador eletromagnético. A cada 20 min a massa das peneiras com amostras era registrada para verificar o momento em que não haveria mais variação e o ensaio pudesse ser finalizado. No ensaio de picnometria líquida (massa específica), primeiramente pesou-se o picnômetro (seco), após encheu-o com água deionizada, secou-se a vidraria por fora e pesou-se novamente. Posteriormente, a amostra foi pesada, adicionada ao picnômetro e registrado o peso novamente. Esse experimento foi realizado em duplicata.

Utilizou-se a seguinte Equação 2 para fazer o cálculo da massa específica real.

$$\rho_r = \frac{m_{lodo}}{(m_{pic+água} + m_{lodo}) - (m_{pic+água+lodo})} \cdot \rho_{água} \quad \text{Equação(2)}$$

Onde:

ρ_r = massa específica

m_{lodo} = massa do lodo

$m_{pic+água}$ = massa do picnômetro com água

$m_{pic+água+lodo}$ = massa picnômetro com água e lodo

$\rho_{água}$ = massa específica da água

2.4 Preparo da argamassa, confecção dos corpos de prova (CPs) e ensaio de resistência mecânica.



O preparo da argamassa, a confecção dos CPs e a determinação da resistência à compressão, foram feitos com base nos procedimentos descritos na NBR 7215:1996 (ABNT, 1996).

A incorporação do lodo de ETA na argamassa foi feita em substituição de 40, 80 e 100 % na massa da cal e de 5, 10 e 15% em relação à massa total do corpo de prova.

2.4.1 Preparo da argamassa

Os materiais utilizados no preparo da argamassa de assentamento estrutural 4 MPa foram cal hidratada, cimento CPV- Ari Portland, areia calcária, filler mineral calcário e água.

2.4.2 Preparo da amostra com 5, 10 e 15% de lodo

Para o preparo da argamassa com 5, 10 e 15% de lodo, os seguintes cálculos foram realizados para as porcentagens de incorporação do lodo (Eq. 3).

$$CP = 1,5 \text{ Kg} \times \% \text{ Lodo incorporada} \quad \text{Equação(3)}$$

Onde:

1,5 kg é a quantidade de materiais existentes por de corpo de prova.

CP= Confecção do corpo de prova para o preparo da argamassa.

% = 0,05; 0,10 e 0,15.

2.4.3 Confecção dos corpos de prova (CPs)

Moldou-se 3 corpos de prova prismáticos (forma prismática 4 cm x 4 cm x 16 cm tripla) desformando-os após 48h. Após a desforma, os corpos de prova foram acondicionados em ambiente com $23 \pm 2^\circ\text{C}$ para secagem até atingir 28 dias para o ensaio de resistência mecânica. A cada teor de lodo adicionado (5%, 10% e 15%) foram confeccionados 3 CPs, totalizando 9 CPs.

2.4.4 Ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão axial

O ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão axial foi obtido conforme está preconizado pela NBR 13279:2005 (ABNT, 2005). O equipamento utilizado foi à prensa hidráulica elétrica digital (modelo CI, SOLOCAP).

O método de ensaio de tração na flexão foi realizado conforme procedimentos da Norma NBR 13279:2005 (ABNT, 2005). Retirou-se a amostra do acondicionamento tomando-se as medidas de massa e geométricas (comprimento, largura e altura). Posicionou-se os corpos de provas no dispositivo de ensaio conforme Norma NBR 13279:2005 (ABNT,2005), aplicando carga até a ruptura em uma taxa de carregamento de $50 \pm 10 \text{ N/s}$.

3. Resultados e Discussões

3.1 Análise físico-química do lodo

Os resultados das análises do teor de umidade, matéria orgânica e pH do lodo são apresentados na Tabela 1 e os resultados da análise de fluorescência de Raios X são apresentados na Tabela 2.



Tabela 1 – Resultados do teor de umidade, matéria orgânica e pH

| Amostra | Teor de umidade (%) | *DP | M.O (%) | **DP | pH |
|-----------------------------|---------------------|------|---------|------|------|
| Lodo da saída do decantador | 83,24 | 1,28 | 51,61 | 6,52 | 6,78 |

Fonte: Autoria própria. *DP: Desvio padrão.

O valor de pH da amostra está dentro da faixa de pH característico para o lodo de ETA que varia de 6 a 8 (RICHTER, 2001).

Verifica-se que para o aproveitamento do lodo como agregado na argamassa será necessário o seu pré-tratamento por meio da secagem para remoção da sua elevada umidade (83,24%).

Em relação à matéria orgânica no lodo, a sua elevada concentração, comparado com estudos anteriores (RICHTER, 2001), deve estar relacionada com a matéria orgânica presente na água bruta, visto que a ETA é abastecida por um rio que recebe águas residuárias do município sem tratamento secundário. De acordo com Bueno (2000), a matéria orgânica pode ocasionar possíveis patologias na argamassa, como trincas nos revestimentos e diminuição da resistência a compressão.

Tabela 2 - Análise química por fluorescência de Raios X.

| Elementos | Lodo (ppm) | Porcentagem (%) |
|--------------------------------|------------|-----------------|
| Al ₂ O ₃ | 165000,00 | 16,50 |
| SiO ₂ | 178000,00 | 17,80 |
| P ₂ O ₅ | 3390,00 | 0,3399 |
| S | 4340,00 | 0,4340 |
| Cl | 1480,00 | 0,1480 |
| K ₂ O | 7250,00 | 0,7250 |
| CaO | 4430,00 | 0,4430 |
| TiO ₂ | 6020,00 | 0,6020 |
| MnO | 3870,00 | 0,3870 |
| Fe ₂ O ₃ | 111000,00 | 11,10 |
| Rb | 235,00 | 0,0235 |
| Zr | 314,00 | 0,0314 |
| Rh | 370,00 | 0,0370 |
| Ce | 1340,00 | 0,1340 |
| Cd | 2390,00 | 0,2390 |
| Pd | 575,00 | 0,0575 |
| As | 40,00 | 0,0004 |
| Cr | 296,00 | 0,0296 |

Fonte: Autoria própria.

Pelo ensaio de picnometria líquida a massa específica encontrada foi de 1610 kg/m³, comparando com as massas específicas dos constituintes da argamassa (cimento, cal e areia) tem-se 3150 kg/m³ para o cimento, 2360 kg/m³ para a massa específica da areia e 1700 kg/m³



a massa específica da cal, indicando que o lodo apresenta massa específica muito próxima da cal, podendo dessa forma substituí-la.

Pela análise granulométrica, obteve-se que a maior parte da amostra do lodo analisado possui diâmetros entre a 0,18 mm e 1 mm, aproximadamente, caracterizando-o como areia fina e média, atributo semelhante aos agregados convencionais de argamassa.

Os resultados do ensaio de resistência mecânica à tração na flexão e resistência à compressão axial são apresentados nas tabelas abaixo (Tabelas 3 e 4). O valor da argamassa de referência para carga de flexão é de 2 Mpa e para a carga de compressão axial é de 4 Mpa.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova contendo 5, 10 e 15 % de lodo.

| CP | Carga de flexão | Rf 28 dias (MPa) |
|-----|-----------------|------------------|
| 5% | 840,103 | 1,903 |
| 10% | 277,85 | 0,63 |
| 15% | 241,896 | 0,54 |

Fonte: Autoria pronta.

Em relação aos valores obtidos com a argamassa de referência, a utilização de 5% de lodo de ETA, resultou em uma redução insignificante da carga de flexão. Para que a argamassa seja aprovada para assentamento estrutural em relação a resistência à tração na flexão a média da resistência a flexão tem que ser acima de 2 MPa e obteve-se 1,903 MPa.

A argamassa com adição de 10% de lodo apresentou uma resistência à tração na flexão muito inferior, valor igual a 0,630 MPa, o que indica que essa argamassa não alcançou a resistência a flexão suficiente e não poderá ser utilizada.

A argamassa com 15% de lodo também não obteve a resistência mínima de 2 MPa, apresentando resistência à tração na flexão - valor igual a 0,54 - ainda mais inferior que o corpo de prova com 10% de lodo.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova contendo 5, 10 e 15 % de lodo.

| CP | Carga Fc | Rc 28 dias (MPa) |
|-----|-----------|------------------|
| 5% | 6545,9388 | 4,0911 |
| 10% | 1078,732 | 0,6741 |
| 15% | 1142,4747 | 0,7139 |

Fonte: Autoria própria.

Em relação aos valores obtidos com a argamassa referência, a utilização de 5% de lodo, alcançou de maneira satisfatória a resistência a compressão de 4MPa, indicando ser possível a substituição parcial pela cal.

A argamassa contendo 10% de lodo apresentou resistência a compressão de 0,6741, valor extremamente abaixo do estabelecido pelas normas técnicas para este tipo de argamassa (4 MPa). Isso pode ter ocorrido em decorrência da quantidade relevante de matéria orgânica presente nesse resíduo, o que pode ter ocasionado à baixa resistência a compressão.

A argamassa com 15 % de lodo substituiu completamente a cal e apresentou um valor de resistência mecânica atípico comparado a argamassa de 10% de lodo, considerando que quanto maior a concentração de lodo menor a resistência do material.



4. Conclusão

Na análise dos resultados físico-químicos, verificou-se que o lodo da ETA de Caçapava do Sul possui elevada concentração de matéria orgânica comparado com outros estudos, indicando que outra alternativa de aproveitamento pode ser a sua aplicação no solo, desde estudos nesta área sejam realizados.

Pelos resultados obtidos na caracterização física das partículas, foi possível avaliar o seu potencial para incorporação como matéria prima na argamassa, principalmente para substituir parcialmente a cal.

No resultado dos ensaios mecânicos dos corpos de prova com 10% e 15% de lodo foram encontrados valores inferiores aos estabelecidos pelas normas técnicas para a argamassa de assentamento estrutural.

Por outro lado, a dose incorporada de 5% na argamassa mostrou-se satisfatória nos resultados dos ensaios mecânicos, apresentando uma resistência à compressão igual à amostra convencional da argamassa (4MPa) e valores muito próximos para a resistência a flexão (1,903 MPa) de 2MPa.

Portanto, pelo estudo realizado, observa-se que este resíduo pode ser aplicado na argamassa estrutural (5%) em substituição parcial da cal hidratada. O aproveitamento pelas indústrias de argamassa da região de Caçapava do Sul pode solucionar o problema relacionado ao descarte inadequado no meio ambiente pela companhia de tratamento de água e, ainda, evita em grande parte, a extração de agregados convencionais pela mineração, diminuindo, desta forma, impactos ambientais negativos.

5. Referência Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C. NBR 13600.** Rio de Janeiro, 1996.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **Cimento Portland- Determinação da resistência à compressão. NBR 7215.** Rio de Janeiro, 1996.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência a compressão. NBR 13279.** Rio de Janeiro, 2005.

BUENO, R.I.D.S. **Aproveitamento da areia gerada em obra de desassoreamento – Caso rio Paraíbuna –SP.** Dissertação de Mestrado, USP-Universidade de São Paulo, 2010.

EMBRAPA, **Manual de Métodos de Análise de Solo.**, 2 a edição, Rio de Janeiro, 1997.

IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística – **Censo 2015.** Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em 02 jun de 2015.

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodo de estação de tratamento de água.** São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2001.