

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO LODO DE ETA COMO INSUMO NA CERÂMICA VERMELHA

Bruna de Oliveira

Bacharel em Química, graduado pela UNIFACP- Faculdade de Paulínia.

Elisângela Orlandi de Sousa Gonçalves

Professora do Centro Universitario de Paulínia (UNIFACP)

RESUMO

A disposição de lodo das Estações de Tratamento de Água (ETAs), se tornaram uma grande preocupação para as companhias de Tratamento de Água juntamente à sociedade, devido ao seu impacto ambiental. No final dos anos 90 este lodo foi caracterizado como resíduo poluidor de recursos hídricos e desde então alternativas vêm sendo estudadas para diminuir tal impacto, entretanto, a disposição final do Lodo de ETA tem sido um grande desafio pelo ponto de vista técnico, econômico e ambiental. Diversos estudos foram apontados como referência às alternativas para a disposição e/ou reaproveitamento do Lodo de ETA, tais como: disposição em aterro sanitário, insumo na agricultura (condicionador de solo), incineração, recuperação do coagulante, recuperação de área degradada e uso na fabricação de cerâmica para a utilização na construção civil, como é o foco do estudo em questão. A partir de então, a metodologia do trabalho foi dividida em quatro etapas, geração de lodo, caracterização do lodo, comparação com a argila utilizada na produção de cerâmica vermelha e a utilização deste lodo como insumo na cerâmica vermelha.

Palavras-chave: Lodo de ETA, cerâmica vermelha, construção civil, reciclagem.

INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Água (ETAs) tem a função de assegurar os padrões de potabilidade ao consumo humano, ou seja, a água bruta passa por vários processos físicos e químicos, com a finalidade de remover poluentes, nutrientes e matéria orgânica presentes na água, como por exemplo a utilização de coagulantes, transformando água bruta em água potável para o consumo humano (PETRA et al., 2017).

Conforme a Associação Brasileira de Norma Técnica, NBR 10004, os lodos gerados em ETAs são classificados como resíduos sólidos, e portanto, reduzir estes resíduos gerados no processo de potabilidade da água está entre um dos problemas mais enfrentados pelas ETAs, juntamente com as formas de reaproveitamento e a

destinação adequada já que estas atividades tem um grande potencial poluidor. Baseado nisso, a disposição final do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Água é o maior desafio em questão pelo ponto de vista técnico, econômico e ambiental (JUSTINIANO et al., 2020 apud PAIVA; PARREIRA, 2012).

Os impactos ambientais vêm sendo causados pela pressão antrópica aos recursos hídricos devido ao desenvolvimento das atividades econômicas e ao crescimento exponencial da população urbana, com isso o uso de uma quantidade maior de produtos químicos está sendo necessária para promover a potabilidade da água (PETRA et al., 2017 apud SARAIVA SOARES et al., 2009).

Muitos países em desenvolvimento descartam os resíduos gerados decorrentes dos decantadores e lavagem dos filtros no processo de potabilidade da água diretamente em cursos d'água mais próximos. Entretanto, esta prática inibe a atividade biológica do corpo d'água e consequentemente aumenta a quantidade de sólidos e a concentração de alumínio e ferro e provoca também assoreamentos e mudança na cor e turbidez da água. Com isto, legislações vêm sendo estabelecidas para que possa reduzir esta forma de disposição (WOLFF et al., 2007).

Diversos estudos são apontados como referência às alternativas para disposição e/ou reaproveitamento do Lodo de ETA, tais como: disposição em aterro sanitário, insumo na agricultura (condicionador de solo), incineração, recuperação do coagulante, recuperação de área degradada e uso na fabricação de cerâmica no qual é o foco deste trabalho. No entanto, devido à variação das características do lodo gerado ainda existem lacunas referente a melhor maneira para dispor este resíduo, pensando na melhor forma para causar um menor impacto ambiental. (PETRA et al., 2017 apud CORNWELL et al., 1999).

Em função da similaridade de sua composição química com as argilas utilizadas no processo cerâmico, a indústria cerâmica tem mostrado uma grande capacidade na utilização dos lodos de ETAs. Neste trabalho, foi possível observar que a utilização do lodo de ETA em substituição parcial, em pequenas proporções, na fabricação de cerâmica vermelha viabiliza a reutilização destes resíduos, além de minimizar um enorme problema que é o da disposição inadequada do lodo, motivo pelo qual as estações de tratamento de água vem se preocupando hoje em dia, contribui para a diminuição das atividades extrativas de argila, que causam danos ambientais na maioria dos casos, uma vez que para que ocorra a recuperação destas áreas exploradas por indústrias cerâmicas é necessário a exigência do órgão ambiental do Estado onde ela se encontra (WOLFF et al., 2007)..

Portanto, o objetivo principal deste estudo foi buscar maneiras viáveis e soluções já existentes no Brasil para a disposição final e aplicação do lodo gerado nas estações de tratamento de água (ETAs), sendo possível avaliar o efeito da incorporação do lodo de ETA como insumo na composição da massa cerâmica vermelha, verificando sua viabilidade econômica, ambiental e técnica.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Como forma de alcançar a sustentabilidade ambiental as companhias de tratamento de água e esgoto, juntamente com a sociedade têm buscado alternativas para à redução dos níveis de poluição ambiental (JUSTINIANO et al., 2020 apud PAIVA e PEREIRA et al., 2012).

O Sistema de Abastecimento de Água (SAA) representa o 'conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável de uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos'. (JUSTINIANO et al., 2020 apud BARROS et al. 1995, p. 14).

Segundo Justiniano et al., 2020 apud Cordeiro et al., 2003 no Brasil o número de Estações de Tratamento de Água que descarta os rejeitos gerados nos decantadores e filtros do processo, diretamente em cursos d'água sem tratamento prévio ainda são elevados e isso faz com que agrave o problema ambiental. Esses tratamentos configuram-se como tradicionais ou convencionais e o processo se baseia em coagulação, floculação, sedimentação e filtração.

A legislação ambiental brasileira tornou-se mais restritiva no final dos anos 90, promulgando a Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 e a Lei 9.605 de 12 de fevereiro de 1998, referentes a "Recursos Hídricos" e "Crimes Ambientais", respectivamente. Isto resultou em mudanças na postura de representantes de órgãos de fiscalização diante do problema. Dentro desse contexto, alguns trabalhos realizados no Brasil evidenciam o potencial poluente dos resíduos gerados nos decantadores de Estações de Tratamento de Água convencionais (JUSTINIANO et al., 2020 apud ANDREOLI et al., 2001).

1.1. Processos de Tratamento de Água

Nas Estações de Tratamento de Água (ETAs), o sistema mais utilizado para remoção de impurezas presentes na água bruta é o tratamento de água convencional, definido por uma sequência de processos de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. (PETRA et al., 2017 apud LIBÂNIO et al., 2010). Essas impurezas se encontram na forma de partículas em estado coloidal e em partículas em suspensão. Partículas com diâmetro menores que 1 µm são partículas em estado coloidal, no entanto, as de diâmetro superior a 1µm são conhecidas como limo. (PAIXÃO et al., 2005 apud CORDEIRO et al., 2003).

O Tratamento de água inicia-se pelo processo de coagulação, no qual envolve a aplicação de produtos químicos, para a precipitação de compostos em solução. Normalmente o coagulante químico utilizado para esta função é o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), mas existem outros coagulantes químicos como sais de alumínio e sais de ferro, por exemplo. Esses coagulantes são insolúveis em água e formam os cátions, íons positivos, que atraem as impurezas carregadas negativamente nas águas. Com este processo as partículas ficam de tamanho submicroscópico, passando a se aglomerar possibilitando o contato entre elas (PAIXÃO, 2005).

De acordo com Reis et al., (2017) apud Richter et al., (2019) a alteração físico-química de partículas coloidais que se formam na água, como cor e turbidez é denominado coagulação. Em reação com a água os coagulantes têm a função de fazer com que se formem espécies hidrolisadas com cargas positivas ou precipitado de metal do coagulante utilizado. Com o fornecimento de energia e agitação, através da etapa de mistura rápida as espécies que são formadas anteriormente se tornam desestabilizadas ao se chocarem com as impurezas da água.

O resultado da ação de quatro mecanismos distintos pode ser considerado como coagulação sendo estes: compressão da dupla camada, adsorção e neutralização de cargas, varredura e formação de pontes, e a seguir será explicado cada um deles (REIS et al., 2017 apud DI BERNARDO E DANTAS et al., 2005).

Compressão da dupla camada: é quando um coloide é desestabilizado por um eletrólito indiferente e ocorre em decorrência de interações eletrostáticas, onde íons com a mesma carga são repelidos e os íons com carga contrária são atraídos pelos coloides; quanto maior a carga do íon positivo, menor será a quantidade necessária para acontecer a coagulação. Num sistema coloidal a introdução de um coloide fará com que a densidade de cargas na camada difusa aumente e causará a diminuição da “esfera” de influência das partículas, ocorrendo coagulação através da compressão da camada difusa (REIS et al., 2017).

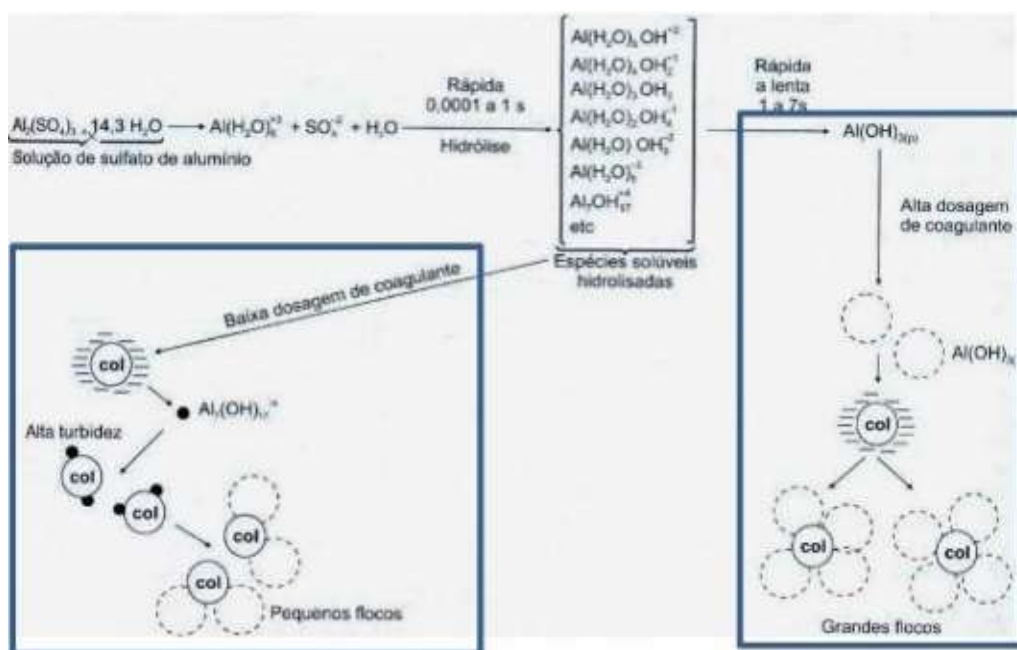
Adsorção e Neutralização de Carga: A desestabilização que acontece em uma dispersão coloidal está relacionada com as interações entre coagulante-coloide, coagulante-solvente e coloide solvente. Quando acontece a utilização das espécies que são hidrolisadas de alumínio, ferro ou de polímeros sintéticos sendo eles aniônico, catiônico ou não-aniônico, o mecanismo de adsorção que ocorre é dominante, sendo causada pela interação entre coagulante e coloide. Quando se utiliza de tecnologias de filtração direta, ou seja, quando não há a necessidade de produzir flocos para sedimentar posteriormente, este mecanismo de adsorção e neutralização de cargas se faz muito importante (REIS et al., 2017).

Varredura: conforme uma quantidade de coagulante é adicionado em decorrência do pH da mistura e da concentração de alguns tipos de íons na água pode acontecer a formação de precipitado do tipo $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ou outro dependendo do coagulante utilizado. Nesse mecanismo ocorre a formação de flocos maiores e a sedimentação acontece com uma alta velocidade, além disso, este mecanismo é o mais utilizado nas estações de tratamento de água aonde a floculação e a sedimentação acontece antes da filtração rápida. Este mecanismo de coagulação por varredura e o explicado anteriormente de adsorção e neutralização de cargas, quando utilizado sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) como coagulante, pode ocorrer segundo o mecanismo indicado na Figura 1 (REIS et al., 2017 apud AMIRTHARAJAH & MILLS et al., 1982).

Adsorção e Formação de Pontes: este mecanismo caracteriza-se pelo envolvimento do uso de polímeros orgânicos naturais ou sintéticos, normalmente utilizados como auxiliares de floculação, com o objetivo de reduzir as dosagens do coagulante, conferir ao floco maior massa específica, aumentar a resistência do floco entre outros. Estes compostos podem ser definidos como uma série repetida de unidades químicas (monômeros) unidas por ligações covalentes (REIS et al., 2017).

A Figura 1 apresenta os mecanismos para a coagulação por adsorção-neutralização de carga e por varredura utilizando sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).

Figura 1 - Mecanismos de coagulação por adsorção-neutralização de carga e por varredura.-



Fonte: Reis (2017), Di Bernardo e Dantas. (2005).

Conforme Figura 1 a sigla “col” significa colóide. À direita é possível ver o mecanismo realizado por coagulação de varredura, sendo possível ver o precipitado formado $Al(OH)_3$ através da alta dosagem de coagulante e a formação de flocos maiores com uma maior velocidade de sedimentação. Já à esquerda é possível ver o mecanismo de coagulação por adsorção e neutralização de carga onde acontece a desestabilização da dispersão coloidal entre o coagulante-coloide sendo utilizado espécies hidrolisadas de alumínio fazendo com que o mecanismo de adsorção domine, causada pela interação entre coagulante e coloide e devido a tecnologia de filtração direta normalmente utilizada neste mecanismo não há a necessidade de flocos maiores para ocorrer a sedimentação.

Inicialmente no processo de tratamento da água é adicionado cloro na água bruta captada para oxidar os metais dissolvidos presentes na água como é o caso do ferro e o manganês, em seguida é adicionado cal para controlar o pH e coagulante, podendo ser o coagulante sais de alumínio ou sais de ferro para formar os flocos de impureza. Este coagulante reage com a água por meio de uma reação de hidrólise e faz com que se forme compostos que irão se juntar com as impurezas, formando então os flocos na qual irão ser separados da água na etapa de decantação e filtração (PAIXÃO et al., 2005 apud 2000).

É necessário após a coagulação uma agitação lenta, pois através de uma agitação lenta é possível proporcionar encontros entre as partículas menores podendo formar agregados maiores ou flocos. Aumentando o tamanho dos flocos, se torna possível causar sua ruptura através da força de cisalhamento. De maneira simultânea ocorrem a agregação e a ruptura, conduzindo a uma distribuição de tamanhos dos flocos. Através da ação de três mecanismos acontece a interação entre as partículas,

sendo eles: Movimento Browniano; Floculação Ortocinética; Sedimentação. Depende do desempenho da unidade mistura rápida a eficiência da unidade de floculação, na qual fatores como; pH de coagulação, tipo de coagulante, concentração e idade da solução de coagulante, temperatura da água, tempo (T) e gradiente de velocidade (G) de mistura rápida, geometria e tipo do equipamento de floculação e qualidade da água bruta podem influenciar a eficiência desse processo (SILVA et al., 2012 apud DI BERNARDO et al., 1993).

Na floculação, a água é agitada por um agitador mecânico e as partículas desestabilizadas de tamanho coloidal começam a formar partículas sedimentáveis e ao contrário da coagulação, ocorre através de um mecanismo de formação de pontes químicas (forças de Van der Waals) já que, na coagulação as forças são de natureza eletrostática e primárias. O que ocorre no processo de limpeza da água é que as partículas coaguladas de tamanho submicroscópico se transformam em outras mais visíveis facilitando a sedimentação por gravidade (PAIXÃO et al., 2005 apud FREDERICO et al., 1975).

A sedimentação é baseada na diferença de densidades entre a água e os sólidos em suspensão; é o fenômeno físico no qual as partículas em suspensão têm movimento descendente em meio líquido com menor massa específica por causa da ação da gravidade, acarretando na deposição e posterior remoção desses sólidos. A sedimentação de partículas suspensas promove a clarificação do meio líquido, ou seja, acontece a separação das fases líquidas e sólidas (SILVA et al., 2012 apud DI BERNARDO et al., 1993).

Na fase da floculação os flocos de impurezas maiores são misturados juntamente com a água iniciando-se o processo de decantação, em seguida a água passa por filtros de areia, antracito e cascalho onde retém as impurezas que não conseguiram se sedimentar na etapa da decantação. As impurezas retiradas da água são denominadas lodo de estação de tratamento de água – lodo de ETA – esse lodo é originado dos decantadores do tratamento de água e das lavagens dos filtros e suas características variam conforme as condições da água bruta captada dos mananciais, dos produtos químicos dosados no tratamento e da forma na qual foram realizados a limpeza dos decantadores e filtros (PAIXÃO et al., 2005 apud WAG et al., 1996).

Com o crescimento acelerado da população do mundo e o aumento da poluição das águas a necessidade de utilizar um coagulante nos tratamentos de águas se tornou indispensável para a retirada de impurezas, tais impurezas que podem ser de decomposição de solo, dissolução de minerais e decomposição da vegetação, que se apresentam todos dissolvidos nos corpos hídricos (PAIXÃO et al., 2005 apud ALLYRIO et al., 1964).

Em relação as impurezas das águas elas podem ser de origem orgânica ou inorgânica, a poluição de origem inorgânica é responsável pela variação da turbidez enquanto as substâncias orgânicas dissolvidas são responsáveis pelo odor e sabor das águas (PAIXÃO, 2005).

O coagulante utilizado no processo de tratamento das águas é determinado conforme cada tipo de água e a quantidade a ser utilizada também, deve-se levar em conta para se obter um padrão adequado de coagulação variáveis como pH, composição química da água, turbidez, tipo de coagulante, as condições de mistura e os fatores físicos como a temperatura. Portanto, teoricamente torna-se impossível

determinar um padrão adequado de coagulante para se utilizar numa dada amostra de água (PAIXÃO et al., 2005 apud FAIR et al., 1973).

Para se obter uma boa coagulação/floculação e com o menor tempo possível deve-se levar em conta o pH da água. Existe uma escala de pH que pode ser influenciada por alguns fatores como, a concentração e o tipo de coagulante a serem utilizados e pela composição química da água (PAIXÃO, 2005).

Os coagulantes mais utilizados são sais de alumínio(sulfato de alumínio, $Al_2(SO_4)_3$) ou sais de ferro(cloreto de ferro, $FeCl_3$) denominados de coagulantes metálicos. Os coagulantes metálicos precipitam e coagulam com maior rapidez, sendo que o pH deve ficar entre 5,8 e 7,8. Dependendo da turbidez e da presença de íons na água esta variação sobe para 6 a 7,8. (PAIXÃO et al., 2005 apud BABBITT (p. 362-365)

O lodo retirado dos decantadores é depositado em uma lagoa e em seguida é enviado para os leitos de secagem na qual, a água é drenada podendo ser retornada para o tratamento, mas isso varia de estação para estação. A limpeza dos decantadores são realizadas periodicamente, uma vez por mês, manualmente, em grande parte das estações de tratamento de água, neste caso, é esvaziado o decantador e realizado a limpeza do fundo (PAIXÃO et al., 2005 apud OLIVEIRA et al., 1978).

No Brasil, é enquadrado como resíduo sólido pela Associação Brasileira de Norma Técnica, NBR 10004:2004 – Resíduos sólidos – Classificação, o lodo gerado na indústria de potabilização de água, portanto, reforça a idéia de que para haver descarte em corpos d'água é necessário um tratamento prévio (JUSTINIANO et al., 2020 apud ABNT et al., 2004).

Na Alemanha, Japão, Espanha e outros países vem sendo adotado uma solução alternativa, econômica e ambiental para a disposição final desse lodo de ETA, nesses países tem-se utilizado desse lodo de ETA para a fabricação de diversos produtos e até mesmo cerâmicos (JUSTINIANO et al., 2020 apud CATOLICO et al., 2015).

De modo geral os processos utilizados nas estações de tratamento de água são: oxidação, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, estabilização do pH e fluoretação. Os papéis destas estações são de captar água dos rios, realizar o tratamento adequado e distribuir nos centros de consumo humano como água potável (PAIXÃO et al., 2005 apud WAG et al., 1996). A Figura 2 apresenta as principais tecnologias brasileiras de tratamento de água para o consumo humano e suas respectivas etapas

```
graph TD
    AB[ÁGUA BRUTA] --> P1[Pré-tratamento]
    AB --> C1[Coagulação]
    AB --> C2[Coagulação]
    AB --> C3[Coagulação]
    AB --> C4[Coagulação]
    AB --> P2[Pré-tratamento]

    P1 --> FL[Filtração lenta]
    FL --> DF1[Desinfecção Fluoração Correção do pH]
    DF1 --> FM[Filtração em múltiplas]

    C1 --> FA1[Filtração Ascendente]
    FA1 --> FD1[Filtração Descendente]
    FD1 --> DF2[Desinfecção Fluoração Correção do pH]
    DF2 --> DF2

    C2 --> FA2[Filtração Ascendente]
    FA2 --> FD2[Filtração Descendente]
    FD2 --> DF3[Desinfecção Fluoração Correção do pH]
    DF3 --> FD3

    C3 --> F[Floculação]
    F --> FD3

    C4 --> F[Floculação]
    F --> FFA[Flotação-Filtração descendente ascendente]
    FFA --> DF4[Desinfecção Fluoração Correção do pH]
    DF4 --> DF4

    P2 --> F5[Floculação]
    F5 --> D[Decantação]
    D --> FD5[Filtração Descendente]
    FD5 --> DF6[Desinfecção Fluoração Correção do pH]
    DF6 --> DF6

    DF1 --> PT[POS-TRATAMENTO POR TÉCNICAS AVANÇADAS]
    DF2 --> PT
    DF3 --> PT
    DF4 --> PT
    DF6 --> PT
```

. Fonte: Justiniano (2020). Adaptado Silveira. (2012).

2. LODO DE ETA

Os lodos provenientes de ETAs, segundo norma NBR 10004:2004 – Resíduos sólidos – Classificação, a Associação Brasileira de Norma Técnica, são classificados como resíduos sólidos, devendo, portanto, ser devidamente tratados e dispostos sem que provoquem danos ao meio ambiente. Esta preocupação ambiental tem motivado muitos trabalhos sobre possíveis usos destes lodos.

No entanto, mesmo sendo considerado resíduo sólido, o lodo de ETA, apresenta teor de umidade superior a 95%. Quando a água bruta possui baixa turbidez, este lodo é resistente ao adensamento e, quando apresentado em estado fluído, são constituídos por hidróxidos de alumínio, partículas orgânicas e inorgânicas sendo elas, manganês, ferro, magnésio, cálcio, siltes, argilas, areias, colóides, partículas orgânicas em suspensão, bactérias e algas (JUSTINIANO et al., 2020 apud SILVEIRA et al., 2012).

De acordo com Justiniano et al., (2020) apud Andrade, Silva e Oliveira et al., (2014) a capacidade de resistência de vida vegetal, a capacidade de retenção de água e o conteúdo de ferro e alumínio presentes são as principais características que diferenciam o lodo de ETA de outros resíduos. Devido à grande concentração de sólidos

sedimentáveis presentes no lodo produzido nas ETA's, segundo a resolução nº 307 do Conselho Nacional do meio Ambiente de 5 de julho de 2002, estes lodos não podem ser lançados diretamente ou indiretamente nos corpos d'água sem tratamento prévio.

2.1. Classificação e caracterização físico-química do lodo de ETA

Para classificar um resíduo é preciso identificar o processo e atividade que lhe deu origem, fazer uma listagem de resíduos e substâncias das características e de seus constituintes cujo, é conhecido seu impacto à saúde e ao meio ambiente. De acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo de origem, esta identificação é realizada de maneira criteriosa. De acordo com a NBR 10004:2004 – Resíduos sólidos – Classificação, a Associação Brasileira de Norma Técnica é responsável por classificar os resíduos em diferentes níveis de periculosidade. Os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, segundo esta norma, são definidos como resíduos sólidos, portanto, devem ser tratados e dispostos seguindo os critérios da mesma. (JUSTINIANO et al., 2020 apud GUERRA e ANGELIS 2005).

Os resíduos são classificados, de acordo com a NBR 10004:2004, como:

Resíduos Classe I – Perigosos: São aqueles que apresentam periculosidade e características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Resíduos Classe II – Não Perigosos.

Resíduos Classe II A – Não Inertes: Esses não se enquadram nas classificações de Resíduos Classe I - Perigosos ou de Resíduos Classe II B – Inertes. Podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduos Classe II B – Inertes: São quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (JUSTINIANO et al., 2020).

É preciso determinar os principais aspectos físico-químicos, biológicos, qualitativos e quantitativos para se caracterizar um resíduo e, os parâmetros específicos analisados vão depender para qual finalidade serão utilizados, como exemplo o material cerâmico, que pode ser destinado tanto para a produção estrutural, como para revestimento, entre outros. Para auxiliar na escolha da melhor destinação do resíduo os resultados analíticos são indispensáveis já que, auxiliam na classificação do mesmo (JUSTINIANO et al., 2020 apud GUERRA et al., 2005).

2.1.1. Caracterização física do Lodo de ETA

De acordo com Justiniano et al., (2020) apud Scalize et al., (2003) o lodo de ETA é caracterizado fisicamente pelos parâmetros: viscosidade, densidade, tamanho e distribuição de partículas, sedimentabilidade, resistência específica, cor, turbidez e sólidos totais. Estas características físicas foram divididas em macropropriedades sendo elas: resistência específica, sedimentabilidade, compressibilidade e concentração de

sólidos e, micropropriedades sendo formadas por tamanho e distribuição de partículas, viscosidade e densidade (JUSTINIANO et al., 2020 apud CORNWELL et al., 2000).

Na caracterização dos resíduos de tratamento de água os principais parâmetros utilizados são a determinação de sólidos totais (ST) e sólidos em suspensão totais (SST). Segundo Justiniano et al., 2020 apud Richter et al., 2005, as concentrações de ST na água de lavagem de filtro, em uma ETA que utiliza sulfato de alumínio como coagulante, no geral, variam entre 40 e 1000 mg/L (0,004 a 0,1 %), e entre 1000 e 40000 mg/L (0,1 a 4%) presentes no lodo do decantador, dentro desse lodo uma pequena proporção são compostos biodegradáveis, 75-90% são sólidos suspensos totais SST, 20-35% representam sólidos voláteis (SV).

De acordo com alguns autores, entre eles Justiniano et al., 2020 apud Di Bernardo et al., 2002, Scalize et al., 2003 e Freitas et al., 2010, possui uma ampla variação nas águas de lavagens de filtros, os valores de turbidez e SST, o SST apresenta uma faixa de valores entre 90-370 mg SST.L⁻¹ e a turbidez uma faixa entre 50-170 uT. Essas variações ocorrem devido ao longo período de lavagem dos filtros, onde foi possível encontrar em 90 segundos após o início de lavagem picos de turbidez e de SST de 700 uT e 1200 mg/L respectivamente, e picos de 100-200 uT de turbidez em outro estudo após os 2 primeiros minutos de iniciado a lavagem destes filtros. Através da caracterização desta água de lavagem dos filtros, os autores destacaram, que o efluente gerado pelas estações de tratamento de água têm um potencial poluidor e contaminante microbiológico, e antes de ser lançado em corpos receptores devem ser tratados previamente.

3.1.2 Caracterização Química do Lodo de ETA

Relacionado com as características químicas do lodo, verifica-se que as características da água bruta que chega à ETA para tratamento influenciam diretamente nisso e, para que haja caracterização química nesse lodo é necessário observar alguns parâmetros, os quais são lançados no corpo receptor durante a lavagem do filtro da ETA, sendo eles: fósforo, nitrogênio, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pH e metais pesados (JUSTINIANO et al., 2020 apud CORDEIRO et al., 2001).

Devido ao baixo custo o Sulfato de alumínio é o mais usado nas Estações de Tratamento de Água, além de ser eficiente em relação a redução de cor, turbidez e demanda bioquímica de oxigênio também é de fácil manuseio e transporte (JUSTINIANO et al., 2020 apud FRANCO; PENNA 2009).

Utilizados nos tratamentos de águas e efluentes, os coagulantes têm a função de neutralizar as cargas negativas das partículas em suspensão, possibilitando a aglomeração dessas partículas e assim formando os flocos; os coagulantes mais comuns são: (REIS, 2007)

- Sulfato de Alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$): obtido pelo ataque do ácido sulfúrico à bauxita pulverizada, é possível comercializá-lo na forma sólida (com aproximadamente 17% de alumina) ou em solução (com aproximadamente 8% de alumina);

- Sulfato Ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$): subproduto de diversos processamentos químicos e da decapagem do aço, normalmente usados em águas fortemente alcalinas;
- Sulfato Férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ou $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$): geralmente é indicado para a remoção da cor em pH reduzido.
- Cloreto Férrico (FeCl_3 ou $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$): entretanto seu uso é muito limitado devido ao seu alto nível de corrosão.

Foram detectados segundo Justiniano et al., 2020 apud Richter et al., 2005 em alguns dos seus estudos casos com alto nível de alumínio, estando entre 0,28 a 4,48 mg/L em lodo de ETA, isto evidencia que os usuários do corpo d'água correm riscos diretos e indiretos. Nestes casos, encontravam-se próximos a neutralidade o pH dos efluentes de ETA.

Conforme Justiniano et al., 2020 apud Reali et al., 2001 é necessário fazer a disposição final do lodo de ETA de maneira adequada ambientalmente seguindo as exigências e especificações das normas legislativas, pois o lodo produzido na maioria das Estações brasileiras de tratamento de água possui entre 0,5 a 5 % de sólidos como, areias, argilas, siltes, cálcio, algas, bactérias, partículas orgânicas em suspensão que são resíduos orgânicos e inorgânicos.

Com elevadas concentrações de sólidos, o lodo de ETA pode causar desequilíbrio ao meio ambiente, além de ocasionar interferência na atividade fotossintética causa também asfixia nos peixes por entupimento das vias respiratórias. Os sólidos contribuem no assoreamento de cursos d'água, criação de bancos de lodo, alterações na cor e composição química (PETRA v.3, n.1, p.21-22, jan./jul.2017 apud CORNWELL et al., 1987).

Ressaltando a importância da dosagem correta de coagulante, sua dosagem deve ser estabelecida em laboratório em razão da qualidade da água bruta, cuja qualidade e quantidade atendam às especificações do serviço de tratamento de água. Quanto à utilização do cloreto férrico, águas com alto índice de cor e mais ácidas são as que este produto químico tem mais eficiência. E sua dosagem incorreta, acarretará na ineficácia do tratamento ou no aumento de rejeitos (JUSTINIANO et al., 2020 apud PAVANELLI et al., 2001).

Em geral, Justiniano et al., 2020 apud Richter et al., 2005 diz que o lodo produzido pela ETA, no qual sulfato de alumínio é o coagulante apresenta baixo nível de degradabilidade e seu pH é próximo ao neutro. Já o lodo no qual o coagulante são a base de sais de ferro possuem características semelhantes, pois substitui o hidróxido de alumínio por hidróxido férrico em sua composição. A porcentagem (%), de sólidos totais do lodo tratado com sulfato de alumínio são de 0,1 a 4,0, enquanto o tratado com sais de ferro, varia de 0,2 a 3,5 (%), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Dados de alguns Parâmetros Químicos dos Lodos de Diversas Estações de Tratamento de Água.

Parâmetros	Lodo de Sulfato de Alumínio	Lodo de sais de Ferro
Sólidos Totais (%)	0,1 – 4,0	0,2 – 3,5
pH	6,0 – 8,0	7,4 – 9,5
Fe (%)	-	4,6 – 20,6
Al ₂ O ₃ .5,5H ₂ O (%)	15,0 – 40,0	-

Fonte: Justiniano et al. (2020), Richter et al. (2005),

Além das características citadas, outros compostos também estão presentes no lodo de ETA. De acordo com Petra v.3, n.1, p.21-22, jan./jul.2017 apud Cordeiro et al., 1993, foram realizados testes em um estudo, para se determinar a concentração de metais presentes no lodo de ETA na fase sólida. Foram analisados os lodos gerados em três ETAs, do Estado de São Paulo. Os resultados desta caracterização apresentam-se na Tabela 03, a seguir.

Tabela 3. Presença de Metais do Lodo de ETA em Fase Sólida.

Metais	ETA 1 (mg/L)	ETA 2 (mg/L)	ETA 3 (mg/L)
Alumínio	3965,00	391	325
Bário	-	0,22	0,18
Cádmio	0,14	0,02	0,02
Cálcio	142,00	-	0,08
Chumbo	2,32	0,20	0,30
Cloreto	-	35,00	36,30
Cobre	1,47	0,12	0,20
Cromo Total	3,82	0,06	0,09
Ferro Total	3381,00	129	166
Ferro Solúvel	0,00	6,14	0,12
Magnésio	27,00	2,87	1,38
Manganês	1,86	7,80	3,44
Manganês Solúvel	-	4,57	1,00
Níquel	2,70	0,14	0,12
Potássio	49,97	7,37	7,55
Sódio	311,00	29,30	63,00
Zinco	2,13	0,70	0,98

Fonte: Petra (2017), Cordeiro (1993) adaptada.

3.2 Características das argilas para cerâmicas vermelhas

Na natureza estas argilas podem se apresentar nas cores preta, vermelha, marrons, amarelas ou esverdeadas; à 950°C apresentam-se na cor vermelha e na super queima em 1250°C apresentam-se na cor marrom ou preta. Estas argilas apresentam fusão parcial ou total e devido ao desprendimento de gases pode ocorrer um inchamento, causando deformidade total no corpo de prova (PAIXÃO et al., 2005 apud SANTOS, BLUCÜER et al., 1975).

Antes e após a queima, estas argilas tem um valor médio ou elevado de tensão de ruptura a flexão, podem ser facilmente moldadas e, devem possuir um mínimo de trincas e empenamentos quando queimadas a 950°C. O alto teor de alguns elementos como, ferro divalente, elementos alcalinos e alcalinos terrosos são prejudiciais por causar retração excessiva, reduzir a faixa de vitrificação e colorações indesejáveis (PAIXÃO et al., 2005 apud VIEIRA et al., 2000).

3.2.1 Estudos de reaproveitamento de lodo de ETA utilizando cerâmica vermelha como matriz

Vêm sendo amplamente estudado, processos de incorporação utilizando diversos resíduos industriais em matriz de cerâmica vermelha. Estes resíduos são aproveitados para a fabricação de blocos cerâmicos por meio de misturas, que poderão ser utilizados na construção civil. As misturas de resíduos utilizadas são de variadas proporções na matriz cerâmica e, depois de ser realizado diversos ensaios é possível estabelecer misturas dentro de padrões aceitáveis (PAIXÃO et al., 2005 apud COSIN et al., 2002).

Segundo Paixão et al., 2005 apud WENG et al., 2003 mostra ser vantajoso a incorporação de lodo de ETA para fabricação de tijolos, pelo fato de haver semelhança de composição química entre as argilas de modo geral e os lodos, como mostrado na tabela 04 a seguir:

Tabela 4. Características de um lodo de ETA e de uma argila usada para fabricação de produtos de cerâmica vermelha

Características	Lodo úmido	Lodo seco	Argila
pH	7,19	7,27	8,09
Densidade (g/cm ³)	1,16	1,75	2,52
Porcentagem de mistura	84,1	41,0	1,4
Perda ao fogo (800+/-50°C – 3h) %	94,6	76,6	7,9
Metais			
Cd (mg/kg)	3	5	<0,1
Cr (mg/kg)	537	1713	16
Cu (mg/kg)	29	212	85
Co (mg/kg)	10	24	5
Fe (mg/kg)	5265	18070	8530
Ni (mg/kg)	167	1131	20
Pb (mg/kg)	3	35	<0,1
Zn (mg/kg)	264	628	98

Fonte: Paixão (2005), WENG (2003)

Os materiais utilizados durante o tratamento de água são os responsáveis pela composição química do lodo de ETA principalmente os utilizados na fase de floculação e desidratação. Uma perda ao fogo do lodo úmido em relação à argila é mostrada na tabela de maneira acentuada. Durante o processo, são queimadas substâncias inorgânicas e a matéria orgânica contida na mistura que compõem o lodo e a argila, estes fatores atribuem a Perda ao Fogo (PF) e por isto, este parâmetro varia muito pois depende da qualidade da água coletada na estação de tratamento (PAIXÃO, 2005).

Na tabela é possível observar os elementos químicos que constituem o lodo e a argila e, um fator importante para a qualidade do bloco cerâmico é a presença de água em sua estrutura onde deve ser determinado o limite de Atterberg para ser possível atingir uma plasticidade adequada na mistura lodo-argila e assim obter dentro dos padrões um bloco cerâmico (PAIXÃO et al., 2005 apud WENG et al., 2003).

A menor taxa de perda ao fogo está concentrada na argila, realizada na temperatura de 850+/-50°C com 7,9% conforme mostra a tabela, baixas concentrações também são mostradas de metais, porém o ferro é exceção com concentração de 8.530mg/kg (PAIXÃO, 2005).

Os procedimentos utilizados em ensaios de laboratório para analisar a viabilidade das misturas de lodo de ETA em matriz de cerâmica vermelha são: secagem em estufa a 110°C confeccionando corpos de prova com dimensões de (6,0cmx2,0cmx0,5cm) e prensagem uniaxial em matriz metálica, com pressão de 400kgf/cm² (40MPa), e temperaturas de queima de 800°C, 900°C, e 1000°C (PAIXÃO et al., 2005 apud COSIN et al., 2002).

Segundo Paixão et al., 2005 apud Cosin et al., 2002 para uma composição ter potencial de uso em cerâmica vermelha os parâmetros adotados são: após secagem, tensão de resistência à flexão (TRF), após queima, tensão de resistência à flexão e absorção de água (AA).

De acordo com Paixão et al., 2005 a Tensão de Resistência à Flexão (TRF) está relacionada ao grau de compactação e consistência de uma medida com características coesivas do material, usada também para a avaliação da sinterabilidade de um material.

Durante a queima o grau de sinterização alcançado pelo material é reflexo da absorção de água, e também é um fator que interfere na durabilidade do bloco pelo fato de estar relacionado com a resistência do meio ambiente em relação aos ataques químicos e físicos. Não variando a concentração da mistura lodo e argila os ensaios de absorção de água provocam sua diminuição e com o aumento da concentração é observado seu aumento, correspondente ao aumento de temperatura de queima (PAIXÃO et al., 2005 apud COSIN et al., 2002). Os valores dos parâmetros de absorção de água e tensão de resistência à flexão são: Tensão de ruptura à flexão a 110°C: superior a 0,5MPa (5kgf/cm²), Tensão de ruptura à flexão após queima: superior a 5MPa (50kgf/cm²) e Absorção de água: AA<25%.

Se tratando da perda ao fogo durante o processo, acontece a queima da matéria orgânica contida na mistura juntamente a outras substâncias inorgânicas na qual consistem o lodo e a argila, mostrou que a temperatura de queima aumentando e a concentração da mistura lodo e argila não variando, faz com que provoque seu

aumento. É observado que aumentando a concentração aumenta também a perda ao fogo entre as temperaturas de 880°C a 1000°C (PAIXÃO, 2005).

Com o aumento da temperatura a contração do bloco devido a queima aumenta, fazendo a concentração de lodo e argila se manter constante. No bloco cerâmico é possível observar um aumento da contração aumentando-se a concentração de lodo na mistura (PAIXÃO, 2005).

A incorporação do lodo de ETA, em geral, faz com que ocorra a diminuição da tensão de ruptura à flexão dos blocos cerâmicos, e quanto maior a quantidade de lodo incorporada à massa cerâmica mais essa diminuição aumenta (PAIXÃO, 2005).

Outros parâmetros também podem apresentar tendência de aumentar com a quantidade de lodo incorporado como é o caso da absorção de água e a porosidade dos blocos cerâmicos queimados. Um comportamento de enchimento não plástico é apresentado no lodo porém, existem fatores importantes que determinam a qualidade do bloco cerâmico como é o caso da proporção de lodo e a temperatura de queima (PAIXÃO et al., 2005 apud OLIVEIRA et al., 2004).

Como solução de disposição adequada desses lodos produzidos pelas Estações de Tratamento de Água, a utilização de uma mistura de 10 a 20 % de lodo em mistura com argila, torna possível para produção de blocos cerâmicos o uso de lodos de ETA em matriz de argila (PAIXÃO et al., 2005 apud WENG et al., 2003).

3.2.2 Considerações Finais do aproveitamento de lodo de Estação de Tratamento de Água em cerâmica vermelha

Araújo et al., 2017 apud Paixão et al., 2005 estudou o comportamento da adição de lodo de ETA, em variadas proporções, em massa cerâmica vermelha e realizou ensaios com a mistura de argila mais lodo de ETA objetivando os resultados nas proporções de 0%, 2%, 5% e 10%, além de realizar também uma mistura com 5% de lodo calcinado e 5% de lodo moído. Cada corpo de prova foram submetidos à queima de 950°C, 1000°C e 1050°C e prensados.

De acordo com Araújo et al., 2017 foram obtidos resultados satisfatórios por Paixão (2008) sendo eles citados abaixo:

- A adição de lodo na massa de argila ajudou a reduzir suas propriedades plásticas.
- Entre as temperaturas de 950°C e 1050°C houve influência das temperaturas de sinterização nas propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova produzidos com a mistura de lodo e argila.
- Na temperatura de 1050°C algumas partículas de lodo se fundiram, causando aumento significativo de retração.
- Houve uma ajuda na fratura de corpo devido a adição do lodo ocasionando diminuição nos valores de Tensão de Ruptura à flexão dos corpos de prova.
- Através dos resultados obtidos com o ensaio de Tensão de ruptura à Flexão foi possível observar uma diminuição nos valores da TRF devido a

adição do lodo na matriz da argila porém, mesmo com esta diminuição os valores estão dentro do especificado para utilização na construção civil.

- Outros parâmetros como retração linear de secagem, contração linear, contração linear total após queima, tensão de ruptura à flexão, perda ao fogo, estão com os valores dentro dos especificados para incorporar na fabricação de cerâmica vermelha na construção civil.

3. CONCLUSÃO

O Tratamento de água das estações de efluentes brasileiras tem levantado atenção para uma causa ambiental, devido a uma disposição final do lodo gerado em seus decantadores e lavagem dos filtros. Como alternativa de diminuir os impactos ambientais, as estações de Tratamento de Água juntamente a sociedade vem estudando maneiras de reaproveitar este lodo, denominado lodo de ETA. Dentre estas maneiras estão o reaproveitamento do lodo de ETA em produção de materiais cerâmicos para o setor de construção civil.

Entretanto para que se torne possível o reaproveitamento do lodo de ETA, é preciso determinar os principais aspectos físico-químicos, biológicos, qualitativos e quantitativos para se caracterizar este resíduo e determinar a melhor finalidade para este lodo. No caso de se utilizar este lodo em material cerâmico a caracterização é dada para que através deste possa escolher a melhor destinação, seja para a produção estrutural, para revestimentos, entre outros. Estudos apresentados mostraram ser vantajoso a incorporação do lodo de ETA para a fabricação de tijolos, por haver uma semelhança de composição química entre as argilas e os lodos.

A mistura de lodo e argila tem suas propriedades físico-mecânicas influenciadas pelas temperaturas de sinterização entre os valores de 950°C e 1050°C. Na temperatura de 1050°C algumas partículas de lodo começam a se fundir, causando aumento significativo na retração. A qualidade de um bloco é medida através do grau de contração/retração devido a queima, a temperatura de queima altera significativamente a contração linear, quanto maior for a temperatura de sinterização maior será a retração e a partir de 1000°C este efeito é mais evidente.

As inclusões de partículas de lodo favorecem também a resistência à fratura do corpo causando diminuição dos valores de Tensão de Ruptura à Flexão dos corpos de prova.

No entanto, mesmo alterando as propriedades mecânicas do produto, adicionar lodo de ETA na argila para fabricação de cerâmica vermelha ainda demonstra ser viável nas adições de até 10% do lodo à argila como mostra os estudos, pois o produto final ainda apresenta propriedades dentro dos limites estabelecidos para cerâmica vermelha destinada para construção civil, além de ajudar no baixo custo da fabricação. Outro ponto positivo seria uma alternativa altamente correta do ponto de vista ambiental, por apresentar duas vantagens, a de reciclagem e a possibilidade de inertização dos resíduos.

REFERÊNCIAS

JUSTINIANO, Dirceane. **Utilização de Lodo de ETA na Fabricação de Matérias Cerâmicas para Revestimento aplicados na Construção civil**. Campina Grande-PB, 2020. Disponível em: <http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/tede/4203/2/PDF%20-%20Dirceane%20de%20Queiroz%20Justiniano.pdf>

ARAÚJO, Rodrigo Nobre; SILVEIRA, Leonardo Ramos. Reaproveitamento de resíduos de ETA e ETE em obras de engenharia. **Ciência, Tecnologia, Sociedade**, Brasília-GO, 2017. Disponível em: http://cts.luziania.ifg.edu.br/CTS1/article/view/87/pdf_26

PAIXÃO, Luis Carlos Cardoso. **Aproveitamento de Lodo de Estação de Tratamento de Água em Cerâmica Vermelha**. Ouro Preto-MG, 2005. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2843/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O %20AproveitamentoLodoEsta%c3%a7%c3%a3o.pdf>

MOREIRA, Viviane Teles Goulart; PAIVA, Gabriela Santos; SOARES, Alexandra Fátima Saraiva. Lodo de estação de tratamento de água (LETA): resíduo ou insumo ?. **Revista Petra**, v. 3, n. 1, p. 17-37, 2017. Disponível em: <https://www.metodista.br/revistas/revistas-izabela/index.php/ptr/article/view/1032/846>

REIS, Ana Carolina. **Tratamento de Água: Gradiente de Velocidade na Coagulação-Floculação**. Uberaba-MG, 2017. Disponível em: <https://repositorio.uniube.br/bitstream/123456789/426/1/TCC%20-%20%20ANA%20CAROLINA%20DE%20ASSIS%20REIS.pdf>

SILVA, Juliane. **Estudo da Utilização de Polímeros Naturais como Auxiliares de Floculação no Tratamento de Água para fins Industriais**. Belém-PA, 2012. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br/bitstream/2011/4637/1/Dissertacao_EstudoUtilizacaoPolimeros.pdf