

TEXTILE SLUDGE: A VALORIZATION ANALYSIS WITH CPQVA SYSTEMATIC**LODO TÊXTIL: UMA ANÁLISE DE VALORIZAÇÃO COM A SISTEMÁTICA CPQVA****WANESSA MIOTTO**<https://orcid.org/0009-0009-6258-5810/> wanessamiotto@gmail.com

UNIVILLE: Joinville, Santa Catarina, BR

BIANCA GOULART DE OLIVEIRA MAIA<https://orcid.org/0000-0001-7705-2173/> bianca.maia@univille.br

UNIVILLE: Joinville, Santa Catarina, BR

NOELI SELLIN<https://orcid.org/0000-0001-5613-6247/> noeli.sellin@univille.br

UNIVILLE: Joinville, Santa Catarina, BR

Recebido em: 10/08/2025

Aprovado em: 30/12/2025

Publicado em: 30/12/2025

**RESUMO**

A indústria têxtil é pioneira em inovação, buscando sustentabilidade em seus processos. Durante a fabricação, gera-se o lodo têxtil, cuja composição varia conforme o produto e o tratamento de efluentes. No Brasil, são geradas aproximadamente 73 mil toneladas deste resíduo anualmente. Grande parte é destinada a aterros sanitários e, em alguns casos, acredita-se que ocorra o descarte irregular em corpos hídricos, causando problemas ambientais crescentes. Este trabalho avaliou formas de valorização do lodo têxtil aplicando a sistemática CPQVA (Classificação, Potencialidade, Quantidade/Viabilidade e Aplicabilidade), um sistema de tomada de decisão para valorização de resíduos industriais. Inicialmente realizou-se uma revisão bibliográfica utilizando uma ferramenta de inteligência artificial, sobre pesquisas que aplicaram a sistemática CPQVA e valorizaram o lodo têxtil em três áreas: agrícola, construção civil e geração de energia - em que foram filtrados 4 trabalhos para cada área. Posteriormente, coletou-se amostras de lodo de uma indústria têxtil, para caracterização e quantificação deste. Com estes dados, aplicou-se a sistemática CPQVA, considerando os interesses da empresa. Para cada critério foram respondidos 12 questionamentos, com pesos conforme seu nível de importância, e às respostas atribuídos pesos conforme a dificuldade para valorizar o resíduo. Calculou-se os índices de criticidade para cada critério e o índice total. Os resultados apontaram índices de criticidade de 3,28 para produtos cerâmicos na construção civil (blocos, concreto não estrutural e asfáltico), 3,37 para biomassa em briquetes e 3,08 para substrato para codigestão anaeróbica. Assim, a sistemática CPQVA demonstrou que tais produtos têm elevado potencial para valorização do lodo têxtil.

Palavras-chave: cpqva; lodo têxtil; sustentabilidade industrial; valorização de resíduos.

ABSTRACT

The textile industry is a pioneer in innovation, striving for sustainability in its processes. During manufacturing, textile sludge is generated, the composition of which varies depending on the product and effluent treatment. In Brazil, approximately 73,000 tons of this waste are generated annually. Much of it is sent to landfills, and in

some cases, it is believed to be improperly discharged into water bodies, causing increasing environmental problems. This study evaluated ways to valorize textile sludge using the CPQVA (Classification, Potential, Quantity/Feasibility, and Applicability) system, a decision-making system for valorizing industrial waste. Initially, a literature review was conducted using an artificial intelligence tool, covering studies that applied the CPQVA system and valorized textile sludge in three areas: agriculture, construction, and energy generation. Four studies were filtered for each area. Subsequently, sludge samples were collected from a textile industry for characterization and quantification. Using this data, the CPQVA system was applied, considering the company's interests. For each criterion, 12 questions were answered, weighted according to their level of importance, and the responses were weighted according to the difficulty in valorizing the waste. Criticality indices were calculated for each criterion and the total index. The results indicated criticality indices of 3.28 for ceramic products in civil construction (blocks, non-structural concrete, and asphalt), 3.37 for biomass briquettes, and 3.08 for substrate for anaerobic co-digestion. Thus, the CPQVA system demonstrated that these products have high potential for valorizing textile sludge.

Keywords: cpqva; textile sludge; industrial sustainability; waste valorization.

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil e de confecção brasileira é a sexta maior do mundo (BNDES, 2009). Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2023), em 2021, a produção têxtil nacional atingiu 2,16 milhões de toneladas.

Os processos de fabricação incluem etapas com alto consumo de água e insumos químicos, em que a indústria consome anualmente 93 trilhões de litros de água, o que representa 4% da captação global de água doce (BRASIL DE FATO, 2022).

O lodo têxtil é gerado nas estações de tratamento de efluentes (ETE) e o seu descarte é um desafio ambiental. Práticas comuns incluem envio a aterros, mas alternativas estão sendo estudadas para seu reaproveitamento, como sua valorização nos setores da construção civil, geração de energia e agricultura (ASRATIE, 2019).

A fim de promover a valorização de resíduos, Rapp-Pereira (2006) desenvolveu a sistemática CPQVA, baseada em quatro critérios: Classificação (C), Potencialidade (P), Quantidade/Viabilidade (Qv) e Aplicabilidade (A). Com base nela, um resíduo pode ser avaliado como fonte alternativa para o desenvolvimento de novos produtos, considerando os seguintes critérios: (i) classificação legal quanto à periculosidade; (ii) identificação do seu potencial de reaproveitamento; (iii) a avaliação da quantidade gerada, disponibilidade e viabilidade técnica; (iv) a proposição de uma aplicação viável como novo produto.

Embora existam estudos sobre diversas formas de valorização do lodo têxtil, faltam análises críticas que permitam comparar essas alternativas de maneira estruturada. Diante deste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de valorização do lodo têxtil tanto do ponto de

vista industrial como ambiental. Para isso adotou-se a sistemática CPQVA, como ferramenta de análise criteriosa das possibilidades de aplicação do lodo têxtil, contribuindo para a tomada de decisão estratégica e a mitigação dos impactos ambientais decorrentes da atividade têxtil.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de duas frentes principais: revisão sistêmica da literatura com apoio de uma ferramenta de Inteligência Artificial (IA) e uma investigação experimental com amostras de lodo têxtil fornecidas por uma empresa parceira.

Para a revisão bibliográfica, foi utilizada a ferramenta de IA Research Rabbit, escolhida devido a sua interface intuitiva e capacidade de organizar, visualizar e sugerir estudos relevantes com base em palavras-chave e conexões entre autores (SINGAPORE, 2021).

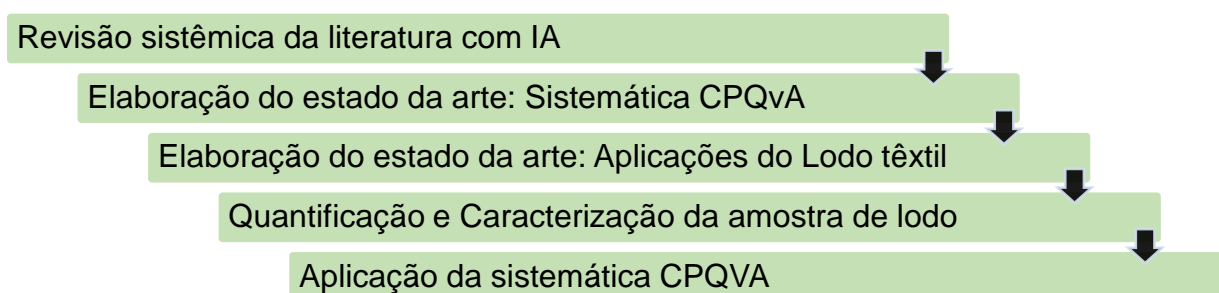
Com o uso da ferramenta, foram coletadas publicações relacionadas à aplicação da sistemática CPQVA e às possíveis formas de aproveitamento do lodo têxtil.

A avaliação da viabilidade do resíduo considerou três áreas principais de aplicação: agrícola, construção civil e geração de energia, conforme abordagem proposta por Balota et al. (2019).

Paralelamente à revisão teórica, foram realizadas análises laboratoriais para caracterizar o lodo têxtil e quantificar sua geração. A empresa parceira, localizada no estado de Santa Catarina forneceu tanto as amostras do resíduo quanto os dados históricos de produção de lodo.

A sistemática CPQVA foi aplicada com base nas informações obtidas, buscando-se identificar quais formas de reaproveitamento do lodo têxtil apresentam maior viabilidade técnico-econômica. Na Figura 1 é apresentado o fluxograma com as etapas metodológicas desta pesquisa.

Figura 1 - Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Autora (2024).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Revisão sistêmica com IA

Com o uso da ferramenta *Research Rabbit*, foram conduzidas as etapas descritas na metodologia. Inicialmente, criou-se uma categoria denominada “Dissertação”, e posteriormente foram formadas coleções específicas para os seguintes temas: Inteligência Artificial, CPQVA, Lodo Têxtil – Agricultura, Lodo Têxtil – Construção Civil e Lodo Têxtil – Energia.

A pesquisa foi realizada por meio de palavras-chave previamente selecionadas, garantindo a identificação de artigos atualizados e pertinentes. Os artigos relevantes foram adicionados às coleções correspondentes. A ferramenta também sugeriu trabalhos similares, anteriores e posteriores aos já selecionados, assim como pesquisadores com linhas de estudo semelhantes. Tais sugestões foram cuidadosamente analisadas e, quando adequadas ao escopo, incluídas na base da pesquisa.

Na Figura 2 é exibida a visualização gráfica das conexões entre os artigos por meio do mapa mental gerado pela plataforma.

Figura 2 - Revisão sistêmica da literatura com a ferramenta de IA Research Rabbit



Fonte: Autora (2024).

3.2 Estado da arte: Sistemática CPQVA

A construção do estado da arte sobre a sistemática CPQVA foi baseada na seleção de pesquisas que aplicaram esse sistema ou utilizaram o guia de aplicação correspondente. Para essa seleção, foram considerados artigos publicados nos últimos cinco anos (2020 – 2024) conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Relação de artigos que aplicaram a sistemática CPQVA

Referência	Resíduo	Aplicação
Vilaça (2020)	Mineração de ferro	Camadas de pavimentos asfálticos; Agregado para blocos de concreto; Agregado miúdo para argamassa; Agregado para artefatos cerâmicos

Simão <i>et al.</i> (2021)	Pedra (indústria de rochas ornamentais)	Matéria-prima em materiais à base de cimento e formulações cerâmicas
Prates <i>et al.</i> (2022)	Cloreto de magnésio	Nanofertilizante
Faraco (2023)	Rejeitos de carvão	Argamassa, fertilizante, zeólitas, geopolímeros e concreto asfáltico
Oliveira <i>et al.</i> (2023)	Casca cerâmica	Filtro e agregado para argamassa refratária
Machado <i>et al.</i> (2023)	Areia de fundição	Massa asfáltica, blocos de concreto para construção civil e blocos de concreto hexagonais para pavimentos intertravados
Rebelo <i>et al.</i> (2024)	Rejeitos de carvão	Argila cerâmica
Sulista (2024)	Areia de quartzo	Células solares; moldes de fundição; tijolos refratários; vidro e cerâmica

Fonte: Autora (2024).

Esses trabalhos foram fundamentais para compreender as adaptações da CPQVA conforme o tipo de resíduo e área de aplicação. A sistemática, ainda que aplicada a diferentes resíduos, mantém como objetivo central a análise crítica da viabilidade de valorização.

3.3 Estado da arte: Aplicações de lodo têxtil

O estado da arte sobre aplicações de lodo têxtil foi construído com base em estudos que abordam sua valorização nas áreas de agricultura, construção civil e geração de energia. Os trabalhos selecionados apresentaram procedimentos experimentais que comprovaram a viabilidade do uso do lodo têxtil nessas aplicações, conforme apresentado na Tabela 2. Para garantir a atualidade das publicações, foram considerados os artigos publicados nos últimos cinco anos (2020 – 2024).

Tabela 2 - Relação de artigos que valorizaram o lodo têxtil

Identificação	Referência	Área de aplicação	Aplicação
---------------	------------	-------------------	-----------

LT1	Deus <i>et al.</i> (2020)	Agricultura	Fertilizante para produção de cana de açúcar
LT2	Stamford <i>et al.</i> (2020)		Fertilizante para produção de feijão-caupi
LT3	Lins <i>et al.</i> (2020)		Fertilizante
LT4	Zaman <i>et al.</i> (2023)		Vermicompostagem
LT5	Oliveira <i>et al.</i> (2020)	Construção civil	Pavimentos
LT6	Beshah <i>et al.</i> (2021)		Blocos cerâmicos
LT7	Kasaw <i>et al.</i> (2021)		Concreto para aplicações não estruturais
LT8	Moura <i>et al.</i> (2024)		Concreto asfáltico
LT9	Draeger <i>et al.</i> (2021)	Energia	Briquetes
LT10	Demeke <i>et al.</i> (2023)		
LT11	Gadhi <i>et al.</i> (2023)		
LT12	Temel e Yangin-gomec (2023)		Substrato para codigestão anaeróbica

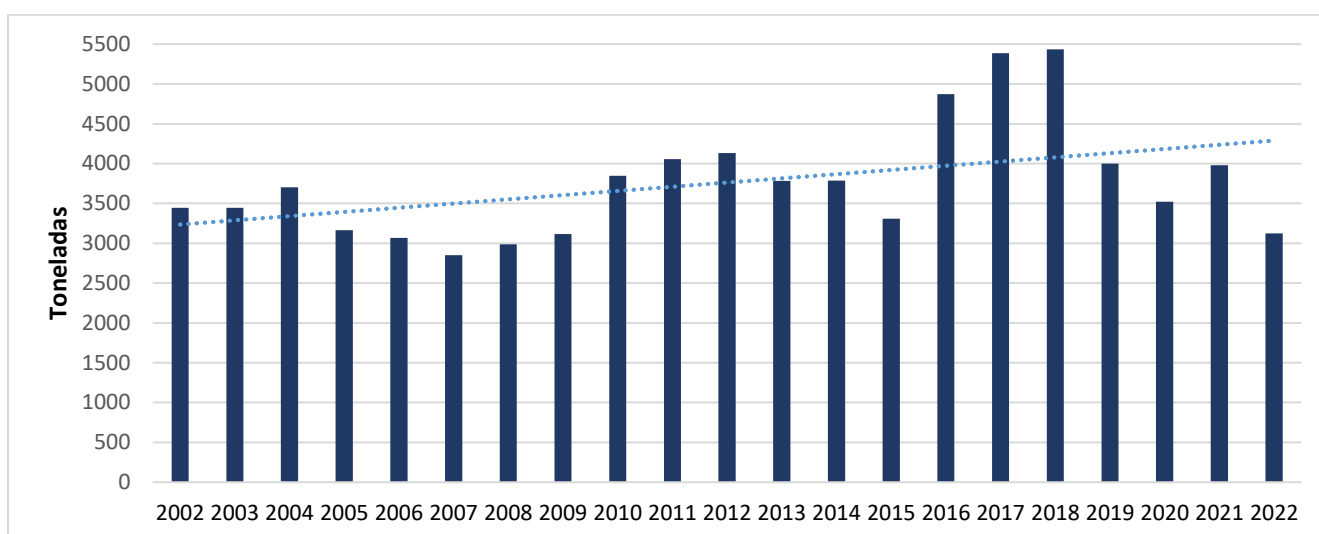
Fonte: Autora (2024).

Conforme apresentado na Tabela 2, foram selecionados 12 artigos, com quatro estudos representando cada um das três áreas de aplicação. Esta quantidade foi definida com base nos trabalhos de Oliveira (2023) e Vilaça (2020), que também elaboraram o estado da arte com 13 e 12 artigos, respectivamente, ao desenvolverem a sistemática CPQVA a partir da revisão das potenciais aplicações dos resíduos avaliados.

3.4 Quantificação e Caracterização do lodo

Com base em relatórios da empresa parceira, foi possível levantar os dados de geração de lodo entre os anos de 2002 e 2022. Esses resíduos, atualmente, são dispostos em aterro sanitário interno. Na Figura 3 está ilustrado a variação anual da geração de lodo nesse período.

Figura 3 - Quantidade (toneladas) de lodo têxtil gerado na ETE de 2002 a 2022.

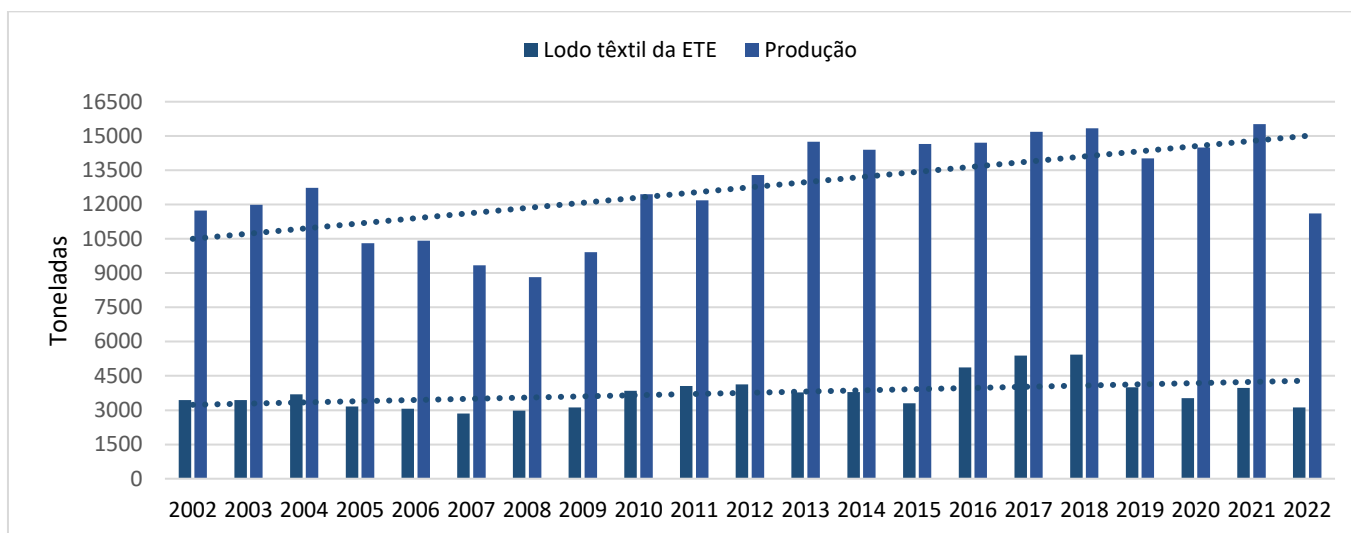


Fonte: Autora (2024).

Segundo Pinto (2009), o Brasil gera anualmente cerca de 73 mil toneladas de lodo têxtil. A geração anual de lodo têxtil, somente na empresa avaliada (Figura 2), apresenta uma variação considerável, oscilando entre 2.850 toneladas e 5.430 toneladas, com uma média de 3.760 toneladas, o que representa aproximadamente 3,9% e 7,4% da produção nacional. Ainda que existam oscilações ao longo dos anos, observa-se uma tendência crescente na geração do resíduo.

Para investigar as causas dessas oscilações, foram analisados também os relatórios de produção anual de produtos acabados no mesmo período. A comparação entre a quantidade de lodo gerado e a produção resultou na elaboração da Figura 4.

Figura 4 - Comparativo entre a produção de produtos acabados e o lodo têxtil gerado na ETE

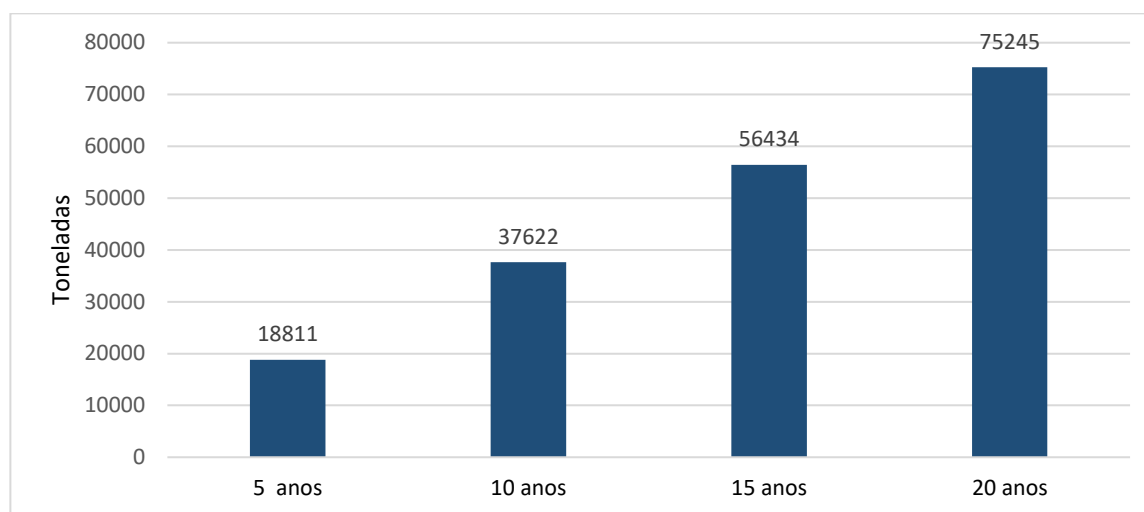


Fonte: Autora (2024).

Na Figura 3 é evidenciado variações consideráveis na produção anual, que variam entre 8.825 toneladas e 15.515 toneladas, com uma média de 12.750 toneladas. A linha de tendência da produção aponta para um crescimento gradual ao longo do tempo, o que permite inferir que há relação direta entre a quantidade de produtos fabricados (volume de produção) e a geração de lodo.

Com base nas informações históricas, foi realizada uma projeção da quantidade de lodo gerado para os próximos 20 anos, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Projeção de geração acumulada de lodo



Fonte: Autora (2024).

A análise da quantificação do lodo foi utilizada, em conjunto com os resultados da sua caracterização físico-química nos itens 3.5.3 e 3.5.5, para avaliar as alternativas mais eficazes e viáveis de reaproveitamento.

3.4.1 Análise Aproximada, Elementar e Poder Calorífico

Os resultados das análises aproximada, elementar e poder calorífico foram reunidos na Tabela 3, juntamente com dados de estudos de outros autores da literatura, com o objetivo de permitir uma comparação mais ampla e embasada.

Tabela 3 – Análises físico-químicas do lodo têxtil (presente trabalho) e de outros autores.

Parâmetro	Amostra de Lodo têxtil (presente trabalho)	Lodo Têxtil Biológico (Draeger <i>et al.</i> , 2021)	Lodo Têxtil Físico-químico (Draeger <i>et al.</i> , 2021)	Lodo Têxtil (Gadhi <i>et al.</i> , 2023)
Umidade (%)	61,808 ± 0,723	83,29 ± 0,49	78,90 ± 0,49	13,5
S. V. (%)	63,227 ± 0,504	63,68 ± 0,26	22,70 ± 0,37	40,4
Cinzas (%)	41,251 ± 0,027	20,89 ± 0,28	76,21 ± 0,27	43,4

O (%)	10,79	16,15 ± 0,20	9,62 ± 0,20	25,65
C (%)	3,63	48,14 ± 11	9,35 ± 0,16	17,4
S (%)	0,98	1,06 ± 0,06	1,27 ± 0,02	-
H (%)	0,97	7,82 ± 0,05	2,86 ± 0,098	4,6
N (%)	0,14	5,94 ± 0,04	0,69 ± 0,04	1,4
PCS (cal/g)	3.253,00	4.077,10	833,57	2.063,63

S. V.: sólidos voláteis; O: oxigênio; C: carbono; S: enxofre; H: hidrogênio e N: nitrogênio; PCS: poder calorífico superior.

Fonte: Autora (2024).

A análise comparativa revela que o lodo têxtil avaliado no presente trabalho apresenta um teor de umidade relativamente baixo em relação aos lodos analisados por Draeger *et al.* (2021), especialmente ao lodo tratado por processo biológico. Essa característica é vantajosa tanto para aplicações do resíduo na construção civil quanto para a geração de energia, pois reduz a necessidade de processos adicionais de secagem, otimizando os custos e a eficiência do reaproveitamento.

Em relação aos sólidos voláteis, o percentual observado foi alto, o que favorece o uso energético do lodo. Por outro lado, o teor de cinzas, apresenta-se relativamente alto, o que pode impactar negativamente o desempenho térmico (DRAEGER *et al.*, 2021). A empresa parceira utiliza cal virgem em seu tratamento de efluentes, o que além de reduzir a umidade, contribui para o alto teor de cinzas no material.

Quanto à análise elementar, observa-se que o lodo tratado por processo biológico por Draeger *et al.* (2021) apresentou teores significativamente mais elevados de carbono, hidrogênio e nitrogênio em comparação com o lodo deste estudo. Já o lodo têxtil tratado pelo processo físico-químico por Draeger *et al.* (2021) apresentou valores mais próximos aos encontrados neste trabalho, embora com teores ligeiramente inferiores para a maioria dos elementos, com exceção do oxigênio.

No contexto energético, elementos como carbono, hidrogênio e enxofre contribuem positivamente para o poder calorífico, pois participam diretamente das reações de combustão. O oxigênio, apesar de ser essencial como agente oxidante, atua como diluente quando presente na composição do combustível, podendo reduzir seu potencial energético (AVELAR, 2012). No

entanto, para aplicações voltadas à construção civil, a presença de oxigênio e carbono pode ser vantajosa, pois possibilita correlação com a composição da argila, permitindo a sua substituição parcial em produtos cerâmicos (BESHAN *et al.*, 2021).

Em relação ao poder calorífico superior (PCS), o valor obtido neste estudo (3.253 cal/g) está acima do valor registrado por Gadhi *et al.* (2023) e do valor encontrado por Draeger *et al.* (2021) para lodo têxtil físico-químico, embora inferior ao lodo tratado biologicamente pelo mesmo autor. Comparando com outras biomassas frequentemente utilizadas em caldeiras como serragem de eucalipto - 4.638,39 cal/g (DRAEGER *et al.*, 2021); casca de arroz - 3.508,35 cal/g (DEMEKE *et al.*, 2023) e palha da cana-de-açúcar - 4.105,76 cal/g (DEMEKE *et al.*, 2023), percebe-se que o lodo deste presente trabalho mostra-se competitivo, oferecendo uma alternativa viável e atrativa para o mercado consumidor. Dessa forma, o poder calorífico elevado evidencia o potencial energético do lodo têxtil, não apenas para a geração de energia, mas também como alternativa para reduzir o consumo energético em fornos utilizados na produção de materiais de construção, como no caso de blocos cerâmicos (BESHAN *et al.*, 2021).

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que o lodo têxtil analisado possui características promissoras para aplicações tanto na construção civil quanto na geração de energia.

3.4.2 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX)

Os resultados da análise de espectrometria de fluorescência de Raios-X do lodo têxtil estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Espectrometria de Fluorescência de Raios-X do lodo têxtil

Elementos (%)	Amostra de Lodo têxtil
Ca	35,27
Mg	10,82
Si	6,109
Fe	4,976
K	3,691
Al	2,779
P	2,409

S	1,472
Mn	1,113
Ti	0,39
Sr	0,359
Zn	0,12
Cu	0,059
Rb	0,015
Perda ao Fogo	30,42
Total (%)	100

Fonte: Laboratório LABSATC (2023).

Os resultados indicam predominância de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e silício (Si), em concordância com os reagentes utilizados na empresa parceira. Elementos como alumínio (Al), fósforo (P) e potássio (K) também se destacam e contribuem para a análise de potencial agrícola e de construção civil (DEUS *et al.*, 2020; MOURA *et al.*, 2024).

Conforme foi apresentado anteriormente, a empresa parceira utiliza óxido de cálcio no adensamento do lodo. Desta forma, é esperado que o elemento em maior concentração na amostra analisada seja o cálcio.

Por outro lado, a presença de metais pesados como manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) requer atenção quanto ao uso agrícola e aos limites legais de emissão. Ainda assim, os teores observados são semelhantes aos de estudos que consideraram o lodo adequando para a valorização (STAMFORD *et al.*, 2020).

A presença de metais leves, como Ca, Mg e K, bem como de P e S, pode favorecer aplicações do lodo na área agrícola, uma vez que esses elementos atuam como nutrientes essenciais ao solo (ZAMAN *et al.*, 2023). Por outro lado, elementos como Al e Si, são componentes comuns da argila, o que sugere a possibilidade de substituição parcial da argila pelo lodo na construção civil (BESHAH *et al.*, 2021). Entretanto, a presença de metais pesados, como Mn, Zn e Cu, deve ser cuidadosamente avaliada, pois em concentrações elevadas podem causar impactos ambientais, provocando contaminação do solo e até poluição atmosférica durante a queima em processos industriais de fabricação destes produtos (ZAMAN *et al.*, 2023; MOURA *et al.*, 2024).

Os resultados de FRX indicam que a composição do lodo têxtil avaliado nesta pesquisa, apresenta maiores teores de metais leves em relação aos metais pesados, característica que pode ser explorada de forma estratégica em aplicações na área agrícola e na construção civil, desde que os teores de metais potencialmente tóxicos sejam monitorados e controlados.

3.5 Aplicação da sistemática CPQVA

Com base nas análises anteriores e na revisão da literatura, foi aplicada a sistemática CPQVA utilizando os 12 questionamentos definidos por Oliveira (2017), com atribuição de pesos, conforme a dificuldade percebida em cada critério. As respostas foram embasadas tanto nos dados laboratoriais quanto nos estudos selecionados.

3.5.1 Critério C - Classificação

O resíduo sólido industrial avaliado (LT0), referente ao lodo fornecido pela empresa parceira, foi analisado com base na legislação brasileira vigente NBR 10004 (ABNT, 2004). Os questionamentos estabelecidos pela sistemática CPQVA foram aplicados sequencialmente para calcular o Índice de Criticidade (Ic) do critério Classificação.

Questão (q1): Há legislação que restrinja a valorização do Resíduo Sólido Industrial? (Peso 10).

Existem diferentes dispositivos legais que tratam da valorização do lodo têxtil, variando conforme a aplicação pretendida.

Na área agrícola, a Resolução nº 498/2020 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2020) estabelece os critérios e procedimentos para produção e aplicação de lodo em solos. Como exemplo de um destes critérios pode-se citar a caracterização do lodo, incluindo seu potencial agrônomico, redução de atratividade de vetores, presença de substâncias químicas e qualidade microbiológica.

A respeito da valorização do lodo têxtil para geração de energia, em 2008, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), aprovou o “Procedimento para Utilização de Resíduos Não Perigosos da Indústria Têxtil em Caldeiras no Estado de São Paulo”. O documento

estabelece diretrizes técnicas, limites de emissão, critérios de desempenho e práticas para minimizar os impactos ambientais (CETESB, 2008).

Para aproveitamento energético, os resíduos ou misturas devem apresentar poder calorífico inferior (PCI) seco acima de 2775 kcal/kg (ou 11,2 MJ/kg) e assegurar a qualidade ambiental, evitando riscos à saúde humana e atendendo aos padrões de emissão estabelecidos no Procedimento (CETESB, 2008).

No setor da construção civil, embora não haja legislação específica que proíba a utilização do lodo têxtil, a norma NBR 15270 (ABNT, 2007), pode ser considerada como referência técnica. Essa norma, especifica os requisitos dimensionais, bem como as propriedades físicas e mecânicas de blocos e tijolos cerâmicos destinados a obras de alvenaria, com ou sem função estrutural e executadas de forma racionalizada ou não.

De forma geral, independentemente da área de aplicação, é obrigatória realizar a classificação do resíduo quanto à periculosidade, conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004) (ver q3), a qual orienta as estratégias de tratamento e gerenciamento do resíduo.

Dessa forma, o valor de dificuldade atribuído à essa questão foi considerado moderado (R = 5), uma vez que, embora existam legislações específicas para determinadas aplicações, como agricultura e energia, não há regulamentação clara ou consolidada para o uso do lodo têxtil na construção civil, o que torna a identificação e aplicação normativa uma tarefa de complexidade intermediária.

Questão (q2): Qual a dificuldade em estabelecer uma amostra representativa do lodo têxtil? (Peso 8)

A norma NBR 10007 (ABNT, 2004) estabelece diretrizes para a elaboração de um plano de amostragem de resíduos sólidos, com o objetivo de assegurar que as análises realizadas sejam representativas do material em questão. Esta norma estabelece procedimentos como: método de amostragem; número e tipo de amostras.

No caso do lodo têxtil, a representatividade da amostra é um desafio, pois trata-se de um resíduo com composição altamente heterogênea. Por essa razão, torna-se necessário realizar coletas periódicas para captar essa variabilidade e obter dados confiáveis.

Diante dessa complexidade, o grau de dificuldade para a obtenção de uma amostra verdadeiramente representativa do lodo têxtil é considerado alto, atribuindo-se à questão o valor R = 10.

Questão (q3): Qual a classe ambiental – legislativa do Lodo têxtil? (Peso 10).

A classificação de resíduos sólidos é essencial para a sua gestão e possível reaproveitamento. A ABNT NRB 10004:2004 estabelece critérios para essa classificação, incluindo lodos, considerando sua origem, composição e características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Sendo essa norma, os resíduos são classificados como:

- Classe I – Perigosos;
- Classe II A – Não perigosos e não inertes;
- Classe II B – Não perigosos e inertes.

Em 2024, foi publicada a nova versão da norma ABNT 10004:2024, com o objetivo de simplificar o processo classificatório. O período de transição vai até 01/01/2026. As principais alterações incluem:

- Redução da nomenclatura para apenas Classe I (Perigosos) e Classe II (Não Perigosos);
- Estabelecimento de um processo em quatro etapas:
 1. Enquadramento conforme a Lista Geral de Resíduos (LGR);
 2. Verificação da presença de Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs);
 3. Avaliação das propriedades físico-químicas que conferem periculosidade;
 4. Avaliação da toxicidade.

A norma NBR 10005 (ABNT, 2004) trata da obtenção de extrato lixiviado, avaliando a capacidade do resíduo de liberar substâncias em meio extrator. Já a NBR 10006 (ABNT, 2004) regula o extrato solubilizado, usado para distinguir entre resíduos não inertes (Classe II A) e inertes (Classe II B). Ambas as normas deixarão de vigorar ao fim do período de transição da nova versão da NBR 10004 (ABNT, 2004).

No contexto desta pesquisa, a empresa parceira realiza regularmente análises de caracterização por meio de um laboratório especializado, que classifica o lodo têxtil de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004). O resultado obtido para o LT0 é Classe II A – resíduo não perigoso e não inerte.

Entre os estudos revisados, apenas o LT5 e LT9 (Tabela 6) realizaram a classificação do lodo têxtil, de acordo com a norma mencionada, sendo classificados como resíduo Classe II A (não perigoso e não inerte) e Classe II, respectivamente.

As demais pesquisas, por serem majoritariamente internacionais, não utilizaram os critérios ABNT. No entanto, com base nas caracterizações do resíduo apresentadas nos artigos, foi possível classificá-los como não perigosos (Classe II) por não apresentarem propriedades de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

Os resíduos apresentados na Tabela 6 (LT1, LT2, LT6 e LT9) não excederam os limites estabelecidos pelas normas NBR 10005 (ABNT, 2004) e 10006 (ABNT, 2004), sendo, portanto, classificados como inertes (Classe II B). Por outro lado, os resíduos LT3, LT4, LT7, LT8, LT10, LT11 e LT12 apresentaram concentrações de metais no extrato solubilizado superiores aos limites normativos, sendo assim, classificados como não inertes (Classe II A).

Dessa forma, considerando a existência de métodos e normas bem estabelecidas, e o fato de que a empresa parceira já realiza essa classificação rotineiramente, atribui-se um nível baixo de dificuldade ($R = 0$) à definição da classe ambiental.

3.5.2 Critério P - Potencialidade

Este critério visa analisar a viabilidade de valorização do resíduo a partir de suas propriedades físicas e químicas, associando os resultados laboratoriais às possíveis aplicações do lodo têxtil, considerando os requisitos específicos de cada área de interesse, como agricultura, construção civil e geração de energia.

Dessa forma, a classificação do lodo têxtil sob a ótica do critério Potencialidade requer uma abordagem multifacetada, uma vez que diferentes propriedades são relevantes dependendo da destinação pretendida. Para embasar essa análise, foram reunidos estudos e pesquisas que apresentam as caracterizações físicas e químicas de lodo têxteis de diversas origens e contextos produtivos.

Questão (q4): A composição do LT classificado restringe a potencialidade das aplicações? (Peso 10).

As caracterizações disponíveis na literatura abrangem diferentes métodos analíticos, como a espectroscopia de fluorescência de Raios-X (FRX), difração de Raios-X (DRX), análise aproximada, análise elementar e poder calorífico. Estas informações estão organizadas nas Tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5 – Espectroscopia de fluorescência de Raios-X (FRX) de lodo avaliados pela literatura.

Elemento	LT1	LT2	LT3	LT4	LT6	LT12
Ca (mg/kg)	-	4.200	10.750	2.365	12.000	-
Cu (mg/kg)	275	110	487	0,264	50	6,1
P (mg/kg)	1.780	9.900	9.300	-	-	-
Al (mg/kg)	-	-	-	-	-	21
K (mg/kg)	3.450	2.200	4.060	3.700	3.000	-
Zn (mg/kg)	34,5	121	800	1.868	272	0,59
Fe (mg/kg)	-	3.200	-	809,2	8.000	14,6
Mg (mg/kg)	-	2.800	2.390	90,97	8.000	-
Mn (mg/kg)	-	300	-	5.168	-	0,3
Na (mg/kg)	-	34.500	2.380	-	7.000	-
Cr (mg/kg)	-	28	13,09	0,035	27	0,1
N (mg/kg)	7.320	-	2.490	-	7.900	-
S (mg/kg)	-	-	3.100	-	1.100	-
Matéria Orgânica (%)	-	49,3	77,98	-	-	-

Fonte: Adaptado de Deus *et al.* (2020); Stamford *et al.* (2020); Lins *et al.* (2020); Zaman *et al.* (2023); Beshah *et al.* (2021); Temel e Yangin-gomec (2023).

A composição química e física do lodo têxtil (LT) apresenta significativa variabilidade, o que impacta diretamente nas possibilidades e restrições de sua valorização. Essa variabilidade decorre de fatores como o tipo e a concentração de corantes e insumos químicos utilizados nos processos industriais, bem como as tecnologias e níveis de tratamento de efluentes adotados em cada unidade fabril, como o uso de agentes de adensamento, coagulantes e floculantes (KASAW *et al.*, 2021).

Os dados da Tabela 6 revelam que os resíduos que foram avaliados para aplicações na área agrícola (LT1, LT2, LT3 e LT4) apresentam teores relevantes de N, P, K, Ca, Mg, S e matéria

orgânica. Esses elementos são essenciais para a fertilidade do solo (DEUS *et al.*, 2020; STAMFORD *et al.*, 2020; LINS *et al.*, 2020; ZAMAN *et al.*, 2023).

Além disso, resíduos como o LT12 foram analisados com foco na presença de metais como ferro, zinco, alumínio, cobre, cromo e manganês (ver Tabela 5). O objetivo foi avaliar a redução desses elementos por meio da codigestão e verificar seu potencial tóxico ao meio ambiente (TEMEL e YANGIN-GOMEÇ, 2023).

Conforme a Tabela 7, os resíduos destinados a aplicações voltadas à construção civil (LT5, LT6 e LT7) destacam-se pela presença de óxidos, como SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , SO_3 , MgO e Na_2O , que podem contribuir para a coesão, resistência mecânica e estabilidade química de materiais como blocos cerâmicos e concreto asfáltico (KASAW *et al.*, 2021). Entre os óxidos encontrados, o óxido de cálcio pode contribuir como estabilizante químico e melhorar as propriedades mecânicas de pavimentos (OLIVEIRA, 2020).

Tabela 6 - Difração de Raios-X (DRX) de lodo avaliados pela literatura.

Parâmetros	LT5	LT6	LT7
SiO_2 (%)	60	15	18,51
Al_2O_3 (%)	2,51	36,2	12,73
Fe_2O_3 (%)	1,28	12,10	3,19
CaO (%)	-	3,50	23,87
SO_3 (%)	-	13,40	9,33
MgO (%)	-	2,80	1,79
Na_2O (%)	-	-	2,36
Outros óxidos (%)	21,79	-	0,31

Fonte: Adaptado de Oliveira (2020); Beshah *et al.* (2021); Kasaw *et al.* (2021).

Dado que foram discutidas anteriormente as vantagens e limitações das análises aproximada, elementar e poder calorífico no item 3.4.1 (Tabela 3), evita-se aqui a repetição dos mesmos argumentos. No entanto, reforça-se a importância destes parâmetros para fins energéticos, dado que os resíduos LT9, LT10 e LT11 também foram submetidos a estes ensaios, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Análise aproximada (umidade, sólidos voláteis e cinzas), análise elementar (O, C, S, H e N) e poder calorífico superior de lodos avaliados pela literatura.

Parâmetro	LT9 (Lodo biológico e físico-químico)	LT10	LT11
Umidade (%)	83,29 ± 0,49	78,90 ± 0,49	10
S. V. (%)	63,68 ± 0,26	22,70 ± 0,37	34
Cinzas (%)	20,89 ± 0,28	76,21 ± 0,27	40
O (%)	16,15 ± 0,20	9,62 ± 0,20	-
C (%)	48,14 ± 11	9,35 ± 0,16	15,67
S (%)	1,06 ± 0,06	1,27 ± 0,02	-
H (%)	7,82 ± 0,05	2,86 ± 0,098	3,77
N (%)	5,94 ± 0,04	0,69 ± 0,04	-
PCS (cal/g)	4.077,10	833,57	1.609,82

Fonte: Adaptado de Draeger *et al.* (2021); Demeke *et al.* (2021); Gadhi *et al.* (2023).

Com base nessas análises, foram identificados produtos potenciais (PP) que podem ser desenvolvidos a partir do lodo têxtil, conforme está apresentado na Tabela 8. Entre os 12 trabalhos estudados, seis apresentaram abordagens semelhantes: três como fertilizantes e três como briquetes. Esses foram agrupados como PP1 e PP7, respectivamente. Além destes produtos potenciais, foram eleitos os demais trabalhos por conta da potencialidade identificada ao LT.

Tabela 8 - Produtos potenciais (PP) identificados a partir da composição física e química do LT.

Produto	Descrição dos Produtos Potenciais
PP 1	Fertilizante
PP 2	Vermicomposto
PP 3	Pavimentos
PP 4	Blocos cerâmicos
PP 5	Concreto para aplicações não estruturais
PP 6	Concreto asfáltico
PP 7	Briquete

PP 8 Substrato para codigestão anaeróbica

Fonte: Autora, 2025.

Em virtude da variabilidade composicional do lodo e a ausência de elementos altamente tóxicos conforme identificado no critério C, o nível de dificuldade para estabelecer o potencial do lodo têxtil é classificado como médio (R = 5).

3.5.3 Critério Qv – Quantidade/Viabilidade

Os Produtos Potenciais, identificados na Tabela 8 são submetidos à análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental no âmbito do critério Qv. Aqueles que atenderem aos requisitos estabelecidos nesta etapa tornam-se Produtos Candidatos (PC), aptos para serem avaliados no critério de aplicabilidade.

Questão (q5): A variabilidade composicional compromete possíveis produto(s) potencial(is)? (Peso 6).

Com base na análise apresentada na q2, que identificou e quantificou a variabilidade composicional do LT, esta questão avalia como tal variabilidade pode influenciar os Produtos Potenciais (PP). Assim como ocorre com matérias-primas convencionais, ajustes composicionais são esperados a cada novo lote. Quando essa variabilidade é bem compreendida, seu impacto sobre novos produtos é reduzido.

Os produtos PP1 (fertilizante) e PP2 (vermicomposto) foram apontados como viáveis devido aos teores de nutrientes, como cálcio, nitrogênio e fósforo. Caso haja necessidade de ajustes, o lodo têxtil pode ser suplementado com fertilizantes minerais comerciais (para o PP1) ou resíduos orgânicos (para o PP2), conforme indicado por Deus *et al.* (2020) e Zaman *et al.* (2023). Dessa forma, o nível de dificuldade para esses casos foi considerado baixo (R = 0).

Da mesma forma, os produtos PP3 (pavimentos), PP4 (blocos cerâmicos), PP5 (concreto para aplicações não estruturais) e PP6 (concreto asfáltico) também apresentaram nível de dificuldade baixo (R = 0), uma vez que os estudos analisados indicam que a variabilidade composicional não compromete significativamente essas aplicações (OLIVEIRA, 2020; BESHAN *et al.*, 2021; KASAW *et al.*, 2021 e MOURA *et al.*, 2024).

O PP7 (briquete) foi classificado com o nível de dificuldade médio ($R = 5$). Isso se deve à necessidade de controle mais rigoroso de parâmetros como umidade e poder calorífico, os quais são essenciais para garantir a eficiência energética do produto (DEMEKE *et al.*, 2021).

Por fim, o PP8 (substrato para codigestão anaeróbica) também recebeu a classificação de dificuldade média ($R = 5$), considerando que a presença de metais pesados pode interferir negativamente na eficiência da produção de biogás, exigindo adequações na composição do LT (TEMEL e YANGIN-GOMEZ, 2023).

Questão (q6): Há algum elemento que supere o limite de tolerância no produto(s) potencia(is)? (Peso 8).

Dentre as aplicações avaliadas, observou-se que os produtos voltados à área agrícola (PP1 – fertilizante e PP2 – vermicomposto) demandam monitoramento mais rigoroso, uma vez que o uso contínuo pode resultar na acumulação dos metais pesados no solo, comprometendo a sua fertilidade e segurança. Nesses casos, recomenda-se a realização periódica de análises químicas e adequações conforme os limites estabelecidos por normativas, como a Resolução nº 498/2020 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2020).

Nas demais aplicações, como na construção civil e geração de energia, o risco de contaminação é reduzido, os metais podem ser quimicamente estabilizados ou retidos na matriz sólida dos produtos, diminuindo sua mobilidade e toxicidade. Desta forma, para o PP1 e PP2 foi atribuído o nível de dificuldade médio ($R = 5$) e para os demais PPs, foi atribuído o nível de dificuldade baixo ($R = 0$), por apresentarem menor risco de extrapolação dos limites legais de elementos nocivos.

Questão (q7): Há necessidade de adequação ao gerenciamento para a geradora do LT? (Peso 6).

Atualmente, a empresa parceira destina integralmente o seu lodo têxtil para o aterro industrial próprio, prática comum em diversas indústrias.

Essa destinação está associada tanto ao volume gerado quanto à ausência de infraestrutura adequada para o acondicionamento e o aproveitamento do lodo têxtil, uma vez que, até o momento da realização desta pesquisa, não há uma aplicação previamente estabelecida para esse resíduo produzido pela empresa.

Para que o LT seja efetivamente utilizado como matéria-prima em processos de valorização, é indispensável a implantação de uma estrutura específica para o seu armazenamento, triagem e acondicionamento, de modo a garantir a qualidade do material destinado às etapas subsequentes. Essa estrutura deve ser planejada com base nas diretrizes legais destacadas na questão q1, além de considerar eventuais exigências técnicas e operacionais da empresa receptora, a qual será responsável pelo recebimento e valorização do resíduo.

Considerando o porte das mudanças estruturais e operacionais exigidas, atribui-se à questão um nível de dificuldade alto (R=10). Essas adequações, por sua vez, influenciam diretamente as exigências da empresa receptora, tornando essencial que o planejamento do pré-tratamento do lodo seja realizado em conjunto entre ambas as partes.

Questão (q8): Há necessidade de adequação ao processamento para a receptora do LT? (Peso 6).

Com o objetivo de esclarecer as adequações consideradas necessárias para a valorização do lodo têxtil na empresa receptora, na Tabela 9 é apresentado um resumo das exigências identificadas, categorizadas por tipo de pré-tratamento, requisitos logísticos, tecnológicos e operacionais.

Tabela 9 - Alterações consideradas necessárias para adequação da empresa receptora para valorizar o LT

PP	Pré-tratamento			Transporte (logística)	Tecnologia e Equipamentos	Mão de obra
	Secagem	Moagem	Estabilização			
PP1			X	X		
PP2				X		
PP3	X			X		
PP4	X	X		X		
PP5	X	X		X		
PP6	X	X		X		
PP7	X	X			X	X
PP8				X		

PP1: Vermicomposto; PP2: Fertilizante; PP3: Pavimentos; PP4: Blocos cerâmicos; PP5: Concreto para aplicações não estruturais; PP6: Concreto asfáltico; PP7: Briquetes e PP8: Substrato para codigestão anaeróbica.

Fonte: Autora, 2025.

Com base na quantidade e no tipo de adequações exigidas para cada Produto Potencial (PP), definiu-se o nível de dificuldade correspondente para essa questão.

A aquisição de tecnologias, equipamentos e mão de obra especializada é dispensável para todos os PPs, exceto o PP7, pois as possíveis empresas receptoras já dispõem de tais recursos para a produção destes produtos.

Para o PP1 (fertilizante), é necessária a estabilização alcalina do lodo têxtil, processo que consiste na elevação do pH com a adição de cal hidratada, reduzindo a presença de patógenos e a atração de vetores (DEUS *et al.*, 2020). Considerando que para este produto potencial existe a necessidade de um pré-tratamento, o nível de dificuldade foi classificado como médio (R = 5).

O PP2 (vermicomposto), pode utilizar o lodo têxtil *in natura*, que é posteriormente misturado e compostado junto com outra biomassa (ZAMAN *et al.*, 2023). O mesmo se aplica ao PP8 (substrato para codigestão anaeróbica), que não requer pré-tratamento antes de ser utilizado (TEMEL e YANGIN-GOMEÇ, 2023). Desta forma, ambos foram classificados com nível de dificuldade baixo (R = 0).

Quanto aos produtos aplicados na construção civil (PP3 - pavimentos, PP4 – blocos cerâmicos, PP5 – concreto para aplicações não estruturais e PP6 – concreto asfáltico), requerem secagem e moagem, com exceção do PP3, que dispensa a moagem para de reduzir custos (OLIVEIRA, 2020). Considerando essas exigências de pré-tratamento, o nível de dificuldade para esta questão também foi classificado como mediano (R = 5).

O PP7 (briquete) apresenta maiores exigências, embora não dependa de logística externa, pois a empresa parceira já possui caldeiras para queima dos briquetes, requer secagem e moagem do resíduo, aquisição de uma briquetadeira e contratação de mão de obra especializada para operação do equipamento. Portanto, foi atribuído um nível de dificuldade alto para este quesito (R = 10).

Questão (q9): Há legislação que regulamenta o(s) produto(s) ou restrinja o uso do LT? (Peso 10).

Os Produtos Potenciais estão sujeitos a regulamentações específicas, estabelecidas por normas técnicas, instruções normativas legislações vigentes.

Para os PPs 1 e 2 (fertilizante e vermicomposto), aplicáveis na área agrícola, devem ser seguidas diretrizes do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), que regulamenta a produção, fiscalização e comercialização desses insumos (GOV, 2024).

Os PPs 3 e 6 (pavimento e concreto asfáltico) são regulados pela norma DNIT 031/2024 – ES do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT, 2024), que estabelece especificações técnicas e diretrizes para a produção e aplicação dos produtos mencionados em obras viárias.

Além disso, como apresentado anteriormente na questão 1 no item 3.5.1., a norma NBR 15270 (ABNT, 2007), especifica os requisitos dimensionais e as propriedades físicas e mecânicas de diversos materiais da construção civil, incluindo o bloco cerâmico (PP4) e o concreto para aplicação não estrutural (PP5).

No que se refere ao PP7 (briquetes), atualmente, não há, no Brasil, legislações ou normas técnicas específicas que regulamentem diretamente este produto. Contudo, para fins de referência e padronização, são comumente adotadas algumas normas aplicáveis a materiais similares, como o carvão vegetal. Neste caso, destaca-se a norma NBR 8112 (ABNT, 1983), que estabelece os métodos de análise imediata do carvão vegetal, abrangendo a determinação dos seguintes parâmetros: umidade, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas. Embora não seja voltada especificamente aos briquetes, essa norma pode ser utilizada como base técnica para a avaliação e controle de qualidade do produto.

Já o PP8 (substrato para codigestão anaeróbica) está sujeito a legislações estaduais. Em Santa Catarina, por exemplo, aplica-se a Lei nº 17.542, de 12 de julho de 2018 (SAN, que estabelece diretrizes para o aproveitamento energético de resíduos orgânicos.

Dessa forma, embora existam normas regulatórias aplicáveis à maioria dos produtos, a necessidade de controle ambiental contínuo justifica a atribuição de nível de dificuldade moderado (R = 5) para esta questão.

Questão (q10): A quantidade de geração do LT atende a necessidade do produto(s) candidato(s)? (Peso 10).

No Brasil são geradas anualmente cerca de 73 mil toneladas de lodo têxtil (PINTO, 2009). Conforme apresentado na etapa de quantificação, a empresa parceira gera anualmente entre 2.850

toneladas e 5.430 toneladas, com média de 3.760 toneladas por ano (Figura 8), portanto, o volume deste resíduo representa aproximadamente a 3,9% e 7,4% da geração nacional do lodo têxtil.

A geração de LT está diretamente relacionada ao volume de produção têxtil da empresa. Assim, conforme demonstrado na Figura 9, a tendência de aumento gradual do setor implica em aumento proporcional na geração do resíduo.

Considerando que o LT será utilizado como substituto parcial das matérias-primas convencionais nos produtos candidatos, e que o volume gerado é significativamente superior à demanda prevista para qualquer uma das aplicações, conclui-se que a quantidade gerada é mais do que suficiente. Assim, atribui-se nível de dificuldade baixo ($R = 0$) para esta questão.

Adicionalmente, o excedente de LT disponível abre oportunidades para a ampliação da cadeia de valorização, seja pela diversificação de produtos candidatos, seja pela expansão da capacidade produtiva das aplicações existentes. Essa disponibilidade favorece o desenvolvimento das soluções de maior escala e reforça a viabilidade técnica e logística da valorização do resíduo a longo prazo.

Questão (q11): Há mercado consumidor para a valorização do LT conforme o(s) produto(s) candidato(s)? (Peso 6).

A avaliação do mercado consumidor considerou tanto a disposição geográfica da empresa parceira geradora do resíduo, quanto a localização de possíveis empresas receptoras, com base na viabilidade logística de fornecimento. Na Figura 11 está ilustrado o mapeamento espacial de empresas dos setores associados aos seguintes Produtos Potenciais (PP):

- PP1 (fertilizantes);
- PP2 (vermicompostos);
- PP3 (pavimentos);
- PP4 (blocos cerâmicos);
- PP5 (concretos para aplicação não estrutural);
- PP6 (concreto asfáltico)
- PP8 (substrato para codigestão anaeróbica).

O PP7 (briquete), por sua vez, seria consumido internamente pela própria empresa geradora de resíduo, e por isso, não consta no mapeamento da Figura 6.

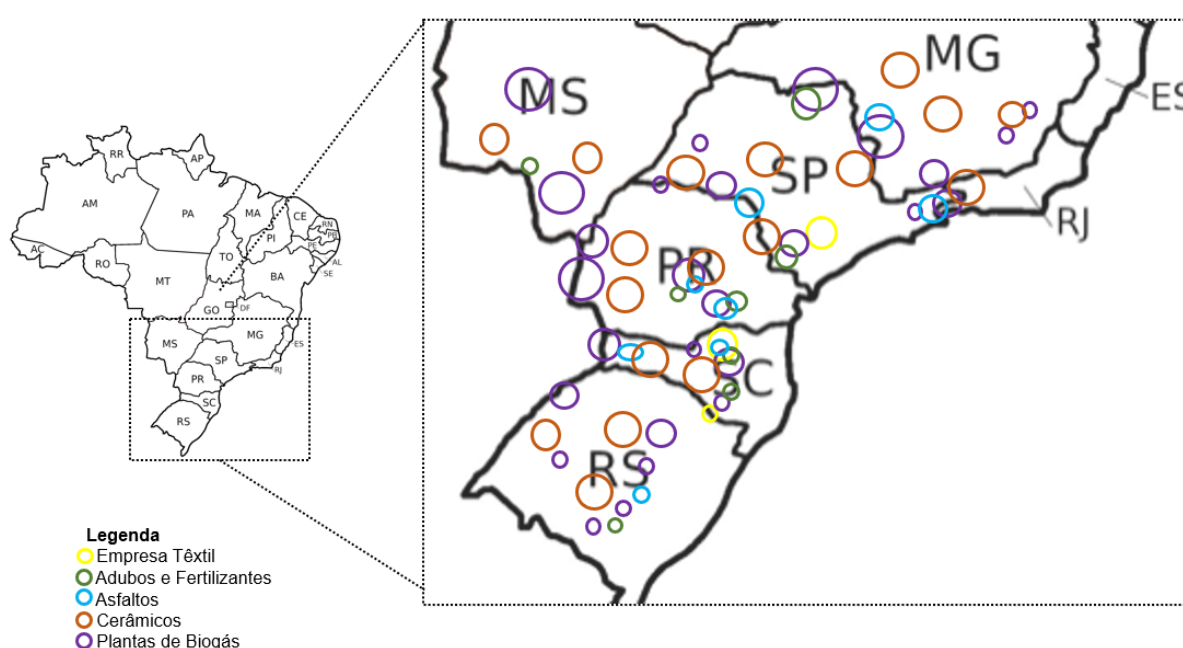
Com relação aos PPs 1 e 2, o Brasil conta com aproximadamente 820 fabricantes de adubos e fertilizantes, embora parte dessas empresas possuam unidades produtivas fora do país. A análise, portanto, concentrou-se nas fábricas localizadas próximas à empresa geradora do lodo têxtil, conforme destacado na Figura 11 (ECONODATA, 2025).

Para os PPs 3 e 6, identificaram-se 636 empresas no território nacional, sendo a maior concentração (30 unidades) localizada na cidade de São Paulo (ECONODATA, 2025).

No caso dos PPs 4 e 5, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) contabilizou 5.578 fabricantes em 2021, onde cerca de 30% destas empresas está nas regiões Sul e Sudeste (SIDRA, 2021).

O mercado consumidor para o PP8 está diretamente vinculado às plantas de produção de biogás, que totalizam atualmente 1.365 unidades, das quais 391 estão localizadas no estado do Paraná (CIBIOGÁS, 2023).

Figura 6 - Mapa de distribuição geográfica das empresas geradora do LT e possíveis empresas receptoras.



Fonte: Autora (2025).

Com base nesses dados, o nível de dificuldade para a inserção dos PPs no mercado foi definido a partir da disponibilidade e proximidade geográfica das empresas receptoras. O PP7 recebeu nível baixo de dificuldade ($R = 0$), uma vez que sua produção e consumo ocorreriam internamente, sem necessidade de transporte ou articulação externa. Os PPs 3, 4, 5, 6 e 8 também foram avaliados com nível baixo de dificuldade ($R = 0$), dado o número expressivo de possíveis empresas receptoras próximas à empresa geradora, que poderiam utilizar o lodo têxtil. Por sua vez, os PPs 1 e 2 obtiveram nível de dificuldade médio ($R = 5$), pois, embora existam fabricantes dos produtos no país, a densidade dessas unidades é inferior à dos demais setores, o que implica em articulação operacional mais complexa.

3.5.4 Critério A - Aplicabilidade

O critério aplicabilidade é a etapa final da sistemática CPQVA. Ele avalia se os Produtos Candidatos (PCs), previamente selecionados, atendem aos requisitos técnicos necessários para gerar materiais com viabilidade tecnológica e aceitação no mercado.

A análise foi realizada com base nos resultados técnicos reportados na literatura científica, os quais subsidiaram a avaliação dos demais critérios da sistemática CPQVA (ver Tabela 2), aplicando-se aos PCs 1 ao 8.

Questão (q12) O desempenho do(s) produto(s) atende às exigências de mercado? (Peso 10).

Para o PC 1 (fertilizante), estudos indicam que o biossólido apresenta viabilidade como insumo agrícola. Segundo Deus *et al.* (2020), ele contribui significativamente para o desenvolvimento da produção de cana-de-açúcar em solos com baixa fertilidade, ao fornecer como nitrogênio e fósforo. Stamford *et al.* (2020) demonstrou que o LT possui efeitos positivos no cultivo do feijão caupi, desde que seja realizado o monitoramento de metais pesados, para evitar a contaminação do solo. Lins *et al.* (2020) também identificou potencial agrônomo do LT como fertilizante e condicionador do solo, reforçando a necessidade de atenção em relação à composição química do lodo. Desta forma, considerando o desempenho técnico e a viabilidade de aplicação, foi atribuído o nível de dificuldade baixo ($R = 0$) para esta questão.

Para o PC 2 (vermicomposto), Zaman *et al.* (2023) obteve resultados promissores ao associar o lodo têxtil ao esterco bovino, observando crescimento de minhocas e aumento do teor de nitrogênio. Contudo, ressalta-se a necessidade de estudos adicionais para aplicação em larga escala, principalmente em relação ao tempo de estabilização do produto e os riscos potenciais de sua redução. Portanto, o nível de dificuldade para esta aplicação foi considerado moderado (R = 5).

Em relação ao PC 3 (pavimentação de vias de baixo volume), Oliveira (2020) observou resultados positivos com o uso de solo misturado ao lodo têxtil estabilizado. Entretanto, a alta adição de aditivos pode elevar os custos, e ainda são necessários ensaios em campo para validar a performance da aplicação. Por esse motivo, o desempenho do PC 3 foi considerado ainda incipiente para uso prático, sendo atribuído nível de dificuldade alto (R = 10).

Quanto ao PC 4 (bloco cerâmico), Beshah *et al.* (2021) demonstrou que os blocos cerâmicos produzidos com adição parcial de lodo apresentaram propriedades mecânicas semelhantes aos blocos cerâmicos convencionais, redução de peso, menor impacto ambiental e economia no processo de fabricação. Com isso, o nível de dificuldade foi considerado é baixo (R = 0).

De forma semelhante, o PC 5 (concreto para aplicações não estruturais) apresentou propriedades mecânicas compatíveis com os concretos comerciais, sem apresentar riscos ambientais (KASAW *et al.*, 2021). Do mesmo modo, o peso atribuído para a dificuldade desta aplicação foi baixo (R = 0).

Segundo Moura *et al.* (2024), o PC 6 (concreto asfáltico) demonstrou desempenho semelhante ao material convencional, com vantagem ambiental devido à imobilização dos metais pesados e custo inferior ao descarte em aterro industrial. Assim, o nível de dificuldade para este quesito foi avaliado como baixo (R = 0).

Para o PC 7 (briquetes), diversos estudos reforçam a sua viabilidade. Draeger *et al.* (2021) mostrou que a mistura de lodo têxtil com serragem de *Pinus* resulta em briquetes com características similares às biomassas convencionais usadas para geração de energia. Demeke *et al.* (2023), avaliou a produção de briquetes compostos de lodo têxtil com algodão e casca de abacate como aglutinante e suas propriedades foram adequadas para geração de energia em pequena escala, ou seja, para uso em residências e pequenas empresas. Já Gadhi *et al.* (2023) destacou o potencial produção de briquetes a partir da mistura de lodo têxtil com esterco bovino para uso doméstico ou industrial. Considerando o desempenho técnico e a segurança ambiental, o nível de dificuldade atribuído para esta aplicação foi baixo (R = 0).

Por fim, o PC 8 (substrato para codigestão anaeróbica) também demonstrou viabilidade. Temel e Yangin-gomec (2023) indicou que a mistura de lodo têxtil com o lodo orgânico proveniente de indústrias alimentícias possibilita a produção de biogás de forma segura e ambientalmente adequada. Assim, também foi atribuído o nível baixo de dificuldade ($R = 0$) para este critério.

3.5.5 Índice de criticidade Critérios CPQVA

Os índices de criticidade (Ic) dos critérios Classificação, Potencialidade, Quantidade/Viabilidade e Aplicabilidade foram calculados a partir das respostas aos questionamentos q1 a q12, associando os pesos e níveis de dificuldade atribuídos, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Índice de criticidade dos critérios CPQVA

Questionamentos (q)		Pesos	Respostas							
q1	Há legislação que restrinja a valorização do RSI?	10	5							
q2	Qual a dificuldade em estabelecer uma amostra representativa do lodo têxtil?	8	10							
q3	Qual a classe ambiental – legislativa do Lodo têxtil?	10	0							
Índice de Criticidade (Ic) para Classificação										
4,64										
Questionamentos (q)		Pesos	Respostas							
q4	A composição do LT classificado restringe a potencialidade das aplicações?	10	5							
Índice de Criticidade (Ic) para Potencialidade										
5,0										
Questionamentos (q)	Pesos	Respostas								
		PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6	PP7	PP8	
q5	A variabilidade composicional compromete possíveis produto(s) potencial(is)?	6	0	0	0	0	0	0	5	5

q6	Há algum elemento que supere o limite de tolerância no produto(s) potencia(is)?	8	5	5	0	0	0	0	0	0
q7	Há necessidade de adequação ao gerenciamento para a geradora do LT?	6	10	10	10	10	10	10	10	10
q8	Há necessidade de adequação ao processamento para a receptora do LT?	6	5	5	5	5	5	5	10	0
q9	Há legislação que regulamenta o(s) produto(s) ou restrinja o uso do LT?	10	5	5	5	5	5	5	5	5
q10	A quantidade de geração do LT atende a necessidade do produto(s) candidato(s)?	10	0	0	0	0	0	0	0	0
q11	Há mercado consumidor para a valorização do LT conforme o(s) produto(s) candidato(s)?	6	5	5	0	0	0	0	0	0
Índice de Criticidade (Ic) para Quantidade/viabilidade			4,04	4,04	3,46	3,46	3,46	3,46	3,85	2,69
Questionamentos (q)		Pesos	Respostas							
q12	O desempenho do(s) produto(s) atende às exigências de mercado?	10	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8

Índice de Criticidade (Ic) para Aplicabilidade	0	5	10	0	0	0	0	0
---	----------	----------	-----------	----------	----------	----------	----------	----------

Fonte: Autora (2024).

Nota: Dentro da escala de cores para o índice de criticidade, as cores verde, amarela e vermelha representam um grau de dificuldade de valorização fácil, moderado e difícil, respectivamente.

Com base nos resultados obtidos, o Índice de Criticidade para o critério Classificação foi 4,64, o que representa um nível moderado de criticidade para a valorização do lodo têxtil. Com o índice de criticidade igual a cinco, o critério de potencialidade para o lodo têxtil é classificado como moderado. Já para o critério de quantidade/viabilidade, os índices variaram entre o nível fácil e moderado para cada potencial produto. E quanto ao critério de aplicabilidade, os produtos candidatos obtiveram variabilidade entre os graus de dificuldade fácil, moderado e difícil.

3.5.6 Índice de criticidade: Total

O valor do Índice de criticidade total (Ic) corresponde à média dos índices obtidos em cada um dos critérios CPQVA para os produtos avaliados. Na Tabela 11 são apresentados os resultados consolidados.

Tabela 11 - Índice de criticidade total dos critérios sistemáticos CPQVA

Aplicações	Índice de Criticidade (Ic) Total para o CPQVA
Fertilizante	3,42
Vermicompostagem	4,67
Pavimentos	5,78
Blocos cerâmicos	3,28
Concreto para aplicações não estruturais	3,28
Concreto asfáltico	3,28
Briquetes	3,37
Substrato para codigestão anaeróbica	3,08

Fonte: Autora (2025).

Nota: Dentro da escala de cores para o índice de criticidade, as cores verde, amarela e vermelha representam um grau de dificuldade de valorização fácil, moderado e difícil, respectivamente.

De acordo com Índices de Criticidade Total, as aplicações foram avaliadas de forma qualitativa como de viabilidade fácil e moderada. Os produtos classificados com viabilidade fácil, são os produtos com menor I_c , ou seja, os blocos cerâmicos, concreto para aplicações não estruturais, concreto asfáltico, briquetes e substrato para codigestão anaeróbica, pois apresentaram as melhores condições para viabilizar a valorização do LT, sendo, portanto, as alternativas mais promissoras para desenvolvimento futuro.

O LT é um resíduo classificado como não perigoso e possui grande potencial para valorização, devido à diversidade de materiais em sua composição. Essa versatilidade torna o LT um insumo atrativo para setores como agricultura, construção civil e de geração de energia.

As propriedades físico-químicas do lodo têxtil possibilitam sua utilização como substituto parcial de matérias-primas convencionais na fabricação dos produtos listados na Tabela 16, o que resultar em benefícios ambientais, econômicos e sociais para as empresas geradoras e receptoras do LT.

Por meio de uma abordagem de simbiose industrial, a utilização do LT como insumo em outros setores industriais pode reduzir significativamente o volume destinado a aterros sanitários, além de minimizar a extração de recursos naturais, como a argila, no caso dos blocos cerâmicos. A empresa geradora do resíduo pode minimizar os custos com disposição em aterros e, caso opte por aplicações como a produção de briquetes, ainda pode reduzir despesas com energia. Para as empresas receptoras, o uso do LT representa uma alternativa de matéria-prima mais acessível.

Com exceção do substrato para codigestão anaeróbica, todos os produtos potenciais apresentaram avaliação moderada no critério Quantidade/viabilidade (QV). A partir dessa avaliação qualitativa, algumas condições podem ser implementadas para superar as dificuldades associadas à valorização do resíduo.

Uma dessas condições seria a substituição ou adição de coagulantes e floculantes mais eficazes na retirada de umidade do lodo, o que influenciaria no tempo de secagem do mesmo. Outra condição seria a inclusão de uma etapa trituração do resíduo ao final do processo de tratamento do efluente, com o objetivo de reduzir o tempo de moagem para as aplicações que demandam esta etapa.

Observa-se também que a literatura revisada carece de avaliações quantitativas robustas sobre os impactos ambientais e econômicos das propostas de valorização. Essa lacuna pode justificar a escassez de exemplos práticos de aplicação industrial para os produtos analisados.

Por fim, a ausência de políticas públicas específicas representa uma barreira importante à valorização do LT. Incentivos fiscais, regulamentações claras sobre o uso de resíduos em novos produtos e benefícios às empresas que adotarem práticas de reaproveitamento poderiam impulsionar a economia circular, estimular a inovação e ampliar os investimentos em soluções sustentáveis para o setor industrial.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho aplicou a sistemática CPQvA como ferramenta de apoio à tomada de decisão multicritério para avaliar a viabilidade de valorização do resíduo lodo têxtil (LT). A sistemática permitiu uma análise integrada de critérios técnicos, quantitativos e de aplicabilidade, resultando na identificação de produtos com maior potencial de desenvolvimento.

Os resultados indicaram que o LT apresenta viabilidade para substituição parcial de matérias-primas convencionais na fabricação de blocos cerâmicos, concreto para aplicações não estruturais, concreto asfáltico, além de seu uso como biomassa para briquetes e como substrato para codigestão anaeróbica. Esses produtos foram classificados com baixos índices de criticidade, refletindo condições técnicas favoráveis à valorização do resíduo.

A possibilidade de aproveitamento do LT está associada à adoção de estratégias como a simbiose industrial, que favorece o estabelecimento de fluxos produtivos intersetoriais entre empresas geradoras e receptoras. A valorização interna do resíduo, como no caso da produção e consumo de briquetes pela própria empresa geradora, também se mostrou tecnicamente viável.

Entretanto, a ausência de uma avaliação conjunta entre os agentes envolvidos, observada tanto nesta pesquisa quanto na literatura revisada, representa uma limitação relevante para a implementação de modelos eficientes de valorização. A abordagem unilateral compromete a análise das interações reais entre empresas geradoras e receptoras, dificultando a adoção de soluções sistêmicas.

Diante disso, recomenda-se a incorporação da sistemática CPQvA nos sistemas de gestão de resíduos sólidos industriais, especialmente no setor de engenharia industrial de transformação. Sua aplicação estratégica pode impulsionar a inovação tecnológica, fortalecer a economia circular

e subsidiar a formulação de políticas públicas e instrumentos de fomento voltados à inserção de produtos derivados de resíduos no mercado.

Sugere-se, para trabalhos futuros, a realização de análises de viabilidade econômica e testes-piloto em escala industrial para validar, na prática, as alternativas de valorização identificadas neste estudo.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM **D4239-18**: Standard Test Method for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High Temperature Tube Furnace Combustion. West Conshohocken: ASTM International, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM **D5865-13**: Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke. West Conshohocken: ASTM International, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM **D7348-07**: Standard Test Methods for Loss on Ignition (LOI) of Solid Combustion Residues. West Conshohocken: ASTM International, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM **E1755-01**: Standard Test Method for Ash in Biomass. West Conshohocken: ASTM International, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM **E.1756-08**. Standard method determination of total solids in biomass. Philadelphia, USA: American Society for Testing and Materials, 2020.

ASRATIE, Demlie. **Reuse of Textile Sludge for Hollow Concrete Block Manufacturing**. 1st ed. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. Web. 15 Oct. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 8112**: Cavrão vegetal – Análise imediata. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 10004**: resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 10004**: resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 15270**: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria. Rio de Janeiro, 2017.

AVELAR, Nayara Vilela. **Potencial dos resíduos sólidos da indústria têxtil para fins energéticos**. 2012. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

BALOTA, M. M. M.; TEIXEIRA, C. E.; ZANELLA, L.; RUIZ, M. S. Lodo têxtil: revisão sistemática de métodos de tratamento e potencial uso como insumo combustível de caldeira. **30º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES**, Natal, RN, 2019.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES. **Panorama da Cadeia Produtiva Têxtil e de Confecções e a Questão da Inovação**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 29, p. 159-202, mar. 2009.

BESHAH, D. A., TIRUYE, G. A., MEKONNEN, Y. S. Characterization and recycling of textile sludge for energy-efficient brick production in Ethiopia. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 16272–16281, 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Legislações**: Legislação fertilizantes. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacoes>. Acesso em: 01 mar. 2025.

CIBIOGÁS. Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás. **Panorama do Biogás no Brasil 2023**. Relatório Técnico nº 001/2024 – Foz do Iguaçu, CIBiogás, 2024.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Decisão de Diretoria nº 027/2008/P**, de 04 de março de 2008: Dispõe sobre a aprovação do Procedimento para utilização de resíduos não perigosos da indústria têxtil em caldeiras, no Estado de São Paulo. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/camaras-ambientais/wp-content/uploads/sites/21/2015/05/DD-027-08-P.pdf>, acesso em dezembro/2024.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução Nº 498** de 19 de Agosto de 2020.

DEMEKE, E. D.; DESTA, M. A.; MEKONNEN, Y. S. The potential of industrial sludge and textile solid wastes for biomass briquettes with avocado peels as a binder. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, p. 86155–86164, 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **031/2024 – ES**: Pavimentação – Concreto asfáltico – Especificação de serviço. Brasília, 2024.

DEUS, A.; ABRAHÃO, R.; SANTOS, R.; ARAÚJO, L.; NEVES, T.; SILVA, C.; FELIX, M. Effect of textile industry biosolids for soil fertility and sugar cane production. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n.5, p.30152-30169, 2020.

DRAEGER, A.; KAUFMANN, V.; LIMA, E. A.; MELO, M. N. V.; SILVA, J. D. APROVEITAMENTO DO LODO TÊXTIL NA PRODUÇÃO DE BRIQUETES PARA GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 23(1), p. 46–56, 2021.

ECONODATA. **Empresas de Asfalto no Brasil**. Disponível em: <https://www.econodata.com.br/empresas/todo-brasil/busca-asfalto>. Acesso em: 28 fev. 2025.

ECONODATA. **Empresas de Fabricação de Adubos e Fertilizantes (C-2013-4/02) no Brasil**. Disponível em: <https://www.econodata.com.br/empresas/todo-brasil/fabricacao-de-adubos-e-fertilizantes-c-2013402>. Acesso em: 26 fev. 2025.

FARACO, M. N. S. **Valorização de frações residuais geradas no beneficiamento de carvão mineral da região sul de Santa Catarina**. 2023. 136f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Florianópolis, 2023.

GADHI, T.; MAHAR, R.; QURESHI, T.; BAWANI, M.; KHOKHAR, D.; PINJARO, M.; ANSARI, I.; BONELLI, B. Valorization of Textile Sludge and Cattle Manure Wastes into Fuel Pellets and the Assessment of Their Combustion Characteristics. **ACS omega**, v. 9, n. 1 p. 456-463, 2023.

KASAW, E.; ADANE, Z.; GEBINO, G.; ASSEFA, N.; KECHI, A.; ALEMU, K. Incineration of Textile Sludge for Partial Replacement of Cement in Concrete Production: A Case of Ethiopian Textile Industries. **Advances in Materials Science and Engineering**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/9984598>

LIMA, Camilla. Pequenos negócios procuram diminuir os impactos ambientais gerados pela indústria da moda. **Brasil de Fato**. Fortaleza, 27 mai. 2022. Disponível em: <https://www.brasildfatoce.com.br/2022/05/27/pequenos-negocios-procuram-diminuir-os-impactos-ambientais-gerados-pela-industria-da-moda>. Acesso em: 01 dez. 2024.

LINS, E. A. M.; SILVA, J. S. S.; MOTA, A. M. V.; OLIVEIRA, F. C.; BARROS, A. C. B. **REUTILIZAÇÃO DO BIOSSÓLIDO GERADO EM TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO E DE INDÚSTRIA TÊXTIL**. Anais do 19 Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – SILUBESA, 2020, p. 114-120, 2020.

MACHADO, D. M.; GAMBALONGA, B. J.; SIMÃO, L.; RIBEIRO, M. J.; MONTEDO, O. R. K.; RAUPP-PEREIRA, F.; ARCARO, S. Valorization of Brazilian waste foundry sand from circular economy perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 407, p. 137046, 2023.

MOURA, L. S.; SILVA, C. L.; NÓBREGA, A. C. V.; CARNEIRO, A. M. P. **IMPACTOS AMBIENTAIS DA UTILIZAÇÃO LODO TÊXTIL EM CONCRETO ASFÁLTICO AO SER EXPOSTO À ÁGUA**. Anais da 49ª Reunião Anual de Pavimentação - RAPv, 2024, p. 614–621, 2024.

OLIVEIRA, A. G.; BARROS, A. D.; LUCENA, L. C. F. L.; LUCENA, A. E. F. L.; PATRICIO, J. D. Evaluation of calcined textile sludge as a stabilizing material for highway soil. **Journal of Traffic and Transportation Engineering**, v. 7, n. 5, p. 688-699, 2020.

OLIVEIRA, K. A.; SIMÃO, L.; REBOUÇAS, L. B.; HOTZA, D.; MONTEDO, O.; R. K.; NOVAES, A. P. O.; RAUPP-PEREIRA, F. **Ceramic shell waste valorization: A new approach to increase the sustainability of the precision casting industry from a circular economy perspective**. Waste management (New York, N.Y.) v. 157, p. 269-278, 2023.

OLIVEIRA Kamila Almeida. **Sistemática CPQVA para a valorização de resíduos sólidos industriais: um guia para tomada de decisão**. 2017. 133f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

PINTO, Carolina Portugal Bastos. **Estudo de caso: Reaproveitamento do lodo da estação de tratamento de efluentes da indústria têxtil**. 2009, 59 p. Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de química, 2009

PRATES, P. B.; MORAES, E. G. de; CESCNETO, F. R.; VICENTE, F. A.; BOCA, R. A. A. S.; SCHABBACH, L. M.; RIELLA, H. G.; FREDEL, M. C. Evaluation of magnesium chloride waste recovery: A case study in nanofertilizers. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 9(21), p. 419–437, 2022.

RAUPP-PEREIRA, Fabiano. **Valorização de resíduos industriais como fonte alternativa mineral: composições cerâmicas e cimentícias**. 2006. 256 p. Tese (Doutorado) – Ciência em Engenharia de Materiais. Universidade de Aveiro, Portugal, 2006.

REBELO, W. B.; ZACCARON, A.; SAVIATTO, E.; OLIVO, E. F.; ACORDI, J.; RAUPP-PEREIRA, F.; RIBEIRO, M. J. Valorization of the Residual Fraction of Coal Tailings: A Mineral Circularity Strategy for the Clay Ceramic Industry in the Carboniferous Region of Santa Catarina, Southern Brazil. **Materials**, v. 17(9), p. 2131, 2024.

SANTA CATARINA. **Lei nº 17.542, de 12 de julho de 2018**. Institui a Política Estadual do Biogás e estabelece outras providências. Santa Catarina, 2018. Disponível em: http://leis.ale.sc.gov.br/html/2018/17542_2018_lei.html. Acesso em: 23 fev. 2025.

SIDRA. Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Cadastro Central de Empresas: Tabela 6449** - Empresas e outras organizações, pessoal ocupado total, pessoal ocupado assalariado, salários e outras remunerações, por seção, divisão, grupo e classe da classificação de atividades (CNAE 2.0) – série encerrada em 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6449#notas-tabela>. Acesso em: 23 fev. 2025.

SIMÃO, L.; SOUZA, M. T.; RIBEIRO, M. J.; MONTEDO, O. R. K.; HOTZA, D.; NOVAIS, R. M.; RAUPP-PEREIRA, F. **Assessment of the recycling potential of stone processing plant wastes based on physicochemical features and market opportunities**. Journal of Cleaner Production, v. 319, 2021.

SINGAPORE. Singapore Management University (SMU). **A new literature mapping tool – ResearchRabbit**. Singapore, 2021. Disponível em: <https://library.smu.edu.sg/topics-insights/new-literature-mapping-tool-researchrabbit>. Acessado em 20 de ago. de 2024

SOUTO, T. J. M. P. **Estudo do comportamento químico e ambiental de efluentes industriais e resíduos sólidos oriundos de lavanderias do polo têxtil no agreste pernambucano**. Recife, 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.

STAMFORD, N. P.; SILVA, E. V. N.; OLIVEIRA, W. S.; MARTINS, M. S.; MORAES, A. S.; BARROS, J. A.; FREITAS, M. I. Benefits of microbial fertilizer in interspecific interaction with textile sludges on cowpea in a Brazilian Ultisol and on wastes toxicity, **Environmental Technology & Innovation**, v. 18, p. 100756, 2020.

SULISTA, S. From waste to an added-value commodity: challenges in valorization opportunity of tin-residual sand for silica-based industry. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1388(1), p. 012031, 2024.

TEMEL, M. Ş.; YANGIN-GOMEZ, C. Co-digestion potential of different industrial sludge sources and impact on energy recovery. **Environmental Research and Technology**, v. 6(4), p. 317–325, 2023.

VILAÇA, A. S. I. **Valorização de resíduos da mineração de ferro do quadrilátero ferrífero: métricas de avaliação na perspectiva da economia circular**. 2020. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

ZAMAN, A. B.; RAHMAN, A.; MAHMUD, I.; ROY, H.; HOQUE, S.; UDDIN, J.; RAHMAN, M. Vermicomposting of solid textile sludge spiked with cow dung by epigeic earthworm *Eisenia fetida* in variable population density. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 42(5), 2023.