

## **II-135 - LODO TÊXTIL: REVISÃO SISTEMÁTICA DE MÉTODOS DE TRATAMENTO E POTENCIAL USO COMO INSUMO COMBUSTÍVEL DE CALDEIRA**

**Mariana Medeiros Martins Balota<sup>(1)</sup>**

Engenheira Química pela Faculdade Oswaldo Cruz. Mestre em Processos Industriais pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

**Cláudia Echevengúá Teixeira<sup>(2)</sup>**

Bióloga pela Universidade de Caxias do Sul (UCS/RS). Mestre em Engenharia Civil (UNICAMP/SP). Dra em Engenharia Civil (Universidade de Sherbrooke - Canadá). Pós-doutorado pela Universidade do Estado do Arizona. Diretora do Centro de Tecnologias Ambientais e pesquisadora do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT- SP). Professora dos programas de Mestrado em Habitação e em Processos Industriais do IPT.

**Luciano Zanella<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Civil pela UNESP - Guaratinguetá. Mestre em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente pela UNICAMP. Mestre e Doutor em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente pela FEC-UNICAMP. Pesquisador do Laboratório de Instalações Prediais e Saneamento, Centro de Tecnologia do Ambiente Construído do IPT. Professor dos programas de Mestrado em Habitação e em Processos Industriais do IPT.

**Mauro Silva Ruiz<sup>(4)</sup>**

Doutor em Planejamento em Recursos Naturais pela Southern Illinois University, Carbondale, IL, EUA.

**Endereço<sup>(4)</sup>:** Rua Elias Juvenal de Melo, 1400 – Jardim Ana Maria – Jundiaí – São Paulo – CEP: 13208-820 – Brasil – Tel: +55 (11) 99788-8891 – **email:** [mah.medeiros8@gmail.com](mailto:mah.medeiros8@gmail.com).

### **RESUMO**

A cadeia produtiva têxtil representa hoje em dia, 5% do PIB nacional, dando ao Brasil a posição de quinto maior produtor têxtil do mundo. Nos processos decorrentes do processamento de fibras têxteis há geração de efluentes têxteis e resíduos sólidos, que devem passar por tratamentos adequados pela legislação, antes do seu descarte, gerando diferentes lodos. O presente trabalho pretendeu identificar os tratamentos específicos do lodo gerado pela indústria têxtil, bem como suas aplicações, por meio de uma revisão sistemática. Foram levantados sessenta estudos publicados, sobretudo em periódicos, no período entre 2000 e 2018. Constatou-se que 35 artigos científicos se referiam aos diversos tratamentos de lodo têxtil, sendo que a estabilização e redução química foram as mais abordadas. Sobre as possíveis aplicações para o lodo têxtil, foram encontrados 25 artigos científicos, sendo a construção civil a mais abordada para esse assunto. Um estudo exploratório de uma empresa de beneficiamento têxtil brasileira também foi realizado a fim de verificar a viabilidade técnica do lodo têxtil, em ser transformado em insumo combustível de caldeira. O lodo de uma indústria têxtil foi amostrado e sua composição físico-química determinada, para fins de avaliação exploratória. O caráter de combustibilidade do lodo é dependente da composição do material, a qual deve apresentar matéria orgânica em maior proporção aos demais componentes químicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo têxtil, tratamentos de lodo têxtil, disposição final do lodo têxtil.

### **INTRODUÇÃO**

A indústria têxtil foi uma das pioneiras no processo de industrialização do Brasil, desenvolvendo-se a partir do século XIX (ALMEIDA, 2012). Hoje, a indústria têxtil representa cerca de 5% do PIB nacional, dando ao Brasil a quinta posição de maior produtor têxtil do mundo. O país possui o quarto maior parque industrial do mundo, é autossuficiente na produção da principal matéria-prima (algodão), terceiro principal produtor de malha e o segundo maior produtor de Denim (COGO, 2011 e ALMEIDA, 2012). A indústria têxtil é uma das maiores geradoras de efluentes líquidos, dentre diversas áreas industriais, com consumo estimado de 150 litros de água para produção de um quilo de tecido (LEÃO et. al., 2002).

A cadeia produtiva têxtil tem basicamente quatro processos: fiação, tecelagem/malharia, beneficiamento e confecção. Em cada um dos processos há geração de efluentes têxteis e resíduos sólidos específicos, que devem passar por tratamentos adequados antes do seu descarte.

De modo geral, os efluentes têxteis são tratados por processos físicos, químicos e biológicos convencionais, os quais apresentam bons resultados na redução da concentração da matéria orgânica, porém tem como inconveniente a alta produção de lodo (AVELAR, 2012). O lodo consiste em um corpo semissólido constituído por, aproximadamente, 95% de água e 5% de sólidos.

O tratamento e o gerenciamento dos resíduos industriais são imprescindíveis, pois proporcionam benefícios econômicos e ambientais, uma vez que, favorecem a venda de materiais dotados de valor comercial para a reciclagem, minimizando assim, a disposição inadequada dos mesmos na natureza e conseqüentemente os impactos ambientais. As indústrias de confecção têxtil que buscam gerar menos resíduos por meio do aprimoramento de seus processos produtivos tornam-se mais eficientes e competitivas, um exemplo de uma gestão ambiental dentro da indústria seria a aplicação de um programa baseado na produção mais limpa (DEBASTIANI e MACHADO, 2012).

Entende-se por desenvolvimento sustentável, aquele que atende as necessidades da geração atual sem comprometer o direito das futuras em satisfazer as suas próprias necessidades. Neste contexto, a P+L consolida-se como uma ferramenta extremamente útil para a promoção do desenvolvimento sustentável, pois, se por um lado, aumenta a eficiência dos processos produtivos, melhorando a competitividade das organizações, por outro, racionaliza o consumo de recursos naturais e reduz a geração de resíduos (DEBASTIANI e MACHADO, 2012).

Desta forma, buscam-se alternativas viáveis sob o ponto de vista econômico e ambiental para os lodos, dentro dos conceitos de produção mais limpa e economia circular. Como por exemplo, adição de lodo têxtil e cinzas de lenha em argamassas de cimento Portland (LELOUP, 2013), utilização de lodo têxtil em pavimentos rodoviários (OLIVEIRA, 2014), reaproveitamento para uso florestal (ROSA, 2004), entre outros usos.

Neste cenário, este trabalho visou sistematizar e avaliar métodos de tratamento de lodos da indústria têxtil, identificando composição, processo gerador e principais usos. Paralelamente, foi realizada uma avaliação exploratória de viabilidade técnica de transformar lodo têxtil em insumo combustível de caldeira de uma empresa brasileira de beneficiamento têxtil.

## **PROCEDIMENTO METODOLÓGICO**

O procedimento metodológico adotado para este trabalho pode ser sintetizado em duas etapas: revisão sistemática sobre tratamentos e aplicações de lodos provenientes de indústrias têxteis e estudo exploratório de uma empresa têxtil brasileira, a fim de avaliar a viabilidade técnica de seu lodo, proveniente dos tratamentos de efluentes, como insumo combustível de caldeira.

O levantamento do estado da arte referente aos tratamentos dos lodos têxteis e suas aplicações, foi conduzido baseado nos trabalhos de Cunha (2012) e Galvão e Pereira (2014). Foram estabelecidas palavras-chave, a partir de uma combinação de palavras mais utilizadas em trabalhos pesquisados anteriormente, plataformas de busca (levantamento dos dados), classificação dos artigos e dissertações e a sistematização dos dados.

Para o estudo exploratório, foram utilizados dados fornecidos voluntariamente por uma empresa de beneficiamento têxtil, dados relacionados à produção e que dificilmente são tornados públicos. Todos os dados referentes ao processo fabril, produtos químicos e corantes utilizados, quantidade de água utilizada nos processos, tratamento de efluentes adotados, composição, quantidade e disposição final do lodo gerado foram obtidos por meio de entrevistas e visitas, bem como por análises dos laudos de monitoramento cedido pela empresa.

Foram realizadas duas amostragens de lodo do sistema de tratamento de efluentes da indústria colaboradora, tomando por referência as exigências da norma 10007 da ABNT (“Amostragem de Resíduos”). As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Combustíveis e Lubrificantes (LCL) do Instituto de Pesquisas

Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Foram realizados ensaios físico-químicos normalizados para a caracterização do lodo e avaliação de seu poder calorífico inferior. A partir desses resultados, em conjunto com análise dos resultados de avaliação da composição do lodo, foi feito um diagnóstico técnico e ambiental, a partir das leis vigentes, para verificar a viabilidade da queima do lodo em caldeira.

Os ensaios físico-químicos realizados pelo LCL do IPT foram: determinação do teor de umidade (E1756-08(15)); determinação dos teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio (ASTM D5373-16); determinação do poder calorífico superior (ASTM D5865-13); determinação do teor de enxofre total (ASTM D4239-17 – método A); determinação do teor de cinzas (ASTM E1755-01(15)); determinação do teor de materiais voláteis (ASTM D1762-84(13)); determinação do teor de oxigênio (ASTM D3176-15).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO DA REVISÃO SISTEMÁTICA

Um total de 60 estudos sobre métodos de tratamento e aplicações do lodo têxtil foram identificados, a partir do ano 2000. Os estudos considerados de tratamento de lodo foram aqueles que priorizavam a remoção de alguma característica indesejável e os de aplicação que davam um viés de aproveitamento em alguma cadeia produtiva. O pico da ocorrência de publicações sobre tratamento de lodo têxtil foi identificado entre os anos de 2015 e 2018. Nos anos de 2005, 2006, 2013 e 2015, ocorreu um maior número de publicações sobre aplicações de lodo têxtil, sendo aproximadamente 54% do total.

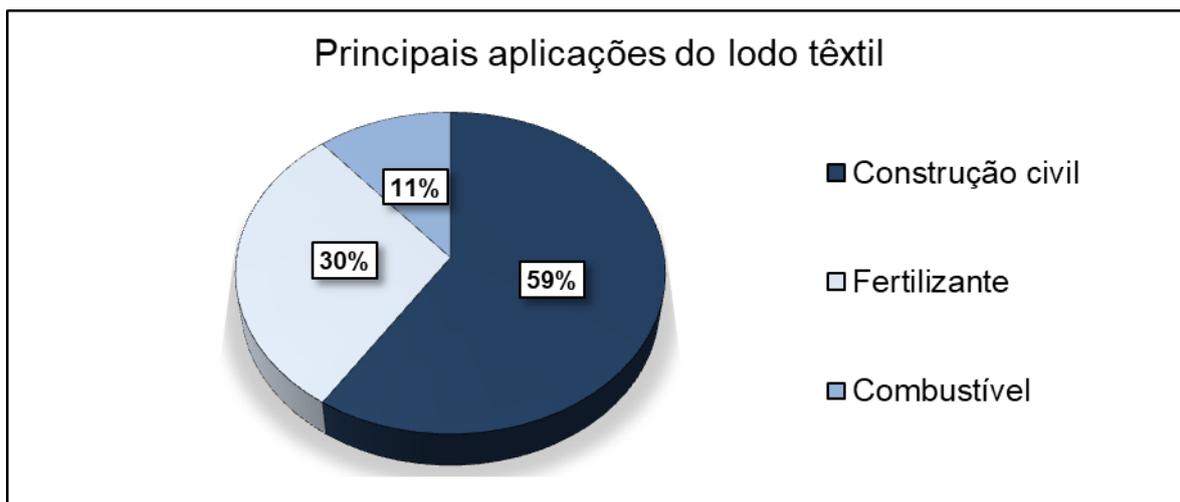
O periódico Journal of Hazardous Materials (JHM) publicou seis estudos de tratamento de lodo no período estudado ZHANG et al. (2018), ZHANG et al. (2017), NING, X. et al. (2017), LIANG, J. et al. (2016), LIN, M. et al. (2015), PATEL e PANDEY (2012), seguido pelo Bioresource Technology (BT) com cinco artigos XIE, W. et al (2018), PENG, X.; MA, X.; XU, Z. (2015), KADAM, A. A. et al. (2014), LUO, H. et al. (2013) e CHAKRABARTI, T. et al. (2007). Os periódicos que apresentaram mais estudos sobre aplicação de lodos foram Os periódicos que mais publicaram artigos sobre aplicações do lodo têxtil foram o Acta Scientiarum Technology, Eng. Sanit. Ambient, Waste Management e Pesq. Agrop. Brasileira com dois artigos cada um.

A Figura 1 e a Figura 2 apresentam a classificação dos estudos em relação a tratamento e aplicação, respectivamente.



**Figura 1 - Número de trabalhos classificados por tipos de tratamentos do lodo têxtil.**

\*Trabalhos que contém um resumo de vários tipos de tratamento de lodo têxtil.

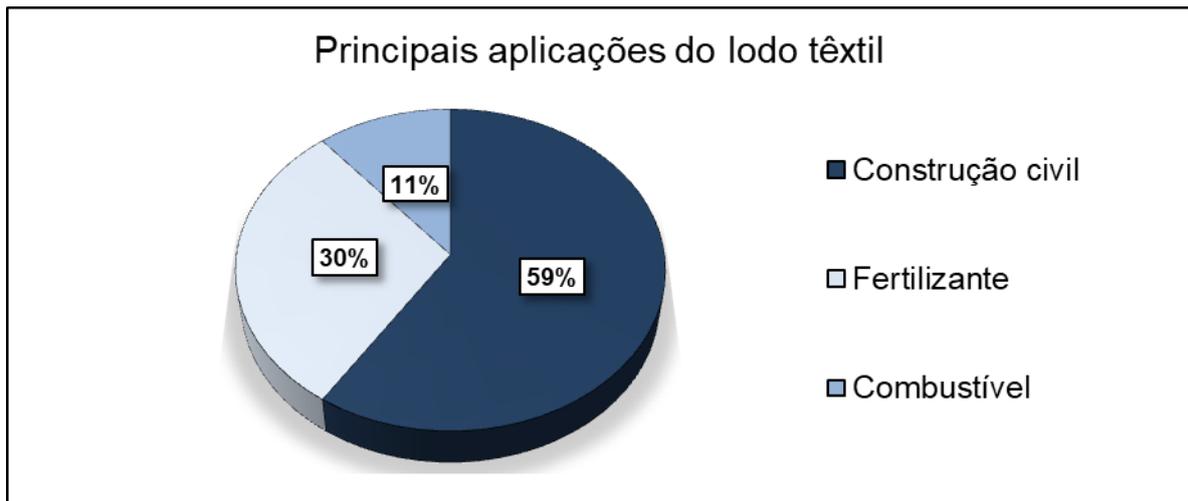


**Figura 2 - Número de trabalhos classificados por tipos de aplicação do lodo têxtil.**

Conforme apresentado na Figura 1, os métodos de tratamento foram agrupados como sendo remoção de cor, redução térmica, desaguamento, estabilização e adensamento. Os artigos sobre vários aspectos de tratamento foram identificados como sendo de abordagem em geral. A estabilização (LIANG et al., 2016; PATEL e PANDEY, 2012; KUMAR et al., 2013; LIN et al., 2015; KADAM et al., 2014; ZHANG et al., 2017; HEREK et al., 2005; ALMEIDA et al., 2011; ALMEIDA, FRANCO, TAVARES, 2015; NING, 2017; RAMOS et al., 2009 e CHAKRABARTI, et al., 2007) e redução térmica (XIE, et al., 2018; XIE, et al., 2018; ONGEN, OZCAN e OZBAS; 2015; XIE et al., 2017; PENG, MA e XU, 2015; MENDONÇA et al., 2015; ZHANG et al., 2017; GAO et al., 2017; ZHANG et al., 2018; ZHANG<sup>1</sup> et al., 2017; ZHANG<sup>2</sup> et al., 2017; PENG et al., 2015), representaram as principais formas de tratamento. Dentre os processos de redução térmica tem-se a pirólise, co-incineração e gaseificação. VASQUES, et al. (2011), estudaram a adsorção dos corantes RO16, RR2 e RR141 utilizando lodo residual da indústria têxtil.

Em relação ao uso de lodo têxtil (Figura 2), o emprego na construção civil apresentou o maior número de estudos. O lodo, após passar por tratamento adequado, serve de insumo para a fabricação de blocos cerâmicos, cimento e materiais de construção (RAHMAN et al., 2016; FEAM et al., 2016; CASTRO et al., 2015; ZHAN e POON, 2015; MONTEIRO e VIEIRA, 2014; ADYEL et al., 2013; BEGUM, et al. 2013; JÚNIOR, 2013; SABUMON, et al., 2005; PIETROBON, et al., 2004; PIETROBON, et al., 2002). O artigo de Pietrobon et. al. (2004) apresentou os estudos referentes a lixiviação de contaminantes de compostos de lodo-cimento. Pietrobon et. al. (2002) apresentaram estudos de estabilização/solidificação - e/s - de lodo de tratamento de lavanderia têxtil para reutilização como argamassa de construção. Castro et. al. (2015) fizeram estudos de caracterização de blocos cerâmicos acústicos produzidos com incorporação de lodo de lavanderia têxtil.

O uso do lodo para fins agrícolas apresentou o segundo maior número de estudos (ARAÚJO, MONTEIRO, CARDOSO, 2005; PRADO, NATALE, 2005).



**Figura 2 - Número de trabalhos classificados por tipos de aplicação do lodo têxtil.**

O número de estudos de aplicação do lodo têxtil como combustível, sendo para fabricação de biocombustíveis ou como insumo de caldeiras representaram apenas 11 % da produção (FEAM, 2016; MONTEIRO e VIEIRA, 2014; BARROS, A. A. C. et al. (2012) e FEAM (2016), sobre esses temas em periódicos (11% do total).

A revisão sistemática ainda permitiu verificar que, apesar de ser um assunto com estudos iniciados há pelo menos dezoito anos, o tema ainda é pouco estudado. A grande variedade de processos produtivos, tratamentos de efluentes, e conseqüentemente, composições de lodo têxtil, dificulta a uniformização de estudos e aplicações de tecnologias para o aproveitamento dos resíduos das indústrias têxteis.

#### RESULTADOS DO ESTUDO EXPLORATÓRIO DA EMPRESA DE BENEFICIAMENTO TÊXTIL

O processo fabril da empresa colaboradora pode ser descrito da seguinte forma: recebimento das peças, processo de tingimento, lavanderia, passadoria, embalagem e expedição.

Os produtos químicos e corantes utilizados pela empresa são ácidos, soda cáustica, corantes diretos, corantes reativos e enxofres, e a quantidade de água utilizada nesses processos é de 600.000 litros por dia.

O sistema de tratamento para os despejos líquidos industriais é constituído das seguintes unidades: gradeamento grosso, retentor de materiais sedimentáveis e flutuantes, tanque de correção do pH, elevatória de efluente bruto. (elevatória I), tanques de aeração (tanques de aeração I e II), decantador secundário e elevatória de recirculação de lodos, elevatória de efluente tratado do tratamento biológico. (elevatória II), sistema de tratamento físico-químico de polimento (sistema de preparo e dosagens de produtos químicos, dispersor hidráulico, floco decantador, filtro de areia), digestor aeróbio/concentrador de lodos. Além do sistema já implantado, existe a previsão de instalação de um conjunto de leitos de secagem e caixa medidora de vazão.

Amstras do efluente líquido tratado foram coletadas e analisadas pelo laboratório de análises HIDROLABOR- LABORATÓRIO DE CONTROLE DE QUALIDADE LTDA. Os resultados obtidos são informados no Quadro 1.

**Quadro 1 - Parâmetros para os efluentes líquidos.**

Parâmetro	Unidade	Valor de referência*	Resultado
Vazão média dos despejos líquidos industriais	m <sup>3</sup> /d	600	600
DBO	mg/L	<10	10
DQO	mg/L	<30	27
Óleos e graxas	mg/L	<1	1
pH	-	6.5 a 8.0	7,5
Sólidos sedimentáveis	mg/L	<0,1	0,1
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	<500	430
Sólidos suspensos totais	mg/L	<20	15
Fósforo	mg/L	<1	0,412
Nitrogênio Total	mg/L	<5	4,6
Surfactantes	mg/L	<1	0,5
Temperatura da amostra na coleta	°C	<30	28

Obs: \*Valores informados pelo laboratório executor das análises.

A composição química do lodo têxtil foi determinada segundo a NBR 10005/2004 e a NBR 10006/2004 pela HIDROLABOR - LABORATÓRIO DE CONTROLE DE QUALIDADE LTDA. Os Quadros 2, 3 e 4 apresentam os resultados dos parâmetros analisados para o lodo estudado em comparação com os lodos estudados por diferentes autores.

A diferença entre os processos produtivos têxteis e sistemas de tratamento de efluentes empregados proporcionam a discrepância entre alguns resultados encontrados. Os dados corroboram a informação de que os despejos desse tipo de indústria são extremamente dependentes da diversidade existente entre as etapas de fabricação, insumos empregados, técnicas de tratamento de efluentes usadas, entre outros.

O extrato solubilizado do lodo têxtil em estudo, apresentou resultados de nitrato (3,86 mg/L), sulfato (63,03 mg/L) e surfactantes (0,5 mg/L) que não foram alvos de verificação dos demais estudos descritos no Quadro 2.

Ainda no extrato solubilizado, os teores de cobre (0,22 mg/L), selênio (0,01 mg/L) e zinco (0,23 mg/L) foram maiores que os encontrados pelos autores, mesmo assim, os parâmetros satisfazem os limites permitidos pela NBR 10004:2004 (ABNT, 2004a).

O extrato solubilizado do lodo têxtil em estudo, apresentou resultados de nitrato (3,86 mg/L), sulfato (63,03 mg/L) e surfactantes (0,5 mg/L) que não foram alvos de verificação dos demais estudos descritos no Quadro 2.

Ainda no extrato solubilizado, os teores de cobre (0,22 mg/L), selênio (0,01 mg/L) e zinco (0,23 mg/L) foram maiores que os encontrados pelos autores, mesmo assim, os parâmetros satisfazem os limites permitidos pela NBR 10004:2004 (ABNT, 2004a).

**Quadro 2 - Comparação dos parâmetros de qualidade do lodo têxtil entre o estudo de caso e diversos autores para o ensaio de solubilizado.**

Solubilizados (mg/L)							
Parâmetros	Modificado de Balota (2018)	Fischer (2015)	Oliveira (2014)	Leloup (2013)	Fernandes et. al (2013)	Rosa (2004)	NBR 10004 (2004)
Arsênio	< 0,002	< 0,005	n.i.	n.i.	0,01	n.i.	0,01
Bário	0,24	0,048	n.i.	0,301	1,1	n.i.	0,7
Cádmio	< 0,001	< 0,001	0,012	0,007	0,001	n.i.	0,005
Chumbo	< 0,01	< 0,005	0,092	n.i.	0,01	n.i.	0,01
Cianeto	< 0,05	< 0,005	n.i.	n.i.	0,058	n.i.	0,07
Cobre	0,22	0,015	0,023	0,001	0,005	n.i.	2,0
Cromo	0,01	< 0,005	0,084	0,026	1,269	n.i.	0,05
Fenol Total	< 0,001	1,22	n.i.	n.i.	0,36	n.i.	0,01
Ferro	0,23	0,007	0,05	n.i.	1,62	n.i.	0,3
Fluoreto	0,3	n.i.	n.i.	n.i.	1,25	n.i.	1,5
Manganês	n.i.	0,023	0,024	n.i.	1,6	n.i.	0,1
Mercúrio	< 0,001	n.i.	n.i.	n.i.	0,0001	n.i.	0,001
Nitrato	3,86	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	10,0
Prata	< 0,005	< 0,005	n.i.	0,009	0,005	n.i.	0,05
Selênio	0,01	< 0,005	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	0,01
Sulfato	63,03	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	250,0
Surfactantes	0,5	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	0,5
Zinco	0,23	0,058	0,015	0,123	0,041	n.i.	5,0
Legenda							
n.i.= não informado							

No Quadro 3, são apresentados os resultados das análises do lixiviado do lodo têxtil analisado em comparação aos resultados encontrados na literatura.

**Quadro 3 - Comparação das composições de lodo têxtil de diversos autores para o ensaio de lixiviado.**

Lixiviados (mg/L)							
Parâmetros	Modificado de Balota (2018)	Fischer (2015)	Oliveira (2014)	Leloup (2013)	Fernandes et. al (2013)	Rosa (2004)	NBR 10004 (2004)
Arsênio	< 0,002	< 0,005	n.i.	n.i.	0,01	n.i.	0,01
Bário	0,32	0,173	n.i.	1,077	0,882	n.i.	70,0
Cádmio	< 0,001	0,001	0,012	0,003	0,001	n.i.	0,5
Chumbo	< 0,01	0,011	0,089	n.i.	0,01	n.i.	1,0
Cromo	0,03	< 0,005	0,071	0,05	0,01	n.i.	5,0
Mercúrio	< 0,001	0,0023	n.i.	n.i.	0,0001	n.i.	0,1
Prata	< 0,005	< 0,005	n.i.	0,777	0,005	n.i.	5,0
Selênio	0,061	< 0,005	n.i.	n.i.	0,008	n.i.	1,0
Legenda							
n.i.= não informado							

Nos extratos lixiviados, apenas o teor de selênio (0,061 mg/L) foi maior que o apresentado por Fischer (2015) e Fernandes et. al (2013), que foi de 0,005 mg/L e 0,008 mg/L respectivamente. Os parâmetros no extrato lixiviado também satisfazem os limites permitidos pela NBR 10004:2004 (ABNT, 2004a).

O Quadro 4 apresenta a comparação dos resultados obtidos para o ensaio de massa bruta de manganês para os lodos têxteis. As concentrações de manganês observadas no lodo têxtil alvo da análise foram bastante próximas àquelas encontradas por Fischer (2015) e superiores aos resultados encontrados por Rosa (2004). Os demais autores não avaliaram esse parâmetro.

**Quadro 4 - Comparação dos resultados do ensaio de massa bruta entre a amostra avaliada e diversos autores.**

Massa Bruta (mg/kg)							
Parâmetros	Modificado de Balota (2018)	Fischer (2015)	Oliveira (2014)	Leloup (2013)	Fernandes et. al (2013)	Rosa (2004)	NBR 10004 (2004)
Manganês	39,97	37,89	n.i.	n.i.	n.i.	30,64	1,0
Legenda							
n.i.= não informado							

As análises realizadas para o lodo gerado pela indústria alvo permitiram classificá-lo como Resíduo Classe II A - não inerte. Os resultados obtidos para os diversos parâmetros de qualidade do lodo têxtil, abaixo do limite legal, sugerem a possibilidade de uso como biomassa combustível em caldeira para geração de energia.

Visando avaliar essa potencialidade do lodo proveniente de sistema de tratamento de efluente de indústria têxtil na geração de energia, efetuou-se a sua caracterização física e química por análise elementar (carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e oxigênio) e imediata (cinzas e materiais voláteis), e verificação de sua umidade e poder calorífico superior e inferior.

Foram feitas duas amostragens do lodo. Em cada amostragem foram coletadas duas amostras, uma do lodo que estava disposto no bag para secagem e a outra no digestor aeróbio/concentrador de lodo, afim de fazer a comparação das umidades, e, através de cálculos, estimar o poder calorífico do material úmido.

A amostragem do lodo a partir do bag, foi feita conforme a norma ABNT 10007:2004. Foram coletadas duas amostras compostas, de aproximadamente 2 kg cada, obtidas em três profundidades diferentes (parte superior, meio e fundo do bag), através de um escavador manual.

A representatividade efetiva de uma amostragem em uma tinturaria é complexa devido à variedade de corantes e produtos químicos utilizados diariamente e às mudanças nos processos de acordo com a demanda. Porém, tomou-se um cuidado para que a amostragem fosse feita em um lodo referente a uma semana de trabalho, sendo esta representativa em um mês onde todos os corantes e processos tivessem sido utilizados e realizados.

As amostras coletadas foram encaminhadas ao Laboratório de Combustíveis e Lubrificantes do IPT. Os ensaios foram realizados em duplicata e foi considerada a média aritmética dos resultados obtidos.

As amostras foram identificadas como: 538-18 (amostra do bag) e 539-19 (amostra úmida) para a primeira amostragem, e 924-18 (amostra do bag) e 923-18 (amostra úmida) para a segunda amostragem. Os resultados dos ensaios físico-químicos estão apresentados no Quadro 5, junto com outros valores encontrados para lodo têxtil de diversos autores, para estudo de comparação.

**Quadro 5 – Comparação dos resultados obtidos para as propriedades físico-químicas do lodo têxteis**

Propriedades físico-químicas	Modificado de Balota (2018)		Fischer (2015)	Pasquini (2014)	Vasques (2012)	Avelar (2012)	Borges et. al, (2008)
	538-18	924-18					
Nº da amostra	538-18	924-18					
Umidade*	29,6	28,80	52,11	10,65	-	8,2	8,96
Materiais Voláteis*	28,2	25,20	35,97	51,65	-	81	46,8
Cinzas*	78,9	76,30	25,13	24,65	-	11,8	44,3
Carbono*	13,4	10,50	6,62	36,51	28,09	46,7	27,2
Hidrogênio*	1,62	1,24	6,55	4,01	5,16	6,54	4
Nitrogênio*	1	0,70	0,79	4,94	4,82	6,19	2,86
Oxigênio*	4,08	10,48	-	23,1	-	27,5	-
Enxofre*	1	0,78	-	0,98	1,82	1,32	0,33
PCS**	3,04	2,66	9,53	20,6	12,4	21,82	17
PCI**	2,69	2,39	8,8	18,49	11,5	20,35	15,4
Legenda							
*(% massa)				**(MJ/kg)			

A importância da determinação do teor de umidade da amostra se deve ao fato da influência que a água exerce em processos de combustão. Valores elevados de umidade podem levar à necessidade de secagem prévia da biomassa, visto que alta umidade implica em baixo poder calorífico.

Os teores de umidade encontrados por Pasquini (2014), Borges (2008) e Avelar (2012), podem ser considerados baixos e adequados para combustão, diferentemente de Fischer (2015) e do lodo têxtil avaliado nesse estudo, que apresentaram 52,11% e média de 29,2%, respectivamente, sendo necessária uma secagem prévia antes do uso em caldeira.

O teor de cinzas médio encontrado foi de 77,6%, em massa, indicativo da presença de grandes quantidades de substâncias inorgânicas na composição do lodo, o que é reforçado pela concentração de materiais voláteis verificada, teoricamente a carga orgânica da biomassa e responsável pela maior parte da geração de calor na combustão, em 26,70 % de média.

O elevado teor de cinzas é desvantajoso, pois diminui a transferência de calor do combustível e aumenta a corrosão dos equipamentos utilizados no processo, uma vez que os minerais não participam da combustão da biomassa (LEITE et. al, 2014).

Os resultados encontrados na literatura para a porcentagem de cinzas de lodo têxtil foram inferiores ao encontrado, sendo que o maior informado foi de 44,30% (BOTGES, 2008). Os resultados para a concentração de materiais voláteis foram os menores entre os valores disponíveis para avaliação comparativa, sendo os valores mais elevados aqueles apresentados por Avelar (2012) com 81,00%.

As concentrações encontradas de carbono, hidrogênio e nitrogênio foram em média 11,95%, 1,43% e 0,85%, em massa, respectivamente. A presença de carbono e hidrogênio no combustível contribui na energia liberada durante o processo de queima. Os resultados obtidos foram considerados baixos, esperava-se que uma maior quantidade de matéria orgânica no lodo têxtil, fato que pode ser parcialmente explicado tomando-se por referência os processos fabris empregados na indústria colaboradora, destinados ao tingimento.

Quanto às concentrações de carbono, os resultados obtidos foram inferiores àqueles encontrados na literatura, exceção feita aos resultados obtidos por Fischer (2015), 6,62%.

Segundo Knuth (2001), os efluentes originados pela indústria têxtil costumam apresentar “níveis relativamente baixos” de metais pesados. Porém, podem possuir, muitas vezes, altas concentrações de outros metais e materiais inorgânicos, provenientes das substâncias usadas na etapa físico-química no processo de tratamento

do efluente bem como presentes na água usada no processo industrial, resultando em lodo com menor quantidade de matéria orgânica e, conseqüentemente, menor teor de carbono presente.

As concentrações de hidrogênio apresentadas pelos autores pesquisados foram bem maiores que aquelas verificadas no lodo em estudo, com concentrações entre 4,0 % e 6,5 %. Quanto ao valor de nitrogênio, somente os valores encontrados por Fischer (2015) foram inferiores aos encontrados para o lodo têxtil em estudo.

As concentrações de oxigênio e de enxofre encontradas foram, em média, de 7,28% e 0,89% respectivamente. De acordo com Rodrigues (2010), o carbono, o hidrogênio e o enxofre são elementos que contribuem positivamente para a liberação de energia durante o processo de combustão, enquanto o oxigênio contribui negativamente como componente combustível. Contudo, a presença de oxigênio na biomassa contribui para as reações de oxidação, funcionando como comburente.

O poder calorífico pode ser definido como a quantidade de calor liberada na combustão completa de uma unidade de massa combustível. Esta propriedade é de grande importância principalmente na hipótese de utilização de resíduos como fonte de energia.

Segundo a decisão de diretoria da CETESB nº 027/2008/P, de 04 de março de 2008, que dispõe um procedimento para utilização de resíduos não perigosos da indústria têxtil em caldeiras no estado de São Paulo, o resíduo ou mistura de resíduos a ser utilizado como substituto de combustível para fins de aproveitamento energético, deve ter poder calorífico inferior, na base seca, acima de 2775 kcal/kg (11,62 MJ/kg).

O valor médio encontrado para o poder calorífico superior e inferior do lodo têxtil analisado foi 2,85 MJ/kg e 2,54 MJ/kg respectivamente, portanto, inferior ao necessário para que possa ser utilizado como combustível alternativo.

A quantidade de matéria orgânica e cinzas presentes tem influência direta no resultado do poder calorífico. Quanto maior o teor de cinzas, menor é a quantidade de matéria orgânica na amostra, e assim, menor o poder calorífico do material.

A pequena quantidade de matéria orgânica pode ser verificada, devido ao processo produtivo, sistema de tratamento de efluentes adotado (existência de um digestor) e aos produtos químicos utilizados, tanto no processo fabril quanto no sistema de tratamento.

Os demais autores verificaram poder calorífico mais altos nos lodos avaliados em seus trabalhos. O maior PCI encontrado foi de Avelar (2012) com 20,35 MJ/kg, seguido por 18,49 MJ/kg de Pasquini (2014), 15,40 MJ/kg de Borges (2008), 11,50 MJ/kg de Vasques (2012) e por fim Fischer (2015) com 8,80 MJ/kg. A variabilidade entre os resultados descritos pode ser relacionada aos diferentes processos produtivos têxteis, tipos de insumos utilizados e tratamento de efluentes adotados. Nos trabalhos avaliados, todos os autores consideraram os lodos têxteis viáveis para serem utilizados em caldeira, com algumas ressalvas de análises de umidade, cinzas e emissões atmosféricas, conforme as resoluções pertinentes a cada estado e com base nas análises físico-químicas.

As amostras de lodo têxtil retiradas do concentrador de lodos, para análise comparativa de umidade, apresentaram os resultados apresentados no Quadro 6.

**Quadro 6 - Propriedades físico-químicas na amostra de lodo têxtil úmida.**

Propriedades físico-químicas	Modificado de Balota (2018)	
	539-18	923-18
Nº da amostra	539-18	923-18
Umidade do material como recebido	86,4	82,7
PCS (MJ/kg)	2,14	1,89
PCI (MJ/kg)	1,18	1,01

Os teores de umidade encontrados nas amostras úmidas foram 86,4% e 82,7% em massa. Os valores foram bem superiores aos encontrados nas amostras que estavam em processo de secagem em bags há uma semana,

na média de 29,2% em massa, sendo este processo de secagem válido, porém não muito eficiente, visto que a umidade ainda é alta para o objetivo.

Os valores do poder calorífico superior e inferior, referente às amostras úmidas, foram estimados em 2,14 MJ/Kg e 1,89 MJ/Kg para o PCS e 1,18 MJ/Kg e 1,01 MJ/Kg para o PCI. Os resultados estimados para o poder calorífico foram menores em relação às apresentadas na literatura, validando a ideia de que a umidade interfere no poder de combustão do material.

## **CONCLUSÃO**

Por meio da revisão sistemática realizada neste estudo, constatou-se que 35 artigos científicos se referiam aos diversos tratamentos de lodo têxtil entre os anos de 2000 e 2018, sendo os entre 2015 e 2018 os de maior incidência de produção, com cerca de 65% do total dos artigos recuperados.

Foram encontrados três estudos com uma abrangência maior sobre tratamentos de lodo têxtil, sendo estes entre dissertações. Os tratamentos de lodo têxtil com maior incidência entre os estudos avaliados foram a estabilização e redução térmica.

Quanto às aplicações de lodo têxtil, foram recuperados 25 artigos científicos no período de 2002 a 2018. A aplicação mais usual do lodo têxtil foi na área de construção civil.

Vale ressaltar a necessidade de maiores estudos e visibilidade sobre a importância de tratamentos adequados e aplicações de lodo têxtil, a fim de tratá-los de forma adequada e talvez requalificá-los como subprodutos, diminuindo sua disposição final em aterros.

A grande diversidade de composição química, os diversos tipos de processos de beneficiamento e a grande variedade de substâncias químicas necessárias, os corantes, por exemplo, aliados às diversas possibilidades de sistemas de tratamentos de efluentes que podem ser adotados no setor têxtil ressaltam a necessidade de se realizar estudos personalizados para alternativas de aproveitamento de subprodutos. Essa realidade demonstra que definir um meio de valorizar o lodo têxtil tornando-o não um resíduo e sim um subproduto não é simples e exige estudos aprofundados frente às aplicações citadas na literatura científica ou a elaboração de novas abordagens.

A utilização do lodo têxtil como combustível substituto em caldeiras tem sido uma alternativa, não apenas por conta do problema acima apresentado, como pela necessidade de se obter alternativas renováveis para geração de energia frente à escassez dos combustíveis fósseis. Contudo, para uma substância poder ser considerada um combustível, esta deve apresentar determinadas características, como por exemplo, poder calorífico alto. O caráter de combustibilidade é dependente da composição do material, a qual deve apresentar matéria orgânica em maior proporção aos demais componentes químicos.

No estudo de caso da empresa de beneficiamento têxtil, foram verificadas várias informações e laudos, no intuito de conhecer o tipo de lodo produzido. O lodo têxtil foi classificado como resíduo não perigoso e não inerte (Classe II A), podendo ter propriedades, tais como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

O lodo têxtil foi submetido a análises físico-químicas, a fim de se verificar a viabilidade técnica do material quanto a seu uso como combustível. Além disso, os resultados obtidos para a caracterização do das amostras avaliadas foram comparadas com resultados obtidos por outros autores.

Nos testes físico-químicos, as características encontradas não demonstraram viabilidade de utilização do resíduo estudado, como material combustível para caldeiras. Já nos trabalhos comparados ao estudo de caso, todos autores consideraram os lodos têxteis viáveis para serem utilizados em caldeira, com algumas ressalvas de análises de umidade, cinzas e emissões atmosféricas.

A diferença nos processos produtivos têxteis proporciona a discrepância entre alguns resultados. Os dados corroboram a informação de que os despejos desse tipo de indústria são extremamente dependentes da

diversidade existente entre as etapas de fabricação, insumos empregados, técnicas de tratamento de efluentes usadas, entre outros.

O lodo têxtil avaliado, apesar de apresentar composição química esperada, em conformidade com os requisitos exigidos pela NBR 10004:2004, não apresentou características físico-químicas adequadas ao seu uso como insumo combustível para caldeiras, com destaque ao baixo poder calorífico.

Embora a importância dessa busca por tratamentos e aplicações, para requalificar o resíduo, valorizando-o como subproduto, a principal maneira de se conduzir o problema da geração de resíduos deve ser: a redução da geração do lodo na fonte, ou seja, atuar de forma preventiva e não somente reativa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT– ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004 - resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: 2004a. 77p.
2. ABNT– ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007 Amostragem de resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: 2004b. 25p.
3. ABNT– ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006 – procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: 2004c. 7p.
4. ADYEL, T. M. et al. Reuse Feasibility of Electrocoagulated Metal Hydroxide Sludge of Textile Industry in the Manufacturing of Building Blocks. Waste Management. Bangladesh, 2013.
5. ALMEIDA, P. H. S.; FRANCO, J. M.; TAVARES, C. R. G. Influência do tipo de argila no processo de solidificação/ estabilização de lodo têxtil. **Cerâmica**. Brasil, 2015.
6. ALMEIDA, Carla Cristina Rosa de. Setor Têxtil: São Paulo: Ebah, 2012. 42 slides, color. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAFUo8AI/setor-textil?part=2>>. Acesso em: 23 fev. 2018.
7. ALMEIDA, P. H. S.; FRANCO, J. de M.; TAVARES, C. R. G. Influência do tipo de argila no processo de solidificação/ estabilização de lodo têxtil. **Cerâmica**, Maringá, v. 61, p.137-144, mar. 2015. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
8. ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; CARDOSO, P. F. Composto de lodo têxtil em plântulas de soja e trigo. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasil, 2005.
9. ARAUJO, A.S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; CARVALHO, E. M. S. Effect of composted textile sludge on growth, nodulation and nitrogen fixation of soybean and cowpea. **Bioresource Technology**. Brasil, 2006.
10. ARAUJO, A.S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Microbial biomass and activity in a Brazil soil amended with untreated and composted textile sludge. **Chemosphere**. Brasil, 2006.
11. AVELAR, Nayara Vilela. Potencial dos resíduos sólidos da indústria têxtil para fins energéticos. 2012. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012. Disponível em: <[file:///C:/Users/mahme/AppData/Local/Temp/Temp3\\_lodo textil.zip/lodo textil.pdf](file:///C:/Users/mahme/AppData/Local/Temp/Temp3_lodo%20textil.zip/lodo%20textil.pdf)>. Acesso em: 23 jan. 2018.
12. AVELAR, N. V. et al. Evaluation of briquettes made from textile industry solid waste. **Renewable Energy**. Brasil, 2016.
13. BEGUM, B. S. S. et al. Utilization of textile effluent wastewater treatment plant sludge as brick material. **J Mater Cycles Waste Management**, Tamil Nadu, v. 15, p.564-570, maio 2013. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
14. BALOTA, Mariana Medeiros Martins. Lodo têxtil: revisão sistemática de métodos de tratamento e potencial uso como insumo combustível de caldeira. 2018. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2018.
15. BORGES, F.; SELLIN, N.; MEDEIROS, S. H. W. CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DE LODOS DE EFLUENTES SANITÁRIO E INDUSTRIAL COMO BIOMASSA NA GERAÇÃO DE ENERGIA. **Ciência & Engenharia**. Joinville, p. 27-32. jan. 2008. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/19773046-Characterizacao-e-avaliacao-de-lodos-de-efluentes-sanitario-e-industrial-como-biomassa-na-geracao-de-energia.html>>. Acesso em: 03 maio 2018.
16. CASTRO, T. M. et al. Caracterização de blocos cerâmicos acústicos produzidos com incorporação de lodo de lavanderia têxtil. **Eng Sanit Ambient**, Paraná, v. 20, n. 1, p.47-54, jan/mar 2015. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
17. CETESB. Resíduos Sólidos. 2018. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/>>. Acesso em: 01 fev. 2018.

18. CHAKRABARTI, T. et al. Biodiversity and dye decolourization ability of a acclimatized textile sludge. **Bioresource Technology**. India, 2007.
19. COGO, M. C. Estudo de caracterização e disposição dos resíduos de uma indústria têxtil do estado do Rio Grande do Sul. 2011. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande de Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/38373/000823871.pdf?...1>>. Acesso em: 19 fev. 2018.
20. CUNHA, A. C. L. L. Avaliação do ciclo de vida (ACV) de tecnologia de remediação: contextualização e proposta de aplicação para uma área contaminada por Hexaclorociclohexano (HCH). 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2012.
21. DEBASTIANI, E. L.; MACHADO, L. A. Estudo sobre a geração de resíduos sólidos nas indústrias de confecção têxtil no município de Erechim-RS. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 3., 2012, Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves: 3º Congresso Internacional de Tecnologias Para O Meio Ambiente, 2012. p. 1 - 8. Disponível em: <<http://www.proamb.com.br/downloads/0zmrad.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2018.
22. FEAM et al. Avaliação do aproveitamento de lodos da indústria têxtil. **Guia Técnico FEAM**. Brasil, 2016.
23. FENG, L. et al. Enhancement of textile-dyeing sludge dewaterability using a novel cationic polyacrylamide: role of cationic block structures. **The Royal Society of Chemistry**. China, 2017.
24. FISCHER, Sergio Odilon. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DE LODO TÊXTEL COMO BIOMASSA COMBUSTÍVEL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA. 2015. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2015. Disponível em: <[http://univille.edu.br/account/mep/VirtualDisk.html?action=readFile&file=Dissertacao\\_Sergio\\_Odilon\\_Fischer.pdf&file=Dissertacoes/Turma\\_VII](http://univille.edu.br/account/mep/VirtualDisk.html?action=readFile&file=Dissertacao_Sergio_Odilon_Fischer.pdf&file=Dissertacoes/Turma_VII)>. Acesso em: 18 abr. 2018.
25. GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. *Epidemiologia e Serviço de Saúde*, Brasília, v. 1, n. 23, p.183-184, mar. 2014. Disponível em: <<http://scielo.iec.gov.br/pdf/ess/v23n1/v23n1a18.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2018.
26. GAO, Z. et al. Microwave pyrolysis of textile dyeing sludge in a continuously operated auger reactor: condensates and non-condensable gases. **Environmental Pollution**. China, 2017.
27. JÚNIOR, M. L. D. Incorporação de lodo têxtil em blocos cerâmicos. Graduação. 2013.
28. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. – Paraná, Brasil, 2013.
29. KADAM, A. A. et al. Zinc chloride as a coagulant for textile dyes and treatment of generated dye sludge under the solid state fermentation: hybrid treatment strategy. **Bioresource Technology**. Korea, 2014.
30. KNUTH, K. R. Gestão Ambiental: Um estudo de caso para o setor têxtil – SC. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2001.
31. LEÃO, M. D. et al. Controle ambiental na indústria têxtil: acabamento de malhas. 1 edição. Projeto Minas Ambiente. Editora Segrac. Belo Horizonte, 2002.
32. LEITE, E. R. S.; PROTÁSIO, T. P.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F.; TONOLIS, G. H. D.; BUFALINO, L. Avaliação da qualidade da madeira de coffee arábica L. como fonte de energia. *CERNE*, v. 20 n. 4, p. 541-549, 2014.
33. LIN, M. et al. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in textile dyeing sludge with ultrasound and fenton processes: effect os system parameters and synergistic effect study. **Journal of Hazardous Materials**. China, 2015.
34. LIANG, J. et al. Degradation of aromatics amines in textile-dyeing sludge by combining the ultrasound technique with potassium permanganate treatment. **Journal of Hazardous Materials**. China, 2016.
35. LUO, H. et al. Effects of sawdust-CPAM on textile dyeing sludge dewaterability and filter cake properties. **Bioresource Technology**. China, 2013.
36. MENDONÇA, A. R. V. et al. Thermogravimetric analysis and kinetic study of pyrolysis and combustion of residual textile sludge. **J Therm Anal Calorim**. Hungria, 2015.
37. MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. On the production of fired clay bricks from waste materials: a critical update. **Construction And Building Materials**, Rio de Janeiro, v. 68, p.599-610, jul. 2014. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
38. NING, X. et al. Enhanced dewaterability of textile dyeing sludge using micro-electrolysis pretreatment. **Journal Environmental Management**. China, 2015.
39. NING, X. et al. Sludge treatment by integrated ultrasound-Fenton process: Characterization of sludge organic matter and its impact on PAHs removal. **Journal of Hazardous Materials**. China, 2017.

40. ONGEN, A.; OZCAN, H. K.; OZBAS, E. E. Gasification of biomass and treatment sludge in a fixed bed gasifier. *Internacional Journal of Hydrogen Energy*. Turquia, 2015.
41. PASQUINI, Nilton Cesar. Uso Potencial como Fonte de Energia de Lodo Proveniente de Esgoto Doméstico e Industrial. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, São Carlos, v. 16, n. 1, p.1-23, jan. 2014. Semestral. Disponível em: <<https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/2925/0>>. Acesso em: 03/05/2018.
42. PATEL, H. e PANDEY, S. Evaluation of physical stability and leachability of Porthland Pozzolona Cement (PPC) solidified chemical sludge generated from textile wastewater treatment plants. **Journal of Hazardous Materials**. India, 2012.
43. PENG, X.; MA, X.; XU, Z. Thermogravimetric analysis of co-combustion between microalgae and textile dyeing sludge. **Bioresource Technology**. China, 2015.
44. PENG, X. et al. Co-pyrolysis between microalgae and textile dyeing sludge by TG-FTIR: Kinetics and products. **Energy Conversion and Management**. China, 2015.
45. PIETROBON, C. L. R. et al. Estudos preliminares sobre estabilização/solidificação - e/s - de lodo de tratamento de lavanderia têxtil para reutilização como argamassa de construção: exame de caso para Maringá, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum Technology*. Brasil, 2002.
46. PIETROBON, C. L. R. et al. Lixiviação de contaminantes de compostos de lodo-cimento. *Acta Scientiarum Technology*. Brasil, 2004.
47. PRADO, R. M. e NATALE, W. Desenvolvimento inicial e estado nutricional do maracujazeiro em resposta à aplicação de lodo têxtil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasil, 2005.
48. RAHMAN, Md. Mostafizur et al. Textile Effluent Treatment Plant Sludge: Characterization and Utilization in Building Materials. *Arabian Journal For Science And Engineering*, [s.l.], v. 42, n. 4, p.1435-1442, 6 set. 2016. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s13369-016-2298-9>. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
49. ROSA, E. V. C. et al. Ecotoxicological evaluation of the short terms effects of fresh and stabilized textile sludges before application in forest soil restoration. *Environmental Pollution*. Brasil, 2006.
50. SABUMON, P. C. et al. Reuse of textile effluent treatment plant sludge in building materials. *Waste Management*. India, 2005.
51. SONAI, G. G. et al. The application of textile sludge adsorbents for the removal of reactive red 2 dye. *Journal of Environmental Management*. Brasil, 2015.
52. VASQUES, A. R. et al. Adsorção dos corantes RO16, RR2 e RR141 utilizando lodo residual da indústria têxtil. **Eng Sanit Ambient**, São Carlos, v. 16, n. 3, p.245-252, jul/set 2011. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
53. VASQUES, Andressa Regina. CARACTERIZAÇÃO DE ADSORVENTES OBTIDOS POR COMBUSTÃO E PIRÓLISE DE LODO RESIDUAL E APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS. 2012. 130 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/100696/313726.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 03 maio 2018.
54. XIE, W. et al. Assessing thermal behaviors and kinetics of co-combustion of textile dyeing sludge and sugarcane bagasse. **Applied Thermal Engineering**. China, 2017.
55. XIE, W. et al. Comparative thermogravimetric analyses of co-combustion of textile dyeing sludge and sugarcane bagasse in carbon dioxide/oxygen and nitrogen/ oxygen atmospheres: Thermal conversion characteristics, kinetics, and thermodynamics. **Bioresource Technology**. China, 2018.
56. XIE, C. et al. Co-combustion thermal conversion characteristics of textile dyeing sludge and pomelo peel using TGA and artificial neural networks. **Applied Energy**. China, 2018.
57. ZHAN, B. J.; POON, C. S. Study on feasibility of reutilizing textile effluent sludge for producing concrete blocks. *Journal of Cleaner Production*. Hong Kong, 2015.
58. ZHANG<sup>1</sup>, J. et al. Combined ultrasound with Fenton treatment for the degradation of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in textile dyeing sludge. **Environ Geochem Health**. China, 2017.
59. ZHANG<sup>2</sup>, H. et al. Microwave pyrolysis of textile dyeing sludge in a continuously operated auger reactor. *Fuel Processing Technology*. China, 2017.
60. ZHANG, H. et al. Microwave-assisted pyrolysis of textile dyeing sludge, and migration and distribution of heavy metals. **Journal of Hazardous Materials**. China, 2018.