REMOÇÃO DE UMIDADE DE LODO TÊXTIL POR SECAGEM TÉRMICA

REMOVAL OF HUMIDITY FROM TEXTILE SLUDGE BY THERMAL DRYING

Pierre Arthur Münch[1]

Me. Francisco Odisi[2]

RESUMO: O tratamento de efluentes industriais têxteis necessita passar por tratamento biológico de lodos ativados para eliminar a alta carga orgânica presente no mesmo. Tal processo gera lodo desaguado com alta umidade. Este requer corretacomposição e destinação final conforme a Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos. O objetivo deste artigo é demonstrara redução da umidade do lodo mediante a instalação de um secador térmico. Para a realização dos testes, utilizou-se lodo proveniente da estação de tratamento de efluentes de uma indústria têxtil localizada no município de Guabiruba – SC. Para determinação da umidade de equilíbrio, o lodo inicialmente passou por um processo de desaguamento em filtro prensa de esteira, seguido de secagem térmica em rama.Desta secagem, obteve-se 87% de remoção de umidade, gerando uma redução de 66% no volume total do lodo encaminhado para aterro sanitário. Esse processo de secagem do lodo residual de tingimento reflete ganhos tanto em custos para empresaquanto em menor volume descartado na natureza.

Palavras-chave: lodo; secagem; desumidificação.

ABSTRACT: *The textile industry treatment of effluents needs to go through biologic treatment of activated sludge in order to eliminate its high organic rates. This process generates dewatered sludge with high humidity, requiring the right*

[1] Acadêmico do curso de Engenharia Química da UNIFEBE. *E-mail*: pierremunch@unifebe.edu.br

[2] Professor orientador. Mestre. *E-mail*: francisco@unifebe.edu.br

way and composition to dispose it, according to the law 12.305 from 2nd August, 2010, which instituted the Política Nacional de Resíduos Sólidos. The purpose of this article is to demonstrate the reduction of sludge humidity through the installation of a thermal dryer. In order to reproduce the tests, the sludge was collected from a textile industry effluents treatment station, located in the town of Guabiruba – SC. In order todetermine the equilibrium humidity ratio, the sludge was submitted to a dewatering process in a belt filter press, followed by a dryer process in a thermal dryer machine. In this situation, the humidity removal reaches 87%, generating a 66% reduction in thetotal volume of sludge sent to landfill. This process of textile sludge drying reflects gains both in costs for the company and in a smaller volume discarded in nature.

Keywords: sludge; drying; dehumidification;

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a indústria têxtil é notável no que diz respeito à geração de empregos e riqueza. Dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil – ABIT (2021)constatam que o Brasil é o quarto maior produtor de malhas e denim no mundo, gerando 11% dos empregos e 6,6% do faturamento das empresas de transformação.Este setor emprega 1,5 milhão de brasileiros diretamente e 8 milhões de brasileiros indiretamente. O faturamento da cadeia têxtil e de confecção brasileiro é de, aproximadamente, R$185,7 bilhões por ano, o que demonstra a grande relevância dosetor em território nacional.

Nunes, (2019) diz que a água é essencial para a indústria têxtil, sendo usadade diferentes maneiras. No beneficiamento, a água é utilizada basicamente em todas as etapas, de modo direto nos processos de lavagem, tingimento e amaciamento, e de modo indireto para realizar aquecimento ou resfriamento nos processos.

“Exceto pelos volumes de águas incorporados aos produtos e pelas perdas por evaporação, as águas tornam-se contaminadas por resíduos do processo

industrial ou pelas perdas de energia térmica, originando assim os efluentes líquidos”(GIORDANO, 2004).

Manu et al., (2001) diz que a característica mais marcante do efluente têxtil éa cor. Os corantes que não se fixam as fibras durante o processo de tingimento continuam nas águas dos efluentes. Devido à sua própria natureza, os corantes são altamente detectáveis a olho nu, sendo visíveis em alguns casos mesmo em baixas concentrações. Além da deterioração estética dos corpos de água, os corantes também causam danos à flora e fauna no meio ambiente Os corantes e os pigmentos são fabricados para serem resistentes à biodegradação aeróbia onde, sem tratamentoadequado, podem persistir no meio ambiente por longos períodos de tempo.

De acordo com Sezerino & Bento (2005):

> O tratamento biológico de esgotos e efluentes industriais tem o objetivo de remover a matéria orgânica dissolvida e em suspensão ao transformá-la em sólidos sedimentáveis (flocos biológicos) e gases. Tal processo ocorre com a presença de microrganismos, em sua maioria bactérias. Estas possuem a característica especial de formarem massas capazes de adsorver partículas em suspensão – a floculação biológica. A formação dessas massas de maior tamanho e densidade, chamadas de flocos biológicos, confere à biomassa suspensa capacidade de rápida sedimentação.

Estes flocos biológicos precisam ser retirados do sistema, pois tornam o lodomuito denso e criam um ambiente que não é propício para a sobrevivência dos microrganismos ali presentes, responsáveis pela degradação da matéria orgânica. Com o auxílio de uma bomba, os flocos, na forma de lodo líquido, são encaminhados ao adensador, de onde são condicionados e sofrem desaguamento via filtro prensa de esteira. Entretanto, o volume de lodo desaguado que é gerado é elevado, devido à alta umidade presente no mesmo. O material ainda precisa ser descartado conformea Política Nacional de Resíduos Sólidos no art. 36, alínea V, tendo um custo elevadopara sua destinação final.

O presente trabalho tem por objetivo investigar as possibilidades de diminuir a quantidade de água existente no lodo proveniente da estação de tratamento de efluentes de uma indústria têxtil localizada no município de Guabiruba/SC, gerando economia no transporte e descarte residual do material, mediante a instalação de

umsecador térmico.

Para um melhor entendimento dos objetivos deste trabalho e melhor apreciação desta pesquisa, classificou-se a mesma como exploratória. Os dados do estudo de caso foram tratados de forma quantitativa, pois requereram o uso de recursos e técnicas de estatística, a fim de traduzir em números os conhecimentos gerados. Detectou-se também a necessidade da pesquisa bibliográfica no momento em que se fez uso de materiais já elaborados, como documentos eletrônicos e livros físicos, na busca e alocação de conhecimento para correlacionar com os assuntos pertinentes ao presente artigo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TRATAMENTO DE EFLUENTES PELO MÉTODO DE LODOS ATIVADOSSegundo Rosa, Fraceto e Moschini-Carlos (2012):

> O tratamento biológico por lodos ativados é o mais utilizado pela maioria das indústrias para degradação da matéria orgânica do efluente, principalmente na indústria têxtil. É constituído por um tanque de aeração em que o efluenteé misturado com o lodo ativado por microrganismos (bactérias, fungos e protozoários), agitado e aerado, ocorrendo a oxidação da matéria orgânica para, em sequência, passarem por sedimentação em decantadores e serem novamente separados. A maior parte do lodo (biomassa) é recirculada de volta para o tanque de aeração, e os microrganismos continuam no meio porum longo tempo, e a menor parte é retirada para tratamento específico.

2.2 ETAPAS PARA REDUÇÃO DE UMIDADE DO LODO

Os processos de tratamento da fase líquida do efluente dão origem a um material com elevado teor de umidade. Nestas condições, de acordo com Batista (2015), toda e qualquer operação subsequente relativa ao manejo do lodo deve considerar a remoção de umidade como uma medida imprescindível, visto que tanto volume quanto teor de sólidos serão fatores determinantes nos custos operacionais ena seleção das alternativas de disposição final.

A redução do teor de água é efetuada por processos físicos (adensamento, filtração, flotação, evaporação), eventualmente precedidos por processos

preparatórios de condicionamento, que visam facilitar e/ou acelerar o processo de separação de água (VAN HAANDEL & ALÉM SOBRINHO, 2006).

2.2.1 ADENSAMENTO

"O adensamento consiste no aumento da concentração de sólidos presentesno lodo. É mais usado nos processos de tratamento primário, lodos ativados e filtros anaeróbios percoladores, tendo importantes implicações no dimensionamento e na operação de digestores" (GONÇALVES et al., 2001).

2.2.2 CONDICIONAMENTO

A etapa de condicionamento tem como objetivo principal a preparação do lodopara a fase seguinte, a desidratação, melhorando a capacidade de captura de sólidosdo sistema de desaguamento. Para isto, como afirma Gonçalves et al. (2001),"procura-se obter uma modificação do tamanho, da superfície específica, da distribuição e da interação das partículas de lodo, promovendo a formação de agregados maiores (flocos), por meio dos processos de coagulação e floculação". O condicionamento pode ser realizado através da utilização de produtos químicos inorgânicos ou orgânicos.

2.2.2 DESIDRATAÇÃO

De acordo com Batista (2015), "o processo de desidratação ou desaguamentotem por objetivo reduzir o volume do lodo, produzindo um material com comportamento mecânico próximo ao dos sólidos". A realização do desaguamento pode se dar por meio de duas formas: o não mecanizado e o mecanizado.

O desaguamento não mecanizado, como o nome já indica, é aquele que nãoutiliza meios mecânicos, utilizando apenas agentes naturais como a gravidade

e a evaporação. Este processo pode ser realizado por meio de leitos de secagem, lagoasde lodo e filtração por geotêxtil (HEDLUND, 2016).

"O desaguamento mecanizado é muito utilizado em substituição aos meios naturais. Os equipamentos que podem ser utilizados neste desaguamento são centrifugas, filtros prensa de esteira, filtros prensa de placas, filtros a vácuo e prensa desaguadora tipo parafuso" (PEREIRA, 2011)

2.2.3 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO

O teor de umidade de equilíbrio, também denominado umidade de equilíbrio higroscópico, é o teor de umidade na qual a pressão de vapor d'água no produto é igual à do ar que o envolve, ou seja, não existe nenhum tipo de troca entre eles (Carvalho et al., 2018).

Conforme Novais e Ferreira (2012), ao prolongar a secagem do sólido em condições constantes de temperatura, umidade e velocidade do ar, pode-se alcançara velocidade de secagem zero, "que representa o conteúdo mínimo de umidade que se pode obter numa secagem de duração infinita e denomina-se umidade de equilíbrio. Qualquer umidade acima da de equilíbrio é chamada de umidade livre".

2.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS E DE UMIDADE

A análise do teor de sólidos/umidade serve para determinar a quantidade de água em uma determinada substância e é de extrema importância em diversos processos industriais, "pois pode afetar a vida útil, usabilidade, processabilidade e qualidade de um produto" (SIQUEIRA, 2019). Os teores de sólidos e de umidade podem ser calculados por meio das equações 1 e 2, respectivamente.

$$\%Teor\ de\ sólidos = \frac{massa\ da\ amostra\ seca}{massa\ total\ da\ amostra} * 100 \quad (1)$$

$$\%Teor\ de\ umidade = \frac{massa\ do\ solvente}{massa\ total\ da\ amostra} * 100 \quad (2)$$

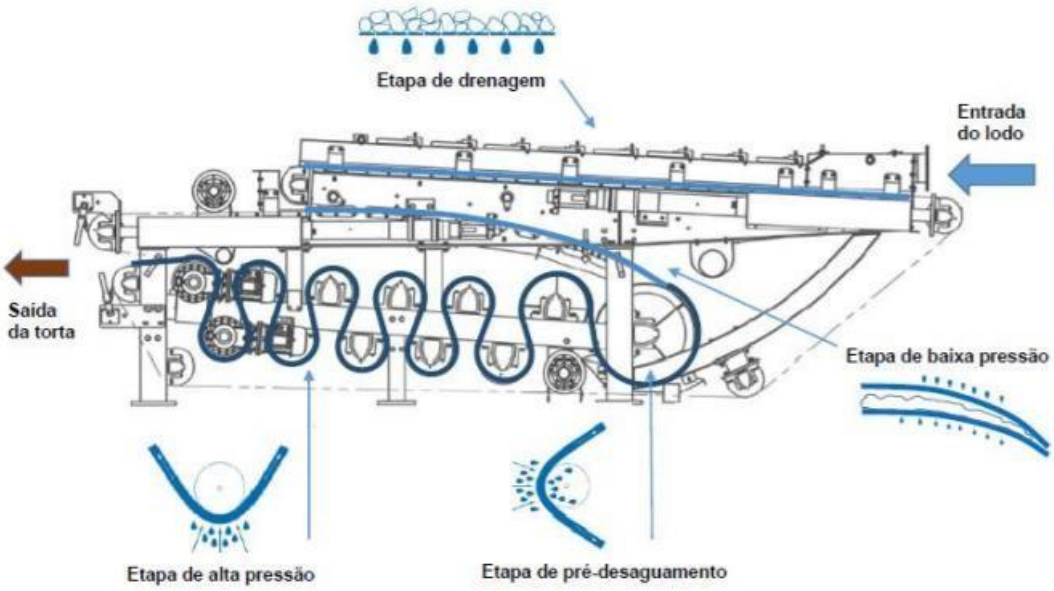
2.4 FILTRO PRENSA DE ESTEIRA

"O filtro-prensa de esteira é um dispositivo para desidratação mecânica de lodos de operação contínua, que combina a drenagem por gravidade com compressãomecânica" (David, 2002). O processo de desidratação pode ser dividido em três processos básicos, sendo eles o condicionamento químico, drenagem por ação da gravidade e a compactação mecânica.

David (2002) diz que o condicionamento químico consiste em adicionar um polímero que ocasionará a floculação do lodo antes da alimentação da máquina. Em seguida, o lodo é depositado em uma esteira porosa onde perde grande parte da águalivre até atingir uma consistência mais viscosa. Na parte da compactação mecânica, o lodo adensado é introduzido entre duas esteiras porosas que se movimentam em uma série de rolos onde é prensado progressivamente.

O filtro-prensa de esteira tem como vantagens o baixo custo de energiaelétrica e baixo valor na aquisição, porém as desvantagens dele são o elevado nívelde ruído e o grande número de rolamentos (geralmente entre 40 a 50), o que requerum bom controle na manutenção do equipamento (FERREIRA & NISHIYAMA, 2003)."Dependendo da concentração inicial de sólidos secos e da origem do lodo, com o uso de um filtro-prensa de esteira pode-se obter um lodo desidratado comumidade de 15 a 60% no final do processo" (Soto & Orrico, 2009).

Figura 01 – exemplo de filtro prensa de esteira.



Fonte: MORVAI, 2018.

2.5 SECAGEM TÉRMICA DE LODOS

A separação entre as fases líquida e sólida nos processos de tratamento doslodos gerados em ETEs é uma tarefa difícil e dispendiosa, comparada às demais operações do tratamento de esgotos.

Pinheiro (2012) diz que a secagem térmica consiste na aplicação de calor aolodo visando a evaporação da umidade presente e, por consequência, o aumento daconcentração de sólidos totais.

David (2002) define a secagem térmica como um processo de melhoria da qualidade dos lodos que gera como produto final biossólidos Classe A, que podem seraplicados ao uso agrícola sem grandes restrições.

Para Sperling et al. (2001) o processo de secagem térmica é bastante flexível, podendo ser conduzido para a formação de “pellets” que poderão ser aplicados na agricultura, como material combustível, ou disposto em aterro sanitário, caso não hajaalternativa de uso.

David (2002) define como principal objetivo da secagem térmica a redução doteor de umidade presente no lodo, sugerindo que a secagem térmica pode atingir concentrações de sólidos totais da ordem de 90 a 95%, o que reduz

significativamentea massa final dos lodos gerados. Outro objetivo definido pelo autor é a eliminação dosorganismos patogênicos através da aplicação de calor.

2.5 SECADOR DE LODO

O secador rotativo é um tipo de secador que opera por batelada, e pode ser do tipo direto ou indireto. Crispim (2015) diz que no secador rotativo do tipo direto, o lodo entra em contato direto com o fluxo de ar quente ao longo do seu percurso, já nosecador rotativo do tipo indireto, o cilindro por onde circula o lodo é encamisado por outro cilindro, por onde circula ar quente, vapor ou até mesmo um óleo térmico.

Serão tomadas como base as informações do secador indireto Bruthus F 5.6.1, da fabricante Albrecht, de Joinville/SC. O mesmo pode ser visualizado nas imagens 02 e 03.

Figura 02 – secador indireto de lodos Bruthus F 5.6.1.

Fonte: Albrecht, 2021.

Figura 03 – lavador de gases e transportador helicoidal de lodo seco.

Fonte: Albrecht, 2021.

2.5.1 FUNCIONAMENTO

O secador recebe o lodo proveniente do sistema de desaguamento na moegade alimentação do secador, onde um transportador helicoidal é responsável pela dosagem na moega de transferência e alimentação do secador. O material é distribuído uniformemente dentro do secador, formando um leito que é transportado mecanicamente por um helicóide.

O sistema de calefação indireta que compõe o corpo do secador e o helicóideproporcionam aumento do rendimento de secagem, controle apurado de temperaturae alta eficiência térmica, o que na prática traduz-se em baixo custo de produção e preservação das propriedades do produto final.

Os gases contaminados com material particulado (finos) são direcionados aolavador de gases, com retorno do condensado para estação de tratamento e os gasesremanescentes são liberados para atmosfera.

O secador tem capacidade de entrada de até 270 kg/h, requer o lodo desaguado a no mínimo 80% de umidade e retira cerca de 60% da umidade de

entrada. O equipamento consome cerca de 6,3 kW/h e requer uma vazão de vapor de300 kg/h.

As maiores vantagens da implantação do secador rotativo são quanto aos custos de manuseio, transporte e disposição do lodo, por meio da redução de peso, volume e umidade.

2.5.2 MATERIAIS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO

Para a confecção do secador indireto, utilizam-se os materiais listados no Quadro 01, conforme especificação do fabricante. Pelo fato de ser utilizado polímero catiônico na etapa de condicionamento do lodo, percebe-se que o material com maior predominância na composição é o aço inox 304, pelo fato deste apresentar excelenteresistência à corrosão.

Quadro 01 – componentes do secador indireto e seus respectivos materiais.

Parte do secador	Componente	Material
Alimentação	Moega	Aço inox 304
	Calha dos transportadores	Aço inox 304
	Helicóide	Aço inox 304
Câmara de secagem	Berço	Aço inox 304
	Helicóide	Tubo Schedule 40 ASTM A-53
	Isolamento	Lã de rocha
	Revestimento externo	Aço inox 304
Descarga de substrato seco	Calha	Aço inox 304
	Helicóide	Aço inox 304
	Estrutura	Aço carbono galvanizado e pintado
Exaustão	Lavador de gases	Aço inox 304
	Exaustor	Aço inox 304

Fonte: Albrecht, 2021.

2.6 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA

Define-se massa específica de uma substância como a razão entre sua massam e seu volume V, como segue na equação 3. Sua unidade no Sistema Internacional(SI) é kg/m³.

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{3}$$

Fernandez & Mikowski, (2016) dizem que a massa específica do lodo pode variar de acordo com a condição em que o mesmo se encontra. Lodos líquidos, da forma que são retirados dos decantadores, apresentam valores de massa específica semelhantes aos da água (ρ= 1.000 kg/m³). Se o mesmo for desaguado ou seco, essa propriedade sofrerá alteração.

2.7 DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

No Brasil, o gerenciamento adequado dos resíduos inicia-se pela sua classificação ambiental, de acordo com a norma NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Segundo essa norma os resíduos sãoclassificados em: classe I – perigosos; classe II – não perigosos; classe IIA – não inertes; resíduos classe IIB – inertes, sendo o lodo proveniente das ETE's de indústriastêxteis caracterizado como classe II.

De acordo com Pereira & Garcia (2017), "o lodo produzido em uma ETE corresponde a cerca de 1 a 2% do volume do efluente tratado, entretanto o tratamentoe a disposição final desse resíduo representam de 30 a 50% do custo operacional daestação".

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 PRODUÇÃO DE LODO DESAGUADO NO FILTRO PRENSA DE ESTEIRA

Para a aferição da produção de lodo por parte do filtro prensa de esteira, abriu- se o registro do lodo proveniente do tanque de condicionamento e cronometrou-se o tempo decorrido até o fechamento do mesmo. Após o lodo ser desaguado na prensa,pesou-se a massa gerada no processo em balança semi analítica. As aferições foramrealizadas em triplicata.

3.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO

Para os testes relativos à determinação da umidade de equilíbrio do lodo porsecagem térmica, utilizou-se uma chapa de aço inox, com dimensões de 28cm x 33cm. Os testes ocorreram em triplicata, onde foi disposta a quantidade de cem gramas de lodo na chapa, conforme Figura 04, sendo a mesma pesada a cada cinco minutos, a fim de verificar a remoção da massa de água (em gramas) presente na amostra.

Figura 04 – amostras de lodo prontas para secagem.

Fonte: o autor, 2021.

A chapa com o material foi disposta dentro da máquina denominada de rama(Figuras 05 e 06), que faz uso do vapor gerado na caldeira para secagem dos tecidosda empresa. Nesta situação, as temperaturas se mantiveram constantes durante todos os testes, estando a superfície em 142ºC e o ar em 152ºC.

Figura 05 – rama.

Fonte: o autor, 2021.

Figura 06 – chapas de inox com lodo para secagem nointerior da rama.

Fonte: o autor, 2021.

As amostras permaneceram na máquina até que as últimas três medições nãosofressem mais variação, tendo atingido o ponto de equilíbrio de umidade.

Os dados obtidos foram anotados e dispostos em forma de tabela, e posteriormente utilizados nos cálculos realizados.

3.3 DETERMINAÇÃO DAS MASSAS ESPECÍFICAS

Para a determinação da massa específica do lodo, o mesmo foi adicionado àuma proveta com capacidade de 1.000 ml. Verificou-se o volume ocupado pelo material, o qual foi posteriormente pesado em balança semi analítica, sendo a massaespecífica calculada através da Equação 3. O processo foi realizado para o lodo antesde passar pelo desaguamento, para o lodo desaguado e para o lodo que passou por secagem térmica. Em todos eles, aferiu-se em triplicata.

3.3 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE SÓLIDO E UMIDADE

Para a determinação dos teores de sólidos e umidade, pesaram-se as amostras de lodo antes e depois de passarem pela etapa de desaguamento, bem como posterior à secagem, sendo calculados pelas equações 1 e 2, respectivamente.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 PRODUÇÃO DE LODO DESAGUADO NO FILTRO PRENSA DE ESTEIRA

A produção de lodo desaguado (prensado) foi aferida e está disposta na Tabela 01. Com base nos resultados, calculou-se a média aritmética simples e o

desvio padrão das mesmas.

Tabela 01 – produção do filtro prensa (em kg).

Teste	Massa (kg)
01	5,700
02	2,556
03	2,207
Média kg/min	3,488 ± 1,924
Média kg/h	209,28 ± 115,432

Fonte: o autor, 2021.

Considerando que a prensa opera cerca de 15 horas por dia, tem-se que a média da produção diária de lodo desaguado é de 3.139,20 kg.

4.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO

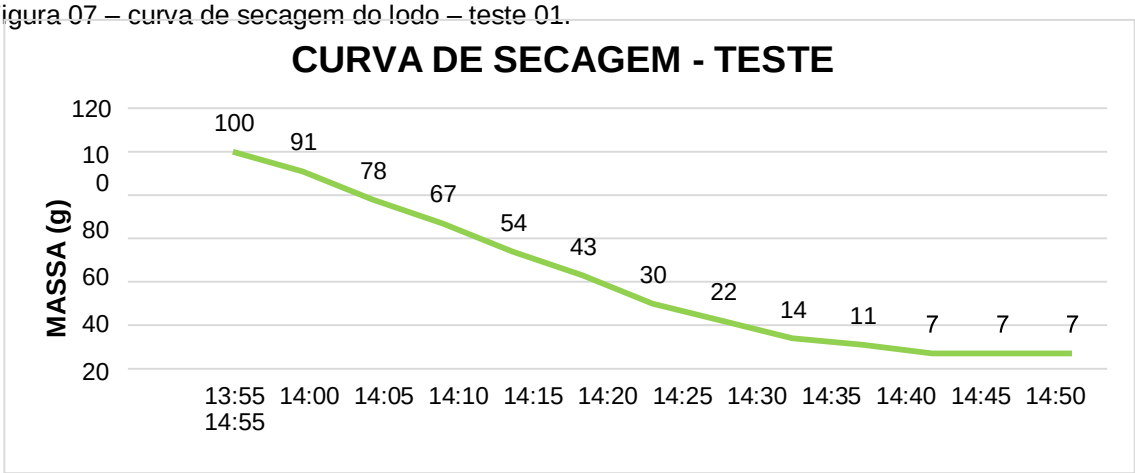
As amostras permaneceram na rama pelo período de uma hora, momento em que foi constatada a estabilização das massas secas das três amostras, conforme dados apresentados na Tabela 02. Com esses dados, pode-se elaborar um gráfico para cada teste, resultando na curva de secagem do material, como seguem nas figuras 07, 08 e 09.

Tabela 02 – perdas de massa após cada período de secagem.

Hora	Massa teste 01 (g)	Massa teste 02 (g)	Massa teste 03 (g)
13:55	100	100	100
14:00	91	87	86
14:05	78	73	71
14:10	67	60	55
14:15	54	45	41
14:20	43	32	27
14:25	30	21	18
14:30	22	15	13
14:35	14	10	8
14:40	11	9	7
14:45	7	7	7
14:50	7	7	7
14:55	7	7	7

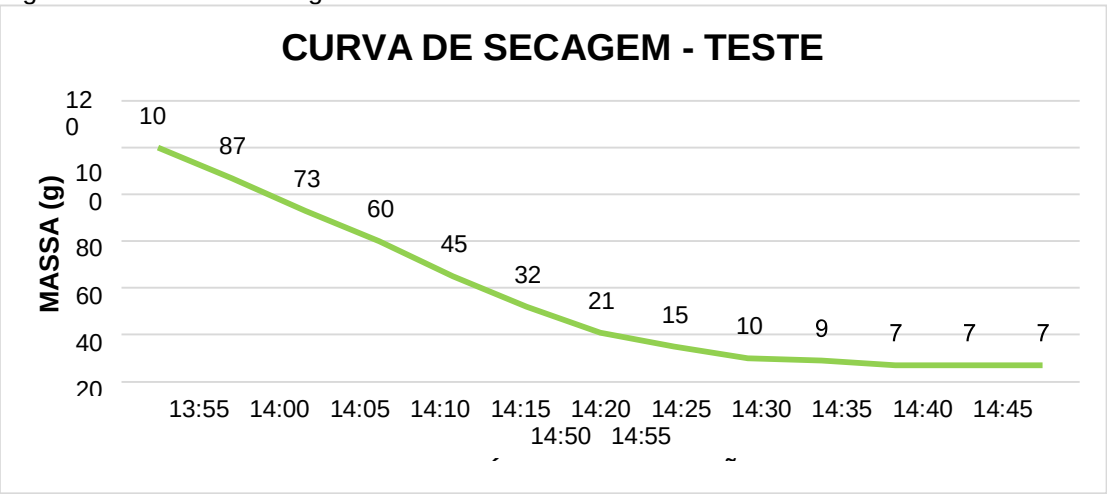
Fonte: o autor, 2021.

Figura 07 – curva de secagem do lodo – teste 01.



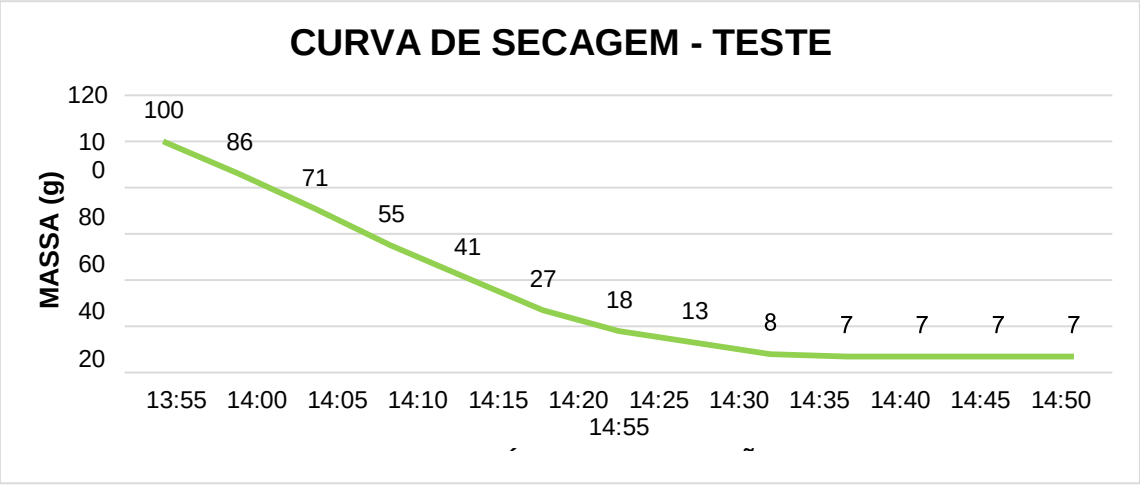
Fonte: o autor, 2021.

Figura 08 – curva de secagem do lodo – teste 02.



Fonte: o autor, 2021.

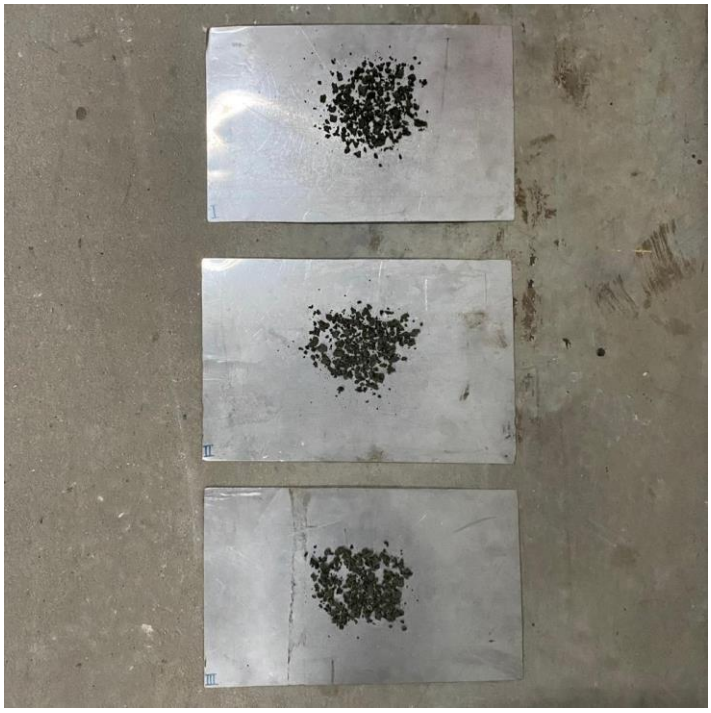
Figura 09 – curva de secagem do lodo – teste 03.



Fonte: o autor, 2021.

As amostras retiradas após a secagem podem ser visualizadas na Figura 10, onde percebe-se a diminuição do volume de lodo quando comparada com a Figura 04

Figura 10 – chapas de inox com o lodo pós secagem.



Fonte: o autor, 2021.

Na Figura 09 é possível perceber que a amostra do teste 03 chegou ao equilíbrio cinco minutos antes das demais. Isso foi devido ao fato de que, no momentode realização do teste, esta amostra ficou em uma região do maquinário que possuíamaior ventilação de ar quente, contribuindo para alcançar tal resultado mais rapidamente.

Outra rodada de testes de secagem de amostras de lodo foi realizada na estufa do laboratório de Engenharia Química da UNIFEBE, porém sem concluí-lo. O tempo de secagem neste tipo de estufa demora muito, por falta de ventilação e muita variação da temperatura, pelas constantes aberturas para aferição das massas para constatar a perda de umidade, demorando muito tempo até atingir a estabilização natemperatura solicitada.

Os dados experimentais da Tabela 03 demonstram a perda regular de umidade pelas três amostras colocadas sobre a superfície da rama, conforme Figura10, na temperatura de 152ºC e sob ventilação natural.

3.3 DETERMINAÇÃO DAS MASSAS ESPECÍFICAS

As massas específicas dos lodos pré desaguamento, desaguado e pós secagem térmica foram calculadas utilizando a massa e o volume das amostras utilizando a Equação 3. Os dados estão dispostos na Tabela 03.

Tabela 03 – massa, volume e massa específica de cada teste dos lodos pré desaguamento, desaguadoe pós secagem.

Teste	Parâmetros	Lodo pré desaguamento	Lodo desaguado	Lodo pós secagem
Teste 01	Massa (kg)	0,522	0,210	0,007
	Volume (L)	0,510	0,230	0,017
	ρ (kg/m³)	1.023,530	913,040	411,760
Teste 02	Massa (kg)	0,325	0,086	0,007
	Volume (L)	0,325	0,120	0,017
	ρ (kg/m³)	1.015,620	716,670	411,760
Teste 03	Massa (kg)	0,440	0,113	0,007
	Volume (L)	0,440	0,150	0,017
	ρ (kg/m³)	1.000,000	753,330	411,760

Fonte: o autor, 2021.

Pela diferença nas massas específicas iniciais entre as amostras, comparadas com a massa específica do lodo no final do processo de secagem, verifica-se a rigorosa uniformidade do padrão das propriedades físicas do lodo.

De posse destes dados, calculou-se a média aritmética simples e o desvio padrão dos parâmetros para cada tipo de lodo. Os mesmos constam na Tabela 04.

Tabela 04 – médias e desvios dos parâmetros de massa, volume e massa específica dos testesrealizados para o lodo pré desaguamento, desaguado e pós secagem.

Lodo	Massa (kg)	Volume (L)	ρ (kg/m³)
Pré desaguamento	0,429 ± 0,099	0,425 ± 0,093	1.013,05 ± 11,974
Desaguado	0,136 ± 0,065	0,167 ± 0,057	794,35 ±

			104,413
Pós secagem	0,007 ± 0,000	0,017 ± 0,000	411,76 ± 0,000

Fonte: o autor, 2021.

4.4 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS E DO TEOR DE UMIDADE

Com base nos dados da Tabela 04, calculou-se o teor de sólidos médio contido nas amostras de lodo desaguado e de lodo pós secagem, por meio da Equação 1. O teor da perda de umidade média das amostra pela Equação 2. Os dadossão apresentados na Tabela 05.

Tabela 05 – teor de sólidos e teor de umidade médio nas amostras de lodo desaguado e pós secagem.

Dados	Lodo desaguado	Lodo pós secagem
Massa total (kg)	0,429	0,1
Massa seca (kg)	0,136	0,007
Massa do solvente (kg)	0,293	0
Teor de sólidos (%)	31,7	7
Teor de umidade (%)	68,3	7

Fonte: o autor, 2021.

4.5 BALANÇO DE MASSA NO SECADOR

Utilizando a massa de lodo desaguado retirado por dia na prensa como base de cálculo e as informações coletadas sobre o secador indireto na fundamentação, montou-se o balanço de massa no secador, determinando-se as massas e umidadesde entrada e saída. Os resultados encontram-se na Tabela 06. A umidade de entrada representa apenas o que está adentrando o secador. Parte desta umidade já foi retirada pela prensa desaguadora, onde o lodo apresentava umidade inicial de 100%.Interpolou-se para encontrar a massa específica do material de saída e, pela Equação03, calculou-se o volume equivalente ocupado em uma caixa de lodo.

Tabela 06 – balanço de massa no secador.

	Parâmetro	Valor
Entrada	Umidade (%)	68,3
	Massa (kg)	3.139,20
	ρ (kg/m³)	794,35
	V equivalente (m³)	3,95
Saída	Umidade (%)	12,15
	Massa (kg)	558,46
	ρ (kg/m³)	479,82
	V equivalente (m³)	1,16

Fonte: o autor, 2021.

Considerando que cada caixa de lodo comporta a quantidade de 7m³ e os valores de volume equivalentes da Tabela 06, calculou-se o tempo necessário para encher a caixa com os diferentes tipos de lodo. Também foi realizado o cálculo do custo de cada caixa de lodo, levando-se em conta que o valor cobrado pela empresa responsável à destinação final foi de R$285,48 por m³ de lodo. Os dados são apresentados na Tabela 07.

Tabela 07 – comparação entre os lodos desaguado (situação atual) e pós secagem (situação estudada).

Dados	Situação atual	Situação estudada
Tempo para encher uma caixa	1,75 dias	6 dias
Quantidade de caixas retiradaspor mês	12	4
Custo de cada caixa	R$1.998,36	R$1.998,36
Gasto mensal com descarte	R$23.980,32	R$7.993,44

Fonte: o autor, 2021.

Analisando os dados da Tabela 07, é possível afirmar que a economia mensalgerada para a empresa referente ao descarte do lodo, com a instalação de um secador, é de R$15.986,56; uma economia de 66,67%. Ademais, gera benefícios paraо meio ambiente, com um menor volume de lodo destinado para o aterro sanitário; contribui também para a redução da corrosão da caixa de transporte, devido ao

polímero catiônico utilizado na etapa de condicionamento, e minimiza os transtornosde mobilidade ocasionados pelo transporte das caixas com o resíduo.

4.6 PAYBACK SIMPLES DO SECADOR

Considerando os dados de operação do secador dispostos no item 2.6.1, ou seja, que os custos de energia elétrica e de vapor sejam de R$0,83 kW e de R$0,067por kg, respectivamente, e que o secador opere 15 horas por dia numa média de 22 dias por mês, tem-se que os gastos fixos mensais para operação do equipamento serão de R$8.358,57. Levando-se em conta a economia de R$15.986,56 nas caixas de lodo, o ganho mensal ainda seria de R$7.627,99. Como o valor de aquisição do secador instalado é de R$435.000,00, o payback se daria em 57 meses (4 anos e nove meses).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos dados obtidos pelos ensaios de secagem de amostras de lodo residual gerado pelos processos de tingimentos demonstra a importância da implantação do processo estudado. Muita água está sendo transportada para aterro sanitário.

O teor de umidade do lodo apresenta variação expressiva quando submetidoà secagem térmica, sendo eliminada cerca de 87,85% de umidade quando comparadoao lodo pré-desaguamento, estando de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos. As massas específicas também sofreram variação devido à grande massa deágua evaporada no sistema prensa-secador. A economia gerada é relevante para a empresa, contribuindo também na questão referente ao passivo ambiental, entretantoo payback do sistema é demasiado longo.

Para pesquisas futuras, poderia se projetar um trocador de calor para fazer asecagem do material, a fim de se comparar com os custos da compra de um secadorpronto, ou ainda, um projeto com o mesmo secador, porém utilizando gases

residuaisda chaminé da caldeira ou da rama.

REFERÊNCIAS

ABIT - Associação Brasileira de Indústria Têxtil . **Perfil do Setor.** 2021. Disponívelem <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>, acesso em 04 ago. 2021.

ALBRECHT. **OFERTA Nº 210 / 2020 REV00 SECADOR INDIRETO BRUTHUS F.** Proposta de venda. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos – classificação.** Rio de Janeiro, 2004.

BATISTA, L.F. **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilizaçãoe disposição final.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-168/2015, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197p. 2015.

CARVALHO, Danieli de; et al. **Análise e Determinação da Umidade de EquilíbrioHigroscópico de Grãos e da Farinha de Trigo na Temperatura de 50 ºC.** Anais -VII Conferência Brasileira de Pós-Colheita. 2018.

CRISPIM, M.W. **Avaliação técnico-econômica de sistema de secagem térmica de lodo de esgoto doméstico.** Monorafia – Universidade Federal de Santa Catarina(UFSC), Florianópolis, Santa Catarina. 2015.

DAVID, A. C. **Secagem térmica de lodos de esgoto. Determinação da umidade de equilíbrio.** Dissertação de Mestrado em Engenharia. São Paulo: Universidade deSão Paulo, 2002.

FERNADEZ, L.P., MIKOWSKI, P.C.B. **Avaliação da viabilidade da utilização delodo de estação de tratamento de água em peças de concreto para pavimentação intertravada.** Trabalho de conclusão de curso. Curitiba, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

FERREIRA, R. A. R.; NISHIYAMA, L. **Principais equipamentos e processos utilizados no condicionamento e tratamento do lodo de esgoto.** Uberlândia,2003.

GIORDANO, Gandhi. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. (2004).

GONÇALVES, R.F; LUDUVICE, M., VON SPERLING, M**. Remoção da umidade de**
lodo de esgoto, cap 05. In: Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final –Princípios do Tatamento Biológico de Águas Residuárias, 6. DESA – UFMG, SANEPAR. Belo Horizonte, MG. (2001).

HEDLUND, K. F. S. **Adensamento de lodo de estação de tratamento de água: comparação entre sedimentação e flotação.** Dissertação Mestrado, UFSM, SantaMaria, Rio Grande do Sul, 2016.

MANU, B.; CHAUDHARI, S. **Anaerobic Decolorisation of simulated textilecontaining azo dye.** Bioresource Technology 82 pg. 225-231. Índia, 2001.

MORVAI, László. **Escolher o sistema de desaguamento mecanizado de lodo – uma missão possível.** Andritz Separation. 2018.

NOVAIS, A.F.; FERREIRA, S.R.S. Apostila de Laboratório II. Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos – EQA. Universidade Federal deSanta Catarina (UFSC) – Florianópolis, Santa Catarina. 2012.

NUNES, Giovanna Ribeiro. **Geração e Tratamento de Efluentes da Indústria Têxtil.** Monografia – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais.2019.

PEREIRA, A.C.A.; GARCIA, M.L. **Efeitos da disposição de lodo de estações de tratamento de efluentes (ETE) de indústria alimentícia no solo: estudo de caso.**Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 22, número 3. Publicado: 2017.

PEREIRA, V. E. **Disposição de lodo adensado de ETA em ETE com tratamentoprimário quimicamente assistido.** 2011. 170 p. Dissertação de Mestrado (em Saneamento e Ambiente) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

PINHEIRO, A. V. **Alternativas para destinação final do lodo gerado no tratamento de esgoto sanitário.** Trabalho de Conclusão de Curso de EngenhariaCivil. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2012.

ROSA, A.H.; FRACETO, L.F.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Meio Ambiente e Sustentabilidade.** Porto Alegre: Bookman, 2012.

SEZERINO, P.H; BENTO, A.P. **Saneamento Básico II.** Curso de Especialização emGestão de Recursos Hídricos. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.
2005.

SIQUEIRA, Gilson. **Teor de sólidos/umidade: o que é? Qual a importância? Quais as principais técnicas?** 2019. Disponível em < https://pt.linkedin.com/pulse/teor-de-s%C3%B3lidos-umidade-o-que-%C3%A9-qual- import%C3%A2ncia-quais-siqueira>, acesso em 02 set. 2021.

SOTO, T.B.; ORRICO, V.R. **Análise térmica de um secador de lodos.** Monografia – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo. 2009.

SPERLING, M. V.; ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final.** 1. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia

Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001.

VAN HAANDEL, A.; ALÉM SOBRINHO, P. **Produção e constituição do lodo de esgoto**, In: Andreoli, C. V (ed). Alternativas de Uso de resíduos do Saneamento –Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES. 2006.