

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ANA JÚLIA MEDEIROS MACHADO

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA REAPROVEITAMENTO
DE LODO COMO BIOMASSA NA GERAÇÃO DE ENERGIA EM CALDEIRA**

UBERLÂNDIA – MG

2021

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA REAPROVEITAMENTO
DE LODO COMO BIOMASSA NA GERAÇÃO DE ENERGIA EM CALDEIRA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Ambiental, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do grau de
Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. Dra. Etienne Cardoso Abdala

2021

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA REAPROVEITAMENTO
DE LODO COMO BIOMASSA NA GERAÇÃO DE ENERGIA EM CALDEIRA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Ambiental, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do grau de
Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. Dra. Etienne Cardoso Abdala

Trabalho de conclusão de curso aprovado em: _____ de janeiro de 2021

Prof^ª. Dr^ª. Etienne Cardoso Abdala -

Prof^ª. Dr^ª. Bruna Fernanda Faria Oliveira

Prof^ª. Dr^ª. Michelle de Castro Carrijo

“ Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada, não existirão resultados. ”

Mahatma Gandhi

RESUMO

Como forma de inovação no setor energético, sustentabilidade e garantia de ganhos econômicos e ambientais, cada vez mais busca-se o reaproveitamento de resíduos sólidos gerados nas estações de tratamento de efluentes de indústrias. Visando a inserção da sustentabilidade no cenário atual, este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade do uso de lodo gerado na estação de tratamento de efluentes de indústria alimentícia, na composição da biomassa utilizada na queima em caldeira para geração de energia. O estudo segue uma abordagem quanto ao alto custo e impacto ambiental da destinação de resíduos sólidos em aterros sanitários ou em compostagem. A queima do lodo, em condições favoráveis, pode contribuir na produção de energia térmica. Para obtenção dos resultados foram necessárias revisão bibliográfica para caracterização da biomassa e levantamento de custos a partir de dados experimentais da indústria. Além disso, para análise do investimento do projeto utilizou-se um método lógico de investigação, o indutivo, partindo da observação de indicadores como taxa mínima de atratividade, valor presente líquido, taxa interna de retorno, período de Payback simples e descontado. Os resultados da pesquisa demonstram que existem oportunidades de reaproveitamento do lodo e ganho econômico no meio industrial além de encontrar indicadores econômico-financeiros que se mostraram viáveis, com bom retorno financeiro. Conclui-se também que apesar dos grandes avanços já realizados em busca da sustentabilidade, ainda há grandes oportunidades a serem estudadas.

Palavras chave: Gestão empresarial; resíduos sólidos; lodo; viabilidade econômica.

ABSTRACT

As a form of innovation in the energy sector, sustainability and warranty of economic and environmental gains, the search for reuse of solid waste generated in industrial effluent treatment stations is increasingly sought. Aiming at inserting sustainability in the current scenario, this work aims to analyze the feasibility of using sludge generated in the food industry effluent treatment station, in the composition of the biomass used in the boiler burning for energy generation. The study follows an approach regarding the high cost and environmental impact of the disposal of solid waste in landfills or composting. Sludge burning, under favorable conditions, can contribute to the production of thermal energy. In order to obtain the results, a bibliographic review was necessary to characterize the biomass and to obtain costs based on experimental data from the industry. In addition, a logical method of investigation, the inductive one, was used for the analysis of the investment of the project, based on the observation of indicators such, Minimum attractiveness rate, Net Present Value, Internal Rate of Return, simple and discounted Payback period. The results of the research demonstrate that there are opportunities for reusing sludge and economic gain in the industrial environment, in addition to finding economic and financial indicators that proved to be viable, with good financial returns. It is also concluded that despite of the great advances already made in search of sustainability, there are still great opportunities to be studied.

Keywords: Business management; solid waste; sludge; economic viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Secador Flash Dryer Lochs & Scharfer.	30
Figura 2: Localização da indústria alimentícia em Uberlândia, Minas Gerais.....	33
Figura 3: Etapas do processo da Estação de Tratamento de Efluentes de indústria alimentícia	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Condições e LME para processos de geração de calor a partir da combustão externa de derivados de madeira	18
Tabela 2: Teor de compostos voláteis, umidade, teor de cinzas e análise elementar de amostras de lodo industrial.....	20
Tabela 3: Poder calorífico superior médio de biomassa encontradas na literatura.	21
Tabela 4: Características Caldeira EV200.....	36
Tabela 5: Composição elementar do lodo industrial	36
Tabela 6: Composição química imediata na base seca.....	37
Tabela 7: Resultado poder calorífico superior e inferior do lodo industrial.....	38
Tabela 8: Resultados da medição de emissões atmosféricas da caldeira.	39
Tabela 9: Quantidade de lodo gerado e custos de transporte e destinação do lodo no período de 14 meses.	40
Tabela 10: Resumo de custos mensais com destinação e transporte do lodo.....	40
Tabela 11: Resumo de investimento e custos mensais com o reaproveitamento do lodo.	40
Tabela 12: Cálculo da viabilidade para instalação do sistema de reaproveitamento do lodo como biomassa em caldeira.....	41
Tabela 13: Memorial de cálculo do Payback simples	41
Tabela 14: Fluxo de caixa do projeto no horizonte de 5 anos	41
Tabela 15: Memorial de cálculo do Valor Presente Líquido (VPL)	42
Tabela 16: Cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR).....	42

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CF – Constituição Federal

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto

DN – Deliberação Normativa

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

FIPE – Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas

IPC – Índice de Preços ao Consumidor

LME – Limites Máximos de Emissão

MBR – Reator Biológico com Membrana

NBR – Norma Brasileira

PBD – Payback descontado

PCI – Poder Calorífico Inferior

PCS – Poder Calorífico Superior

PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

PREMEND – Programa de Recebimento e Monitoramento de Efluentes Não Domésticos

SCEA – Sistema de Emissão Atmosférica

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivos Específicos.....	13
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1	A questão ambiental.....	14
3.2	Geração e Gestão de Resíduos Sólidos	15
3.2.1	Resíduos Sólidos	16
3.2.2	Emissões atmosféricas.....	17
3.3	Fontes alternativas de energia.....	18
3.3.1	Composição química elementar do lodo.....	19
3.3.2	Potencial calorífico	20
3.4	Estudo de viabilidade financeira.....	21
3.4.1	Taxa Mínima de Atratividade (TMA).....	22
3.4.2	Valor Presente Líquido.....	23
3.4.3	Taxa interna de retorno (TIR)	24
3.4.4	Tempo de Recuperação do Capital (<i>Payback</i>)	24
4.	METODOLOGIA	25
4.1	Caracterização do caso e cenário atual	26
4.2	Elaboração da proposta	27
4.3	Análise de viabilidade ambiental	30
4.4	Análise de viabilidade econômica	31
5.	RESULTADOS.....	32
5.1	Caracterização do estudo de caso	32
5.2	Análise técnica do reaproveitamento do lodo	36
5.2.1	Poder calorífico.....	38
5.2.2	Emissões atmosféricas.....	38
5.3	Análise de viabilidade econômica	39
6.	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos estão atualmente entre as principais preocupações dos cenários atuais. O crescimento da população e da indústria, caracterizando a urbanização acelerada resulta no aumento da exploração dos recursos naturais e como consequência, alta geração de resíduos. Em sua grande maioria, os resíduos são descartados em locais inadequados, diretamente no meio ambiente, promovendo a contaminação do solo e das águas, além de diversos outros prejuízos ambientais, sociais e econômicos.

Com o aumento da demanda e da produção ao longo do tempo, as indústrias se veem diante uma nova problemática ambiental: a grande geração de resíduos sólidos industriais. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei N° 12.305 de 02 de agosto de 2010, define os instrumentos necessários que permitem o avanço do país em relação ao manejo dos resíduos sólidos.

Comumente, as práticas que referenciam a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos industriais são realizadas como dirigentes da preservação dos recursos naturais (SANTOS et al., 2016). Frente a esse cenário, as indústrias e organizações buscam pela responsabilidade socioambiental considerando práticas sustentáveis como forma de garantir ganhos econômicos e ambientais.

Segundo Russo (2003), a minimização dos resíduos sólidos pode ser conquistada através de alterações tecnológicas, como modificações nos produtos, nos sistemas de produção, na formação dos membros da produção e da manutenção. Tais ações podem ser implementadas por meio de um programa de minimização da produção de resíduos sólidos com o foco na indústria, baseando-se em dois aspectos estratégicos: a redução da fonte e a reciclagem/valorização.

Apesar de existirem resíduos facilmente reaproveitáveis como plásticos, papéis, e metais que são destinados à reciclagem, as indústrias alimentícias geram outros resíduos cuja destinação é limitada a altos custos ou poucas opções, devido a sua natureza e complexidade. É o caso do lodo, proveniente da estação de tratamento de efluentes.

Durante o tratamento de efluentes, os processos primários e secundários geram lodo, que precisa ser manuseado, tratado e descartado com atenção, visto que, muitas vezes, estas etapas são mais dispendiosas que o próprio tratamento de efluentes (GAUTO; ROSA, 2011). Segundo Jordão e Pessoa (2011), a geração do lodo é uma desvantagem econômica e operacional no processo.

De acordo com a ABNT NBR 10004, o lodo químico proveniente de decantadores e/ou flutuadores de estações de tratamento de água e esgoto é classificado como resíduo sólido e semissólido, o que torna inviável seu lançamento em rede pública de esgoto interligada a sistemas convencionais de tratamento ou corpos d'água (BRASIL, 2004b; CAVALCANTI, 2012).

A biomassa é definida por Arbex et al (2004, p. 159) como “qualquer matéria de origem vegetal ou animal utilizada como fonte de energia”, sendo sua principal utilização como combustível em termelétricas. Palomino (2009) aponta que, a geração de energia elétrica em usinas sucroalcooleiras, através da queima do bagaço de cana-de-açúcar, já se tornou prática tradicional.

No cenário atual, onde a sustentabilidade está cada vez mais inserida, os processos de reutilização de resíduos se torna uma alternativa não somente para preservação do meio ambiente, como também, para reduzir custos e melhorar a imagem da organização. Busca-se cada vez mais a inovação no setor energético de forma a evitar a poluição ambiental, através do reaproveitamento de subprodutos e/ou resíduos industriais como biomassas energéticas.

Desta forma, a reutilização do lodo como biomassa para queima em caldeiras é uma ótima alternativa de retorno financeiro, devido a elevados custos para destinação correta em aterros ou compostagem. O reaproveitamento destes materiais na geração de energia diminui os impactos ambientais causados pela disposição inadequada, além de garantir ganhos econômicos consideráveis com a sustentabilidade na gestão de resíduos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho objetiva propor uma alternativa viável de modo econômico e ambiental para a destinação de lodo gerado na estação de tratamento de indústria alimentícia em Uberlândia na composição da biomassa, como fonte alternativa de combustível, utilizada na queima em caldeira para geração de energia.

2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um estudo de caso baseado em indústria alimentícia em Uberlândia
- Elaborar alternativa para destinação do lodo considerando análise técnica ambientalmente segura e sustentável;
- Analisar a viabilidade econômica do projeto de inclusão de lodo na biomassa, através de cálculo de indicadores financeiros.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A questão ambiental

Desde os tempos mais remotos, a presença humana no planeta tem trazido impacto ao meio ambiente (PIOTTO, 2003 p. 4). O processo de industrialização dos grandes centros urbanos brasileiros a partir da década de 30 fez surgir graves consequências ambientais de degradação e principalmente de geração e gerenciamento do lixo. De acordo com Leal, Farias e Araújo (2008) após a Revolução Industrial,

Devido ao crescimento das populações e das necessidades de consumo, as indústrias cresceram consideravelmente em número, áreas de atuação e variedade de produtos. Entretanto, a disciplina e a preocupação com o meio ambiente natural não se fizeram presentes durante muitos anos, tendo como resultado problemas ambientais de grandes dimensões. (2008, p. 01).

A expansão contínua de cidades, que rapidamente se tornaram metrópoles e megacidades, o modo de produção e o consumo da sociedade contemporânea ligado à cultura do desperdício e do descarte intensifica ainda mais a problemática dos resíduos, principalmente na área urbana. Lopes (2007) enfatiza que a crescente produção dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) pode ser considerada um resultado do atual padrão de produção e consumo, do comportamento dos consumidores, da falta de educação ambiental, combinado com o crescimento acelerado da população mundial e do seu poder aquisitivo.

Com a pressão externa sobre a manutenção dos ecossistemas naturais e artificiais, em 1981 foi criada, no Brasil, a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), como forma de unificar as diversas regulamentações públicas de controle dos recursos naturais e de preservação ambiental, ao mesmo tempo que não comprometeria, no crescimento e desenvolvimento econômico (BARBOSA e IBRAHIN, 2014). De acordo com a Constituição Federal de 1988 (CF/ (CF/88), em seu art. 225, “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado”. A Carta Magna impõe ao Poder Público o dever de defender e preservar o meio ambiente, para as presentes e futuras gerações, representando um marco na legislação brasileira sobre o meio ambiente.

A solução ou minimização desses impactos ambientais envolvem uma nova atitude dos gestores. Como é elucidado por Barbieri (2011), estes devem considerar o meio ambiente em suas decisões e assumir convicções administrativas e tecnológicas que auxiliem no aumento da capacidade de sustento do mundo. Nessa acepção, Savi Filho e

Savi (2006) argumentam que é necessário que os engenheiros busquem a melhoria permanente, fazendo uso da tecnologia no ramo de suas atividades sem prejudicar o meio ambiente.

Acerca disso, Silva (2014) destaca que em virtude dos grandes prejuízos ao meio ambiente, como o desmatamento, poluição, escassez de recursos naturais e o uso demasiado de produtos químicos no solo, as pessoas passaram a constatar que o modo que vinham utilizando os recursos naturais não era o correto e a partir daí surgiu a preocupação acerca das questões socioambientais.

No ponto de vista organizacional, Castro (2012) acredita que um dos principais motivos que levam uma empresa a se adequar a princípios sustentáveis é a necessidade de sobrevivência no mercado, ou seja, visualizam que podem continuar competitivas e oferecer produtos de qualidade, melhorar os processos e diminuir os impactos ambientais.

Nesse seguimento, Silva (2014, p.6) declara que “as grandes organizações tem investido em projetos socioambientais de modo a modificar suas formas de atuação, buscando serem vistas com outros olhos”.

As questões ambientais são critérios do projeto, uma vez que prevê a redução de geração de resíduos, contribuindo para o cumprimento de condicionantes relacionadas a planos de minimização de resíduos. Com o reaproveitamento do lodo em caldeira há a redução de impactos ambientais envolvendo transporte e destinação de resíduos orgânicos, como acidentes em vias públicas, transbordo de resíduos em locais inadequados.

3.2 Geração e Gestão de Resíduos Sólidos

Um dos maiores e mais complexos problemas ambientais que surgiram no decorrer da Revolução Industrial e persiste nos dias atuais são a geração e descarte dos resíduos industriais e urbanos. A disposição inadequada dos resíduos industriais acarreta a degradação do meio ambiente e a contaminação de mananciais de água e do solo.

As características dos resíduos industriais variam de acordo com o tipo de produto fabricado, a matéria-prima e os insumos utilizados, o processo empregado, as tecnologias usadas nas diversas etapas da produção e o controle da eficiência ambiental. Estes resíduos requerem cuidados especiais quanto à coleta, triagem, acondicionamento,

transporte e destinação de acordo com a sua periculosidade a saúde humana e ao meio (IMAI, 2010).

As indústrias alimentícias são responsáveis pela geração de diversos tipos de resíduos, e, diferentemente dos resíduos recicláveis que são facilmente reaproveitados por empresas de reciclagem, existem resíduos cuja destinação é mais complexa devido sua natureza, como é o caso do lodo proveniente do sistema de tratamento de efluentes e a cinza proveniente da queima de biomassa nas caldeiras.

A destinação mais comum para este lodo são os aterros industriais. No entanto, essa alternativa não se mostra a melhor opção dos pontos de vista técnico, financeiro e ambiental. Do ponto de vista da sustentabilidade, o ideal é que esses resíduos possam ser reaproveitados, evitando o passivo ambiental gerado e preservando recursos naturais (IMAI, 2010).

De acordo com Madeira (2010), a gestão dos resíduos deve estar alicerçada em condições ambientais adequadas, e considerar todos os aspectos envolvidos, desde a fonte geradora até a disposição final segura. Hodge, Ochsendorf & Fernández (2010), relatam que a busca pela minimização do descarte e a redução de consumo de recursos naturais, têm feito as organizações buscarem pela reintegração dos resíduos nos processos produtivos, permitindo o desenvolvimento sustentável e a redução de danos ambientais.

Bautista-Lazo e Short (2013), citam a eliminação dos resíduos como um dos pilares da competitividade empresarial, e o aumento da consciência ambiental pelos consumidores tornou o tema ainda mais decisivo. Em breve a redução de resíduos deve ser como uma iniciativa vista pelas organizações independente de incentivos e regulamentações governamentais

3.2.1 Resíduos Sólidos

A Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos que restringe a utilização de aterros sanitários para resíduos últimos, ou seja, que não são passíveis de reuso ou reciclagem.

A Resolução CONAMA nº 313 de 29 de outubro de 2002, dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. No artigo 2º, para fins desta Resolução entende-se que:

I - Resíduo sólido industrial é todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido e gasoso – quando contido, e líquido – cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição.

A caracterização de um resíduo (NBR 10.004) permite classificar um resíduo sólido, bem como identificar se este deve ser qualificado como perigoso por apresentar características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Estas características devem direcionar os esforços no processo de gestão e destinação do resíduo.

A NBR 10.004 classifica os resíduos quanto ao risco à saúde pública e ao meio ambiente em dois grandes grupos (RIBEIRO, 2010):

- Resíduos Classe I (Perigosos): resíduos com alguma das características já citadas, entre elas inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
- Resíduos Classe II (Não perigosos): São divididos em Não Inertes (II A), com propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água e Inertes (II B), cuja solubilidade não comprometa os padrões de potabilidade, exceto cor, aspecto, dureza, sabor e turbidez, quando analisados segundo as NBR 10.006 e 10.007 (WITTMANN, 2010).

3.2.2 Emissões atmosféricas

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da resolução no 382/2006, estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para processos de combustão em fontes fixas de acordo com o tipo de combustível utilizado. O anexo IV desta resolução determina os limites de emissão para material particulado e óxidos de nitrogênio provenientes de processo de geração de calor a partir da combustão externa de derivados de madeira.

O Estado de Minas Gerais, por meio da Deliberação Normativa COPAM nº 187 de 2013, estabelece condições e limites máximos de emissão (LME) de poluentes atmosféricos para fontes fixas no estado. A Tabela 1 estabelece os critérios de emissões para processos de geração de calor a partir da combustão externa de derivados de madeira.

Tabela 1: Condições e LME para processos de geração de calor a partir da combustão externa de derivados de madeira

	Potência Térmica Nominal (P)	Condições e LME (mg/Nm ³ , base seca, a 8% de O ₂)		
		MP	NO _x	CO
Geradores de calor novos: a partir da entrada em operação	$P \leq 0,05$ MW	200	NA	6.500
	$0,05$ MW < $P \leq 0,15$ MW	200	NA	3.250
	$0,15$ MW < $P \leq 1,0$ MW	200	NA	1.700
	$1,0$ MW < $P < 10,0$ MW	200	NA	1.300
	$10,0$ MW $\leq P < 30$ MW	200	650	NA
	$30,0$ MW $\leq P \leq 70,0$ MW	200	650	NA
	$P > 70,0$ MW	130	650	NA

Fonte: Adaptado de COPAM (2013).

3.3 Fontes alternativas de energia

Encontrar aplicabilidade para os resíduos industriais é uma solução eficaz no sentido de buscar minimizar os problemas relacionados à geração dos mesmos. Muitos podem ser transformados em matérias-primas para outras linhas de produção, ou utilizados como material alternativo na substituição de recursos naturais (IBEIRO, 2007).

Uma substância para ser usada como combustível deve ser abundante na natureza desprender suficiente quantidade de calor ao ser oxidada e apresentar um custo relativamente baixo. A biomassa se destaca neste primeiro requisito em função de ser facilmente encontrada na natureza e nos residuais de processos agrícolas e industriais (IMAI, 2010).

De acordo com a ANEEL (2005), biomassa, do ponto de vista energético, é todo recurso renovável proveniente de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Pasquini (2014) destaca que a produção de energia elétrica e térmica, a partir da biomassa, é muito defendida como alternativa importante para países em desenvolvimento. Além de ser considerada como fonte de energia renovável mais popular, já que possui disponibilidade local de forma atrativa e

abundante, como, é tecnicamente flexível na produção de energia (CAO e PAWLOWSKI, 2012).

Os tipos de biomassas usadas para geração de energia incluem (MACEDO 2006):

- Árvores como pinus e eucalipto;
- Resíduos de madeira como galhos, folhas, raízes;
- Resíduos do corte e beneficiamento da madeira, como serragem e cavacos;
- Resíduos de colheitas como casca de arroz e casca de amendoim: resíduos agroindustriais como lignina e bagaço de cana-de-açúcar;
- Resíduos de efluentes como lodo de estação de efluentes industriais;
- Resíduos aglomerado, ou pellets de refino e rerrefino de óleo na indústria petrolífera;
- Resíduos domésticos.

O lodo, muitas vezes caracterizado como um resíduo passível de aterramento, pode se tornar fonte de energia após o desaguamento, evidenciando a mudança do paradigma para o seu destino final (COURTAUD et al., 2010). Esse cenário aponta para a tendência de aproveitamento do lodo visando à produção de energia em benefício das ETEs, muito embora os estudos nessa área ainda não sejam bem difundidos (DE SENA et al., 2007).

O lodo gerado nas estações de tratamento de efluentes no Brasil não é aproveitado para cogeração de energia, sendo depositados em aterros sanitários, resultando em desperdício de matéria-prima. O descarte do lodo no Brasil tem se tornado um desafio cada vez maior, uma vez que cria a necessidade de implantações de soluções tecnológicas que auxiliem no reaproveitamento da biomassa, como fonte alternativa de energia.

3.3.1 Composição química elementar do lodo

A composição química elementar de uma substância é o conteúdo, em porcentagem de massa ou volume, dos elementos que formam parte da sua composição química. Constitui um dos ensaios mais importantes para caracterizar quimicamente um material, pois é a base para a análise do processo de combustão, como por exemplo, os cálculos do volume de ar necessário, quantidade de gases gerados e da sua entalpia (ALMEIDA FILHO, 2016). A Tabela 2 a seguir apresenta os teores de compostos

voláteis, umidade, teor de cinzas e análise elementar de amostras de lodo e dados encontrados na literatura para comparação.

Tabela 2: Teor de compostos voláteis, umidade, teor de cinzas e análise elementar de amostras de lodo industrial.

	Parâmetros	Lodo Industrial	Literatura
Análise de voláteis (base seca)	Teor de voláteis (%)	0,53	-
	Umidade (%)	0,52	-
Análise elementar % (base seca)	C	43,6	23,1 – 39,9
	H	6,22	3,8 – 5,9
	N	8,56	2,5 – 7,9
	O (por diferença)	26,7	18,8 – 23,5
	S	1,36	0,8 – 1,0
	Cinzas	13,6	22,6 – 52,0
	H/C	1,71	-
	O/C	0,46	-
	N/C	0,17	-

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2018).

Os teores de C, H, N, O e S obtidos na análise elementar do lodo secundário são semelhantes àqueles descritos na literatura (FONTES, 2012; LIU, 2018; ARAZO, 2018) e podem ser relacionados à sua composição (tipicamente proteínas, lipídios e polissacarídeos, majoritariamente).

A combustão, geralmente é efetuada para aproveitamento de calor, gerando subprodutos gasosos, principalmente dióxido de carbono e vapor d'água (FONTES, 2012). Para uma boa combustão, a biomassa deve possuir elevado teor de carbono fixo e material volátil, assim como alto poder calorífico superior. Quanto maior o teor de carbono e hidrogênio, melhor será a combustão, enquanto altos teores de nitrogênio e enxofre poderão resultar em altos índices de emissões de NO_x e SO₂ (DE SENA, 2005).

De acordo com a literatura, um pré-tratamento da amostra coletada em campo é necessário para remover o máximo possível da umidade do lodo, a qual pode interferir no processo de pirólise (FONTES, 2012).

3.3.2 Potencial calorífico

O poder calorífico é definido como a quantidade de calor liberada durante a combustão completa da unidade de massa do combustível. O combustível, ao sofrer a combustão completa, libera energia térmica, e é normalmente medido em termos da energia por conteúdo por unidade de massa ou volume, por exemplo, em Megajoules por

quilograma (MJ/kg) no caso de combustíveis sólidos. O valor quantitativo dessa propriedade depende da composição da biomassa e do seu teor de umidade (LORA e VENTURINI, 2012). O poder calorífico pode ser superior ou inferior.

O Poder Calorífico Superior (PCS), de acordo com Lora e Venturini (2012), considera que o vapor de água presente nos gases de combustão é condensado, e o Poder Calorífico Inferior (PCI), considera que isso não acontece. A diferença entre o PCS e o PCI é a energia requerida para evaporar a umidade presente no combustível.

De acordo com De Sena (2005), para um bom rendimento térmico na combustão, o combustível deve possuir uma elevada quantidade de carbono fixo e materiais voláteis, além de alto poder calorífico. Quanto maior o teor de carbono e hidrogênio, melhor será a eficiência combustão na liberação de energia. A Tabela 3 apresenta os valores de poder calorífico superior para diferentes tipos de biomassa encontrados na literatura.

Tabela 3: Poder calorífico superior médio de biomassa encontradas na literatura.

Biomassa	Poder Calorífico Superior (MJ/kg)	Referência
Bagaço de cana em briquete	14,5	Arauterm (2008)
Carvão Mineral	23 a 28	Demirbas (2004)
Eucalipto	19,4	Lora e Nascimento (2004)
Madeira de descarte	13,00	Arauterm (2008)
Madeiras nacionais	19,615	Quirino et al. (2005)
Madeira Seca	17,50 ± 2,12	Wang et. Al (2013)
Lodo de Tratamento Aeróbio	22,19 ± 0,06	Pasquini (2014)
Lodo digerido anaeróbio	12,79	Andreoli (2001)

Fonte: Adaptado de Lazzari (2018).

O potencial energético associa-se à energia máxima que poderia ser gerada com o aproveitamento energético da biomassa. O lodo desidratado em filtro prensa foi considerado inadequado para fins energéticos (pelo excessivo conteúdo de umidade); a fim de viabilizar o seu potencial combustível, propõe-se sua secagem até a umidade de 10% (ROSA, 2016).

3.4 Estudo de viabilidade financeira

Com o crescimento das empresas e a distância entre os administradores, os ativos e as pessoas, a contabilidade e análise de custos chega com objetivo de fornecer

informações geradas a partir das demonstrações contábeis e indicadores econômicos que ajudam nas tomadas de decisões.

Quando se discute sobre “análise financeira” de um projeto, o objetivo central é verificar a influência de um investimento. De acordo com Heineck, Barros Neto e Abreu (2008) é crucial averiguar a viabilidade econômica de um investimento aplicando métodos gerais de engenharia econômica acrescidas de aspectos associados ao mercado no qual o investimento está agregado. Segundo a NBR 14653-4 de 2003,

O resultado final das análises de viabilidade econômica pode ser expresso sob a forma de taxas internas de retorno, valor presente líquido, custo anual, períodos de recuperação (payback) e índices de lucratividade (...), (ABNT, 2002, pág. 11).

Adicionalmente, também é feita a análise econômico-financeira onde, através de fluxos de caixa e cálculos de taxas internas de retorno (TIR) e de tempo de retorno de investimento, são identificadas as melhores oportunidades de investimento, de modo que os resultados superem o valor investido (MOYEN; PLATIKANOV, 2012).

As demonstrações contábeis são fundamentais para avaliação da saúde financeira da empresa, bem como os retornos obtidos a partir de investimentos (ASSAF NETO, 2012).

Uma das ferramentas mais importantes é o fluxo de caixa, de fácil compreensão e que capta rapidamente o fluxo de informações (ROSS et al, 2010). Através do fluxo de caixa, é possível caracterizar uma estimativa de perdas e ganhos futuros, já que o projeto está sendo estudado para implementação como objetivo futuro.

Para Motta e Calôba (2002), todo projeto de investimento que seja apresentado a uma empresa ou a um financiador obterá um estudo de viabilidade econômico-financeira para respaldá-lo e este será constituído com base no fluxo de caixa do projeto.

3.4.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Ao se analisar qualquer proposta de investimento deve-se considerar o fato de que se está perdendo a oportunidade de se aplicar o mesmo montante em outra proposta de investimento. Assim, para qualquer proposta de investimento ser considerada atrativa, deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes consideradas sem risco. Esta taxa de juros geradora de rentabilidade sem riscos

é, portanto, a taxa mínima de atratividade (TMA) (SANTOS; ALVES; FERREIRA; SANTOS; ROCHA, 2017).

Segundo a NBR 14653-4 (2002), a taxa mínima de atratividade é a Taxa de desconto do fluxo de caixa compatível com a natureza e características do empreendimento, bem como a expectativa mínima de emulação do empreendimento, em face de suas carteiras de ativos.

Geralmente adota-se uma TMA observando o retorno que o empreendedor obteria caso optasse por alguma outra fonte de rentabilidade referência, por exemplo, uma caderneta de poupança, etc., incluindo ainda um percentual de risco (GUIDUGLI FILHO, 2014).

Não há um algoritmo ou uma fórmula para o cálculo da TMA. Muitos investidores tomam como sua taxa mínima de atratividade a taxa básica de juros da economia, que, no caso do Brasil, seria a taxa SELIC. Isso ocorre porque os títulos atrelados à SELIC são o investimento mais seguro do mercado. Dessa forma, qualquer outro investimento só valeria a pena se a rentabilidade oferecida fosse maior que a SELIC (REIS, 2019).

3.4.2 Valor Presente Líquido

A NBR 14653-4 (2002) descreve o VPL como o valor atual de um pagamento ou fluxo futuros, descontados a uma determinada taxa de juros, deduzindo o investimento.

O Valor Presente Líquido (VPL) é um método muito empregado no meio financeiro, uma vez que estima a atratividade do investimento através de equação matemática que propicia conhecer pagamentos futuros no valor presente. Ou seja, o aspecto crucial desta ferramenta é a análise das possibilidades de procedimentos existentes, estimando-se para propósito de comparação um valor único posicionado em uma data aleatória, com o valor presente compatível a cada um dos fluxos de caixa significativos de cada uma das alternativas (PILÃO E HUMMEL, 2003).

Motta e Calôba (2002) declara o VPL como a somatória algébrica de cada um dos fluxos de caixa descontados para o momento presente ($t = 0$), a uma dada taxa de juros (i). Matematicamente, o VPL pode ser identificado a partir da aplicação da Equação 1.

Equação 1: Cálculo do Valor Presente Líquido

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

O empreendimento será considerado viável quando o seu VPL for nulo ou positivo, para uma taxa de desconto equivalente ao custo de oportunidade de igual risco, e havendo mais de uma variante rentável, o de maior VPL será o mais lucrativo (BRITO, 2014).

3.4.3 Taxa interna de retorno (TIR)

O método da Taxa Interna de Retorno (TIR) consiste em encontrar a remuneração do investimento em condições percentuais por ciclo. Para a interpretação dos dados deste processo, comparam-se os seus resultados com o valor da TMA, preferindo o projeto quando a TIR for maior que a TMA ou rejeitando-o caso sua TIR seja menor que a TMA. Porém, caso a TIR disponha valor igual à TMA, a seleção do projeto é imparcial. Em casos em que existam numerosos projetos, para serem analisados, opta-se por aquele que obtém uma TIR superior (SANTOS, 2010).

Os indicadores de análise de investimentos são: taxa mínima de atratividade TMA, custo de capital, valor presente líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e tempo de recuperação do capital (Payback).

A NBR 14653-4 (ABNT, 2002), declara à TIR, como sendo a taxa de desconto para qual o valor presente líquido do fluxo de caixa de um investimento é nulo. Matematicamente, a TIR é definida através da Equação 2.

Equação 2: Cálculo da taxa interna de retorno.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} - FC_0$$

3.4.4 Tempo de Recuperação do Capital (Payback)

O Payback é uma ferramenta empregada para estabelecer o período de tempo que levará para o investidor receber de volta o capital investido no projeto. Esse tempo de retorno é determinado a partir do cálculo dos lucros obtidos em cada período (SANTOS, 2017).

O Payback é um critério que faz uso de um período em anos para a tomada de decisão em projetos de investimentos. Dessa forma, os projetos que apresentam o Payback igual ou inferior ao número de anos estabelecidos proporcionam uma recuperação do investimento. Naqueles projetos em que a taxa estipulada é superada, o

projeto deve ser rejeitado uma vez que o retorno é inferior ao estipulado (TORRES; DINIZ, 2013).

O Payback pode ser: simples, quando corresponde ao tempo necessário para anular a diferença entre as despesas de investimento e as receitas líquidas, sem considerar a remuneração do capital; e descontado, quando corresponde ao tempo necessário para anular a mesma diferença, quando as parcelas são descontadas a uma taxa de retorno (BRITO, 2014). O cálculo do Payback simples é descrito na Equação 3 (FONTES, 2004):

Equação 3: Cálculo do Payback simples

$$\text{Payback} = \frac{\text{investimentá ni ci al}}{\text{ganho em período determi nado}}$$

Quando se tem um playback baixo, a recuperação do investimento é mais rápida. Quando o período de retorno for maior do que o esperado o investimento deve ser negado (TORRES, DINIZ JUNIOR, 2013).

Em relação ao método simples, o payback descontado (PBD) apresenta uma série de vantagens, sem abrir mão da simplicidade: considera o custo de capital das empresas; leva em conta as variações do dinheiro ao longo do tempo; é adequado para a avaliação de projetos de risco elevado ou vida limitada; é mais fiel à realidade financeira dos negócios (ABREU, 2019). A Equação 4 apresenta o cálculo do payback descontado:

Equação 4: Cálculo do Payback descontado.

$$PBD = \frac{FCO}{FC_n / (1 + i)^n} \times n^\circ \text{ Anos}$$

Através do Payback descontado, o investidor conhecerá a maturidade do investimento e o tempo de exposição ao risco. A análise do PBD depende de um prazo mínimo estipulado pelo investidos, caso estiver abaixo do mínimo, deve ser aceito.

4. METODOLOGIA

O estudo de caso presente neste trabalho busca estudar a viabilidade econômico-financeira de investimentos através da implementação do projeto de reaproveitamento de lodo industrial proveniente da estação de tratamento de efluentes como biomassa em caldeira. A metodologia de investigação do estudo de caso em questão é utilizada como

introdução de um estudo mais aprofundado baseado na metodologia descritiva e qualitativa de dados que será descrita adiante.

Do ponto de vista de seus objetivos, a pesquisa é descritiva e qualitativa. Segundo Prodanov e Freitas (2013, p.51):

A pesquisa descritiva ocorre quando o pesquisador apenas registra e descreve os fatos observados sem interferir neles. [...] Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados: questionário e observação sistemática. Assume, em geral, a forma de Levantamento.

De acordo com Aidil Barros e Neide Aparecida (1990, p.34) na pesquisa descritiva ocorre:

[...] descrição do objeto por meio da observação e do levantamento de dados ou ainda pela pesquisa bibliográfica e documental. Das pesquisas descritivas pode-se chegar à elaboração de perfis, cenário etc. A ênfase metodológica pode ser mais quantitativo do que a qualitativa. Busca percentuais, médias, indicadores, curvas de normalidade etc.

A abordagem qualitativa possibilita diversos métodos de investigação e coleta de dados, por meio de entrevistas, observações, documentos, registros. No presente trabalho, a coleta de dados foi realizada a partir de dados secundários fornecidos pela empresa e pela literatura explorada. A investigação documental e o estudo de viabilidade econômica serão necessários para análise de implementação do projeto.

4.1 Caracterização do caso e cenário atual

Foi realizado uma pesquisa com levantamento de dados práticos e teóricos a respeito da indústria objeto do estudo. Serão apresentados a localização da indústria do ramo alimentício no município de Uberlândia, bem como a estrutura atual referente à estação de tratamento de resíduos, gestão de resíduos e caldeira.

Os dados foram coletados a partir de documentos ambientais apresentados pela indústria, como o PGRS (Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos), narrativa de operação criada com o início do projeto Acquarius, entre outros estudos. As informações referentes à caldeira e custos do cavaco foram coletadas de entrevistas com funcionários da área.

4.2 Elaboração da proposta

Os dados referentes às características do lodo foram coletados a partir de laudo técnico de caracterização de resíduos, elaborado por laboratório credenciado, a partir de uma amostra coletada em fevereiro de 2019, seguindo a metodologia descrita na NBR 10004 para classificação de resíduos sólidos.

Atualmente, a caldeira pertencente à indústria em estudo possui como biomassa o cavaco de madeira, originado do reflorestamento de *Eucalyptos*. Para que a introdução do lodo na biomassa não seja prejudicial ao rendimento e eficiência da caldeira, foi necessário realizar o levantamento de informações e características do cavaco, utilizado atualmente. As características do cavaco de madeira foram coletadas a partir de entrevistas e documentos apresentados por engenheiros e operadores da área caldeira da indústria.

Os demais dados necessários para cálculo de poder calorífico, como a composição elementar do lodo, foram coletados a partir de pesquisa bibliográfica, por meio de investigação de trabalhos com mesmo objetivo, no qual foi caracterizado lodo industrial do mesmo ramo alimentício.

Os cálculos de poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) foram baseados nas fórmulas disponíveis no estudo descrito por ROSA (2016), aqui apresentadas pela Equação 5 e Equação 6 que detalha o procedimento de cálculo para determinação dos poderes caloríficos teóricos para o lodo de estação de tratamento de esgoto.

As informações referentes às emissões atmosféricas a partir da queima das biomassas foram coletadas a partir de testes descritos em estudos de medição de emissões utilizando porcentagens de lodo e cavaco como biomassa em caldeira. Os testes descritos nos estudos chegaram à conclusão da porcentagem de mistura de ambos combustíveis para que as emissões respeitem o padrão estabelecido pela DN COPAM N° 187.

Para a secagem do lodo, está sendo proposto o secador térmico do tipo Flash Dryer. De acordo com pesquisa de mercado e orçamento realizado com a empresa fornecedora do equipamento em outubro de 2020, o secador está projetado para a industrialização de até 500 toneladas de lodo mensal. O secador Flash Dryer permite a secagem do lodo, com no máximo 85% de umidade, até chegar a umidade de 10% a 15%.

A viabilidade econômica foi caracterizada a partir de planilha de fluxo de caixa, com o detalhamento do gasto atual com o transporte e destinação do lodo para compostagem (cenário atual) e o investimento com o projeto da implementação do lodo como biomassa em caldeira (cenário proposto). Por fim, foi possível analisar diferentes metodologias como valor presente líquido, taxa interna de retorno, Payback simples e descontado para análise da viabilidade do projeto.

Resumindo em tópicos, tem-se:

- a) Para a determinação da umidade do lodo, foram utilizados laudos laboratoriais já existentes, de fevereiro de 2019;
- b) Para determinação da umidade e custos relacionados ao cavaco e geração de vapor, foram realizadas pesquisas e entrevistas com profissionais da caldeira da indústria. Documentos, laudos de análises e levantamento de custos foram feitos por engenheiros do setor e repassados para este trabalho.
- c) A composição do lodo foi determinada baseada na literatura de estudos envolvendo lodo proveniente de estação de tratamento de indústria do setor alimentício;
- d) Para determinação do PCS e PCI do lodo, utilizou a fórmula citada em ROSA, 2016:

Equação 5: Cálculo do poder calorífico superior

$$PCS = \frac{[337,3 \times C + 1.418,9 \times (H - \frac{O}{8}) + 93,1 \times S + 23,3 \times N]}{1000}$$

- PCS = poder calorífico superior MJ/kg
- C = % de carbono no material
- H = % de hidrogênio no material
- O = % de oxigênio no material
- S = % de enxofre no material
- N = % de nitrogênio no material

Equação 6: Cálculo do poder calorífico inferior

$$PCI = \frac{[PCS - \lambda \times (r + 0,09 \times H)] \times (100 - W)}{100}$$

- PCI = poder calorífico inferior em MJ/kg

- $\lambda = 1,05$
- r = razão entre teor de sólidos e teor de umidade no lodo desidratado
- W = teor de sólidos no lodo desidratado (%)

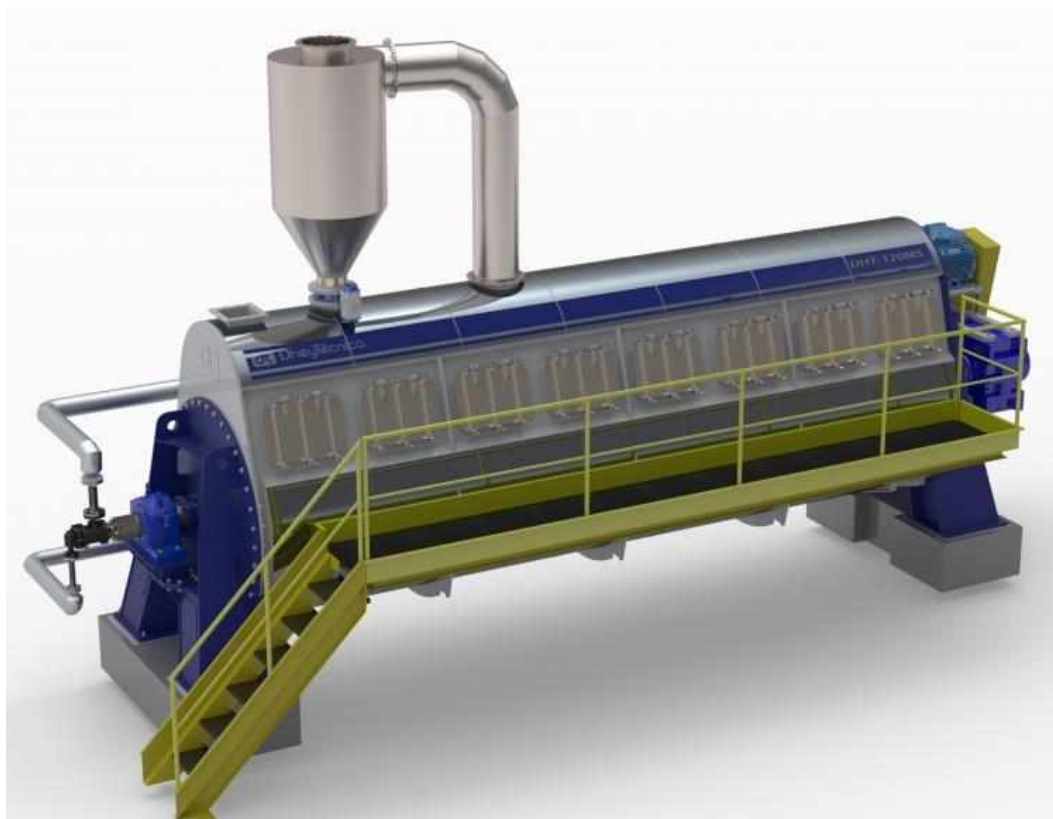
Equação 7: Razão entre teor de sólidos e teor de umidade de lodo desidratado

$$r = \frac{W}{100 - W}$$

- e) O poder calorífico do cavaco foi determinado baseada na literatura;
- f) Para a determinação da porcentagem de mistura, foram utilizados testes aplicados em estudos de mesma finalidade no qual o resultado não extrapolou os limites de emissão de poluentes gasosos no processo de combustão do lodo adicionado à lenha.
- g) Para secagem do lodo, é proposto uso de Flash Dryer, fornecido pela Lochs Scharfer. O orçamento e dados do projeto de instalação do equipamento foram abrangidos em proposta comercial realizada em outubro de 2020.

O equipamento está projetado para a secagem de até 500 toneladas de lodo mensal. O lodo é seco através de 15.000m³/h de ar quente provindo da chaminé de caldeira ou de aquecedor de óleo térmico. O lodo sai do equipamento com umidade entre 10% e 15%, já sob forma de pó grosseiro. O gás proveniente da secagem do lodo é levado diretamente para o lavador de gases, com a finalidade única e exclusiva de reter material particulado, e lançado posteriormente para a atmosfera.

Figura 1: Secador Flash Dryer Lochs & Scharfer.



Fonte: Catálogo Lochs & Sharfer (2020).

4.3 Análise de viabilidade ambiental

O projeto de reaproveitamento de lodo desse trabalho foi proposto a partir da abordagem de gestão e minimização de resíduos. As questões ambientais estão inseridas no objetivo do trabalho, como foco principal, juntamente com a viabilidade econômica.

O projeto prevê a redução de geração de resíduos, contribuindo para o cumprimento de condicionantes relacionadas a planos de minimização de resíduos. Com o reaproveitamento do lodo em caldeira há a redução de impactos ambientais envolvendo transporte e destinação de resíduos orgânicos, como acidentes em vias públicas, transbordo de resíduo em locais inadequados.

A destinação final também é um ponto importante, pois o descarte de lodo em aterros reduz o tempo de vida útil e não promove o manejo sustentável de resíduos. Em compostagem, a disponibilidade de espaço é um dos problemas enfrentados, dependendo da quantidade de resíduos a serem tratados. Com isso, o reaproveitamento do lodo como 42 biomassa em caldeira promove o uso completo do material, que deixa de ser resíduo e se torna matéria prima na geração de energia, sendo 100% reaproveitado.

A viabilidade ambiental do projeto foi analisada a partir dos resultados de emissões atmosféricas e redução na geração de resíduos. Com os resultados, será possível identificar se haverá algum impacto ambiental com a implementação do projeto e se o objetivo de redução de destinação de resíduos será atendido. Portanto, se os resultados forem positivos, subentende-se que o do ponto de vista ambiental, o projeto será de ganhos ecológicos.

4.4 Análise de viabilidade econômica

A análise de viabilidade econômica foi realizada a partir de planilha de fluxo de caixa detalhando os custos com o cenário atual e o cenário proposto. O levantamento de custos baseou-se em fechamentos mensais de resíduos realizados na indústria, além de notas fiscais e contratos com as empresas de transporte e destinação do resíduo orgânico. O investimento inicial com o secador e os demais custos relacionados à energia e manutenção foram levantados de acordo com pesquisa de mercado e proposta técnica do equipamento.

- h) A taxa mínima de atratividade para o projeto corresponde a taxa Selic atual de 2,54% ao ano, atualizada até o dia 20 de novembro de 2020.
- i) O valor presente Líquido foi calculado a partir da Equação 1 descrita em Motta e Calôba (2002):

Equação 8: Cálculo do Valor Presente Líquido

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

- FC_t : entrada de capital no período de tempo t ;
 - n : quantidade total de períodos n linha de tempo do fluxo de caixa;
 - i : taxa de juros a ser usada para descontar o fluxo de caixa.
- j) A taxa interna de retorno foi calculada a partir da Equação 2 descrita na NBR 14653-4 (ABNT, 2002):

Equação 9: Cálculo da taxa interna de retorno.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} - FC_0$$

- FC_t : entrada de capital no período de tempo t ;
- FC_0 : saída de capital no período de tempo 0

- n : quantidade total de períodos n linha de tempo do fluxo de caixa;
 - TIR : Taxa interna de retorno
- k) O tempo de retorno do investimento foi calculado a partir da metodologia do Payback simples utilizando a Equação 3:

Equação 10: Cálculo do Payback simples

$$\text{Payback} = \frac{\text{investimentá ni ci al}}{\text{ganho em período determi nado}}$$

- l) O Payback descontado foi calculado a partir da Equação 4:

Equação 11: Cálculo do Payback descontado.

$$PBD = \frac{FC_0}{FC_n / (1 + i)^n} \times n^\circ \text{ Anos}$$

- FC_0 : Fluxo De Caixa Inicial
- FC_n : Fluxo de caixa futuro
- i : Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

5. RESULTADOS

5.1 Caracterização do estudo de caso

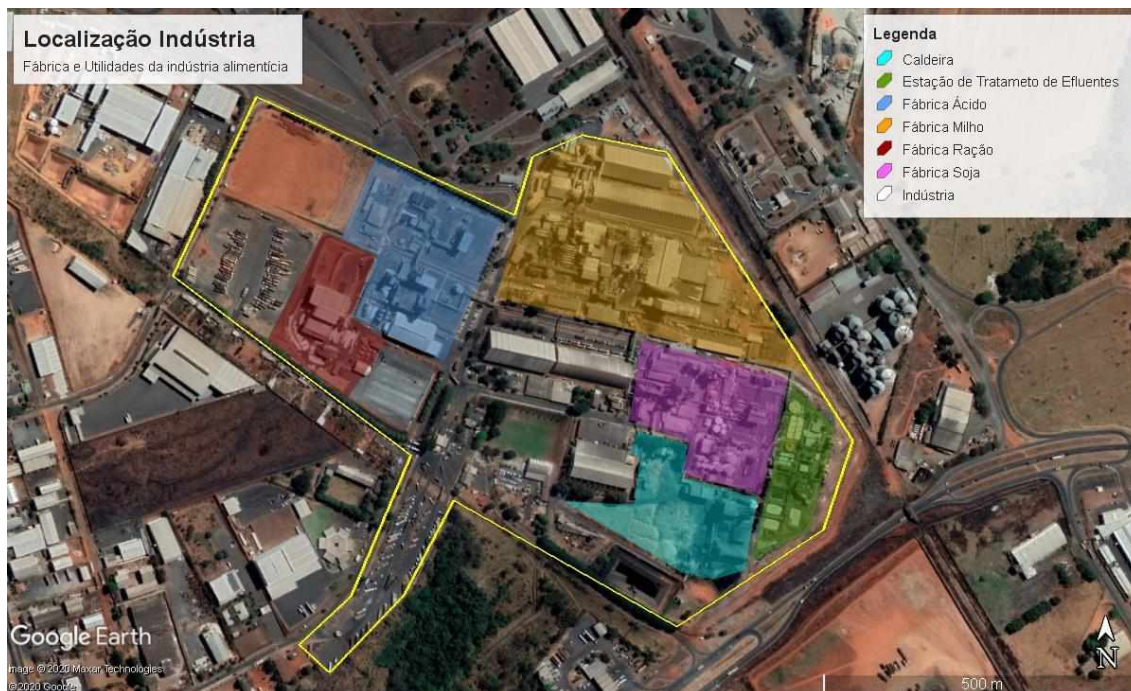
A indústria alimentícia, objeto desse estudo, está localizada no setor industrial de Uberlândia, no estado de Minas Gerais. Considerada como um dos maiores complexos industriais do país, a unidade é composta por fábricas de moagem de grãos de soja para produção de farelo e extração de óleo; processamento de milho para produção de amidos e outros ingredientes, processamento de acidulantes e a mais nova fábrica de ração úmida.

A multinacional conta com 155 mil funcionários em 70 países que trabalham com o propósito de nutrir o mundo de maneira segura, responsável e sustentável. Um dos projetos reconhecido mundialmente da unidade de Uberlândia é o tratamento de efluente que reutiliza águas residuais tratadas por meio do processo de purificação. O projeto, inaugurado em 2019 possibilita a reutilização de 95m³/h de água tratado no processo das torres de resfriamento, reduzindo mais de 30% de consumo de água potável no site.

Os resíduos sólidos da unidade são gerenciados pela Equipe de Meio Ambiente. Diversas empresas prestam serviços de transporte e destinação final dos resíduos orgânicos e inorgânicos. A Unidade de Compostagem recebe os resíduos orgânicos da

indústria no qual é convertido em adubo orgânico. A caldeira e a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da indústria são responsáveis pela geração dos dois principais resíduos do site: as cinzas provenientes da queima de cavaco e o lodo centrifugado proveniente do tratamento de efluentes.

Figura 2: Localização da indústria alimentícia em Uberlândia, Minas Gerais



Fonte: Google Earth (2020).

A estação de tratamento de efluentes da indústria alimentícia, área de estudo deste trabalho, recebe todo o efluente gerado ao longo do processo produtivo de três fábricas: milho, ácido cítrico e soja. O efluente da fábrica do milho contém principalmente proteínas (glúten) e sólidos diversos advindos dos processos da área da Moagem, e resíduos de amido e açúcar da área da Refinaria. A fábrica do ácido cítrico gera efluentes principalmente durante os processos de regeneração das colunas de troca iônica e a fábrica da soja gera efluentes com material graxo na Refinaria e proteínas no setor da Moagem.

Com isso, o papel da ETE é retirar as diversas sujidades presentes nos efluentes recebidos de forma a atender a legislação acordada com o DMAE (Departamento Municipal de Água e Esgoto) no Programa de Recebimento e Monitoramento de Efluentes Não Domésticos (PREMEND).

De forma geral, os efluentes chegam na ETE por tubulações e são lançados em lagoas de decantação separadas de acordo com as características dos efluentes. A fábrica do milho possui 2 linhas de efluentes: Linha Normal e Oxidado. A linha normal passa por

pequenas lagoas de equalização, seguindo para flotadora para depois ser lançada nas lagoas. O efluente da soja também recebe um pré-tratamento, sendo direcionado a um separador de óleo.

A mistura dos efluentes ocorre na Lagoa E. A partir da Lagoa E, o efluente é enviado para o sistema anaeróbio. Da saída dos reatores anaeróbios, o efluente é enviado para o sistema aeróbio, que é subdividido em duas linhas: linha aeróbio convencional e sistema MBR.

A linha aeróbia convencional consiste de um reator aeróbio circulação forçada, um reator aeróbio com aeração seguido de um clarificador de lodo. A linha aeróbia MBR consiste de um reator aeróbio com circulação forçada, um sistema de membrana de ultrafiltração e ainda a osmose reversa. O rejeito da osmose é misturado com a saída do clarificador e enviado ao DMAE. O permeado da osmose reversa por sua vez é enviado de volta às fábricas para reuso nas torres de resfriamento.

Os sólidos separados na flotadora, vão para uma canaleta e seguem para a centrífuga, que também recebe o lodo do sistema aeróbio. Na centrífuga, essa mistura de sólidos e lodo é concentrada e enviada a compostagem. A água retirada do lodo na centrífuga é enviada de volta ao tanque de equalização.

A figura 1 apresenta um esquema linear do processo que ocorre na estação de tratamento de efluentes da indústria alimentícia em estudo. O lodo é gerado 24 horas por dia, uma vez que a ETE é ininterrupta e seu resíduo é um indicador de que o processo de remoção de sólidos está eficiente. O operador consegue selecionar o volume de lodo a ser retirado por dia, cerca de 120m³/dia. Esse valor é alterado de acordo com as análises laboratoriais de SST e controle de idade do lodo.

O lodo tem consistência semissólida, pois há alto teor de umidade. Caçambas são dispostas 24 horas por dia para o carregamento e transporte de lodo. Eventualmente, faz-se necessário movimentar lodo ativado diluído – antes de passar pela centrífuga, para a compostagem. Esta operação é motivada em função de manutenções necessárias na centrífuga. O transporte é realizado por veículos de sucção e o destino é a compostagem.

A principal caldeira pertencente à área responsável por suprir as demandas de vapor da fábrica e da cogeração de energia é a Caldeira EV200. Esse equipamento consome, em média, 35 a 40 ton/h de cavaco de *Eucalyptus* e tem capacidade máxima de produção de 200 toneladas de vapor/hora (TVH) e operacional de 140 TVH.

A caldeira possui Sistema de Emissão Atmosférica (SCEA) composto por 12 ciclones e é responsável por gerar resíduos sólidos, os quais devem ser gerenciados. A caldeira EV200 utiliza lavadores de gases, onde a água é utilizada para abater o material particulado. A água é mantida em circuito fechado e os sólidos, capturados e separados da água em grandes tanques de sedimentação.

Tabela 4: Características Caldeira EV200

CALDEIRA EV200	
Capacidade toneladas de vapor por hora (TVH)	200 TVH
Capacidade operacional (TVH)	140 TVH
Combustível principal	Cavaco de madeira
Consumo de cavaco	35 a 40 ton/h

Fonte: A autora (2020).

5.2 Análise técnica do reaproveitamento do lodo

O lodo proveniente do tratamento de efluentes de indústria alimentícia foi caracterizado de acordo com a literatura. A tabela 5 indica a composição elementar deste resíduo.

Tabela 5: Composição elementar do lodo industrial

	Parâmetros	Lodo industrial
Análise elementar % (base seca)	C	43,6
	H	6,22
	N	8,56
	O	26,7
	S	1,36

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2018).

Com base em resultados analíticos de amostra de lodo, realizada em 2016 em laboratório credenciado pela indústria, partindo da metodologia presente na NBR 10004:2004, tem-se a porcentagem de sólidos (% p/p) de 20,9% para o lodo proveniente da estação de tratamento da indústria alimentícia, objeto desse estudo.

Outra análise pertinente para o estudo da viabilidade do projeto são os resultados de material volátil, carbono fixo e cinzas do lodo e do cavaco de madeira, ambos propostos como biomassa na geração de vapor em caldeira. A tabela 6 a seguir apresenta os resultados médios, de acordo com pesquisa realizada por IMAI (2010).

Tabela 6: Composição química imediata na base seca

	Material volátil (%)	Carbono fixo (%)	Cinzas (%)
Cavaco/serragem de madeira	78,52	18,25	3,23
Lodo de ETE	63,01	8,23	28,75

Fonte: Adaptado de IMAI (2010).

O teor de materiais voláteis indica o potencial energético da biomassa, ou seja, o poder de ignição na queima do combustível. Como pode ser analisado, a porcentagem de material volátil do lodo de ETE é próximo à porcentagem do cavaco, indicando que ambos têm características de volatilização dos elementos químicos semelhantes.

O teor de carbono fixo representa a duração do processo de queima da biomassa. Quanto maior o teor de carbono fixo mais demorada é a queima e maior é o tempo de residência do material no equipamento. O cavaco, biomassa já utilizada atualmente na caldeira, possui maior teor de carbono fixo comparado ao lodo, portanto, a inserção de lodo como biomassa não oferece grandes riscos ao equipamento, pois o processo de combustão será mais rápido.

O teor de cinzas indica a porcentagem de material que não queima, ou seja, aquele material que será convertido em resíduo no processo de combustão. Altos teores de cinzas indicam baixa eficiência no processo e maior geração de cinzas. O lodo possui teor de cinza significativo maior quando comparado ao cavaco de madeira, impactando na geração e destinação de resíduos de cinza da caldeira.

No caso da indústria alimentícia em estudo, outros projetos estão sendo analisados com o objetivo de doar a cinza para produtores para fins de fertirrigação. A intenção é anular todo e qualquer gasto envolvendo a destinação das cinzas, o maior resíduo gerado na indústria. Logo, a geração de mais toneladas de cinza, proveniente da queima do lodo, abre horizonte para doação para maior número de produtores rurais interessados no material.

Além disso, atualmente o custo de destinação da cinza é menor. Enquanto a destinação do lodo é cerca de R\$90,00/tonelada, o custo da cinza é R\$60,00/tonelada.

Portanto, o custo de destinação da cinza para a compostagem é cerca de 34% menor, o que garante uma cerca “folga” para equivaler os custos de destinação de ambos resíduos, sendo aceitável a maior geração de cinzas.

5.2.1 Poder calorífico

A principal biomassa utilizada para geração de energia na caldeira em estudo é a lenha em pedaços, geralmente de eucalipto. O lodo é a biomassa obtida a partir do tratamento físico-químico de efluentes industriais. O processo de secagem do lodo tem o intuito de reduzir a umidade do lodo a teores de 10 a 15%, pois a combustão dele nesse processo é indesejável, uma vez que aumentaria o percentual de cinzas e perderia o poder calorífico do lodo.

O poder calorífico é o método de quantificação da energia liberada no processo de combustão do combustível. De acordo com De Sena (2005), para um bom rendimento térmico na combustão, o combustível deve possuir uma elevada quantidade de carbono fixo e materiais voláteis, além de alto poder calorífico. Quanto maior o teor de carbono e hidrogênio, melhor será a eficiência combustão na liberação de energia.

Através das porcentagens da composição elementar do lodo, juntamente com a porcentagem de sólidos, foi possível calcular o poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) do lodo:

Tabela 7: Resultado poder calorífico superior e inferior do lodo industrial.

	PCS (MJ/kg)	PCI (MJ/kg)
Lodo industrial	19,12	14,44

Fonte: A autora (2020).

O resultado de poder calorífico apresentado pelo lodo pode ser comparado com o resultado obtido em literatura para o uso de madeira proveniente de Eucalipto. O poder calorífico superior do eucalipto de 19,40 MJ/kg, citado em Lora e Nascimento (2004), consiste em um valor bem próximo ao do lodo, de 19,12 MJ/kg sendo indicativo da aplicabilidade do lodo como biomassa combustível na geração de energia.

5.2.2 Emissões atmosféricas

Com base em testes realizados por IMAI (2010) em estudo sobre reaproveitamento energético do lodo, a composição de mistura de 20% de lodo como biomassa secundária em caldeira garantiu que os padrões de emissões atmosféricas para o parâmetro NO_x fossem respeitados, não ultrapassando a medição de 140,2 mg/Nm³.

Tabela 8: Resultados da medição de emissões atmosféricas da caldeira.

Amostras	Limite Conama	Composição 1	Composição 2	Composição 3
MP (mg/Nm³)	130	57,2	118,7	64,9
NOx (mg/Nm³)	650	101,11	140,2	147,7

Fonte: adaptado de IMAI (2020)

O estudo caracteriza 3 amostras, na qual a composição 1 seria sem adição de lodo, a composição 2 teria adição de 20% de lodo e 80% de cavaco e a composição 3 teria adição de 14% de lodo e 86% de cavaco como biomassa.

Os resultados dos ensaios de emissões atmosféricas mostraram que o teor de material particulado e de óxidos de nitrogênio foi maior na composição 2, porém estiveram longe de ultrapassar o limite da legislação. Portanto, a mistura de 20% de lodo não compromete a qualidade do ar, uma vez que as concentrações de poluentes ficaram bem abaixo do limite estabelecido pela norma.

5.3 Análise de viabilidade econômica

Atualmente a lenha utilizada para a queima na caldeira apresenta em média 30% de umidade. A caldeira tem um consumo médio de 300kg de lenha para gerar 1 tonelada de vapor. O custo por tonelada de lenha é cerca de R\$130,00. Com isso, o custo por tonelada de vapor, seguindo informações coletados por funcionários da área caldeira é de R\$39,00/m³ de vapor.

Com a adição do lodo seco para queima na caldeira, podemos ter uma redução no consumo de lenha. Conforme artigo publicado por Meneghini (2015), foram realizados testes de consumo e eficiência da queima de lodo na caldeira. Adicionando 20% de lodo em relação à massa de lenha o rendimento térmico da caldeira correspondeu a 84%, tendo uma redução de 23,7% no consumo de combustível. Com isso, o custo por m³ de vapor sofreria uma redução de R\$9,2 reais, passando para R\$29,80 reais/m³ de vapor.

Além da redução no consumo de lenha, o trabalho objetiva eliminar as despesas com transporte e destinação do lodo para unidade de compostagem, como ocorre no cenário atual. Por isso, para determinar o custo atual foi coletado dados de 14 meses através de fechamentos mensais realizados com as empresas prestadoras de serviços, pagamento de notas fiscais e planilhas de controle de geração de resíduos gerenciadas pelo Departamento de Meio Ambiente da indústria. A tabela abaixo apresenta os fluxos de caixa relacionado à situação atual e o cenário proposto com a implementação do

projeto. Serão levantamos dados de investimento e operação mensal para o cálculo do tempo de retorno.

Tabela 9: Quantidade de lodo gerado e custos de transporte e destinação do lodo no período de 14 meses.

Lodo centrifugado - ETE					
Período	Quantidade (ton)	Custo frete	Custo Destinação	Custo total	
jan/19	363,70	R\$ 10.256,34	R\$ 22.243,89	R\$ 32.500,23	
fev/19	553,70	R\$ 15.614,34	R\$ 33.864,29	R\$ 49.478,63	
mar/19	376,38	R\$ 10.613,92	R\$ 23.019,40	R\$ 33.633,32	
abr/19	480,56	R\$ 13.551,79	R\$ 29.391,05	R\$ 42.942,84	
mai/19	585,06	R\$ 16.498,69	R\$ 35.782,27	R\$ 52.280,96	
jun/19	445,84	R\$ 12.572,69	R\$ 27.267,57	R\$ 39.840,26	
jul/19	383,34	R\$ 10.810,19	R\$ 23.445,07	R\$ 34.255,26	
ago/19	347,94	R\$ 9.811,91	R\$ 21.280,01	R\$ 31.091,92	
set/19	243,34	R\$ 6.862,19	R\$ 14.882,67	R\$ 21.744,86	
out/19	396,24	R\$ 11.173,97	R\$ 24.234,04	R\$ 35.408,01	
nov/19	278,30	R\$ 7.848,06	R\$ 17.020,83	R\$ 24.868,89	
dez/19	526,94	R\$ 14.859,71	R\$ 32.227,65	R\$ 47.087,36	
jan/20	641,12	R\$ 18.945,10	R\$ 39.210,90	R\$ 58.156,00	
fev/20	556,32	R\$ 16.439,26	R\$ 34.024,53	R\$ 50.463,79	

Fonte: A autora (2020).

A tabela abaixo apresenta as médias de quantidade e custos mensais relacionados ao transporte e destinação do lodo (cenário atual).

Tabela 10: Resumo de custos mensais com destinação e transporte do lodo.

Cenário atual					
Ton/mês	Custo/ton	Transporte	Disposição	Custo total/mês	
441,34	90,71	R\$ 12.561,30	R\$ 26.992,44	R\$ 39.553,74	

Fonte: A autora (2020).

Com o reaproveitamento do lodo como combustível na caldeira (cenário proposto), realizou-se o levantamento de investimentos gastos e custos mensais relacionados a operação e manutenção do secador. O transporte interno do lodo já está incluso no atual contrato com a empresa responsável, no qual há um valor fixo mensal pago para movimentações de caçambas internas. O custo de energia elétrica foi calculado com base na proposta técnica do equipamento e o custo Kwh aplicado em Minas Gerais.

Tabela 11: Resumo de investimento e custos mensais com o reaproveitamento do lodo.

Situação proposta

Investimentos necessários	Unidade	Valor
Secador de lodo	1	R\$ 925.000,00
Energia elétrica	kwh	R\$ 10.387,65
Manutenção do equipamento	2%	R\$ 1.590,00

Fonte: A autora (2020).

A tabela 12 demonstra os valores de investimentos, bem como relaciona o custo atual mensal e o custo proposto mensal (valor da energia elétrica somado da manutenção do equipamento) com a implementação do projeto de reaproveitamento de lodo.

Tabela 12: Cálculo da viabilidade para instalação do sistema de reaproveitamento do lodo como biomassa em caldeira.

Custo atual mensal	R\$ 39.553,74
Custo proposto mensal	R\$ 11.977,65
Expectativa de ganho mensal	R\$ 27.576,09
Investimento necessários	R\$ 936.977,65

Fonte: A autora (2020).

Realizando o cálculo do *Payback* simples do investimento de R\$ 925.000,00 adicionado de R\$11.977,65 de gastos mensais, se obtém um retorno financeiro em 34 meses, considerando uma recuperação mensal de R\$ 27.576,09.

Tabela 13: Memorial de cálculo do Payback simples

Cálculo do Payback simples	
Cálculo	$Payback = \frac{936.977,65}{27.576,09} \approx 34$
Retorno do investimento	34 meses

Fonte: A autora (2020).

O estudo de viabilidade se baseia fundamentalmente no fluxo de caixa do projeto. Para a composição deste é necessário o lançamento das receitas e despesas do empreendimento. Nesta etapa, é apresentada toda a composição dos valores das receitas, bem como sua distribuição ao longo do período de análise. A tabela 14 apresenta o fluxo de caixa, no decorrer de 5 anos de análise.

Tabela 14: Fluxo de caixa do projeto no horizonte de 5 anos

Investimento	-R\$ 936.977,65
Ano 01	R\$ 330.913,05
Ano 02	R\$ 339.185,88
Ano 03	R\$ 347.665,52

Ano 04	R\$ 388.571,79
Ano 05	R\$ 409.943,24

Fonte: A autora (2020).

Os valores anuais referem-se ao ganho esperado acrescido da Taxa de IPC-FIPE acumulado anual, uma vez que os contratos de destinação e frete são reajustados anualmente de acordo com a taxa acumulada do ano anterior. A média da taxa IPC-FIPE dos últimos 10 anos foi de 5,5% ao ano.

Com os valores das receitas e despesas devidamente lançados, a obtenção dos indicadores de investimento torna-se imediata, a partir dos cálculos. Para o cálculo do Valor Líquido Presente (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR), foi utilizado uma TMA de 2,54%. Sendo assim, os cálculos que norteiam o estudo são apresentados na tabela 15:

Tabela 15: Memorial de cálculo do Valor Presente Líquido (VPL)

Investimento	Fluxo de caixa	Cálculo do VPL	VPL	Saldo
-R\$ 936.977,65				
Ano 01	R\$ 330.913,05	$330.913,05/(1,025)$	R\$ 322.842,00	-R\$ 614.135,65
Ano 02	R\$ 339.185,88	$330.913,05/(1,025)^2$	R\$ 314.967,80	-R\$ 299.167,85
Ano 03	R\$ 347.665,52	$330.913,05/(1,025)^3$	R\$ 307.285,66	R\$ 8.117,82
Ano 04	R\$ 388.571,79	$330.913,05/(1,025)^4$	R\$ 299.790,89	R\$ 307.908,71
Ano 05	R\$ 409.943,24	$330.913,05/(1,025)^5$	R\$ 292.478,92	R\$ 600.387,63

Fonte: O autor (2020).

O cálculo do valor presente líquido (VPL), é a soma algébrica de todos os fluxos de caixa descontados, a uma data taxa mínima de atratividade (TMA), subtraído pela saída inicial, é o que se tem abaixo:

$$\sum VPL - i nvesti mento = 1.537.365,28 - 936.977,65$$

$$VPL = 600.387,63$$

$$VPL = 600.387,63 > 0$$

A partir dos cálculos, é possível encontrar VPL maior que zero, no horizonte de 5 anos, o que significa que o investimento deve ser aceito.

Tabela 16: Cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR).

CÁLCULO DA TIR	
Investimento	-R\$ 936.977,65
Ano 01	R\$ 330.913,05
Ano 02	R\$ 349.113,27
Ano 03	R\$ 368.314,50
Ano 04	R\$ 388.571,79
Ano 05	R\$ 409.943,24
TIR	27%

Fonte: O autor (2020).

A partir dos cálculos, a taxa interna de retorno foi de 27% ao ano. Sendo a TIR maior que a TMA, determinada como 2,54%, o investimento deve ser aceito.

Por fim, foi realizado o cálculo do payback descontado. A partir da tabela 15 e considerando os valores do fluxo de caixa descontado, foi encontrado o valor aproximado de 3 anos. Levando em consideração o horizonte de cinco anos, o valor calculado é aceitável.

Apresentando os dados, a empresa se sentiu satisfeita com os resultados. O tempo de retorno foi considerado baixo, uma vez que a redução de custos terá tempo indeterminado, como uma melhoria fixa e rentável na destinação do lodo da estação de tratamento. Procurar e estudar medidas de engenharia na redução de custos e reforçar os princípios de sustentabilidade garantem a boa idealização do projeto e uma futura implementação do mesmo.

A partir de uma busca detalhada, foi possível encontrar modelos desse projeto implementado no Brasil e no mundo. A fábrica de celulose Metsa-Botnia Kemi foi a primeira fábrica no mundo a queimar lodo biológico em uma caldeira de recuperação, iniciando o sistema em 1993, em operação até os dias de hoje (HARILA, 2000). Ainda segundo Harila (2000), o descarte de lodo em uma caldeira oferece uma alternativa econômica e ambientalmente atrativa, sendo a melhor evidência o fato de que a Metsa-Botnia aplicou a mesma solução de processo na reconstrução dos departamentos de recuperação na fábrica de Joensuu, na Finlândia.

Outros estudos de queima de lodo em caldeira foram encontrados na Polônia, como alternativa na destinação de resíduo do tratamento de efluentes domésticos, como

é citado no trabalho de Stelmach (2007). O trabalho apresenta resultados de testes industriais poloneses iniciais de lodo de esgoto municipal seco em uma caldeira de carvão. Tal solução mostrou-se tecnicamente viável e não requer modificações no sistema tecnológica existente, sendo a melhor solução para utilização de lodo em um futuro próximo na Polônia. Um estudo semelhante também foi realizado na Suécia, descrito no trabalho de Hoffman (2014). O trabalho avalia a possibilidade de queima de lodo nas instalações existentes e futuras do grupo Fortum, empresa do segmento de energias limpas, junto com a possível recuperação de fósforo das cinzas de combustão.

Como modelo implementado no Brasil, uma empresa de papel e celulose foi pioneira na implementação do projeto de tratamento e queima de lodo biológico. A empresa, que antes utilizada a compostagem como destinação final de lodo, teve como objetivo reduzir a geração de resíduos na ordem de 7 mil toneladas por mês. De acordo com o engenheiro de desenvolvimento de projetos da Empresa, Andrei Barban, a inovação tecnológica é parte marcante do novo sistema. “O atendimento das condicionantes ambientais, a redução na geração de resíduos sólidos e a preservação do meio ambiente associado à possível economia com custos operacionais foram, desde o início, os principais objetivos deste investimento. A inovação tecnológica tem sido uma característica inerente desse novo processo que resultou em um projeto desafiador, com elevado nível de complexidade técnica, tanto para a equipe da CENIBRA quanto para as empresas parceiras envolvidas”, afirmou Andrei (CENIBRA, 2019).

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho evidenciou a viabilidade econômica de reaproveitamento de resíduos sólidos industriais, lodo proveniente de indústria alimentícia localizada em Uberlândia/MG, como biomassa combustível complementar para queima na caldeira para geração de energia.

O partir da análise elementar, o lodo apresentou alto poder calorífico, próximo aos valores apresentados na literatura para cavaco, viabilizando seu uso como biomassa para geração de energia. Porém, o alto teor de cinzas do lodo, quando comparado com o cavaco, indica maior geração de resíduos após a queima, impactando na geração e destinação de resíduos de cinza da caldeira. Há necessidade de mais estudos para dimensionar o impacto.

A porcentagem de mistura de 20% de lodo com 80% de cavaco permitiu que, segundo testes realizados por IMAI (2010), nenhum parâmetro de medição de emissões atmosféricas fosse excedido os limites estabelecidos pela Deliberação Normativa Copam n° 187.

Por fim, com a adição de lodo na queima, foi possível mensurar a redução de 23,7% de consumo de cavaco na caldeira, resultando em queda do custo por tonelada de vapor de R\$9,20. Além disso, foi constatado que a queima do resíduo de ETE em caldeira representa uma economia considerável para a empresa, que pode alcançar o valor de R\$ 27.500,00 por mês.

O estudo realizado sobre as receitas e despesas previstas para o projeto possibilitou se ter uma noção da rentabilidade do investimento por meio de cálculos de diferentes indicadores. O *Payback* simples garantiu o retorno do investimento em 34 meses, tempo aceitável dentro da margem de 5 anos de análise. O valor presente líquido apresentou-se positivo, maior que zero, resultando na aceitação do investimento. A taxa interna de retorno resultou-se em 27%, porcentagem maior que a taxa mínima de atratividade de 2,54%, novamente resultando em aceitação do projeto. E por fim, pela análise do *Payback* descontado, o tempo de retorno seria de 3 anos, dentro do aceitável.

Analisando todos os valores, chega-se à conclusão de que mesmo com o alto investimento, o custo operacional mensal que o sistema exige pode-se ter um bom retorno financeiro com a implementação do projeto.

Do ponto de vista ambiental, o projeto contribui para a redução na geração de resíduos, redução de descarte em aterros, redução de acidentes ambientais durante o transporte em via pública, redução de custos e redução de espaço no tratamento, no caso de compostagens. Sendo assim, a gestão dos lodos, feita de forma adequada, resulta em significativas vantagens econômicas, ambientais e sociais para as indústrias.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14653-4: Avaliação de bens – Parte 4 – Empreendimentos. Rio de Janeiro, 2002.

ABREU, Carlos Alexandre Camargo de; NETO, José de Paula Barros; HEINECK, Luiz Fernando Mahlmann. Avaliação Econômica de Empreendimentos Imobiliários Residências: Uma Análise Comparativa. XXVIII ENEGEP. Rio de Janeiro, 2008. **Anais...** Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/6066>. Acesso em: 20 setembro de 2020.

ABREU, Leandro. **Payback descontado: o que é e como calculá-lo**. 2019. Disponível em: <https://rockcontent.com/br/blog/payback-descontado/>. Acesso em: 21 nov. 2020.

ALMEIDA FILHO, O. P. **Valorização energética do lodo algáceo gerado no tratamento de esgoto sanitário**. 2016. 110 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/9456>. Acesso em: 15 agosto de 2020.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2ª Ed. Brasília. 243 f. 2005. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/livros/-/asset_publisher/eZ674TKh9oF0/content/atlas-de-energia-eletrica-do-brasil/656835. Acesso em 31 agosto de 2020.

ARAZO, R.O. Bio-oil production from dry sewage sludge by fast pyrolysis in an electrically-heated fluidized bed reactor. **Sustainable Environment Research**, v. 27, n. 1, p. 7-14, 2017..

ARBEX, Marcos Abdo; et al. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, v. 30. n. 2, p. 158-175, Mar/Abr. 2004. Disponível em: https://www.jornaldepneumologia.com.br/detalhe_artigo.asp?id=986. Acesso em: 25 março de 2020.

ASSAF NETO, A. **Finanças corporativas e valor** . 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2012. Disponível em:

https://www.academia.edu/28863962/ALEXANDRE_ASSAF_NETO_FINAN%C3%87AS_CORPORATIVAS_E_VALOR. Acesso em 10 outubro de 2020.

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

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2011. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/6159996/gestao-ambiental-empresarial-jose-carlos-barbieri-pdf>. Acesso em: 05 de maio de 2020.

BARBOSA, Rildo Pereira; IBRAHIN, Francini Imene Dias. **Resíduos sólidos: Impactos, manejo e gestão ambiental**. São Paulo: Érica, 2014.

BARROS, Aidil de Jesus Paes de, Neide Aparecida de Souza Lehfeld. **Projeto de Pesquisa: propostas metodológicas**. Petrópolis, RJ: Vozes, 1990.

BAUTISTA-LAZO, S.; Short, T. Introducing the all seeing eye of business: a model for understanding the nature, impact and potential uses of waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 40, p. 141-150. 2013. Acesso em: 18 junho 2020.

BRASIL. Constituição (2004 b). Norma Brasileira nº 10004, de 30 de novembro de 2004. Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 02 ago. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Resolução n. 313, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 nov. 2002.

BRITO, David Chrístian Melo. **Metodologia para elaboração de estudos de viabilidade econômica para empreendimentos na construção civil**. 2015. 59 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-AGUN85>. Acesso em: 21 nov. 2020.

CAO, Y.; PAWLOWSKI, A. Sewage sludge-to-energy approaches based on anaerobic digestion and pyrolysis: brief overview and energy efficiency assessment. **Renewable**

and Sustainable Energy Reviews, volume 16, Issue 3, 2012, pages 1657-1665, ISSN 1364-0321,

CAVALCANTI, José Eduardo W. de A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. 2.ed. São Paulo: Engenho Editora Técnica LTDA., 2012. 500 p.

CENIBRA. CENIBRA reduzirá geração de resíduos em 7 mil toneladas por mês. 2019. Disponível em: <https://www.cenibra.com.br/noticias/cenibra-reduzira-geracao-de-residuos-em-7-mil-toneladas-por-mes/#:~:text=Como%20parte%20dos%20investimentos%20em,Empresa%20a%20partir%20de%202020..> Acesso em: 09 fev. 2021.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (Estado). Deliberação Normativa nº 187, de 19 de setembro de 2013. **Estabelece Condições e Limites Máximos de Emissão de Poluentes Atmosféricos Para Fontes Fixas e Dá Outras Providências**. Belo Horizonte, 20 set. 2013. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=29875>. Acesso em: 20 ago. 2020.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Resolução n. 382, de 26 de dezembro de 2006.

COURTAUD, L.; PEREGRINA, C.; CREST, M.; SABLAYROLLES, M.L.; AUDIC, J.M.; ARLABOSSE, P. (2010) Alternative fuels derived from organic waste: the case of sewage sludge characterization as a potential energy source. In: Proceedings of the 13th International symposium on energy from biomass and waste. **Anais...** Venice, Italy.

DE CASTRO, Aline Egges; SCHERER, Flavia Luciane. Investimentos Socioambientais para Posicionamento de Marca: Um Estudo Sobre Imagem Organizacional. **Revista Gestão & Tecnologia**, [S.l.], v. 12, n. 3, p. 258-286, dez. 2012. ISSN 2177-6652. Disponível em: <<http://revistagt.fpl.edu.br/get/article/view/468>>. Acesso em: 25 nov. 2020. doi:<https://doi.org/10.20397/2177-6652/2012.v12i3.468>.

DE SENA, R. F. **Avaliação da biomassa obtida pela otimização da flotação de efluentes da indústria de carnes para geração de energia**. Dissertação de Mestrado. EQA/UFSC, Florianópolis, fev. 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102659>. Acesso em 02 setembro de 2020.

DE SENA, R.F.; CLAUDINO, A.; MORETTI, K.; BONFANTI, I.C.; MOREIRA, R.F.P.M.; JOSÉ, H.J. (2007) Biofuel application of biomass obtained from a meat industry wastewater plant through the flotation process – A case study. **Resources Conservation and Recycling.**, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.07.002>.

FONTES, Paulo Cesar. Hoyalux Summit14: **O encontro da Presbiopia com estilo**. Rev. Bras. Oftal. Editora EPF. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: http://sboportal.org.br/rbo/2004/rbo_mai_jun_2004.pdf#page=46. Acesso em: 04 nov. 2020.

FONTES, I. Sewage sludge pyrolysis for liquid production: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 2781-2805, 2012. ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.070>.

GAUTO, Marcelo Antunes; ROSA, Gilber Ricardo. **Processos e operações unitárias da indústria química**. Rio de Janeiro: Moderna, 2011. 417 p.

GOIS LEAL, Georla Cristina; SOBRAL DE FARIAS, Maria Sallydelandia; ARAUJO, Aline Farias. O PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO E SEUS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE URBANO. **Qualitas Revista Eletrônica**, [S.l.], v. 7, n. 1, jan. 2008. ISSN 1677-4280. Disponível em: <http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/article/view/128>. Acesso em: 25 nov. 2020. doi:<http://dx.doi.org/10.18391/qualitas.v7i1.128>.

GUIDUGLI FILHO, **Roberto Rafael**. Metodologia para elaboração de estudos de viabilidade econômica para empreendimentos na construção civil. 2014. 59 f. **Tese (Doutorado)** - Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-AGUN85>. Acesso em: 19 nov. 2020.

HARILA, P.. Biosludge incineration in a recovery boiler. **Water Science And Technology**, Kemi, Finland, v. 40, n. 11, p. 195-200, jan. 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273122399007180>. Acesso em: 16 fev. 2021.

HODGE, M.; OCHSENDORF, J.; FERNÁNDEZ, J. Quantifying potential profit from material: recycling a case study in brick manufacturing. **Journal of Cleaner Production**,

Volume 18, Issue 12, 2010, Pages 1190-1199, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.03.008>. Acesso em: 20 agosto de 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.12.014>.

HOFFMAN, V, ANTON, M. **Combustion of Sludge in Fortum's Plants with Possible Phosphorus Recycling**. 2014. Disponível em <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:726940/FULLTEXT01.pdf>.

IBEIRO, L. S. **Caracterização de resíduo de indústria de papel para utilização como material geotécnico**. Dissertação (mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/URGS_15f357c1ce68bcc8244a2bc420c2da56. Acesso em: 31 agosto de 2020.

IMAI, Mariana Harumi. **Aproveitamento energético do lodo de efluentes de indústria de papel no município de Correia Pinto/SC**. 2010. 39 f. Tese (Doutorado) - Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/124491/204.pdf?sequence=1>. Acesso em: 11 ago. 2020.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. Ed. Rio de Janeiro: Fundo editorial, 2011. 1050 p. Disponível em: https://www.academia.edu/35702025/Tratamento_de_esgotos_domesticos_Eduardo_Pacheco_Jord%C3%A3o_Constantino_Arruda_Pessoa_6a_edi%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 20 março de 2020.

LAZZARI, Juanna. **Análise do potencial energético de lodos obtidos no tratamento de esgoto**. 2018. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018. Disponível em: https://engenhariaambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/analise_do_potencial_energetico_de_lodos_obtidos_no_tratamento_de_esgoto_0.pdf. Acesso em: 10 out. 2020.

LIU, X. Pyrolysis and subsequent direct combustion of pyrolytic gases for sewage sludge treatment in China. **Applied Thermal Engineering**, v. 128, p. 464-470, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4491/eer.2017.178>

LOPES, José Carlos de Jesus. **Resíduos Sólidos Urbanos: consensos, conflitos e desafios na gestão institucional da região Metropolitana de Curitiba** – Tese de Doutorado. UFPR-Curitiba, 2007. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/13758>. Acesso em: 08 de abril de 2020.

LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. **Biocombustíveis**. Editora Interciência. Volume 1. 2012.

MACEDO, J. C. F. **Análise térmica e ambiental da queima do lodo primário da fabricação de papel e celulose em caldeira de biomassa à grelha**. Dissertação (mestrado em engenharia mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006. Disponível em: <https://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-1997.pdf>. Acesso em: 31 agosto de 2020.

MADEIRA, R. F. O setor de saneamento básico no Brasil e as implicações do novo marco regulatório para a universalização do acesso. **Revista BNDES**, 33, 123 – 154, jun 2010. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/4782>. Acesso em 18 de junho de 2020.

Meneghini, C., & Proinelli, R. (2015). Análise de viabilidade da queima de lodo frigorífico em uma caldeira à lenha. **Unoesc & Ciência - ACET**, 7-14. Recuperado de <https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/acet/article/view/6858>. Acesso em: 21 out. 2020.

MOTTA, Regis da Rocha; CALÔBA, Guilherme Marques. **Análise de Investimentos**. 1ª edição. São Paulo: Editora Atlas, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/325578704_Analise_de_Investimentos_Toma_da_de_Decisao_para_Projetos_Industriais. Acesso em: 10 outubro de 2020.

MOYEN, N. & PLATIKANOV, S. Corporate investments and learning. **Review of Finance**, 2012. <http://hdl.handle.net/10.1093/rof/rfs029>.

PALOMINO, Josiane Mayara Gil. **Formação de preço de energia elétrica gerada por biomassa no Ambiente de Contratação Livre brasileiro: Uma abordagem computacional baseada em agentes**. 2009. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de

Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

PASQUINI, N.C. Uso potencial como fonte de energia de lodo proveniente de esgoto doméstico e industrial. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.16. n.1, p. 35- 57, jan/jun. 2014. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/2925>. Acesso em 03 setembro de 2020.

PILÃO, E.N.; HUMEL, V.R.P. **Matemática Financeira e Engenharia Econômica. A teoria e a prática da análise de projetos de investimentos**. Thomson, 2003. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/96657>. Acesso em: 21 nov. 2020.

PIOTTO, Z. C. **Eco-eficiência na indústria de celulose e papel – estudo de caso**. Tese de Doutorado em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2003. Disponível em: <http://docplayer.com.br/5202645-Eco-eficiencia-na-industria-de-celulose-e-papel-estudo-de-caso.html>. Acesso em: 28 de março de 2020.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 277 p. Disponível em: <http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2020.

REIS, Tiago. **TMA: entenda o que é a Taxa Mínima de Atratividade e como calculá-la**. 2019. Disponível em: <https://www.sunoresearch.com.br/artigos/taxa-minima-de-atratividade/>. Acesso em: 21 nov. 2020.

RIBEIRO, Alcidio Pinheiro. **Avaliação do uso de resíduos sólidos inorgânicos da produção de celulose em materiais cerâmicos**. 2010. Tese de Doutorado. Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. doi:10.11606/T.3.2010.tde-17082010-103229. Acesso em: 2020-11-25.

RODRIGUES, Jonatas Lino. **Estudo da composição química de bio-óleo produzido a partir da pirólise rápida de lodo de estação de tratamento de efluentes utilizando espectrometria de massas de alta resolução**. 2018. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Instituto de Química, Universidade Federal de Campinas, Campinas, 2019.

Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/334375>. Acesso em: 16 ago. 2020.

ROSA, André Pereira *et al.* Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB: estudo de caso Estação de tratamento de efluentes Laboreaux (Itabira). **Eng Sanit Ambient**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 315-328, jun. 2016. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522016000200315. Acesso em: 26 ago. 2020.

ROSS, S. A. et al. **Princípios de Administração Financeira**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

RUSSO M. A. T. **Tratamento de Resíduos Sólidos** (2003). Disponível em: <http://homepage.ufp.pt/madinis/RSol/Web/TARS.pdf>. Acesso em: 18 de março de 2020.

SANTOS, T. B.; MOURA, G. J. B.; SILVA, A. K. P.. Reciclagem industrial como agente propulsor da preservação dos recursos naturais. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v.5, n.1, p.396-410, 2016. Disponível em: http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/2704/2625. Acesso em: 18 março de 2020.

SANTOS, Tiago Silva dos. **Análise da Viabilidade econômica e financeira de um hotel no município de Marabá-PA, um estudo de caso com base nas influências das variáveis da engenharia econômica**. Joinville: Novas Edições Acadêmicas, 2018. 52 p. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_238_376_31244.pdf. Acesso em: 19 nov. 20.

SAVI, A. F.; FILHO, E. V. G.; SAVI, E. M. S. **Engenharia apoiando o desenvolvimento sustentável**. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., Bauru, 2006. Anais... Bauru: SIMPEP, 2006. p. 1-7. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001571587>. Acesso em: 25 de maio de 2020.

SILVA, H. da L. et al. Rock in Rio 2011, Os Desafios da Logística e Meio Ambiente. In: **XVI Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**. Dez., 2014. Disponível em: <http://www.engema.org.br/XVIENGEMA/415.pdf>. Acesso em: 05 de junho de 2020.

STELMACH, Slawomir; WASIELEWSKI, Ryszard. Co-combustion of dried sewage sludge and coal in a pulverized coal boiler. **J Mater Cycles Waste Manag**, Zabrze,

Poland, v. 10, n. 1, p. 110-115, dez. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/226817194_Co-combustion_of_dried_sewage_sludge_and_coal_in_a_pulverized_coal_boiler. Acesso em: 16 fev. 2021.

TORRES, I. A.; DINIZ JUNIOR, O. G. As contribuições do valor presente líquido, da taxa interna de retorno, do payback e do fluxo de caixa descontado para avaliação e análise de um projeto de investimento em cenário hipotético*. **Universitas Gestão e TI**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 85-95, jan./jun. 2013

WITTMANN, A. L. **Proposta para Tratamento e Destinação dos Resíduos Sólidos Orgânicos do Grupo Santa Maria**. Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Gestão Ambiental, Universidade Federal do Paraná - UFPR. Curitiba, 2010.