

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA - UFU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCMBUSTÍVEL

**INOVAÇÃO ORGANIZACIONAL PARA TRANSIÇÃO DE RESÍDUOS EM
COMBUSTÍVEL E ENERGIA RENOVÁVEL: Dimensionamento de Usina de Pirólise**

HERMANO DA SILVEIRA

**INOVAÇÃO ORGANIZACIONAL PARA TRANSIÇÃO DE RESÍDUOS EM
COMBUSTÍVEL E ENERGIA RENOVÁVEL: Dimensionamento de Usina de Pirólise**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biocombustíveis da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biocombustível.

Linha de Pesquisa: Biomassa Energética Ciência e Tecnologia

Orientação Professor: Dr. Antônio José Vinha Zanuncio, Biocomb / UFU

Coorientação Professores: Dr. José Luz Silveira, IPBEN / UNESP; Dra. Cristiane Betanho, FAGEN - CIEPS / UFU; Dr. Allynson Takehiro Fujita, UEMG

HERMANO DA SILVEIRA

**INOVAÇÃO ORGANIZACIONAL PARA TRANSIÇÃO DE RESÍDUOS EM
COMBUSTÍVEL E ENERGIA RENOVÁVEL: Dimensionamento de Usina de Pirólise**

Dissertação apresentada em videoconferência ao Programa de Pós-graduação em Biocombustíveis da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biocombustível.

Aprovado no dia 09 de janeiro de 2024.

COMISSÃO DA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. **Antônio José Vinha Zanuncio**
UFU / ICIAG / Engenharia Florestal
Orientador

Prof. Dra. **Regina Francielle Silva Paulino**
IPBEN / UNESP Guaratinguetá

Profª. Dra. **Regina Maria Gomes**
UFU / ICIAG / Engenharia Florestal

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S587 Silveira, Hermano da, 1971-
2024 Inovação Organizacional para Transição de Resíduos em
Combustível e Energia Renovável [recurso eletrônico] :
Dimensionamento de Usina de Pirólise / Hermano da
Silveira. - 2024.

Orientador: Antônio José Vinha Zanuncio.

Coorientador: José Silveira.

Coorientadora: Cristiane Betanho.

Coorientador: Allynson Takehiro Fujita .

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Pós-graduação em Biocombustíveis.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.179>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Biocombustível. I. Zanuncio, Antônio José Vinha,
1987-, (Orient.). II. Silveira, José, 1960-, (Coorient.).
III. Betanho, Cristiane, 1973-, (Coorient.). IV. ,
Allynson Takehiro Fujita, 1979-, (Coorient.). V.
Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em
Biocombustíveis. VI. Título.

CDU: 662.756

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Biocombustíveis				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 050, PPBGBIOCOM				
Data:	23 de fevereiro de 2024	Hora de início:	08:30	Hora de encerramento:	11:00
Matrícula do Discente:	12212PGB003				
Nome do Discente:	Hermano da Silveira				
Título do Trabalho:	INOVAÇÃO ORGANIZACIONAL PARA TRANSIÇÃO DE RESÍDUOS EM COMBUSTÍVEL E ENERGIA RENOVÁVEL: Dimensionamento de Usina de Pirólise				
Área de concentração:	Biocombustíveis				
Linha de pesquisa:	Biomassa Energética Ciência e Tecnologia				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Valoração da Biomassa para Geração de Energia, Produção de Poupá Celulósica e Outros Produtos				

Reuniu-se em ambiente virtual com link <https://meet.google.com/ogy-yodn-pki>, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Biocombustíveis, assim composta pelos Professores(as) Doutores(as): Regina Francielle Silva Paulino, da Universidade Estadual Paulista; Regina Maria Gomes, da Universidade Federal de Uberlândia; e Antônio José Vinha Zanuncio, orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a).Antônio José Vinha Zanuncio, apresentou a Comissão Examinadora e o(a) candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Antônio José Vinha Zanuncio, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/02/2024, às 11:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Regina Maria Gomes, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/02/2024, às 11:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Regina Francielle Silva Paulino, Usuário Externo**, em 27/02/2024, às 09:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5202871** e o código CRC **DCAC8984**.

DEDICATÓRIA

Em memória de meu pai amado, José Maria Caixeta de Mendonça, que me ensinou sobre o amor paciente, e em memória de minha avó materna amada, Maria Augusta da Silveira Brito Bona, mulher negra, honrada, resiliente e doce, a frente de seu tempo diante de diversidades vividas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Jesus o Filho de Deus Pai Eterno Todo Poderoso e Misericordioso que nos revelou a Cristo o Caminho a Verdade e a Vida (I João 4:13). Espírito Amoroso que nos ilumina, nos inspira e nos abençoa para sermos resiliente gestor capacitativo em colaborativo para o amor diante das adversidades de cada vidas.

Agradeço ao amor exigente de minha querida mãe, Selma Lúcia da Silveira e aos meus irmãos e irmãs, Epon da Silveira, Ernani da Silveira, Ediluce Batista Silveira, Hélder da Silveira, Érica da Silveira e Cláudio Caixeta Faria e a toda minha família amada.

Sinceramente agradeço ao professor Geraldo Lombardi e a EESC-USP São Carlos. Agradeço às associações de catadores e pessoas em condição de rua, que conheci em minhas pesquisas e no constructo sinérgicas social.

Agradeço aos amigos sociais, apoiadores, associados à rede de capital social OSC Oika: Igor Rodrigues Marani, Rogerio Bernardes de Oliveira, Fabinho, Bruno Prata, Celso Peito Macedo Filho, Debora Maria Pereira, Alexandre Cerezo Chaves, Paula da Silva Gouveia, Vinicius Brasil Cesarino, Eulália Stefânia Silva Veloso, Kaio César Lacerda, Ruthinéia da Silva Faria, Francisco dos Santos, Laisa Eduarda Gonçalves Souza, Antonio Neto Monteiro de Moura, Margarida Silveira, Vitor Alves Rodrigues, Amanda de Castro, Kaique Fernandes.

Agradeço a todos que apoiaram minha caminhada, dona Margarida, a Mara e familiares Silveira de São Carlos SP, a minha companheira Railene de Oliveira Borges que colaborou com a evolução deste arcabouço em proposto de rede de capital social OSC Oika Tecnologia e Inovação para gestão colaborativa de resíduos convertidos em energia (RCG), em favor de uma economia mais saudável: <https://github.com/Oika-Tecnologia-Inovacao/Quem-Somos>

Obrigado a Deus, e a Quem de Direito do Estado Democrático de Direito, der a atenção a esta iniciativa que apresenta demanda social, no intento constitutivo de Organização da Sociedade Científico Civil Indígena Quilombola de Interesse Público Econômico Ambiental Sustentável – (OSCCIQUIPEA) Oika.

RECONHECIMENTO

O autor expressa gratidão pela instrução e participação dos professores e doutores que orientaram nesta jornada científica e expressa sinceros agradecimentos aos comentários e críticas para revisores que aumentaram a qualidade da apresentação do texto. Também reconhece e agradece a apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

O mundo tem urgentes necessidades de uma economia que faça viver e não mate, inclua e não exclua, humanize e não desumanize, cuide e não desprende; que não deixa ninguém para trás (Papa Francisco, 2019, s/p).

RESUMO

Toda cidade no Brasil produz lixo. A gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um desafio persistente, vide metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares) que ainda representam desafios atuais, como a eliminação de aterros e a promoção da inclusão econômica dos catadores. O presente estudo investigou o dimensionamento de usinas de geração de gás a partir dos RSU, visando sua implementação em associações de catadores. Por meio de uma revisão da literatura, identificou-se abordagens para a aplicação de modelos de alianças estratégicas normativas, envolvendo organizações da sociedade civil de cientistas e recicladores com a administração pública federal na gestão colaborativa de resíduos. A avaliação das tecnologias considerou sua eficiência e custos de implementação, destacando a importância da inovação organizacional para a gestão colaborativa intersetorial de RSU. Foi utilizado um modelo técnico-jurídico de manutenção de oficinas voltadas para atividades de efetiva extensão e parceria intersetorial para a construção e manutenção de máquinas térmicas que auxiliam prefeituras e associações de catadores no tratamento dos RSU de forma escalonável para cada município. Para exemplificar, verificou-se o quantitativo da cidade de Uberlândia-MG para avaliar os impactos de tal modelo, a que se estima produzir 73% de gás combustível, 7% de carvão ativado e 20% de bio-carvão, através de uma composição de 30% de resíduos poliméricos e 70% de resíduos orgânicos. Quimicamente, os resíduos podem ser transformados em parte da matriz energética nacional, contribuindo para a sustentabilidade e autonomia energética do país. O gás combustível produzido tem baixa pegada de carbono e pode ser usado em diversas aplicações, principalmente como combustível doméstico em regiões periféricas e combustível industrial na indústria de aço e de cimento, contribuindo para uma produção mais limpa nestes nichos. Constatou-se que o financiamento destas iniciativas viabiliza, por meio de agências de fomento e em apoio com as universidades, a promoção de soluções sustentáveis para o crescente volume de resíduos urbanos. Estes esforços são essenciais para resolver os problemas socioambientais de forma sustentável, representando avanços significativos para as metas do Planares.

Palavras-chave: Inovação organizacional; Resíduos para energia; Economia circular; Pirólise.

ABSTRACT

Every city in Brazil produces waste. The management of Urban Solid Waste (MSW) is a sustainable challenge, as goals of the National Solid Waste Plan (Planares) still represent current challenges, such as the elimination of landfills and the promotion of the economic inclusion of collectors. The sustainable study investigated the dimensioning of plants for the sustainable production of gas from MSW, aiming for its implementation in waste picker associations. Through a literature review, approaches were identified for the application of normative strategic sustainability models, involving civil sustainability organizations of scientists and recyclers with the federal public administration in collaborative waste management. The evaluation of sustainability has considered their efficiency and implementation costs, highlighting the importance of organizational innovation for intersectoral collaborative management of MSW. A technical and juridical model was used for maintaining workshops aimed at effective extension activities and intersectoral partnership for the construction and maintenance of sustainable machines that assist city halls and waste picker associations in the treatment of MSW in a scalable manner for each municipality. To exemplify, the quantitative analysis in the city of Uberlândia-MG was conducted to evaluate the impacts of such model, which were estimated to produce 73% of fuel gas, 7% of activated carbon, and 20% of bio-charcoal, through a composition of 30% of polymeric waste and 70% of organic waste. Chemically, waste can be transformed into sustainable the national energy matrix, contributing to the country's sustainability and energy autonomy. The fuel gas produced has a low carbon footprint and can be used in various applications, mainly as domestic fuel in peripheral regions and industrial fuel in the steel and cement industry, contributing to cleaner production in these niches. It was found that the financing of these initiatives makes it possible, through development agencies and with the support of universities, to promote sustainable solutions for the growing volume of urban waste. These efforts are essential to resolve socio-environmental problems in a sustainable way, representing significant advances towards Planares' goals.

Keywords: Organizational innovation; Waste to energy; Circular economy; Pyrolysis.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	17
1.1.	Tema e Problema de Pesquisa	19
1.2.	OBJETIVO GERAL.....	19
1.3.	Objetivos Específicos	19
1.4.	Estrutura da Dissertação	20
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1.	Políticas de Inovação Tecnológica no Tratamento de RSU.....	28
2.2.	PNRS e MROSC - Inovação Organizacional Gerenciamento RSU.....	29
2.3.	Condições de Contorno em Políticas Públicas Normativo.....	30
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1.	Levantamento de Dados	35
3.2.	Caracterização termogravimétrica dos Resíduos de Uberlândia - MG.	35
3.3.	Experimento de Transferência de Calor em Massa LFC.....	36
3.4.	Aspectos tecnológicos e operacionais Pirólise.....	40
3.5.	Equações de Governança e Dimensionamento.....	40
3.5.1.	Transferência de Calor e Parâmetros de Operação de CFB	42
3.5.2.	Modelos de Cinética de Circulação no CFB	47
3.5.3.	Primeira Fase de Pirólise.....	50
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1.	Caracterização do Resíduo	56
4.2.	Quantitativo do Resíduo	59
4.3.	Proposta de Modelo Municipal de Gestão Colaborativa de Resíduos	66
4.4.	Tratamento do CDR nas Associações.....	69
4.5.	Segunda Fase de Pirólise.....	75
4.6.	Vantagem Financeira do biocarvão para as associações.....	78
4.7.	Beneficiamento do Gás.....	79
4.8.	Benefícios econômicos e socioambientais	80
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	83
	DECLARAÇÃO DE INTERESSE CONCORRENTE E RECONHECIMENTO.	89
	ANEXOS.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de Controle Cronológico de Desenvolvimento (FCCD),	33
Figura 2 Experimento em Procedimentos Testes de Transferência em CFB.....	36
Figura 3 - Planta de produção de energia elétrica e calor por pirólise de RSU.....	38
Figura 4 - Diagramas: (a) Pirólise rápida de biomassa, (b) Reator CFB.....	39
Figura 5 - Variação do diâmetro, taxa de temperatura de aquecimento (β)	46
Figura 6 - Otimização da fração mássica, temperatura e tempo (s)	49
Figura 7 - Cinética de duas etapas para pirólise	51
Figura 8 - Ciclo Combinado Gás Natural-Lixo (Usina de Sakai –Japão)	53
Figura 9 - Gráfico da Taxa Interna de Retorno com diferentes juros para gaseificação WTE. 54	
Figura 10 - Fotos do Programa de Coleta Seletiva, Associações de Catadores e Autônomos . 60	
Figura 11 - Coleta DMAE, Coleta OSCs, Descartes CTR / Lixão.....	65
Figura 12 – Modelo de economia circular na gestão do tratamento de RSU	67
Figura 13 – Parceria Intersetorial de Gestão Colaborativa de RSU	68
Figura 14- Cadeia de fornecimento de CDR às associações	68
Figura 16 - Modelo de planta para associações de catadores.....	69
Figura 17 - Modelo de Reator CFB para produção Gás de Síntese pelas Associações.....	70
Figura 18 – Fluxo do Balanço de Massa	72
Figura 19 - Análise TGA e DSC no Consumo de biomassa e Formação de Produto.....	74
Figura 20 - Rendimentos Básicos da Produção da Pirólise em CFB	74
Figura 21 - Adaptação tubular para quebra térmica do vapor de bio-óleo e alcatrão CFB	75
Figura 22 - Diagrama de quebra térmica do vapor de pirólise gaseificação em BFB.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de Operação de Entrada do Material no Modelo CFB	41
Tabela 2 - Tempo para uma partícula esférica de pó de serra atingir aproximadamente a temperatura ambiente onde a partícula é submersa	45
Tabela 3 - Tempo residência e temperaturas otimizando pirólise em 2,5 s	47
Tabela 4 – Características técnicas de diferentes biomassas seca	56
Tabela 5 - Referências de PCI, Umidade e Densidade de RSU, Biomassa e CDR	58
Tabela 6 - Associações de catadores de materiais recicláveis (OSC's)	59
Tabela 7 - Recicláveis, Coletado Pelas OSC's de Recicladores (kg)	62
Tabela 8 - Material Encaminhado do DMAE às OSC, Cooperativa de Catadores (kg).....	62
Tabela 9 - Reciclável Comercializado Associações e Cooperativa de Catadores (kg).....	63
Tabela 10 - RDO Separados Recicláveis Encaminhados aos Ecopontos (kg)	63
Tabela 11 - Coleta, Transporte e Disposição de RSU encaminhamento aos Aterro Sanitário .	64
Tabela 12- Dimensionamento de Rejeitos RSU à Transição Pirólise -Gaseificação - RCG	66
Tabela 13 - Parâmetros Para Alimentação do Sistema	73
Tabela 14- Entalpia da reforma a vapor dos hidrocarbonetos	77
Tabela 15 - Análise de Resultado Simplificada (Considerando R\$1,00 por kW)	79

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

CDR – Combustível derivados de resíduos;
RCG – Resíduos Convertidos em Gasogênio;
WTE – Lixo Para Energia
CFB - Leito fluidizado circulante;
FCCD – Fluxograma de controle cronológico de desenvolvimento – INPI/2010;
LIIT – Lei de Incentivo a Inovação Tecnológica, alianças_estratégicas (Lei n° 10.973/2004);
MLI – Marco Legal Institucional (Lei n° 13.243/2016) – efetiva extensão - ICT;
MRDF - combustível derivado de lixo municipal;
MROSC – Marco legal das organizações da sociedade civil (Lei n° 13.019/2014);
ODS – Objetivo de Desenvolvimento Sustentável –forço mundial mobilização
ONU - Organização Mundial das Nações Unidas;
PCI – Poder Calorífico Interno
PCS – Poder Calorifico Superior
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos, inclusão econômica Lei n° 12.305/2010;
Panares – Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Decreto n° 11.043/2022;
RDO – Resíduos sólidos domésticos;
RSS – Resíduos dos Serviços de Saúde;
RSU - Resíduos sólidos municipais (urbanos);
SWPL - linha de processamento de resíduos sólidos;
SSE - Economia Social Solidária: economia circular associativa
EPS – Economia Popular Solidária: economia circular organizativa nacional
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo
SUS – Sistema Único de Saúde Lei n° 8.080/1990, Resolução 453/2012, Lei n° 8.142/1990 – Participação Social Colaborativas Comunidade Usuárias SUS;

1. INTRODUÇÃO

O aumento da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) que é encaminhado para aterros sanitários causa o aumento da degradação do meio ambiente, prolifera doenças, aumenta as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e perpetua situações de miserabilidade e alienação de direitos fundamentais de pessoas vulneráveis. De acordo com Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA) em 2023, aproximadamente 33,3 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos tiveram destinação inadequada em 2022. Esse montante representa quase 40% de todo o lixo gerado no país que vai parar em lixões a céu aberto, valas, terrenos baldios e córregos urbanos, o que ameaça a saúde pública e o meio ambiente.

De acordo com o Panorama, o Brasil não teve evolução significativa em relação à disposição final ambientalmente adequada de resíduos produzidos no país. O índice de itens descartados enviados para aterros sanitários passou de 60,5% em 2021 para 61,1% em 2022, o que representa 43,8 milhões de toneladas. No país, 39% do total de resíduos coletados em 2022 foi direcionado para locais irregulares e potencialmente danosos ao meio ambiente e para a saúde pública. Conforme o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (2023), em 2022, foram gerados no Brasil 77, 1 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos. Esse montante corresponde a mais de 211 mil toneladas de resíduos gerados por dia, ou cerca de 380 kg por habitante no ano. Em média, cada brasileiro produz 1,04kg de resíduos todos os dias. Deste total 61,1% em 2022, foram enviados para aterros sanitários.

Segundo dados do Banco Mundial, estima-se que até 2050 serão gerados pelo mundo quase 3,4 bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos e, no Brasil, os dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) estimava que a geração anual no país alcançará 100 milhões de toneladas/ano em 2030. Para minimizar esse impacto, alguns países buscam por tecnologia e inovação no setor de energias renováveis, tendo a recuperação energética, principalmente a pirólise, como prioridade na gestão de resíduos (Tulio e Schmitz, 2023; Andrade, 2022; Szigethy e Antenor, 2021; Engelmann, 2021; Freitas e Souza, 2021; Meló, 2021; Conceição e Teixeira, 2021; Muradin e Kulczycka, 2020, Morandeira-Arca et al., 2021; Moya, D. et al., 2017).

No Brasil, há algumas iniciativas, por parte do governo federal, em implementar a gestão de resíduos sólidos no País, por meio da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305, 2010) e seu marco regulatório Planares - Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Decreto Federal Nº 11.043, 2022). Esses instrumentos legais, aliado à instituição do Marco Regulatório

do terceiro Setor (Lei nº 13.019, 2014) permitirá que o setor privado e o setor público, em todas as suas esferas, realizem esta gestão.

Nesse contexto, o marco regulatório das organizações da sociedade civil (MROSC) traz instrumentos de efetiva extensão do marco legal institucional (MLI) para resolução de problema socioambiental e econômico, no nicho de reciclagem de resíduos, com a superação das barreiras observadas na literatura para a aplicação da tecnologia como solução ecológica ao aumento da produção de lixo por meio de alianças estratégicas, compostas de parcerias intersetoriais. Estas políticas apontam para modelos de parcerias ainda pouco utilizados no nicho de reciclagem e no desenvolvimento sustentável.

No presente trabalho, será dimensionado um processo termoquímico e organizacional que capacita as associações de catadores de recicláveis a realizar a conversão de resíduos orgânicos e plásticos em biocombustível e fertilizantes. Para implementar esse modelo de parcerias entre os agentes envolvidos com os RSU público foi proposto, neste trabalho, a aplicação da tecnologia e a eliminação dos aterros sanitários a partir do tratamento termoquímico de RSU. Ao aplicar esta tecnologia será gerado gás de cozinha e outros subprodutos, com benefícios socioambientais e econômicos por meio da economia circular solidária, tendo observadas a legislação normativa e a literatura sobre o tema, como proposto em Betanho, C. e Eduardo, F. J. (2017).

Muradin et al (2020) afirmam que as ações para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade, estão de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Organização das Nações Unidas (ONU, 2023) e com os determinantes sociais da Saúde do SUS (Lei nº 8.080/1990 e Lei nº 8.142/1990). Nas questões sociais, ambientais e econômicos, que por sua vez, corroboram na identificação de Hotspot na cadeia produtiva de bioenergia, e, na mitigação de impactos socioambientais ao desenvolvimento de bioeconomia global. Sobre esses processos, requerem infraestrutura logística adequada para apoiar o comércio de matéria-prima de biomassa e intermediários, acompanhando as preocupações ambientais, sociais e econômicas (Muradin et al, 2020; Cardoso, 2022).

Diante do exposto, este trabalho tem como suporte a inovação organizacional, em modos de aliança estratégica, aliado à tecnologia para desenvolver uma máquina termoquímico de pirólise considerando as bases tecnológicas do gasogênio. Esta tecnologia foi utilizada como alternativa para combater a escassez dos combustíveis fósseis, em consequência da Segunda Guerra Mundial (1939-1945). No Brasil, o presidente Getúlio Vargas, em 1939, criou a Comissão Nacional do Gasogênio, para combater o racionamento dos combustíveis fósseis e

produzir uma mistura de gases a partir de processos de combustão incompleta (pirólise) e que serviu para manter a combustão em veículos automotores até a retomada da produção de combustíveis fósseis com o fim da segunda Guerra, em 1945 (Oliveira, 2019).

À medida que este trabalho propõe integrar as políticas públicas, para a gestão colaborativa de RSU, verificou-se que, ao alcançar seus objetivos, estaria diretamente ligado ao PNRS e às metas 3, 5 e 9 do Planares (2022). A primeira delas propõe eliminar práticas de disposição final inadequada e encerrar lixões e aterros controlados, até agosto de 2024. A meta 5 tem como objetivo promover a inclusão social e a emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis enquanto a meta 9 preconiza aumentar a recuperação e o aproveitamento energético de biogás por meio de tratamento térmico de RSU. Ademais identifica-se essas metas com os Determinantes da Saúde SUS (1990), e, por conseguinte com os indicadores de sustentabilidade das ODS/ONU.

1.1. Tema e Problema de Pesquisa

Considerando a exposição sobre o contexto, esta pesquisa propõe-se investigar uma arquitetura de inovação organizacional para modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos, observando a fundamentação jurídica e o dimensionamento de uma usina em que os RSU sejam convertidos em gasogênio (RCG) como modo de utilizar reações químicas conhecidas para produção de biocombustíveis e fertilizantes em um sistema flexível e escalonável, mitigando, assim, os impactos socioambientais e econômicos dos resíduos sólidos urbanos através de tecnologias alternativas de sua disposição final baseadas em parcerias intersetoriais.

1.2. OBJETIVO GERAL

Dimensionar uma planta de pirólise e gaseificação, qualificar as associações de recicladores do lixo a converter os RSU em gás de síntese (gás natural renovável) e fertilizantes.

1.3. Objetivos Específicos

- Apresentar através da legislação brasileira uma alternativa para dirimir os descartes dos resíduos sólidos urbanos (RSU) em lixões e central de tratamento de resíduos (CTR) e buscar nesta, uma orientação normativa para um modelo de gerenciamento colaborativo de resíduos, observando o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2020);

- Realizar um estudo quantitativo e qualitativo dos materiais descartados (RSU) e dos agentes e processos utilizados na atual gestão de resíduos na cidade de Uberlândia – MG;
- Explorar, teoricamente, as bases técnicas e políticas de inovação tecnológica, especificamente o uso da pirólise e gaseificação para recuperação energética a partir do tratamento de matéria orgânica e polimérica.

1.4. Estrutura da Dissertação

A dissertação é dividida em seis tópicos, os quais são resumidamente descritos a seguir.

No primeiro tópico, foi abordado um panorama geral sobre energias renováveis, sua importância em um cenário mundial e em um futuro próximo. A biomassa de RSU foi mencionada como uma possível alternativa energética aos combustíveis fósseis, tendo como base o processo de pirólise.

No segundo tópico, é apresentada uma revisão da literatura. São comentados pontos como a biomassa e seus processos de valorização térmica, tendo sido identificada a pirólise rápida em leito fluidizado circulante (CFB) como uma opção viável para esse projeto. Abordada a legislação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), regulamentação em Planares (2022), onde indicam metas de eliminação dos RSU amontoados em Lixão e aterros sanitários até 2024 incentivando a produção de biogás. Realiza-se a proposição de modelo municipal de resíduo para gestão colaborativa de RSU, em que faz o resgate do gasogênio, “gás pobre”, enriquecendo-se o seu PCI com perceptual polimérico de resíduos plásticos e orgânicos na composição do combustível derivado de resíduo (CDR) que será utilização no CFB em processo de resíduos convertido gasogênio (RCG), fertilizantes e subprodutos.

No terceiro tópico, é analisada a metodologia adotada na pesquisa científica e de campo com destaque a caracterização termogravimétrica de RSU de Uberlândia, Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), associações de catadores recicladores e cientistas em Marco Regulatório das Organizações da Sociedade Civil (MRSC), Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), Marco Legal Institucional (MLI), Determinantes da Saúde SUS em Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

No quarto tópico, são abordados os materiais e métodos o histórico de pesquisas e vantagens na adoção de CFB, as equações de governança e dimensionamento, a transferência de calor e parâmetros de operação e modelo de cinética de circulação de partículas no CFB. Destacando experimentos de Geraldo Lombardi e Van de Velden sobre CFB.

No quinto tópico, são abordados os resultados e discussões sobre os Lixões e CTR que, doravante, se enquadram em crimes ambientais, e, sobre as usinas WTE de resíduos para energia elétrica e seu elevado custo de implantação tendo em vista o preço das turbinas e geradores que encarecem o financiamento. Realiza-se o levantamento quantitativo e caracterização termogravimétrica de RSU de Uberlândia MG. Propõem o Modelo Municipal de Gestão Colaborada de RSU para a conversão em CDR pela OSC, onde associam-se catadores, recicladores e cientistas na elaboração de máquina e equipamentos térmica de pirólise em CFB. Corroboram ODS, objetivos de economia popular solidária, pela produção de gás de cozinha e fertilizantes. Indica as “alianças estratégicas” interinstitucional aos processos de conversão de resíduos em gasogênio (RCG). Destacam as vantagens das usinas de RCG que podem ser aplicadas nas cidades menores que Uberlândia MG, com custo de implementação reduzido com benefícios socioeconômicos.

Por último, no sexto tópico, é feita uma síntese do conteúdo geral e são ressaltados os pontos mais relevantes e críticos na elaboração desse estudo, levando a algumas conclusões. Além disso, são levantadas sugestões para trabalhos futuros com o objetivo de auxiliar e contribuir com a comunidade científica, identificando gargalos e alternativas com potencial e ainda pouco explorado.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este trabalho foi desenvolvido para responder a pergunta de pesquisa, a partir dos estudos desenvolvidos com o leito fluidizado circulante (LFC) ou Circulating Fluidized Bed (CFB), que teve seu início em 1921 com a demonstração do processo de gaseificação em leito fluidizado por Fritz Winkler da Alemanha. No entanto, o LFC teve seu início em 1938 quando Warren Lewis e Edwing Gilliland conceberam um novo processo gás-sólido na tentativa de encontrarem processo apropriado para o craqueamento catalítico.

Desde então, a tecnologia da fluidização tem sido utilizada de forma crescente nos mais diferentes processos envolvendo sólidos particulados. Dentre essas etapas, destacam-se a combustão, gaseificação, secagem, recobrimento de partículas, aquecimento e resfriamento de partículas, craqueamento do petróleo e diversas reações de síntese (Basu, 2006).

Ao analisar as teses e dissertação, no banco de dados de dissertações e teses da CAPES, com os descritores “pirólise”, “Resíduos Sólidos Urbanos” e “catadores”, foram selecionados os materiais com base na aderência deles ao tema pesquisado neste trabalho. Conforme se processava a leitura dos resumos e, focando especificamente para os objetivos estabelecidos e

os resultados alcançados, era realizada a seleção e o agrupamento dos trabalhos que dialogavam entre si, no todo ou em parte, em eixos temáticos nos quais seus conteúdos estivessem mais próximos e foram organizados em categorias que focalizam: (i) Leito fluidizado circulante – Machado (2019), Trendewick (2014), Pagliuso (1994, 2000); Lombardi (2000), Van de Velden (2007, 2008, 2010); (ii) tratamento dos RSU por Pirólise – Filho (2020); Engelmann (2021), Santos (2020); Caldas (2019); Júnior (2017); (iii) Potencial econômico e social dos RSU – Andrade (2022); Tulio (2020); Freitas (2021); Caibre (2013); Menezes (2019); Ramos (2016); (iv) Gerenciamento de Associações de Catadores – Hofmeister (2020); Santos (2020); Novakowski (2021); Garcia (2021); Bozzini (2019).

Os demais trabalhos não atenderam ao escopo dos descritores pesquisados ou não foram encontrados on-line para a pesquisa e avaliação.

Os autores que trabalharam com a pirólise de biomassa em leito fluidizado foram: Lombardi (1994) estudo das transferências de calor em massa e posteriormente Van de Velden (2010) utilização de Biomassa no CFB. Similarmente Trendewick (2014) desenvolveu uma modelagem unidimensional utilizando os estudos de Van de Velden (2007, 2008, 2010) ao aplicar modelagens de CFB. Rodrigues (2007), fez estudos de diferentes biomassas e seus respectivos PCI para a gaseificação.

Scarafis (2023) comparou a viabilidade técnica e econômica entre tecnologias de incineração e gaseificação como alternativa para destinação final de resíduos sólidos urbanos (RSU). Na sequência, buscou-se os autores que analisar as organizações da Economia Social e Solidária (ESS), que atuam na área do fornecimento de energia, e o seu contributo para a chamada transição energética na perspectiva da inovação social (Morandeira-Arca, et al., 2019)

Caldas (2019) discute o uso da pirólise de biomassa como um dos métodos mais promissores para tratamento de diferentes tipos de resíduos sólidos urbanos para a geração de energia. Verifica que os diferentes modos de pirólise e possíveis produtos, as aplicações e suas vantagens e desvantagens, histórico desta tecnologia, princípio de funcionamento de um reator de pirólise, noções sobre geradores elétricos para não-especialistas, a dificuldade em conceituar biomassa, termos técnicos como bio-óleo, syngas, biochar (biocarvão), a importância das biorrefinarias, perspectivas futuras da pirólise de biomassa, aspectos relacionados sobre negócios, a importância das cooperativas de catadores na separação dos resíduos. Além das condições para introdução e disseminação desta tecnologia no Brasil.

Júnior (2017) pesquisou sobre a reciclagem química por pirólise, um método de degradação térmica, permite a reintrodução de plásticos pós-consumo na cadeia da indústria petroquímica. Melo (2021) avaliou o potencial de aplicação do processo de pirólise no

tratamento dos resíduos sólidos urbanos, visando a geração de energia renovável, no estado da Paraíba, e os desafios para o encerramento dos lixões a céu aberto e sua destinação ambientalmente adequada, como preconiza Política Nacional de Resíduos Sólidos. Santos (2022) desenvolveu dois modelos de tecnologias de conversão térmica aplicadas aos materiais poliméricos, a pirólise e a gaseificação, que permitam avaliar os processos em diferentes condições de operação, assim como o produto obtido. Realizou um estudo de caso com base nos dados históricos do aterro sanitário de Campina Grande (ASCG). Ambos os processos possibilitam a conversão dos polímeros em produtos de alto valor agregado, entretanto, o principal produto da pirólise, o óleo de pirólise, apesar de apresentar características que possibilitam seu uso como combustível alternativo ainda necessita de otimização e pesquisas que possibilitem tal aplicação. Por outro lado, o gás de síntese, produto obtido no processo de gaseificação, possibilita várias rotas químicas o que o torna mais viável no que se refere à aplicação do produto. O estudo concluiu que os modelos de tecnologia de conversão térmica propostos na presente pesquisa oferecem uma alternativa para análise dos processos de pirólise e gaseificação aplicados a conversão de materiais poliméricos e que o processo de gaseificação pode ser proposto como uma alternativa viável dentro do plano de gestão de resíduos sólidos urbanos do ASCG e de grandes centros urbanos com situação similar.

Da mesma forma, Túlio (2020) avaliou a viabilidade econômica, para a implantação de um sistema de tratamento de RSU, composto por unidades de pirólise, separação de recicláveis e compostagem de materiais orgânicos, utilizando-se de cenários com soluções que combinam esses sistemas. Nos três cenários propostos, aqueles que se mostraram economicamente interessantes foram os que consideraram a implantação do processo de pirólise unicamente, e o processo combinado de pirólise, reciclagem e compostagem. Dentre esses o que possui maior ganho ambiental é o cenário 02 (pirólise, reciclagem e compostagem), pois este contempla uma finalidade mais nobre aos produtos. Mas, o cenário 03 (somente pirólise) também é viável e mais seguro pois comercializa energia elétrica que é um mercado mais estável e seguro. Ainda, alguns cenários se mostraram inviáveis quando não considerada a DAP (o aumento do valor pago pela população). Isso foi revelado na análise dos três cenários propostos com a Alternativa 03, com VPLs negativos e cuja TIR calculada ficou abaixo da taxa SELIC (7,8%), mesmo com a venda dos subprodutos gerados do tratamento (Energia, Recicláveis e Composto orgânico).

Andrade (2022) estimou a energia elétrica que pode ser gerada através da pirólise dos RSU do aterro sanitário da cidade de Botucatu/SP, por meio de três cenários hipotéticos, sendo amostras com 0%, 50% e 100% de Resíduos Biogênicos (RB) e considerando a tendência atual de segregação de plásticos, metais, vidros, papel e papelão, salvaguardada pela PNRS para

coleta seletiva de materiais recicláveis. O PCI das amostras com 0% de RB obteve o maior resultado, com média de 5.426,02 kJ/kg (\cong 5,43 MJ/kg). Considerando que 35% do total de RSU são Resíduos Não Biogênicos (RNB), conforme a composição gravimétrica avaliada de Botucatu, pode-se estimar uma geração de energia elétrica de 210 MWh/mês, equivalente ao consumo mensal de 1.400 residências (sendo consumo médio de cada casa de 150 kWh/mês).

Freitas (2021) também analisou a viabilidade da geração de energia elétrica, a partir de RSU, nos SISOL amazonenses. Para isso, foi inicialmente selecionada a tecnologia de tratamento de RSU, com recuperação energética, a ser utilizada nas análises. Essa seleção envolveu diversos parâmetros, tais como: custos, receitas, logísticas, emissões e até parâmetros sociais. A tecnologia selecionada foi a pirólise. Também foram caracterizados os SISOL do estado do Amazonas, levantando e estimando diversos dados, tais como: população, renda per capita, consumo elétrico, geração de RSU per capita, composição gravimétrica, dentre outros. Selecionada a tecnologia a ser analisada e determinados os dados referentes a cada SISOL, foi realizado a análise econômica na condição de certeza do projeto.

Menezes (2019) pesquisou sobre a utilização de resíduos para produção de energia sustentável, para resolver problemas ambientais sérios como a centralização da matriz energética em materiais não renováveis, poluentes; a gestão de resíduos sólidos urbanos como fonte de energia através de processos como pirólise, combustão e extração de óleos. Neste trabalho o objetivo foi analisar o potencial energético de duas biomassas de resíduos sólidos: lodo do abatedouro municipal e serragem de madeira, ambos gerados no município de Gurupi-TO.

Filho (2020), considerando o cenário energético brasileiro nos esforços para desenvolver tecnologias inovadoras, analisou experimentalmente o tratamento térmico de pirólise para aproveitamento energético de amostras de resíduos plásticos (ARP's), por meio do desenvolvimento de uma bancada experimental contendo reator e demais equipamentos para a coleta e análise dos gases de pirólise. Verificou-se que a temperatura e a pressão têm forte influência no processo de pirólise de ARP's. Além disso, constatou-se diferença significativa nas curvas de termo-degradação das ARP's quando comparadas a dados disponíveis na literatura científica. A partir dos resultados experimentais foram definidas misturas de ARP's de forma a atender o propósito de geração de energia e redução de impacto ambiental. De forma geral, este trabalho demonstrou que o processo de pirólise pode ser uma alternativa viável que, aliada ao processo de reciclagem, pode contribuir significativamente para agregar valor aos resíduos plásticos e assim evitar seu descarte incorreto no meio ambiente, lixões e aterros.

Caibre (2013) avalia a viabilidade econômica do processo de pirólise para tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) aplicado para a cidade de Concórdia, SC. Na época, o processo de pirólise para RSU não se mostrou atrativo devido aos altos custos operacionais e aos impostos sobre a venda de energia elétrica e fertilizante. Mas, quando considerou a possibilidade da integração com mais municípios para complementar o volume de matéria prima, a redução do custo do transporte dos RSU até a usina de pirólise e o aumento do preço de venda da energia elétrica, ou ainda a isenção de impostos, o projeto é uma alternativa rentável, ao passo que além dos benefícios econômicos, a planta de pirólise possibilita a eliminação do passivo ambiental gerado pelos aterros sanitários.

Na mesma direção, Ramos (2016) propôs um modelo de parceria entre Município(s) e Instituição privada de forma a viabilizar a implantação de unidades autossustentáveis de tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) por pirólise, observando a legislação específica, as formas de aplicação e as relações entre as partes envolvidas.

Quanto ao Gerenciamento de Associações de Catadores, os seguintes trabalhos apresentam estudos sobre formas de organização para atender à legislação.

Hofmeister (2020) analisou de que forma se constroem os diferentes grupos de interesses entre os agentes públicos e privados na gestão dos resíduos sólidos urbanos, especificamente os domésticos em Santa Cruz do Sul/RS. Busca-se, então, descobrir, como esses grupos de interesse e grupos de pressão articulam-se frente as políticas públicas ambientais e de que forma impactam no desenvolvimento regional e no gerenciamento dos resíduos sólidos domésticos (RSD) do município objeto da pesquisa. Verificou também o gerenciamento frente à Política Nacional dos Resíduos Sólidos (2010), justamente quando no corrente ano a Lei completa uma década de existência desde a sua promulgação e, igualmente, analisá-lo frente ao Estatuto da Cidade (2001). Encontraram-se evidências de que existem relações de grupos de interesses na gestão dos resíduos sólidos domésticos (RSD) do município com a administração pública em virtude dos altos custos ambientais, que são pagos anualmente para as empresas licitadas e contratadas; da falta de programas de educação e conscientização ambiental para a população local; da grande quantidade de resíduos recicláveis que são misturados a resíduos orgânicos e a rejeitos, gerando toneladas de desperdício diariamente; da subutilização da Cooperativa de Catadores e Recicladores do município (Coomcat) e, ainda, da ausência de uma fiscalização ambiental municipal que cuide dos assuntos pertinentes ao tema.

Da mesma forma, Santos (2020) pesquisou sobre os Empreendimentos de Catadores de Materiais Recicláveis sob a perspectiva da Rede de Comercialização Solidária Cata, na Paraíba. Esse programa foi desenvolvido com intuito de superar a comercialização a intermediários e

compartilhar experiências entre os Empreendimentos do Estado da Paraíba, visto que a organização em Rede favorece o desempenho econômico, social, ambiental e operacional, constituindo-se como uma estratégia de inclusão socioeconômica da categoria. Nessa perspectiva, esta pesquisa analisou cinco Empreendimentos de Catadores de Materiais Recicláveis organizados na Rede Cata PB, em Campina Grande, estado da Paraíba. Como resultado observou-se, na dimensão econômica, que a renda per capita dos catadores era, em média, inferior ao salário-mínimo vigente na época do estudo. Na dimensão social, constatou-se que os catadores tinham em média 18 anos na profissão Catador de Materiais Recicláveis, além do protagonismo feminino na gestão dos Empreendimentos estudados. Quanto à dimensão ambiental, verificou-se diversos impactos positivos sobre o meio ambiente, incluindo a economia de energia elétrica, de água; árvores poupadas. Além disso, os catadores de materiais recicláveis garantem que os materiais recicláveis sejam destinados ao setor produtivo, favorecendo o seu reaproveitamento e/ou reciclagem, em substituição à matéria prima virgem, mas não se demonstrou suficientes para melhorar o desempenho dos Empreendimentos e garantir a inclusão socioeconômica da categoria.

Novakowski (2021) abordou a questão socioambiental no Brasil a partir da problemática dos resíduos sólidos urbanos, da coleta seletiva e da organização dos catadores de materiais recicláveis, em interface com a legislação vigente. Procurou identificar como a cadeia de comercialização de resíduos sólidos se territorializa na região oeste catarinense, com ênfase no papel dos agentes e dos mercados do segmento. Como resultado, identificou que as associações de reciclagem são elos importantes dos canais reversos, ora como fornecedores de matérias-primas para a indústria, ora como receptores de resíduos sólidos pós-consumo. Essas organizações são agentes fundamentais para a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, mas recebem investimentos tímidos em suas parcerias, tanto com o setor público como com o setor privado. A organização dos catadores em associações possibilita essa substituição de intermediários e, por consequência, a agregação de valor ao material comercializado, tanto em função do aumento da quantidade comercializada quanto em relação à melhoria da qualidade dos materiais. Entretanto, esses aspectos não são suficientes para fortalecer e empoderar essa categoria enquanto não ocorrerem avanços na construção de uma política integrada de gestão dos resíduos sólidos que possa garantir efetivamente a participação das associações na cadeia produtiva da reciclagem. A pesquisa concluiu que as estratégias organizativas também interferem e fortalecem o processo de territorialização das associações em suas relações de trabalho e políticas, definem seu território e influência nas conquistas e efetivação do direito ao trabalho associado como categoria profissional. A produção é

considerada de grande fluxo e movimenta uma rede de aproximadamente 420 atravessadores. A possibilidade de articulação e integração entre as associações, além da comercialização direta com indústrias recicladoras e a consequente agregação de valor aos materiais recicláveis, também pode propiciar o estabelecimento e a condução de processos de interlocução conjunta, como a realização e o acompanhamento de políticas públicas, a prestação de serviços, bem como o desenvolvimento de atividades direcionadas à valorização do trabalho dos catadores.

Garcia (2021) pesquisou sobre a sustentabilidade do ciclo de vida da gestão de resíduos sólidos domiciliares/comerciais, no Município de Fortaleza-Ceará-Brasil, sob o enfoque ambiental, econômico e social, no ano de 2019. Os impactos ambientais foram analisados por meio da ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), com unidade funcional de uma tonelada de resíduos sólidos gerados. Na avaliação do Custo do Ciclo de Vida (CCV), adotou-se a Relação Benefício/Custo da coleta seletiva de Fortaleza, sob a qual foi tratado a realidade fluente, no âmbito da qual a Prefeitura Municipal arca com as despesas da Associação de Catadores do Jangurussu (ASCAJAN) (exceto com alimentação) e o cenário hipotético, em que o Município faria o mesmo com as demais associações, assumindo as despesas com água, energia e alimentação. Na Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACVS), as categorias de stakeholders analisadas foram constituídas por trabalhadores, consumidores, comunidade local e sociedade. Nessa perspectiva, a tese sob relatório concluiu que a coleta seletiva, apesar de ter um baixo percentual de materiais recolhidos no Município (0,76%), evitou emissões em todas as categorias de impacto ambiental analisadas, demonstrou economia financeira para a PMF, no ano de 2019, pois evitou gastos com os serviços de não aterramento, coleta e limpeza urbana. Foi na coleta seletiva, também, que se observou a maior quantidade de impactos negativos nas categorias sociais, mostrando que tanto a sociedade quanto o poder público devem buscar meios de otimizar esse serviço nas contexturas local, regional e nacional.

Bozzini (2019) pesquisou sobre os municípios que optaram por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão dos resíduos sólidos. Os consórcios possibilitam que esses espaços compartilhem tarefas de planejar, regular, fiscalizar e prestar serviços de acordo com tecnologias adequadas à realidade regional na gestão e gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) na microrregião da Baixa Mogiana, MG. Os resultados apontam a presença da AMOG como uma “força” à medida que aglutina representantes dos municípios e permite a busca de soluções conjuntas, bem como alinhamento de políticas públicas ambientais na microrregião. A ausência de Unidades de Triagem de Materiais Recicláveis Secos (UTMRS) e Unidades de Compostagem (UC) na maioria dos municípios e de um aterro sanitário, bem como a presença de lixões e aterros controlados configuram entre as “fraquezas”. O estudo permitiu

aos municípios envolvidos a elaboração de um plano intermunicipal de resíduos sólidos, sistema consorciado, assim podem ser dispensados da elaboração do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Também sugeriu que os rejeitos sejam encaminhados a um aterro sanitário a ser construído no município de Guaxupé por ser o mais populoso, apresentar malha viária que interliga os outros municípios da região e ser o maior gerador de RSU. A adoção de consórcio entre os municípios da AMOG surge como alternativa viável à medida em que alcança ganhos de escala por meio de medidas de caráter regional.

2.1. Políticas de Inovação Tecnológica no Tratamento de RSU

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS – Lei nº 12.305/2010) possui, em suas metas, o gerenciamento colaborativo de resíduos sólidos urbanos, com a inserção de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis com inclusão social e emancipação econômica à dignidade de vida, ressalta-se que boa parte dos catadores são pessoas em condição de rua. Assim, o PNRS constitui associativismo entre catadores, viabilizando a inserção econômica. A esse associativismo somam-se o marco regulatório das organizações da sociedade civil (MROSC – Lei nº 13.019/2014), que ainda mais corroboram o associativismo de catadores e cientistas à evolução de efetiva extensão de marco legal institucional (MLI – Lei nº 13.243/2016) e corroboram ainda com a inclusão socioeconômica de catadoras e catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, ao cooperativismo associativo e inclusivo produtivo (Decreto 11.414 / 2023), que se processa na atuação de gerenciamento de RSU, RDO, RSS, resíduos verdes, que poderão ser processados em alianças estratégicas (Lei nº 10.973/2004) da Lei de Incentivo à Inovação Tecnológica. São motrizes de incentivos científico, tecnológico, social e industrial nacional, que comportam as garantias do estado democrático de direito (art. 5º inciso XXIX CF/1988), donde apresento o invento de tecnologia social para o gerenciamento colaborativo de RSU, denominado de “Modelo Jurídico Tecnológico Institucional de Utilidade Pública: Sistema de Parceria Estratégica”, publicação do INPI (SILVEIRA, 2010).

O PNRS, somado às políticas de incentivo à inovação organizacional, demanda os cooperativistas para aumentar a recuperação e o aproveitamento energético de biogás de RSU, e que se coordene com o aumentar a recuperação e aproveitamento energético de biogás pelo tratamento térmico RSU. Dessa forma, propõe a inovação de tecnologia social de alianças estratégicas intersetoriais (art. 3º, 19. Lei nº 10.973/04), que mobilizando uma pedagogia em rede de autorresponsabilidade – Autopoiese (Dal Molin, Fonseca, 2008), sendo aplicada ao gerenciamento de RSU. Então, tratamos de uma rede de capital social, dado que todos nós,

produzimos o lixo e temos responsabilidade sobre ele e sobre o cuidado com o meio ambiente. Com isso, faz-se o proposto de modelo de inovação organizacional, em motriz geradora de um novo nicho de atividade de parcerias intersetoriais que corroboram aos esforços mundiais de ODS, em metas de aumentar a sustentabilidade econômico-financeira do manejo e conversão de RSU em CDR e posteriormente em RCG.

2.2. PNRS e MROSC - Inovação Organizacional Gerenciamento RSU

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi definida pela Lei nº12.305/2010, sendo um avanço que mobilização de ações sociais inclusivas que alteram o quadro econômico dos catadores de materiais recicláveis, denominados como responsáveis pelo ciclo de vida do RSU recicláveis (SOARES, 2019).

Desde 2010, vários municípios do país, entre eles Uberlândia-MG, adotam políticas públicas de parcerias sociais em programa de coleta seletiva. Em maio de 2023, o prefeito de Uberlândia-MG assinou um decreto nº 20.367/2023 que instituiu o programa Municipal de Cooperação e Doação de Mobiliário Urbano para Implantação de Pontos de Entrega Voluntária (PEV's) a serem instalados em áreas públicas ou privadas no Município de Uberlândia, para coleta seletiva de resíduos sólidos recicláveis, em parceria com o DMAE (UBERLÂNDIA, 2023).

Conforme Fontão (2020), o PNRS surge como marco regulatório para o gerenciamento dos RSU, delegando responsabilidade aos geradores, estabelecendo a coleta seletiva como centro de gestão. Constituem um arranjo produtivo de mútua proteção do direito cooperado produtivo, onde em colaboração catadores de reciclagem, objetivando a geração de renda colaborativa com material reciclagem. Apoiam-se no “programa de coleta seletiva coleta, que destina RSU para separação dos recicláveis, em conformidade ao PNRS.

Soares (2019) recomenda que essas parcerias devem ser monitoradas a fim de promover garantias jurídicas e institucionais, visando transparência nas relações firmadas entre as empresas e as organizações da sociedade civil (OSC's). Dessa forma, o Marco Regulatório das Organizações da Sociedade Civil (MROSC), como é conhecida a Lei nº 13.019/2014, foi instituído nessa finalidade.

As ferramentas jurídicas indicam instrumentos de tecnologia social de coordenação metodológica de alianças estratégicas em envolvimento de parcerias sociais intersetorial, modelo de gestão participativo de modo a garantir à apropriação pública, os conhecimentos dos ambientes produtivos em circuitos conectados de pessoas e tecnologias em processos de

sustentabilidade, e assim, o gerenciamento em forma organizacional dos resíduos sólidos urbanos - RSU, de modo a assegurar direitos aos atores individuais e coletivos que deflagram inovações, inventos, patentes e atividades produtivas de economia popular solidária (SILVEIRA., 2010).

2.3. Condições de Contorno em Políticas Públicas Normativo

Na pesquisa documental, analisou-se as Leis nº 8.080/1990 que tratam dos Determinantes de Saúde SUS – sustentabilidade, analogamente a Lei nº 8.142/1990 dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. Estas se conectam com a Lei nº 10.973/2004 que estabelece sobre os incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências.

As leis a seguir estabelecem políticas públicas para a gestão de RSU no Brasil. A Lei nº 12.305/2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a regulamenta por meio do Decreto nº 11.043/2022 (Planares), que juntamente com a Lei do Marco Regulatório das Organizações da Sociedade Civil (OSC) nº13.019/2014 e a Lei nº 13.243/2016 que institui Marco Legal Institucional dispositivo para efetiva extensão, e a Lei nº 13.576/2017 da Política Nacional de Biocombustíveis – RenovaBio. O Decreto nº 11.414/2023 Institui o Programa Diogo de Sant’Ana Pró-Catadoras e Pró-Catadores para a Reciclagem Popular e o Comitê Interministerial para Inclusão Socioeconômica de Catadoras e Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis. Além da utilização de dados do Instituto de Geografia e Estatística (IBGE) para o auxílio na geração dos dados.

Em estudo da Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes (Abetre), constatou-se que 2,7 mil das 5.570 cidades do país ainda realizam o descarte incorreto dos resíduos, causando prejuízos ao Meio Ambiente e à Saúde Pública. Felizmente, com o avanço da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), existe uma mobilização de ações sociais inclusivas que alteram o quadro econômico dos catadores de materiais recicláveis, que são os responsáveis pelo ciclo de vida do RSU recicláveis (Soares, 2018).

Desde 2010, vários municípios do país, entre eles Uberlândia-MG; adotam políticas públicas de parcerias sociais em programa de coleta seletiva. Em 2014, o Plano Integrado de Gestão de Resíduos Sólidos de Uberlândia estabeleceu o que um modelo de gestão dos resíduos do município deve contemplar. Entre eles, destaca-se:

“...a promoção da valorização dos resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis como um bem econômico e social, gerador de renda e promotor da cidadania”.

Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico a Lei nº 12.504, de 25 de agosto de 2016, dispõe-se sobre o serviço público de coleta seletiva, sustentável e solidária, à destinação dos resíduos recicláveis do município de Uberlândia MG. Destaca-se o dispositivo:

Art. 5º da Lei nº 12.504/16: O serviço público de coleta seletiva solidária no Município de Uberlândia será prestado exclusivamente por cooperativas ou associações de catadores de materiais recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda reconhecidas pelo poder público como catadores de materiais recicláveis, com o uso de equipamentos compatíveis com as normas técnicas, ambientais e de saúde pública.

Nesse sentido, em maio de 2023, o prefeito de Uberlândia-MG assinou o decreto nº 20.367/2023 que instituiu o programa Municipal de Cooperação e Doação de Mobiliário Urbano para Implantação de Pontos de Entrega Voluntária (PEV's) a serem instalados em áreas públicas ou privadas no Município de Uberlândia para a coleta seletiva de resíduos sólidos recicláveis, em parceria com o DMAE (Uberlândia, 2023).

Hofmeister (2020) analisou de que forma se constroem os diferentes grupos de interesses entre os agentes públicos e privados na gestão dos resíduos sólidos urbanos. Assim, a PNRS constitui o associativismo entre catadores também para viabilizar a inserção econômica destas pessoas (Carvalho, 2023).

Conforme Fontão e Oliveira (2020), a PNRS surge como marco regulatório para o gerenciamento dos RSU, delegando responsabilidade aos geradores, estabelecendo a coleta seletiva como centro de gestão e delimitando um arranjo produtivo de mútua proteção do direito cooperado produtivo, onde a colaboração dos catadores objetiva a geração de renda com material reciclável (Raimondi 2021; Cardoso, 2022). Esse associativismo soma-se ao marco regulatório das organizações da sociedade civil (MROSC) e corrobora a efetiva extensão do marco legal institucional (MLI) junto Programa Diogo de Sant'Ana Pró-Catadoras e Pró-Catadores para a Reciclagem Popular, onde a gestão de resíduos pode ocorrer em alianças estratégicas, em consonância à Lei de Inovação Tecnológica.

Soares (2018) recomenda que essas parcerias devem ser monitoradas a fim de promover garantias jurídicas e institucionais, visando transparência nas relações firmadas entre as empresas e as organizações da sociedade civil (OSC's). Dessa forma, o Marco Regulatório das Organizações da Sociedade Civil (MROSC), como é conhecida a Lei nº 13.019/2014, foi instituído nessa finalidade, incumbindo as OSC's de garantias legais e institucionais que amparam as parcerias para a gestão compartilhada e associativa do RSU.

Na figura 1 é exposta a matriz para o modelo de gestão colaborativa para ambientes produtivos em circuitos conectados de pessoas e tecnologias voltados a processos de sustentabilidade e, assim, operam em um formato de gestão de resíduos adequado às metas das políticas nacionais, de modo a assegurar direitos aos autores individuais e coletivos que deflagram inovações, inventos, patentes e atividades produtivas de economia popular solidária (SILVEIRA, 2010).

Esse modelo colaborativo de gestão tem sido discutido nos espaços públicos, como no 18º Encontro Nacional do Terceiro Setor – ENATS 2020 da Plataforma MROSC (Minas Gerais, 2023), em que promove o cooperativismo e a prática do conceito de Economia Social e Solidária (ESS) aplicada às práticas de transição energética renovável a partir de resíduos. Assim, esse protótipo oferece uma perspectiva de inovação social (Morandeira-Arca et al., 2021 e Muradin e Kulczycka, 2020).

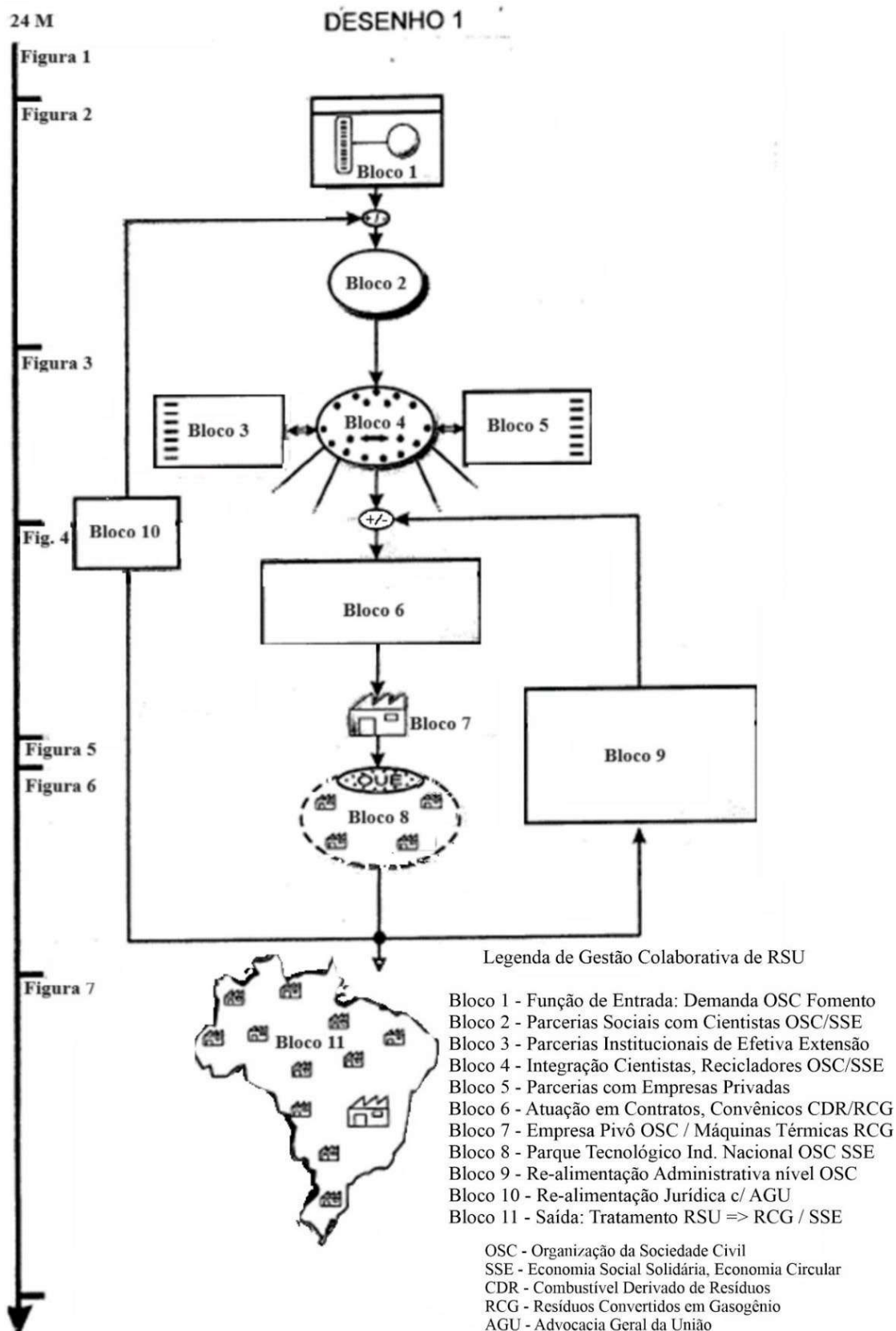
Destaca-se, nesse sentido, a persistência de CTR's como disposição final ainda culturalmente concebida como correta, em contradição com a PNRS, e o questionamento acerca do vácuo do estado na efetiva aplicação de reciclagem aos resíduos produzidos por seus cidadãos. Por isso, o presente trabalho busca também a aplicação da PNRS ao fundamento teleológico do art. 219 da CF, e Art. 19. da Lei nº 10.973/2004, conforme figura 1.

Art. 219. O mercado interno integra o patrimônio nacional e será incentivado de modo a viabilizar o desenvolvimento cultural e socioeconômico, o bem-estar da população e a autonomia tecnológica do País, nos termos de lei federal e da CF (BRASIL, 1988).

Art. 19. A União, os Estados, o Distrito Federal, os Municípios, as ICT's e suas agências de fomento promoverão e incentivarão a pesquisa e o desenvolvimento de produtos, serviços e processos inovadores em empresas brasileiras e em entidades brasileiras de direito privado sem fins lucrativos, mediante a concessão de recursos financeiros, humanos, materiais ou de infraestrutura a serem ajustados em instrumentos específicos e destinados a apoiar atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação, para atender às prioridades das políticas industrial e tecnológica nacional.

As ações para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade, estão de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Organização das Nações Unidas (ONU, 2000) e com os determinantes sociais da Saúde do SUS (Lei nº 8.080/1990 e Lei nº 8.142/1990, Resolução nº 453/2012), acompanhando as preocupações ambientais, sociais e econômicas (MURADIN et al, 2020; Buss, P. M. e Pellegrini Filho, A., 2007).

Figura 1 - Fluxograma de Controle Cronológico de Desenvolvimento (FCCD),
Alianças Estratégicas Intersectoriais Utilizadas para Gestão e Tratamento Sustentável RSU



Nesse sentido, o presente estudo investigou, no âmbito de políticas públicas, as vias de sistematização normativa de "alianças estratégicas"(tais como dispostas no artigo 3º e 19 da Lei nº 10.973/2004) que envolvem as empresas nacionais, as universidades, ICT's (Instituições Científicas e Tecnológicas), agências de fomento (Lei nº 10.973/2004, Lei nº 13.243/2016) e as organizações sociais e associações de catadores (OSC's) em ações coordenadas e cooperativas, denominadas parcerias sociais de interesse público (OSCI, Lei nº 9.790/1999; Lei nº 13.019/2014). As parcerias têm como propósito precípua a produção de benefícios mútuos, dispostos em contrato e/ou convênios. A tecnologia social, viabiliza a construção de parcerias público-privadas por meio do Modelo Jurídico Tecnológico Institucional de Utilidade Pública, apresentado na figura 1.

Em pesquisa, também foi observada a constante evolução do conceito e aplicação do tratamento termoquímico e aproveitamento energético de resíduos alinhada com a pesquisa de impactos socioambientais, como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) em Garcia (2021) e fatores econômicos do tratamento em vista, sobretudo, em modelos de parcerias público-privadas para a viabilidade do processo sustentável de disposição de resíduos, como observados em Ramos (2016), Caibre (2013), Menezes et al. (2019), Tulio e Schmitz (2023), Freitas e Souza (2021), Silveira (2010) e Andrade (2022). Autores como Wyss et al.(2023) têm feito importantes avanços na síntese de tipos de grafenos e hidrogênio a custo zero a partir de plásticos e misturas de plásticos ao vender o material análogo ao óxido de grafeno comum e à nanotubos de carbono a 5% do preço atual do óxido de grafeno comercial para custear a produção de hidrogênio.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia norteou-se, primeiramente, em uma pesquisa qualitativa nos estudos que abordam a pirólise e/ou gaseificação de resíduos e tecnologias adjacentes para diagnosticar as produções científicas úteis para o embasamento teórico desse trabalho. Esta pesquisa foi executada de acordo as seguintes etapas:

- Mapear as associações de catadores de lixo na área de estudo;
- Levantar o quantitativo de RSU destinados a cada associação no município de estudo e as destinações do Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) a esses resíduos, para identificar o fluxo de massa para balanceamento energético da planta de Reator de Pirólise e Gaseificação a partir de rejeitos, não interferindo como custo de oportunidade para os agentes do plano municipal de gestão de resíduos;

- Explorar tecnologia social em acordo com o modelo normativo legal;
- Dimensionar reator de pirólise e gaseificação para as associações de catadores.

3.1. Levantamento de Dados

Para o levantamento de dados foram seguidas as seguintes etapas: (1) pesquisa bibliográfica e documental por consulta a relatórios, estudos e pesquisas publicados por organizações governamentais e do setor privado; (2) visita técnica ao Inca Ambiental – Incineração de Resíduos Hospitalares e outros em Uberaba-MG, viabilizada pelo EBSRH do Hospital das Clínicas HC/UFU, onde se investigou a destinação de RSS do HC, indicado destinação inadequado e destoante dos ODS / ONU, 2023; (3) visita técnica especificamente as associações de catadores e recicladores de RSU, da cidade de Uberlândia/MG, buscando informações diretas sobre a aplicação do PNRS e do MROSC, âmbito o qual se realizou as entrevistas semiestruturadas com os representantes das associações de catadores.

A primeira etapa foi realizada a partir de pesquisa documental com o objetivo de embasar os temas sobre associações de catadores de recicláveis (RSU) e os estudos anteriores sobre os tipos de tratamentos para estes resíduos. Em seguida, buscou-se os trabalhos sobre pirólise, entre outros temas pertinentes ao estudo. Na pesquisa bibliográfica foram utilizados livros, revistas, artigos científicos ou outro material impresso e/ou obtido via internet.

Na pesquisa documental analisaram-se as Leis nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos), nº 13.019/2014 (Marco regulatório do terceiro setor), nº 13.243/2016 (Marco Legal Institucional – efetiva extensão), nº 13.576/2017 (Política Nacional de Biocombustíveis - RenovaBio), Lei nº 8.080/1990 (Determinantes de Saúde SUS – sustentabilidade) e Lei nº 8.142/1990 (Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências), além da utilização de dados do Instituto de Geografia e Estatística (IBGE) para o auxílio na geração dos dados.

3.2. Caracterização termogravimétrica dos Resíduos de Uberlândia - MG.

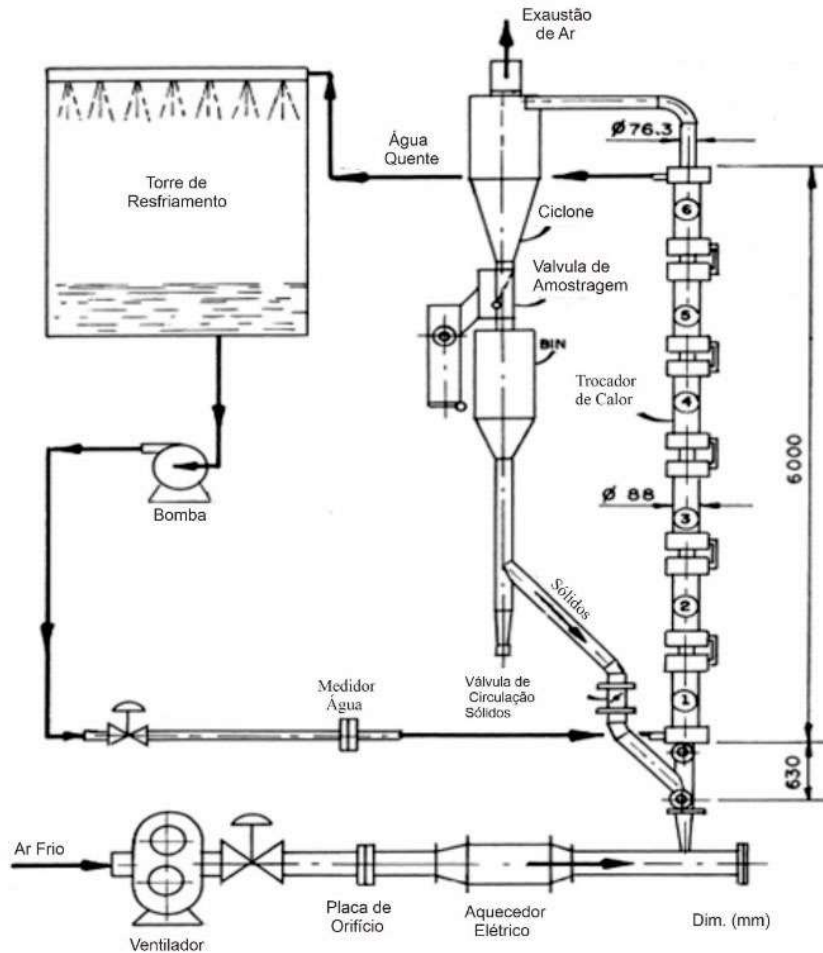
A metodologia utilizada para a caracterização dos resíduos sólidos urbanos e resíduos de serviços de saúde descrita nesta pesquisa foram elaborados por De Lima (2021), com a simulação e análise térmica. Por meio da análise térmica gravimétrica (TGA) e a calorimetria diferencial de varredura (DSC), verificou-se a eficiência da transição de biomassa em produto

energético de biogás. Foram estudados experimentos de leito Fluidizado Circulante (CFB), para desintegração da biomassa, indicados por Van de Velder (2010).

3.3. Experimento de Transferência de Calor em Massa LFC

Inspira-se em trabalho laboratorial realizado por este autor enquanto estagiário do Laboratório de Metrologia do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, em idos de 1993 a 1997, sob coordenação dos professores Geraldo Lombardi (1990) e Josmar Davilson Pagliuso (2000). Considera-se os resultados posteriores desta pesquisa para a aplicação dos fenômenos de transportes e colisões entre partículas de areia de quartzo com biomassa de rejeitos, dentro de reatores de leito fluidizado circulante, transferindo calor nas colisões em um fluido térmico de $\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$, convertendo a biomassa em gás de síntese de biocombustíveis e calor para aproveitamento energético, conforme figura 2.

Figura 2 Experimento em Procedimentos Testes de Transferência em CFB



Ferreira (2021) e Jain e Sharma (2011) afirmam que os processos de recuperação energética podem ser divididos em duas categorias: processos biológicos (biodigestão anaeróbica e fermentação) e processos termoquímicos como a incineração, a combustão, a pirólise, a gaseificação e a liquefação. Tais metodologias de conversão também são conhecidas como Waste to-Energy (WTE) (Somorin, Adesola e Kolawole, 2017).

A pirólise em CFB requer um regime de fluxo de pistão para obter um tempo de residência constante e controlável em parâmetros da equação Eq (1) e Eq (2):

$$U > U_{tr} + 1 \left(\frac{m}{s} \right), \quad e \quad (1)$$

$$G > 200 \left(\frac{kg}{s \cdot m^2} \right) \quad (2)$$

Sendo U_{tr} é a velocidade de transporte do fluido (m/s), a operação no modo de fluxo tampão é alcançada somente quando a velocidade do gás (U) e a taxa de circulação de sólidos (G) excedem os valores mínimos, excede a velocidade de transporte (U_{tr}) em um mínimo de 1 m/s. Juntamente com o balanço térmico. Esses valores determinam o diâmetro do reator como é visto em Eq (3):

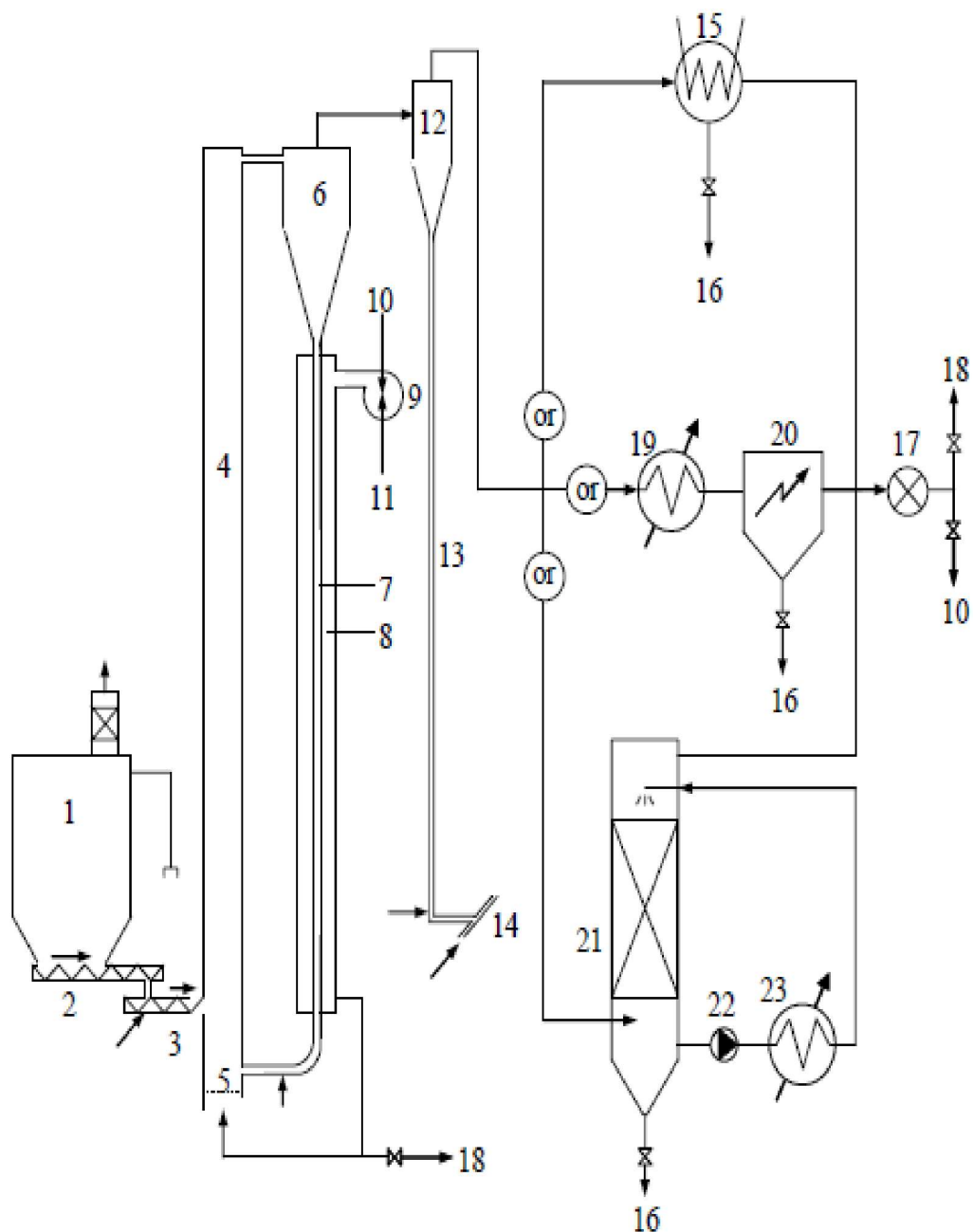
$$H = U_s * t \quad (3)$$

Sendo t é o tempo de residência da partícula no riser, H é a altura do tubo riser do reator de pirólise, U_s é a velocidade de escorregamento da partícula arrastado neste fluxo dinâmico, que pode ser aproximada por Eq (4):

$$U_s \cong U - U_t \quad (4)$$

Onde U é a velocidade superficial do gás fluidizado, U_t velocidade terminal da partícula arrastada e U_s é a velocidade da partícula sólida. Tais equacionamentos podem ser extraídos de trabalhos anteriores, como o de Velden et al. (2008), que utiliza dessa estratégia de design para um reator de pirólise de 10 MW, que consome 3,4 ton./h (0,95 kg/s) de biomassa e produz 2 ton./h de óleo de pirólise e o riser tem um diâmetro de 0,4 m e uma altura de 12,5 m conforme figura 3. A taxa de circulação de material (areia, gás, biomassa) foi equacionada pelo autor em 115 ton/h (31,94 kg/s) e a velocidade de fluidização do gás em 5,6 m/s para operação em fluxo de pistão com um tempo de residência de 2,5 s. O calor do processo é fornecido pela combustão do gás de pirólise, que indiretamente pré-aquece o material no leito circulante.

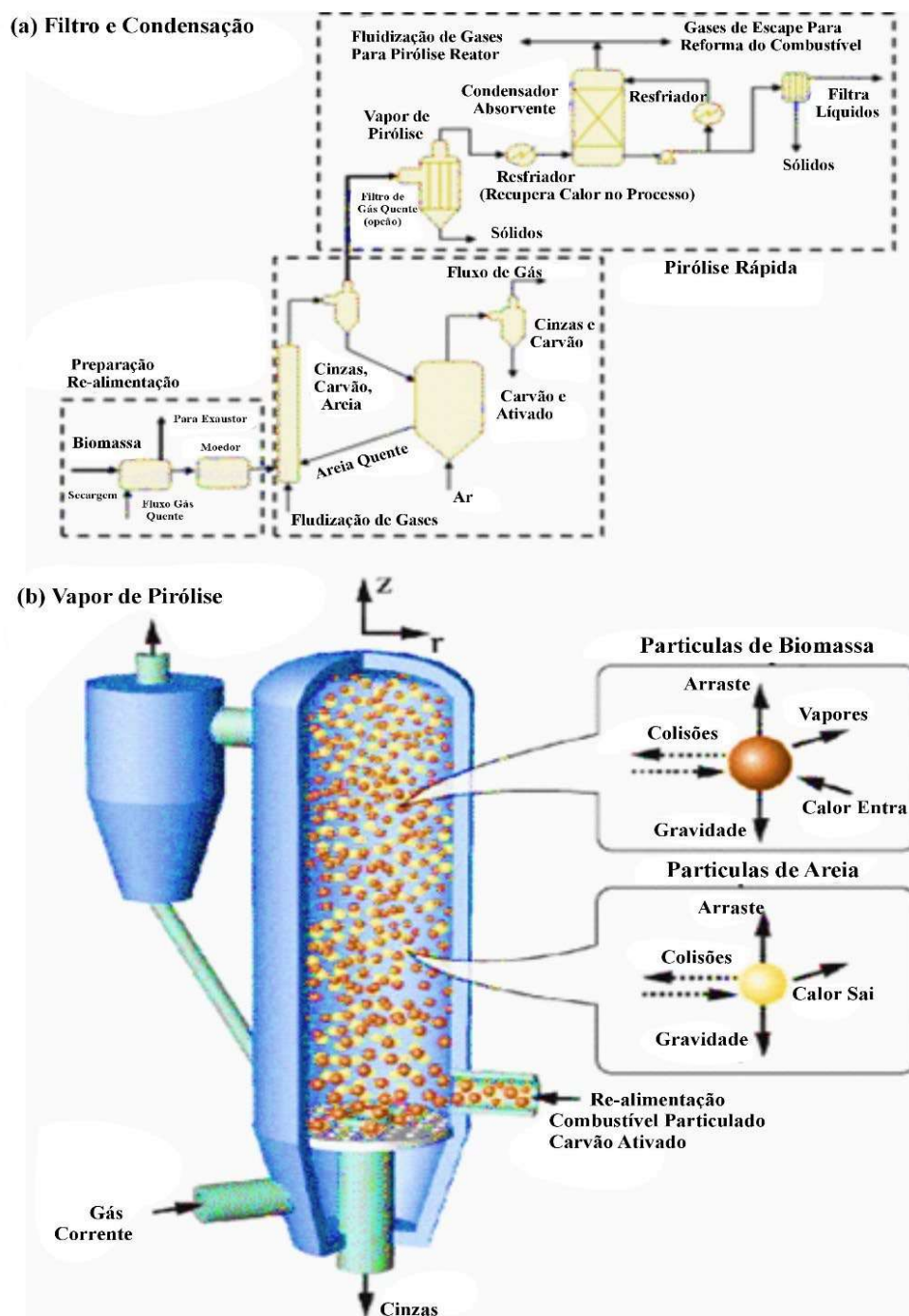
Figura 3 - Planta de produção de energia elétrica e calor por pirólise de RSU



Fonte: Van de Velden, et al. (2008)

Na figura 4, estão descritos os diagramas: de pirólise rápida de biomassa em reator CFB, conforme Trendewicz et al. (2014). Os autores, com base em Velden (2007), realizam estudos numéricos e utilizam uma abordagem unidimensional para simplificação da modelagem do reator. Este estudo corrobora com o de Kersten et al. (2005), que avaliam que os modelos complexos não trazem maior precisão que modelos unidimensionais (Syamlal, Rogers e O'Brien, 1993).

Figura 4 - Diagramas: (a) Pirólise rápida de biomassa, (b) Reator CFB

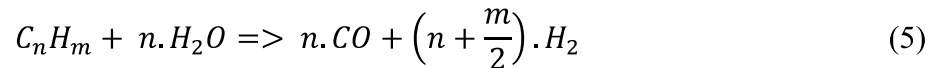


Fonte: Trendewicz et al. (2014)

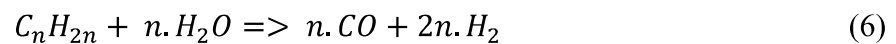
O gás de combustão forma o gás de fluidização, juntamente com os gases de pirólise e com os vapores, sendo que essa mistura gasosa formada está quase livre de O_2 . O carvão (30 MJ/kg) gerado nesse processo pode ser recuperado para realimentação do sistema ou subproduto. Os autores afirmam a necessidade de se operar com sistemas de condensação preparados para trabalhar com alcatrão de lignina, que na baixa temperatura utilizada pode

formar bloqueios na tubulação. Devi, Ptasinski e Janssen (2003) e Song, Deng e Guo (2021), entre outros, trazem o conceito de gaseificação em dois estágios e a degradação térmica dentre as variantes importantes para a diminuição de alcatrão no gás produzido.

A equação geral da reação de reforma a vapor de grandes hidrocarbonetos é de Souza e Silveira (2004), Eq (5):



Para o caso do bio-óleo tem em média uma razão de 2:1 entre H e C, os autores definem a expressão geral da reação como na Eq (6):



3.4. Aspectos tecnológicos e operacionais Pirólise

A pirólise consiste na decomposição termoquímica dos resíduos na ausência de O₂ em temperaturas elevadas (entre 300 e 800 °C). Dentre as tecnologias de conversão termoquímica de biomassa, a pirólise consiste na recuperação da energia contida nela pela sua decomposição térmica sob atmosfera parcial ou totalmente inerte em temperaturas moderadas, gerando produtos com maior densidade energética (Basu, 2010).

A produção de combustíveis via pirólise é uma prática antiga que foi suprimida pelo desenvolvimento da indústria petroquímica no início do século XX, mas foi reconsiderada nos anos 70 do século passado, durante a crise do petróleo. Na década de 80, comercializaram-se os reatores para pirólise rápida visando maximização do rendimento líquido. E no fim dos anos 90, foram construídas plantas-piloto na Espanha (Unión Fenosa), Itália (Enel), Reino Unido (Wellman), Canadá (Pyrovac, Dynamotive), Finlândia (Fortum) e Países Baixos (BTG) (Garcia-Nunez et al., 2017).

3.5. Equações de Governança e Dimensionamento

Os parâmetros de operação do leito fluidizado circulante consistem em: entradas do material circulante, areia, gases, temperatura, diâmetro dos materiais, densidade de suspensão, tempo de residência no riser e a velocidade da reação termoquímica em fluido de arraste no interior do CFB, presentes na tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de Operação de Entrada do Material no Modelo CFB

Fluxo de Biomassa				Fluxo de Areia			
M_{biomassa}	Velocidade de entrada da biomassa	0,023	kg/s	$R_{\text{areia / biomassa}}$	Relação de velocidade da areia e biomassa	15	-
$D_{p,\text{biomassa}}$	Diâmetro da partícula de biomassa	500	μm	$D_{p,\text{areia}}$	Diâmetro da partícula de areia	500	μm
T_{biomassa}	Temperatura da biomassa	373	K	T_{areia}	Temperatura da areia	900	K
ν_{biomassa}	Fração volumétrica de biomassa	0,15	EM	ν_{areia}	Fração volumétrica de areia	0,15	EM
Fluxo de Gás				Dimensão do Riser do Reator CFB			
$P_{\text{gás}}$	Pressão do gás	1.175	Barra	D_{Reator}	Diâmetro do tubo do riser do reator de pirólise	0,08	m
$\epsilon_{\text{gás}}$	eficiência do processo envolvendo gás	0,7	-	H_{Reator}	Altura do tubo do riser do Reator de Pirólise	4	m
$T_{\text{gás}}$	Temperatura do gás	700	K				
$\nu_{\text{gás}}$	Fração volumétrica do gás	5	EM		Representa Número Adimensional		-

Fonte: Trendewicz et al., 2014

Dessa forma, a entalpia é uma função termodinâmica que representa a energia total de um sistema, incluindo sua energia interna e o trabalho realizado pelo volume de controle durante de uma reação química ou processo físico, mantendo a pressão constante. É uma medida da quantidade de calor envolvida em uma reação ou na mudança de estado a uma determinada pressão (Rodrigues 2007).

O projeto de um reator de pirólise deve levar em conta que suas condições de operação dependem da relação do PCI (MJ/kg) nas entradas e saídas, cuja eficiência de rendimento é controlada pelo tempo de residência, taxa de fornecimento de biomassa e transferência de calor (Nagaraja, 2021). Posteriormente, serão discutidos os resultados da pesquisa sobre o PCI utilizando análise TGA, onde se verifica uma grande variedade de partículas de biomassa que determinam respectivamente a cinética da reação e a dependência de Arrhenius em reação endotérmica. Para a maioria das espécies de biomassa, a constante de velocidade de reação é maior que 0,5 m/s, correspondência de uma reação rápida. O calor endotérmico de entalpia (h) da reação varia de 207 a 434 kJ.kg⁻¹ (PCI_{médio} = 0,3205 MJ/kg).

3.5.1. Transferência de Calor e Parâmetros de Operação de CFB

Os modelos de Pagliuso, Lombardi e Goldstein (2000), Wu et al., (1987) e Specht, et al. (2010) confirmam que a transferência de calor aumenta em direção às seções inferiores do espelho do leito em resposta ao aumento da densidade da suspensão. O coeficiente de transferência de calor (h) é obtido do coeficiente global de transferência de calor (U_i), descrito na Eq (7):

$$h = \frac{11}{\left(U_i - \left(\frac{D_i}{2.k} \right) \cdot \ln \left(\frac{D_e}{D_i} \right) - \frac{D_i}{(D_e \cdot h_e)} \right)} \quad (7)$$

Onde D_i e D_e são os diâmetros interno e externo do tubo do riser do reator de pirólise, k a condutividade térmica, e h_e o coeficiente de transferência de calor para o fluxo anular de água. A transição laminar-turbulenta para escoamento em anéis concêntricos ocorre para um número de Reynolds de 2.300. Quando o valor encontrados, em uma faixa de 200 a 600, significa que o fluxo da água está em modo laminar. A superfície interna dos anéis foi admitida isotérmica, uma vez que a variação máxima da temperatura da água ao longo dos seis trocadores de calor varia de 13°C, cerca de 10% da diferença média de temperatura entre a suspensão de sólidos e a água, e a temperatura da suspensão não variam mais de 3%. O fluxo foi considerado totalmente desenvolvido.

Os autores encontraram uma relação entre o coeficiente de transferência de calor, a densidade da suspensão e o tamanho das partículas. Para o calculado do coeficiente de transferência de calor (h) para uma determinada partícula a partir de um coeficiente de referência (h_R) obtido para outro tamanho de partícula, com a mesma densidade de suspensão, sendo um fator de correção para o tamanho dado pela Eq (8):

$$h = h_R \cdot d_r \cdot d^n \quad (8)$$

Onde o R subscrito indica os dados de referência e n é uma constante empírica. Os resultados confirmam também que, ao contrário dos leitos fluidizados borbulhantes, seu efeito não seria muito distinto em leitos fluidizados circulantes (CFB), pelo menos para superfícies de transferência de calor relativamente longas (>1,5 m), diâmetros de partícula inferiores a 500 μm e densidades de suspensão superiores a 10 kg/m^3 . Portanto, estes seriam os fatores operacionais dominantes influenciando o coeficiente de transferência de calor, resultando na raiz quadrada da densidade média da seção transversal da suspensão. Embora alguns parâmetros adimensionais tenham sido propostos para correlação de dados, nenhum até agora se tornou

universalmente aceito. Tirando $d_R=179 \mu\text{m}$, por exemplo, d é o diâmetro da partícula: h_R é o coeficiente de transferência de calor correspondente da partícula indicada na Eq (9):

$$h_R = 28,02 + 46,84 \cdot \rho_m + 1,541 \cdot 10^{-2} \cdot \rho_m^2 \quad (9)$$

A dependência de n com a densidade da suspensão é mais significativa do que com o diâmetro das partículas, adotou-se uma média aritmética desses diâmetros de partículas para d , de modo que n pode ser obtido a partir da Eq (10):

$$n = 2,818 \cdot 10^{-1} - 1,069 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_m + 2,338 \cdot 10^4 \cdot \rho_m^2 - 1,788 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_m^3 \quad (10)$$

A densidade média da suspensão sólida ρ_m para cada trocador foi calculada a partir da queda de pressão Δp ao longo de seu comprimento L , indicado na Eq (11):

$$\rho_m = \Delta p \cdot g \cdot L \quad (11)$$

Onde g é a aceleração gravitacional, sendo que os efeitos de atrito e aceleração gás-partículas foram desprezados. Sendo a densidade como $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$ e d o diâmetro médio das partículas. Esses resultados confirmam a influência do diâmetro das partículas no coeficiente de transferência de calor, e que o efeito é mais significativo à medida que o tamanho diminui.

Assim, o coeficiente local de transferência de calor ao longo do leito H , foi calculado a partir de U_i igualando as expressões da taxa de transferência de calor q , em cada um dos seis trocadores de calor com camisa d'água indicados na Eq (12):

$$q = \dot{m} * c * (T_o - T_i) = U_i * A_i * \Delta T_{lm} \quad (12)$$

Onde \dot{m} é a taxa de fluxo de massa de água, c é o calor específico da água, T_i e T_o são as temperaturas de entrada e saída da água, A_i é a área de superfície interna de transferência de calor e ΔT_{lm} é o log da diferença média de temperatura em cada calor da camisa de água permutador.

Dessa forma, ao projetar a transferência de calor em um leito fluidizado circulante, a densidade média da suspensão no riser poderá ser utilizada para calcular o coeficiente médio de transferência de calor em fluxo de massa sólida circulada em relação a densidade média, de cada tamanho de partícula (Pagliuso, Lombardi e Goldstein, 2000). Outros estudos, como Van de Velden et al. (2010), indicam a influência do gradiente de temperatura na transferência de calor para massa induz o acionamento da catálise de reações térmico-químicas.

A uniformidade de temperatura das partículas de biomassa ao longo do riser pode ser determinada pela lei de condução de calor de Fourier, aqui aplicada em regime não estacionário

para o caso simples de uma partícula esférica, onde: k_p [W/mK], é a condutividade térmica da biomassa na temperatura T , c_p [J/kgK] é a capacidade térmica específica da biomassa na temperatura T , ρ [kg/m³] é a densidade da biomassa e D [m²/s] é a difusividade térmica da partícula. As soluções de uma condição térmica instável são simples quando as condições de contorno iniciais podem ser aplicadas (Trendewicz et al., 2014). As soluções são muito difíceis ou impossíveis para condições de contorno complexas e/ou corpos de forma irregular (Van de Velden et al., 2010).

As soluções gerais são, portanto, comumente expressas por uma análise dimensional, visto que considera uma esfera particulada de raio r , sendo h é coeficiente de transferência de calor externo na superfície da esfera (W/m²K), e a temperatura inicial é T_0 , sendo exposta à temperatura da vizinhança T_s , com distribuição de temperatura em qualquer instante t e posição x , expressa pela na Eq (13):

$$\frac{T_s - T}{T_s - T_0} = f\left(\frac{h \cdot r}{k_p}, D \cdot \frac{t}{r^2}, \frac{x}{r}\right) \quad (13)$$

Ainda de acordo com os autores, conhecendo a evolução da temperatura no núcleo da esfera (T_c em $x = 0$) e introduzindo o número de Biot (B_i). Para valores grandes ($B_i \rightarrow \infty$) ou muito pequenos ($B_i \rightarrow 0$) do número de Biot, as soluções não foram fornecidas graficamente por Carslaw e Jaeger (1947). Para aplicações de partículas de biomassa em um leito fluidizado, os números de Biot são intermediários ($B_i = 0,2$ a 1) e condições extremas não se aplicam. O número de Biot é dado na Eq (14)

$$B_i = r \cdot \frac{h}{k_p} \quad (14)$$

A partir de Heisler (1947), para os valores intermediários do número de Biot, os resultados são expressos em $(T_s - T_c) / (T_s - T_0)$ em termos de $D \cdot t / r^2$ (o número de Fourier) com $1/B_i$ como parâmetro na Eq (15)

$$\frac{T_s - T}{T_s - T_0} = f\left(B_i, D \frac{t}{r^2}, \frac{x}{r}\right) \quad (15)$$

Em leito fluidizado circulante, as propriedades características da serragem a 773 K, com coeficiente médio de transferência de calor na superfície da esfera é de 500 W/m²*K, conforme exemplificadas na tabela 2.

Tabela 2 - Tempo para uma partícula esférica de pó de serra atingir aproximadamente a temperatura ambiente onde a partícula é submersa

R(μm)	Bi-número	D.t / r ²	t(s)	Parâmetros Fixos
50	0,17	13	0,017	K _p = 0,15 W.m ⁻¹ . K ⁻¹
100	0,34	7	0,38	
200	0,67	5	1,08	cp = 1150 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
400	1,33	2,2	2,2	ρ _p = 700 kg.m ⁻¹

Fonte: Van de Velden et al., 2010

Assume-se que uma condição em que a temperatura do núcleo atingiu 99% da temperatura da vizinhança ($T_s \approx 773$ K ou 499,85 °C) satisfaz condições de temperatura uniforme T em toda a esfera (seja, $T_c \approx 0,99 T_s$), com temperatura T inicial da esfera é 293 K, calcula-se D na Eq (16)

$$D \approx 1,86 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \quad (16)$$

Como a pirólise rápida requer que a reação ocorra dentro de 2 a 2,5 segundos fica claro que apenas partículas muito pequenas atenderão às condições de aquecimento rápido a uma temperatura uniforme. Nesse caso, partículas com diâmetro acima de 200 μm, levam 0,38 s para aquecer, ou seja, cerca de 15% do tempo de reação proposto de 2 a 2,5 segundos, começando a comprometer a condição ideal de pirólise rápida.

De acordo com os cálculos anteriores, pode-se supor que a taxa de aquecimento em toda a partícula é uniforme ao aquecer partículas muito pequenas (≤ 200 μm) a uma taxa de aquecimento β (K/s). As condições de contorno simplificadas podem, portanto, ser aplicadas a derivada da temperatura no tempo pela Eq. (17)

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \beta, \quad \text{para} \quad R = \frac{d_p}{2} \quad (17)$$

E para a derivada da temperatura pelo raio da partícula Eq. (18)

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0, \quad \text{para} \quad R = 0 \quad (\text{núcleo da partícula}) \quad (18)$$

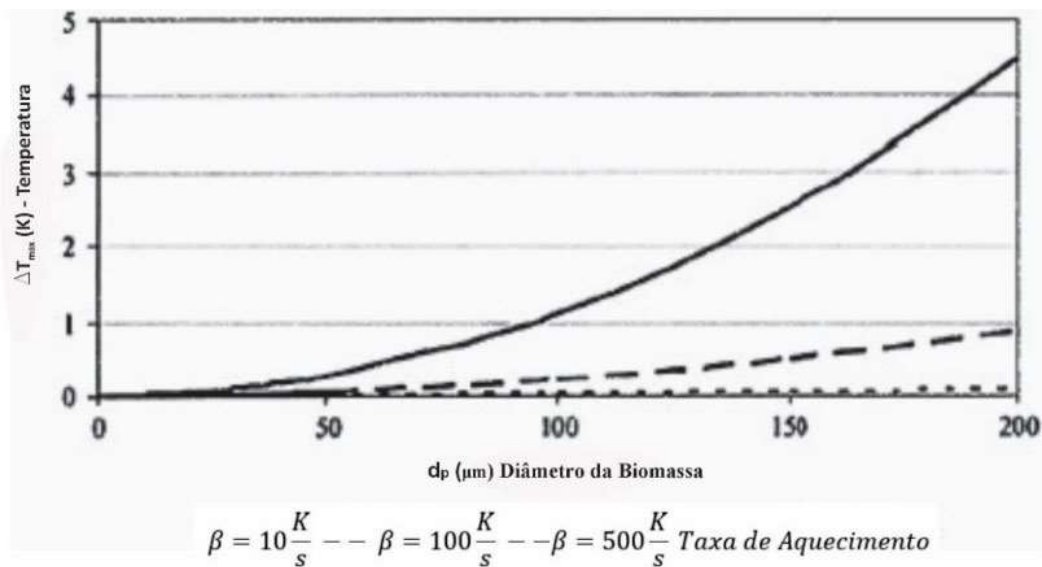
A solução é indicada por Carslaw e Jaeger (1947) como na Eq (19) e Eq (20):

$$\Delta T_{max} = (T_R - T_C) \quad (19)$$

$$\Delta T_{max} = \beta \cdot \frac{d_p^2}{(24.D)} \quad (20)$$

Onde T_R : Temperatura da superfície da partícula (em $r = R$) (K), T_c : Temperatura do núcleo da partícula (em $r = 0$) (K). A Eq. (17) pode ser aplicado para vários valores de β e por exemplo, as propriedades características da serragem mencionadas acima. Os resultados são um conjunto de curvas em função da figura 5, que indica um gráfico de diferença da temperatura máxima (ΔT_{max}) entre a superfície e o núcleo da partícula de serragem em função da variação do diâmetro da partícula e das taxas de aquecimento (β).

Figura 5 - Variação do diâmetro, taxa de temperatura de aquecimento (β)



Fonte: Van de Velden et al., (2010)

Esses cálculos mostram que as diferenças de temperatura entre a superfície e o núcleo da biomassa são muito limitadas, certamente quando se considera que a temperatura ao redor é de 773 K (500 °C) e que a taxa de aquecimento variará entre no mínimo 1,5 K/s em um experimento de TGA, e, até algumas centenas de K/s em um leito fluidizado borbulhante ou circulante CFB.

O coeficiente de transferência de calor por convecção em um CFB é estimado em $620 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$ a partir dos resultados de Kobre e Brereton (1986), encontrando assim 9537,93 kW. Como não apenas a convecção externa, mas também a condução interna é importante, o quadro geral é expresso pelo número de Biot (B_i), que representa a resistência interna à penetração de calor dividida pela resistência externa à transferência de calor como foi escrita na Eq (11).

Assim, para partícula de serragem de 200 μm ($r = 100 \mu\text{m}$) a 773 K, expressam os valores seguintes: Para $h = 300/\text{cm}^2\text{k}$, $h = 500/\text{cm}^2\text{k}$, $h = 700/\text{cm}^2\text{k}$, correspondem aos números de biot $B_i = 0,2$; $B_i = 0,33$; e $B_i = 0,47$, respectivamente (Van de Velden et al., 2010).

Os autores ainda recomendam que para obter um aquecimento rápido de toda a partícula, é apropriado usar pequenas partículas de biomassa (por exemplo, $<200 \mu\text{m}$) e nenhum gradiente térmico significativo ocorrerá nessas pequenas partículas. O núcleo e a superfície da partícula de biomassa se comportarão térmica e cineticamente de maneira semelhante. Os autores estimaram que uma partícula de 200 μm ($r = 100 \mu\text{m}$) a 773 K possui $B_i = 0,83$ para um $h = 1.250/\text{cm}^2\text{k}$.

3.5.2. Modelos de Cinética de Circulação no CFB

Os modelos de cinética de reações são utilizados para determinar o tempo de residência para produzir a quantidade necessária de bio-óleo a uma temperatura operacional selecionada (geralmente em torno de 500 $^{\circ}\text{C}$). Com alguns segundos de tempo de residência e utilizando partículas de areia na faixa de 100-300 μm , ocorre a conversão em uma única passagem pelo riser. Segundo Van de Velden et al (2009), a operação do riser é isotérmica quando a velocidade de fluidização e a taxa de circulação são suficientes. Esses parâmetros estão de acordo com estudos anteriores sobre fluxo isotérmico de fluidos não-newtonianos, como o de Hanks (1963).

Segundo Miguel, Oliveira e Santos (2023) e Van de Velden et al (2008), para a otimização da temperatura no CFB, utilizando biomassa de palha, o tempo de residência para a pirólise é de 2,5 s. Para a mesma biomassa e o mesmo tempo de reação, a temperatura ótima de 760 K e a fração mássica de bio-óleo corresponde a 66,3%. Da mesma forma para a biomassa abeto a um tempo de 2,5 s obteve-se uma temperatura de otimização média de 809,80 K e fração de bio-óleo de 69,8%. Os resultados são ilustrados na tabela 3.

Tabela 3 - Tempo residência e temperaturas otimizando pirólise em 2,5 s

Tipo de Biomassa	Tempo (s)	Temperatura de Otimização (k)	Fração massifica de Bio-óleo
Abeto	2,5	809,80	0,698
	5,0	760,01	0,706
	7,5	733,81	0,710
	10	716,27	0,713
Palha	2,5	759,083	0,663

Fonte: Miguel, Oliveira e Santos (2023)

Nas condições de contorno descritas na tabela 3, em um reator de pirólise, essas reações ocorrem em dois estágios: no primeiro a biomassa se decompõe em carvão sólido, bio-óleo, gás

e água e, no secundário, ocorre a decomposição adicional e a formação de gases de síntese. Rodrigue et al (2023) realizou a comparação entre os gaseificadores de *downdraft*, *updraft*, leito borbulhantes, leitos fluidizado circulantes CFB. Segundo os autores, os modelos de reator tipo *updraft* e *downdraft*, também chamados de reatores de primeira geração, são mais simples e baratos de construir que os de leito fluidizado circulante. Entretanto, os gaseificadores de CFB são melhores nas aplicações de alta capacidade e rendimento, como em sistemas de recuperação energética de biomassa a partir da pirólise e da gaseificação.

Uma das vantagens do leito fluidizado circulante é de que esse possui alta taxa de flexibilidade em relação à produção de diferentes tipos de combustível, permitindo utilizar substâncias de baixa densidade e de granulometria fina, como é o caso da maioria dos resíduos agroindustriais. Esses resultados concordam com as simulações e revisões sistemáticas da tecnologia de pirólise encontradas em Santos e Correa (2018); Lima, Santos e Monteiro (2021) e Li et al (2022).

O modelo do reator de pirólise rápida de biomassa pode ser composto pelos seguintes submodelos: (i) modelo químico de conversão de biomassa, (ii) modelo de partícula de biomassa, (iii) modelo de dinâmica de fluidos e (iv) modelo de transferência de calor, conforme observado em experimento do Laboratório de Metrologia do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP, 1993, 1997).

As pesquisas realizadas por Lombardi e Pagliuso (2000) corroboram com a análise da transferência de calor em massa, em experimentos de circulação de areia em leito fluidizado circulante (CFB), que operam com jato de areia quente de 100 μm e gás a uma velocidade de circulação de 5,6 m/s, taxa de circulação de areia sólida quentes de 200 $\text{kg/m}^2\text{s}$; encontra-se um coeficiente de transferência de calor de convecção de 620 $\text{W/m}^2\text{k}$. Os mesmos resultados foram encontrados em Van de Velden. et al (2010).

Trendewicz et al (2014) apresenta submodelos de reação em CFB, sendo eles: de conversão de biomassa, de partícula de biomassa, da dinâmica de fluidos e de transferência de calor. Estes submodelos são essenciais para a compreensão e previsão do comportamento da pirólise rápida de biomassa em um reator.

O primeiro submodelo químico de conversão de biomassa delinea as reações químicas envolvidas na decomposição da biomassa durante a pirólise. Inclui a análise das principais reações como a decomposição da celulose, hemicelulose e lignina em produtos gasosos, líquidos e sólidos. O modelo químico leva em consideração a cinética das reações e a influência dos parâmetros de temperatura e tempo de residência no processo de conversão.

O segundo submodelo de partícula de biomassa detalha o comportamento das partículas de biomassa durante a pirólise. Considera aspectos como a transferência de massa e calor nas partículas, a evolução das composições químicas durante a decomposição e a formação de produtos. O modelo de partícula também pode levar em conta a distribuição de tamanho de partícula e a influência das propriedades físicas da biomassa.

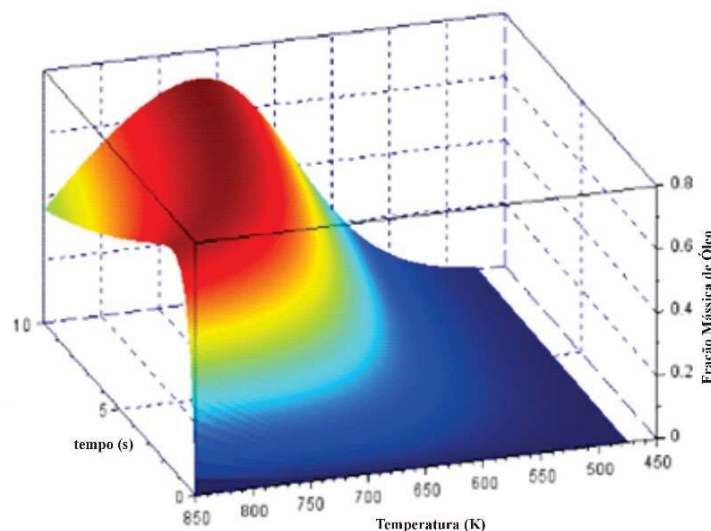
O terceiro submodelo da dinâmica de fluidos descreve o comportamento do fluido de pirólise, como a distribuição de velocidade, a transferência de calor em massa e a mistura no reator. Esse modelo considera a interação entre as partículas de biomassa e o gás de pirólise, levando em conta a formação de jatos de gás e padrões de escoamento no leito fluidizado (CFB).

O quarto submodelo de transferência de calor pormenoriza a transferência de calor no reator, considerando a contribuição de diferentes mecanismos, como condução, convecção e radiação. Esse submodelo reflete as propriedades térmicas da biomassa, das partículas e do gás de pirólise, bem como as condições de operação como a temperatura e o fluxo de calor.

Esses submodelos fornecem insights sobre os mecanismos de conversão de biomassa, da dinâmica do reator e dos parâmetros de operação e de projeto de CFB.

Miguel, Oliveira e Santos (2023) desenvolveram um modelo computacional simulando a pirólise em CFB e obtendo resultados semelhantes aos de Van de Velden et al (2008) para otimização da biomassa de palha, utilizando partículas de areia, com diâmetro de partículas de $d=230\mu\text{m}$, conforme observa-se na figura 6.

Figura 6 - Otimização da fração mássica, temperatura e tempo (s)



Como a pirólise de toda reação de craqueamento é uma reação endotérmica, o calor da reação deve ser fornecido indiretamente pelos trocadores de calor para a areia ou, diretamente por pré-aquecimento do material do CFB e do gás na fluidização. Normalmente a combustão do gás de pirólise fornece o calor necessário (C [J/g]) para decomposição da biomassa, que por sua vez produz gases de síntese no fluxo de arraste.

O calor necessário para pirólise da biomassa contém dois componentes: o calor para o aquecimento da biomassa até a temperatura de pirólise e o calor da pirólise endotérmica. O calor específico c_p (J/g.K) varia de acordo com a biomassa de 1,2 a 0,9 (kJ/kg.K), como descrito na Eq (21):

$$C = m_b \cdot c_{p,b} \cdot (T_\infty + T_0) + m_b \cdot \Delta H_r \quad (21)$$

O PCI (Poder Calorífico Inferior) do CDR é a porcentagem em peso de cada componente de CDR em uma mistura com a fração de umidade na amostra, calculado na Eq (22):

$$PCI = \sum_{i=1}^n X\%_i * PCS_i \quad (22)$$

Nessa fórmula o PCI é o Poder Calorífico Inferior da combustão do CDR; o PCS_i é o Poder Calorífico Superior do componente i de CDR e $(X\%)_i$ é a *parcela* porcentual da umidade da massa do componente i presente na análise gravimétrica do CDR.

A somatória é feita para todos os componentes presentes na mistura de CDR. Essa equação assume que o poder calorífico superior é multiplicado pela porcentagem em peso de cada componente na mistura de CDR, e então a somatória é feita para obter o poder calorífico inferior da mistura de CDR. Assim, o PCI do CDR é uma medida do calor liberado durante a combustão completa de uma unidade (g ou kg) de massa de CDR, levando em consideração a energia latente de vaporização da água resultante da combustão.

3.5.3. Primeira Fase de Pirólise

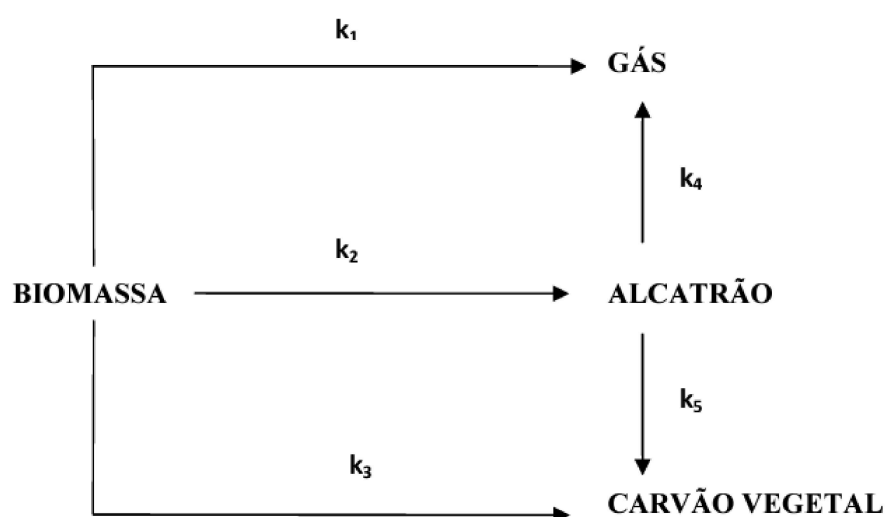
O tratamento dos RSU por Pirólise foi observado em autores como Júnior (2017), Monteiro (2019), Caldas (2019), Filho (2020), Santos (2022), Engelmann (2021), Melo (2021), e outros. Os gases de síntese gerados durante a fase primária da pirólise são compostos principalmente por metano, hidrogênio, monóxido de carbono e dióxido de carbono.

Conforme Melo (2012), na figura 17, indica o mecanismo cinético para pirólise em reatores de CFB adotado, considera que a pirólise ocorre em duas etapas sucessivas. Na

primeira etapa, a biomassa se decompõe através de três reações paralelas produzindo gases, alcatrão e carvão residual. Posteriormente, no segundo momento ocorre com a decomposição do alcatrão em gases e carvão vegetal por duas reações paralelas indicadas.

A primeira etapa cinética ocorre de maneira endotérmica, já na segunda, são reações exotérmicas, liberando energia. Por esses dois mecanismos cinéticos é possível avaliar a temperatura de operação do reator para se maximizar determinado produto, como é indicado nas equações descritas abaixo Eq (23), Eq (24), Eq (25) e Eq (26):

Figura 7 - Cinética de duas etapas para pirólise



Fonte: Melo (2012)

$$\frac{dm_{biomassa}(t)}{dt} = -(k_1 + k_2 + k_3) * m_{biomassa}(t) \quad (23)$$

$$\frac{dm_{gás}(t)}{dt} = k_1 * m_{biomassa}(t) + k_4 * m_{alcatrão}(t) \quad (24)$$

$$\frac{dm_{alcatrão}(t)}{dt} = k_2 * m_{biomassa}(t) - (k_4 + k_5) * m_{alcatrão} \quad (25)$$

$$\frac{dm_{carvão}(t)}{dt} = k_3 * m_{biomassa}(t) + k_5 * m_{alcatrão}(t) \quad (26)$$

As reações primárias (cinética primeira etapa) ocorre a temperaturas em torno de 500 °C, o reator operando em torno desta temperatura favorece a obtenção do alcatrão. As reações secundárias (cinética segunda etapa) torna-se significativa em temperaturas acima de 550 °C e o reator operando acima desta temperatura favorece a obtenção de gás. O poder calorífico líquido do gás de síntese normalmente varia entre 15 e 20 [MJ/Nm³].

Conforme Rodrigues (2007), Lora e Nogueira (2003), o PCI do gás produzido pela fração de biomassa é de 5,1716 MJ/kg, enquanto sua entalpia é de 3,18 MJ/kg. O valor negativo deve-se a entalpia de formação de elementos da composição do gás. A entalpia de formação para os gases de biomassa e de fluidização é de 8MJ/kg.

De acordo com Zafar (2014), os hidrocarbonetos entre os gases condensáveis, obtidos da destilação dos produtos da pirólise de resíduos plásticos, apresentam propriedades semelhantes ao combustível derivado do petróleo. A pirólise rápida pode converter até 70-80% da biomassa em bio-óleo. Um maior rendimento de líquido pode ser obtido com os tempos de residências menores, evitando a decomposição secundária dos produtos. Um maior tempo de residência e/ou elevação de temperatura produzirá mais gases de síntese (Bittencourt, F. P., 2020).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

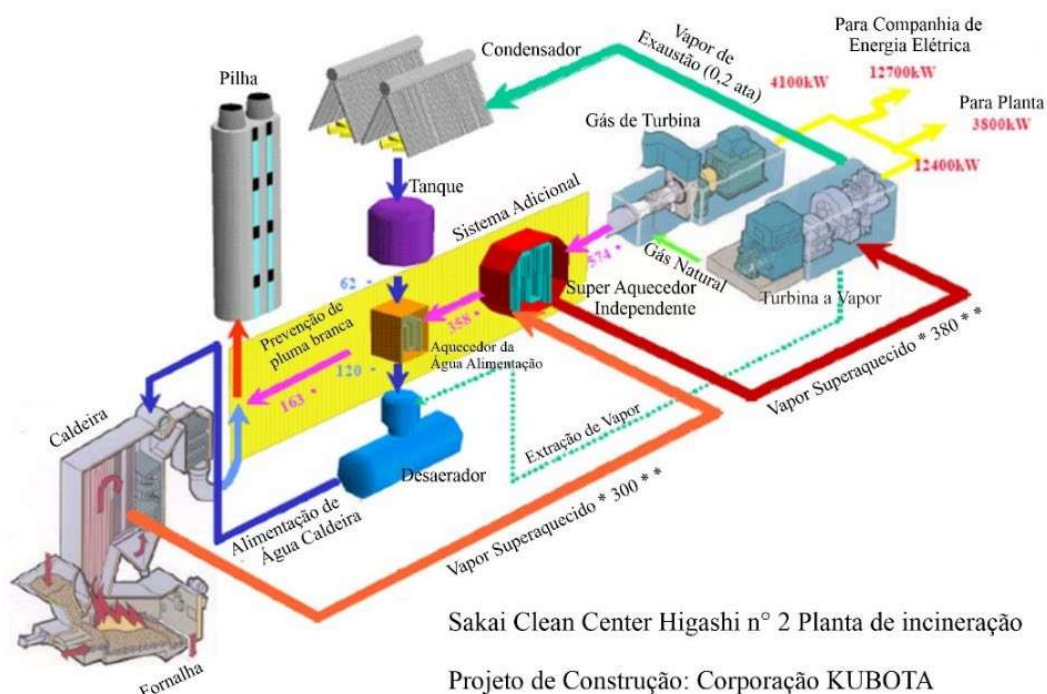
De acordo Ribeiro (2010), a transição de RSU para a geração de energia elétrica em um ciclo combinado otimizado (CCO), trata-se de um novo sistema para geração de energia elétrica a partir do lixo, que resultou no pedido de patente junto ao INPI, nº PI0701249-7 de março de 2007, destacando-se por aumentar consideravelmente a eficiência das usinas de Lixo-Energia (WTE). Ainda segundo o autor, o CCO é um processo híbrido com gás natural e lixo, em que mais de 75% da energia exportada pela usina é gerada pelo lixo, sendo o restante pelo gás natural (em ciclo combinado). Essas usinas possuem eficiências superior às das mais modernas usinas WTE, mas com menor custo de capital de operação do mercado.

D'Alessandro et al (2013) exploraram o conceito de viabilidade do processo em termos de aproveitamento energético para secagem e, conseqüentemente, o aumento do PCI final para utilização em microturbinas, com umidade de até 60% (com PCI de 15MJ/kg) da matéria-prima inicial utilizada no sistema. Autores como Cordeiro (2018), Salgado et al (2022) e Douvartzides et al (2022) utilizam sistemas de gaseificação para produção de energia elétrica em pequena escala como forma de gerar economia em ambientes de produção e comércio a partir dos subprodutos de biomassa dos seus processos intrínsecos.

Assim, as usinas WTE não só podem ser economicamente viáveis e diversas, quanto às receitas da venda de subprodutos, junto às Taxas para Disposição Final (TDF) do lixo pagas pelas Prefeituras e demais incentivos tornam o mercado apto a pesquisas e a inovações em gestão de resíduos sólidos urbanos. Outros incentivos, como a emissão de créditos de carbono e de metano, contribuem ainda mais para a viabilidade das usinas WTE voltadas para a obtenção

de produtos energéticos. Há uma Resolução da ANEEL 271 de 03/07/2007 que isenta 100% da TUST (Tarifa de Utilização do Sistema de Transmissão) e da TUSD (Tarifa de Utilização do Sistema de Distribuição) para usinas de lixo para energia e exige que no mínimo 50% da energia seja proveniente do lixo. Fato que estimula fortemente a produção de bioenergia por usinas WTE (Ribeiro, 2010).

Figura 8 - Ciclo Combinado Gás Natural-Lixo (Usina de Sakai –Japão)



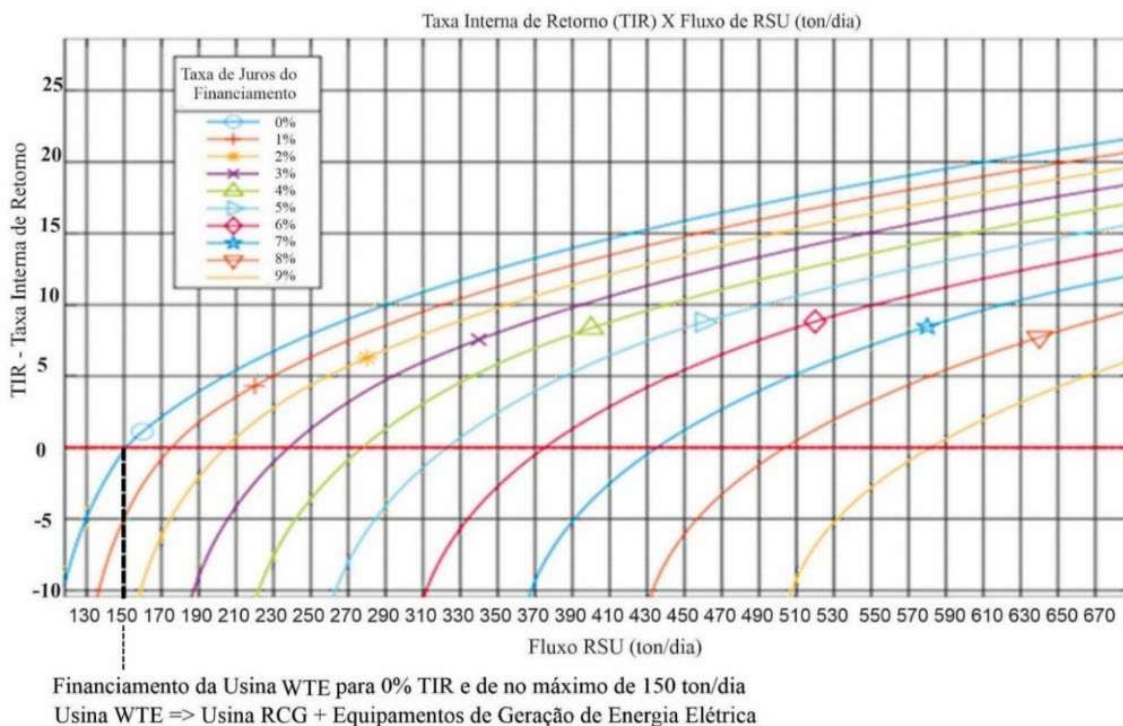
Fonte: Ribeiro S. G., 2010

Na figura 7, a Usina de Sakai, no Japão, processa o RSU em pirólise e gaseificação em ciclo combinado do gás natural do lixo. Com a utilização do sistema CCO, a parcela utilizada de gás natural na geração de energia é pequena (menor que 25%) o que permitiria, se aplicada no Brasil, a utilização dos incentivos da ANEEL para energia da biomassa, tornando o preço da energia competitivo mesmo com a utilização da pequena parcela de gás natural. Caso seja possível substituir o gás natural por biogás de aterros, o preço da energia poderá cair para cerca de R\$150/MWh com TDF da ordem de R\$ 40 / ton de lixo (Ribeiro, 2010).

Na figura 8, Scarafiz (2023) apresenta uma planta de gaseificação para conversão de energia elétrica (WTE). Este processo só é viável economicamente se o processamento for de no mínimo 150 t/dia para um hipotético cenário em que não há juros sob o financiamento da usina WTE que é uma usina RCG com sistema de geração, turbinas e geradores de energia de eletricidade que encarece e eleva o valor do financiamento. Em um cenário realista, aplicando a SELIC atual, verifica-se que não há possibilidade de se financiar tal projeto pela iniciativa

privada. No exterior, também foram realizados estudos como o Alves et al (2021), que atestam a viabilidade econômica do processo de gaseificação em parâmetros financeiros semelhantes ao de Van de Velden (2010), cujo investimento inicial se aproxima de dez milhões de reais.

Figura 9 - Gráfico da Taxa Interna de Retorno com diferentes juros para gaseificação WTE



Fonte: Scarafiz (2023)

Ainda segundo Scarafiz (2023), para tratar 669 toneladas por dia, a máxima taxa de juros para que a planta não dê prejuízo é de 10%, considerando uma TIR de 0%. Ao analisar a atual condição de financiamento pelo BNDES, por exemplo, a taxa de juros TLP (IPCA+5,31% a.a.) para o mês de agosto, considerando o IPCA dos últimos 12 meses, fica em 9.3%. Na prática, seria necessário considerar que a variação do IPCA impõe um alto risco de que a planta possa dar prejuízo. Considerando, por exemplo, a taxa IPCA de 1 ano atrás, a TLP ficaria em 14,04%, conferindo um prejuízo notável que inviabiliza a planta diante uma análise de risco financeiro ao contrair um empréstimo para sustentar o CAPEX e OPEX simultaneamente, ainda que com condições facilitadas de crédito. A figura 8 mostra o quantitativo de RSU em relação à TIR para diferentes juros de financiamento da planta de gaseificação.

Na busca pela viabilidade de diferentes tipos de processos de recuperação energética, alguns autores focam nas parcerias entre municípios para que o volume tratado viabilize economicamente o processo de tratamento, como em Caibre et al (2016) e Bozzini (2019), enquanto outros, como Santos (2020) e Novakowski (2021), identificaram as possibilidades de

estabelecimento e condução de processos de interlocução conjunta, bem como o desenvolvimento de atividades direcionadas à valorização do trabalho dos catadores.

Inspirado nesses autores e em análises comparativas de custo, soluções industriais para o armazenamento do gás produzido demonstraram ser esse investimento similar ao de implementação de sistemas de geração de energia, que são inclusive potencialmente muito mais lucrativos e produzem um produto de maior liquidez. O uso direto do gás e do fertilizante, porém, requer parcerias estratégicas, mas oferece uma resposta barata e de curto prazo ao desafio nacional para tratamento do RSU produzido, sendo possível de ser aplicada em pequenas escalas, o que representa um enorme avanço para a tecnologia, já que reduz expressivamente o CAPEX estimado para a implementação de uma planta WTE de pirólise de RSU.

Outra abordagem utilizada por outros autores é a obtenção de hidrogênio pela reforma de gases de pirólise de RSU. De acordo com Shafiq, Azam e Hussain (2021) A umidade necessária para otimizar a produção de hidrogênio pela reforma a vapor da fração orgânica a 680°C é de 1,3-1,9 vezes o vapor de água para matéria-prima seca. Os autores atribuem a produção de hidrogênio observada a reações de reforma, gasificação e mudança do vapor da água. Considerando o teor de água necessária no sistema e os dados utilizados de Carneiro (2007) para os resíduos provenientes dos caminhões de lixo (que contém uma taxa de 1,38 de água para matéria combustível presente nos resíduos), o que é compatível à reação desejada aplicada à temperatura e à natureza predominantemente orgânica do RSU estudado.

Apona-se um teor de umidade estimado entre 56,13% até 77%, demonstrando que é desnecessário submeter o resíduo a tratamento de secagem se utilizada uma mistura prévia de CDR polimérico e CDR orgânico, controlando assim a umidade de entrada e PCI de saída ao passo de economizar 93,24MW (R\$29.325,00 a R\$43.089,00 por mês entre horários fora-ponta e ponta, respectivamente, dispensando também equipamentos que encarecem o processo, além de reduzir o espaço, energia e tempo necessários dentro da associação para realizar o processo de tratamento dos resíduos e a complexidade de otimização de eventuais sistemas experimentais de secagem. Como observado em Bazregari e Norouzi (2022), o gasto energético com a trituração em si é inferior, de 28.68MW.

Como já existe uma cadeia de transferências entre os ecopontos e as associações, não foram considerados os custos com transportes, visto que estes já ocorrem atualmente. A aplicação da tecnologia apresentada não demanda contratação de novos fretes, apenas parcerias intersetoriais, tratando de alianças estratégicas, conforme trás na Lei de Inovação Tecnológica (10.973/2004) e em consonância com a proteção do meio ambiente, valoração de fontes

alternativas de energia e promoção da competitividade do Brasil no mercado internacional de biocombustíveis, conforme Lei 9.478/1997, a Política Energética Nacional.

4.1. Caracterização do Resíduo

Nesta sessão apresenta-se as espécies de biomassa como serragem, aleto e palha que possuem características técnicas diferentes em sua composição elementar. Na tabela 11 a composição dos elementos químicos encontrados nos RSU.

Tabela 4 – Características técnicas de diferentes biomassas seca

Itens	Tipo de Biomassa	Composição Elementar (%)					
		C	H	O	N	S	H ₂ O
1	Pinho	49,29	5,99	44,36	0,06	0,03	0,30
2	Eucalipto	49,00	5,87	43,97	0,30	0,01	0,72
3	Casca de arroz	40,96	4,30	35,86	0,40	0,02	18,34
4	Bagaço de cana	44,80	5,35	39,55	0,38	0,01	9,79
5	Casca de coco	48,23	5,23	33,19	2,98	0,12	10,25
6	Sabugos de milho	46,58	5,87	45,46	0,47	0,01	1,40
7	Ramas de algodão	47,05	5,35	40,97	0,65	0,21	5,89
8	Palha de trigo	48,5	5,5	3,9	0,3	0,1	4
9	Palha de Cevada	45,7	6,1	38,3	0,4	0,1	6
10	Lignina	56,4	4,2	18,4	1,6		5
11	Carvão Betuminoso	73,1	5,5	8,7	1,4	1,7	9

Fonte: Rodrigues (2007), adaptado pelo Autor (2003)

Na tabela 12 investigou-se o poder calorífico (PCI) de diversas biomassas, CDR do RSU, no intuito de obter um valor médio e o desvio padrão comparável ao potencial calorímetro das diferentes espécies de resíduos a serem tratados. A necessidade de se fazer uma investigação na entalpia das diferentes biomassas que compõem os RSU, a serem pirolisadas ou gaseificadas; dá-se ao fato de que são diversas biomassas com diferentes valores de entalpia.

Ainda na tabela 12, encontram-se os valores do PCI das diferentes biomassas de madeiras, em que se verifica a média de 19,59 MJ/kg e um desvio padrão de 5,22 MJ/kg no PCI da biomassa de madeira (Rodrigues, 2007), assim como as relações entre umidade (%), densidade (ρ) e poder calorífico (PCI) de resíduos são comparados. Calcula-se a média e o desvio padrão em MJ/kg, para os termos comparativos: cavacos de serraria, serragem, cavacos de florestas, lenha e pellets possuem uma média de 12,69 MJ/kg com desvio padrão de 3,37 MJ/kg, sendo considerada uma perda de 35,22% do PCI de resíduos de madeira pela umidade ordinária.

Observa-se que os PCI destas biomassas guardam as mesmas características às de abeto, madeira, palhas e serragem, utilizadas no CBD no experimento de Van de Velden, et al (2008).

Nas amostras de biomassa de combustíveis derivados de biomassa de madeira como lenha, cacho seco de amêndoas, carroço de açaí, fibra de dendê, casca de castanha e serragens, observou-se uma média de 11,99 MJ/kg com um desvio padrão de 4,35 MJ/kg do CDR de madeira, representando 61.2% do PCI da biomassa seca estudada, condizente com a perda calculada de PCI pela a umidade.

Na tabela 12, as espécies de RSU analisadas possuem um desvio padrão de 9,66 MJ/kg e uma média de 20,25 MJ/kg, superior ao PCI da biomassa vegetal utilizada no CFB de Velden et al (2007), de 19,40MJ/kg. Os valores são mais elevados que as das outras espécies de biomassa devido ao resíduo de plástico (40 MJ/kg) e aos resíduos de pneus (30 MJ/kg), derivado do petróleo e seringueiras, que aumentam o PCI médio. Com isso, o valor de PCI dos RSU mostra-nos que é uma opção rentável à pirólise e à gaseificação, especialmente tendo em vista que ao aumentar o percentual de resíduos plásticos e de resíduos de pneus, aumenta-se o PCI e melhora a função de transferência de calor no CFB. Estudos como o de Gonçalves, Sartoni e Leão (2009) confirmam a superioridade do PCI de rejeito de RSU em relação à madeiras.

Tabela 5 - Referências de PCI, Umidade e Densidade de RSU, Biomassa e CDR

Biomassas	PCI	CDR de biomassa	PCI	Umidade	Biomassa	PCI	Umidade	Origem	Umidade	Densidade	PCI
Pinheiro	20,00	Costaneiras e sobras de serrarias	9,41	35a 45		18,70	0	Reciclado	15	130	15
Eucalipto	19,40	Galhos, ponteiros e cavacos de florestas	12,12	16a 30		16,80	9	Reciclado	20	175	14
Casca de arroz	16,1	Madeira de Descarte (lixo reciclado)	14,22	16a 20	Lenha	15,20	17	Reciclado	25	220	13
Bagaco de cana	17,30	Resíduos de manejo(lenha)	12,55	,16a 30		4,58	65	Floresta	30	265	12
Casca de coco	19,00	Biomassa de reflorestamentos(pellets)	18,41	< 10		6,99	55	Floresta	35	310	11
Sabugo de milho	18,80	Desvio Padrão PCI [MJ/KG]	3,37			9,10	45	Variado	40	355	10
Ramas de algodão	18,30	Média PCI [MJ/kg]	12,69			10,04	40	Serraria	45	400	9,
Desvio Padrão PCI	0,93	Biomassas lenhosas	5,70	62	Serragem	11,19	35	Média PCI	19,47	Desvio padrão:	4,
Média PCI	18,80	Resíduo de Lenha	10,80	38		13,28	25	RSU/CDR			
Biomassa	PCI	Caroço de Oliva	11,75	35		16,46	10,07	Papel e papelão	0	700-1.200	1
Palha de trigo	17,30	Casca de amêndoa	15,42	15		17,80	5,12	Plástico	0	900-2.200	4
Palha de Cevada	16,10	Arvores Tipo Coníferas	11,08	40	Caroço de Açai	10,75		Alimentos	0	400-800	1
Lignina	26,8	Arvores Tipo Frondoso	9,95	40	Fibra de Dendê	10,55		Madeira	0	400-900	1
Carv. Betume.	34,00	Poda de frutíferos	9,78	40	Casca de Castanha-Pará	15,66		Tecidos	0	600-1.400	1
Desvio Padrão	5,22	Palha de cereais	13,21	20	Desvio Padrão do PCI	4,35		Borracha	0	900-1.200	3
Média do PCI	19,59	Caroço de uva	8,19	50	Média do PCI	11,99		Palhas	0	300-800	1

Fonte: Adaptação do Autores (2023)

4.2. Quantitativo do Resíduo

Localizada no Triângulo Mineiro de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas Latitude: -18.9113, Longitude: -48.2622 18° 54' 41" Sul, 48° 15' 44" Oeste; segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), Uberlândia tem uma população de 706.597 habitantes e uma área de 4.115,206 km². A cidade está em uma região com forte presença do mercado de cimento e de aço bruto, setores que representam um enorme potencial de escoar uma larga produção de biocombustível produzido a partir de resíduos orgânicos e plásticos do RSU, diminuindo a pegada de carbono em processos largamente poluidores. Observou-se, pelo jornal impresso e online Diário de Uberlândia (2020), que o aterro sanitário recebe diariamente cerca de 700 ton/dia de lixo. Em um mês completo, a quantidade de resíduos depositados, em um único mês, nestes aterros sanitários (CTR) chega a 18.000 toneladas, segundo a determinação do Plano Municipal de Saneamento Básico.

Por meio de contato realizado com os catadores urbanos e suas famílias e com as associações de catadores de reciclagem, foram observadas, conforme a tabela 4 e figura 9, as associações conveniadas à PMU e cadastrados no Programa de Coleta Seletiva do Dmae (2023) e no Centro de Incubação de Empreendimentos Populares CIEPS/PROEX (UFU, 2023).

Tabela 6 - Associações de catadores de materiais recicláveis (OSC's)

Nº	ASSOCIAÇÕES	BAIRRO
01	Associação dos Catadores e Recicladores de Uberlândia – ACRU	Bairro Minas Gerais
02	Associação dos Recicladores Boa Esperança – ARBE	Daniel Fonseca
03	Associação dos Recicladores e Catadores Autônomos – ARCA	Santa Luzia
04	Associação de Catadores de Material Reciclável Taiamam - ASSOTAIAMAM	Daniel Fonseca
05	Cooperativa dos Recicladores de Uberlândia – CORU	Jardim Brasília
06	Associação Brasileira de Reciclagem e Coleta Seletiva – ABRCS	Bairro Dona Zulmira

Fonte: PMU, 2023.

Na figura 9, apresenta-se fotos do Programa de Coleta Seletiva em Uberlândia em atuação como também fotos dos catadores e recicladores no desempenho de suas funções como, identificando coletadores relhadores familiares e diferentes tipos de resíduos sólidos urbanos.

Figura 10 - Fotos do Programa de Coleta Seletiva, Associações de Catadores e Autônomos



Fonte: Autor, 2023.

Nas referências abaixo na página 58 e 59, encontramos as tabelas pesquisadas do DMAE para o levantamento de RSU na cidade de Uberlândia.

Na tabela 5, apresentou-se os quantitativos coletados pelas associações e pelas cooperativas (OSC's), de Uberlândia MG, em 2022, de materiais reciclados, que apresentam a média mensal de 77.614,32 kg/mês de material para reciclagem coletado pelas OSCs.

Na tabela 6, foi apresentado a quantidade de material coletado pelo DMAE, em coleta seletiva, que é encaminhado mensalmente para cada associação de catadores, no período de 2019 a 2022. Esses materiais coletados são destinados às associações de catadores (OSC's), ficando à disposição para separação e reciclagem. Conforme dados DMAE, muitos desses resíduos separados são reencaminhados aos aterros sanitários. Nas associações ocorre a recepção e separação dos diferentes tipos de recicláveis, havendo no final da triagem uma sobra de 21% do peso total recepcionado de rejeitos de lixo aos aterros sanitários (CRT).

Na tabela 7, analisou-se o quantitativo de material reciclado comercializado pelas associações e cooperativas de catadores (OSCs) após o processo de separação de reciclável e dos rejeitos indesejáveis entre os anos de 2019 a 2022. Em 2021 o total de material reciclável comercializado totalizou 3.934.661,78 kg/ano, o equivalente diário de 10,77 toneladas. Esse material reciclável após ser separado, prensado e empacotado pelas mãos dos catadores, seguem para a indústria da transformação.

O CONASUST (Congresso Nacional de Sustentabilidade, 2023) indica que a Coleta de Pneus inservíveis pelo Centro de Controle de Zoonoses (CCZ) tem fins de combater focos transmissores do mosquito da dengue. A média de pneus recolhidos ao Ecopontos gira em torno de 18 a 20 mil/mês. Considerando uma média de 10 kg cada pneu, encontramos o aproximado de 190 ton/mês, ou, 6,8 ton/dia de pneus inservíveis (PMU, 2023).

Na tabela 8, relaciona-se os quantitativos de materiais coletados nos Ecopontos, com uma média mensal de 27.533,30 kg/mês de material reciclável. A disposição média nos Ecopontos encontra-se materiais como: eletrodomésticos descartados, madeiras, sofás e resíduos verdes. Outro material reciclável são os resíduos de poda de árvores.

Tabela 7 - Recicláveis, Coletado Pelas OSC's de Recicladores (kg)

Programa De Coleta Seletiva - PNRS LEI 12.305/2010; LEINº 12.504/2016; LEINº 13.019/14														
Material Reciclável Coletado Pelas Osc: Associações Cooperativas Catadores (kg)														
Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total Anual Coletado	Média Mensal
2020	40.375,60	68.207,60	54.772,90	55.004,20	45.553,20	60.282,70	40.536,40	121.640,10	93.771,00	72.902,90	99.401,80	96.103,20	848.551,60	70.712,63
2021	61.995,10	97.092,80	115.264,80	110.545,00	70.898,10	107.271,10	77.871,30	94.580,60	83.257,60	88.839,50	89.017,40	78.244,60	1.074.877,90	89.573,16
2022	79.320,00	99.216,40	94.538,10	100.903,50	44.676,00	47.031,90							465.685,90	77.614,32
Média Período	60.563,57	88.172,27	88.191,93	88.817,57	53.709,10	71.528,57	59.203,85	108.110,35	88.514,30	80.871,20	94.209,60	87.173,90	2.389.115,40	
ACUMULADO														

Fonte: Censo IBGE / Dados Gerenciamento DMAE – RDO Coletado pelas OSC de Catadores de Reciclagem.

Tabela 8 - Material Encaminhado do DMAE às OSC, Cooperativa de Catadores (kg)

Programa de Coleta Seletiva - PNRS Lei nº 12.305/2010; Lei nº 12.504/2016; Lei nº 13.019/14																		
Coleta, Transporte e Destinação de Rso => Encaminhamento para Osc's (kg)																		
Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total Anual Coletado	Média Diária	Média Mensal	População Abrangida	Média Anual	Produção Per Capita Kg/ Hat/ Dia
2019	219.979	181.329	183.661	200.218	214.441	177.961	210.856	205.287	200.693	222.508	196.883	215.604	2.429.420	9.565	202.452	275.631	46,9%	0,024
2020	229.308	180.799	218.844	200.364	196.021	211.120	231.087	211.360	246.480	252.790	241.088	280.562	2.699.823	10.629	224.985	335.810	57,2%	0,022
2021	270.978	252.520	278.314	249.197	254.340	272.947	296.261	316.930	328.864	307.760	310.659	376.338	3.515.108	13.839	292.926	505.558	85,7%	0,022
2022	325.250	289.355	360.060	315.525	343.589	343.566	314.572	334.339	350.288				2.976.544	15.666	248.045	503.558	85,7%	0,033
Média Período	261.379	226.001	260.220	241.326	252.098	251.399	263.194	266.979	281.581	261.019	249.543	290.835	11.620.895					
ACUMULADO																		

Fonte: Censo IBGE / Dados Gerenciamento RSU - DMAE – Coleta Disponível às OSC de Catadores

Tabela 9 - Reciclável Comercializado Associações e Cooperativa de Catadores (kg)

Programa De Coleta Seletiva - PNRS Lei 12.305/2010; Lei N° 12.504/2016; Lei N° 13.019/14														
Material Reciclável Separados E Comercializado Pelas Osc: Associações E Cooperativas De Catadores (kg)														
Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total Anual Coletado	Média Mensal
2019	160.953,50	162.079,61	155.822,50	130.841,28	180.855,32	169.667,38	176.631,10	156.457,88	167.015,60	213.010,90	223.640,60	226.439,90	2.123.415,57	87,40%
2020	272.529,20	268.444,50	256.658,30	284.701,30	292.326,80	348.339,70	344.170,26	341.731,50	319.891,70	362.622,50	328.747,57	326.814,10	3.746.977,43	95,60%
2021	276.790,30	332.504,19	356.028,50	358.740,30	288.415,90	356.026,70	217.352,85	356.241,04	321.147,40	331.225,00	353.398,40	386.791,20	3.934.661,78	82,40%
2022	421.087,70	364.517,90	398.040,10	448.360,20	396.653,40	372.922,10							2.401.581,40	66,60%
Média Período	282.840,18	281.886,55	291.637,35	305.660,77	289.562,86	311.738,97	246.051,40	284.810,14	269.351,57	302.286,13	301.928,86	313.348,40	12.206.636,18	
ACUMULADO														

Fonte: Censo IBGE Gerenciamento RSU - DMAE - Coletados Disponível às OSC de Catadores

Tabela 10 - RDO Separados Recicláveis Encaminhados aos Ecopontos (kg)

Programa de coleta seletiva - PNRS Lei 12.305/2010; Lei n° 12.504/2016; Lei n° 13.019/14														
Material encaminhado para os ecopontos - (kg)														
Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total Anual Coletado	Média Mensal
2020				48.300,00	44.100,00	51.100,00	49.100,00	47.800,00	41.200,00	43.100,00	21.500,00	25.600,00	371.800,00	41.311,11
2021	35.000,00	32.100,00	22.000,00	37.000,00	20.000,00	37.300,00	31.000,00	18.000,00	26.100,00	23.200,00	18.000,00	15.300,00	315.000,00	26.250,00
2022	32.100,00	21.000,00	18.000,00	31.900,00	30.100,00	32.100,00							165.200,00	27.533,33
Média Período	33.550,00	26.550,00	20.000,00	39.066,67	31.400,00	40.166,67	40.050,00	32.900,00	33.650,00	33.150,00	19.750,00	20.450,00	852.000,00	
ACUMULADO														

Fonte: Censo IBGE / Dados Gerenciamento DMAE – RDO Coletados OSC de Catadores de Reciclagem.

Tabela 11 - Coleta, Transporte e Disposição de RSU encaminhamento aos Aterro Sanitário

Coleta Transporte, DMAE Limpebras Destinação Aos Aterro Sanitário (ton / mês)

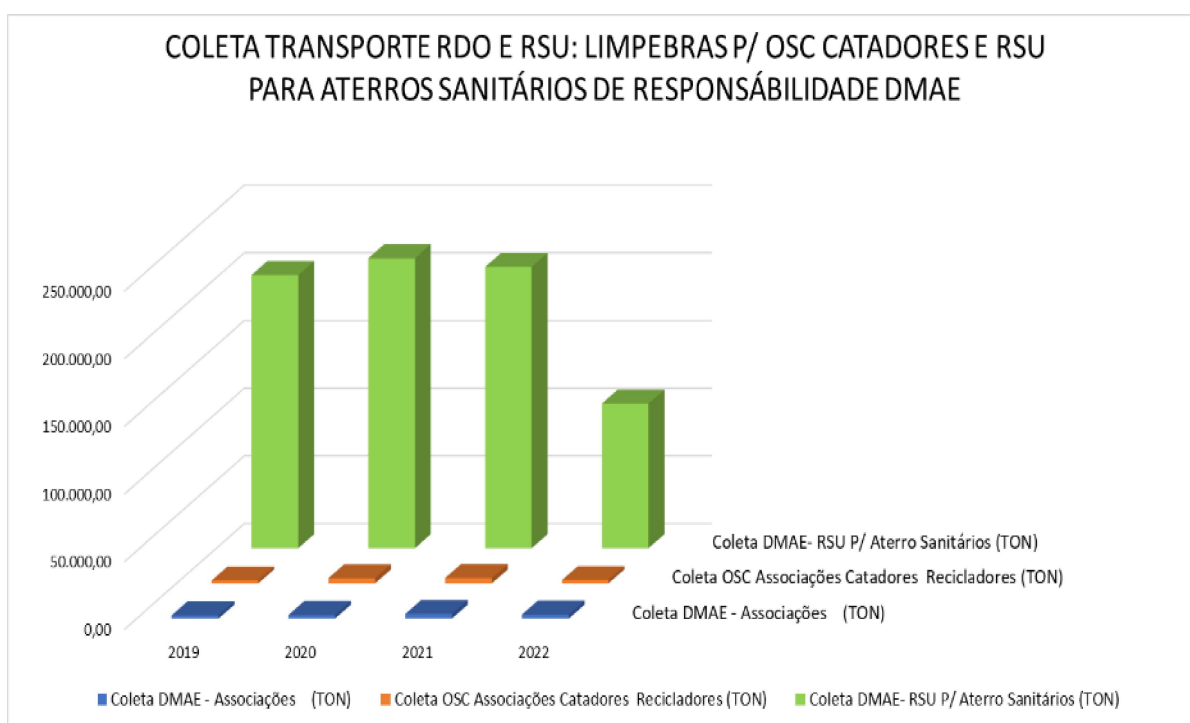
Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total Anual Coletado	Média diária	População Urbana	População Total	Produção Per Capita Kg/Hat/Dia
2019	17.691,350	15.394,150	16.034,310	16.606,270	16.380,480	14.692,720	16.420,050	15.717,190	16.648,150	17.587,000	18.079,530	20.495,910	201.747,110	552,732	672.138	691.305	0,822
2020	19.650,380	17.686,020	18.614,900	16.196,140	16.207,050	17.065,490	16.997,760	16.091,950	18.007,670	18.413,920	18.571,990	20.691,420	214.194,690	586,835	679.714	699.714	0,863
2021	18.469,180	16.572,520	18.259,610	15.989,080	16.295,360	16.285,810	16.283,480	16.010,870	17.395,830	17.697,710	18.553,820	19.997,640	207.810,910	569,345	687.006	706.597	0,829
2022	19.930,150	17.683,230	18.678,520	16.837,240	17.109,900	16.539,160							106.778,200	589,935	687.006	706.597	0,859
Média Mensal Periódica	18.935,265	16.833,980	17.896,835	16.407,183	16.498,198	16.145,795	16.567,097	15.940,003	17.350,550	17.899,543	18.401,780	20.394,990	730.530,910				

Acumulado

Fonte: Censo IBGE / Dados Gerenciamento DMAE – Encaminhado aos Aterros Sanitários (CTR)

Na figura 10 e tabela 10, relacionam-se a coleta, o transporte e RSU disponível para aterros sanitários em toneladas. Em análise do ano de 2021, indica-se que a cidade de Uberlândia MG disponibiliza uma quantidade diária de 569,345 toneladas por dia RSU (569,345 Ton/dia) e a quantidade anual de 207.810,91 toneladas por ano. Esses volumes são destinados aos aterros sanitários e acumulados nesse mesmo espaço (CTR). Reforçamos que, conforme a meta (3) da regulamentação Planares (2022), deve ocorrer até 2024 a eliminação das práticas de disposição final inadequada de RSU em lixões e aterros controlados.

Figura 11 - Coleta DMAE, Coleta OSCs, Descartes CTR / Lixão



Fonte: Censo IBGE / Dados Gerenciamento DMAE – Coletados, Encaminhados OSC's e CTR – Lixões

Acima, indica-se que a maior parte dos resíduos vão para os CTR e Lixões, inclusive, a disposição inadequada dos resíduos sólidos estará sujeito à multa de R\$ 5.000,00 a R\$ 50 milhões. De acordo com o Decreto 6.514/2008, que regulamenta a lei de crimes ambientais, essa prática causa poluição e danos à saúde humana ou ao meio ambiente (Arruda, 2021).

A partir do levantamento realizado, elaborou-se a tabela 10, que representa o quantitativo de RSU gerados em Uberlândia que poderão ser utilizados na desintegração térmica de CDR em RCG. Para este trabalho, pretende-se utilizar um total de 166,76 ton./dia de rejeitos indesejados que podem servir de biomassa de transição e recuperação energética. Esse quantitativo servirá de base para o dimensionamento de planta para as associações.

Tabela 12- Dimensionamento de Rejeitos RSU à Transição Pirólise -Gaseificação - RCG

Levantamento Quantitativo de RSU / RDO - Recicláveis (79%) e Rejeitos (21%) [ton/dia]				
Itens	Disponibilidades - Destino (Ton/dia)	Disponível	Reciclável	Rejeitos
1	Comercializado pelas OSC Catadores Reciclagem	10,77	10,77	0,00
2	Coleta Seletiva DMAE/Lipembras P/ OSC's Catadores	15,67	12,38	3,29
3	Coleta Seletiva Realizada Pelas OSC de Catadores	2,77	2,19	0,58
4	Ecopontos Pneus Inservíveis	6,80		1,43
5	Ecopontos, Moveis e Sucatas Diversas	0,98	0,77	0,21
6	Ecopontos, Madeiras Massa Verde da Jardinagem	35,30		7,41
7	Ecoponto RCC, Sobras de Construções 21% madeira	163,23		34,28
8	Aterros Sanitários (CTR) - DMAE/Limpebras	569,34		119,56
				<u>166,7589</u>

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023.

Os rejeitos encontrados em aterros, associações e ecopontos correspondem ao subproduto de suas etapas de tratamento, ou seja, o rejeito corresponde um quantitativo que passou por um processo de separação, mas não foi reinserido em economia circular. Por isso, sua utilização traz impactos mínimos na cadeia do gerenciamento de resíduos. Essa tecnologia pode ser aplicada em uma ampla gama de biomassa, incluindo gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, síntese de materiais, correção do solo e geração de energia (Rathnayake et al., 2022).

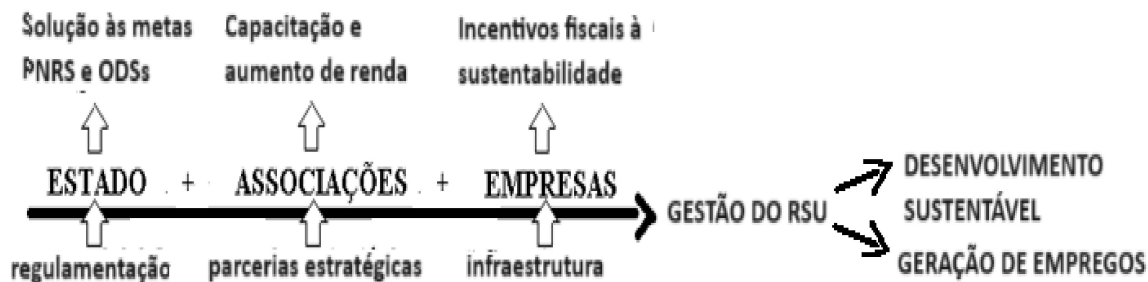
4.3. Proposta de Modelo Municipal de Gestão Colaborativa de Resíduos

Alicerçados nos dados de Scarafiz (2023), Freitas e Souza (2021), a implementação de uma planta de gaseificação com 0% de TIR, isenta de juros com a capacidade de gerir pelo menos 150 ton./dia de CDR é uma forma ambiental e socialmente responsável de gestão de resíduos através da transição energética renovável e geração de renda para as associações de catadores de recicláveis. Isto será possível como investimento público.

Em Uberlândia MG, Miguel, Oliveira e Santos (2023) demonstram que a coleta seletiva não é suficiente para sustentar a economia circular dos materiais na cidade, sendo necessários métodos de processamento mais ecológico dos resíduos.

Tendo em vista o modelo proposto por Silveira (2010), para o tratamento de RSU, a ligação dos Blocos 3, 4 e 5 acontecem conforme apresentados na figura 12.

Figura 12 – Modelo de economia circular na gestão do tratamento de RSU



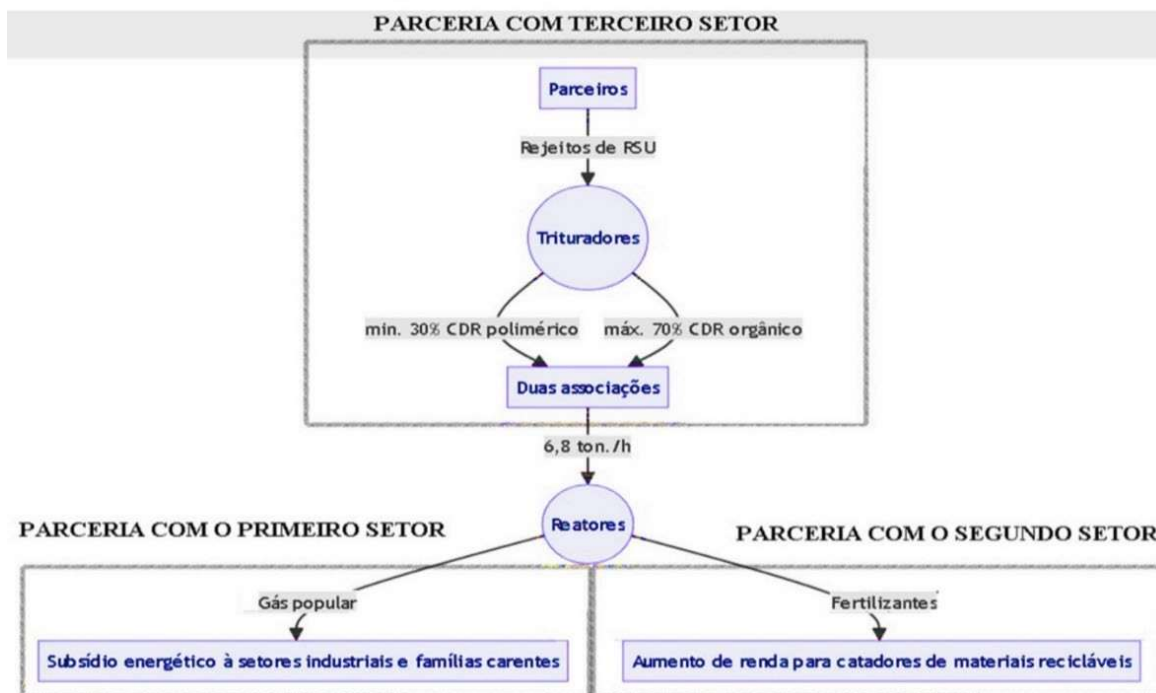
Fonte: Marani e Silveira (2023);

A figura 11 se refere a uma representação do proposto modelo de economia circular para gestão de RSU através de parcerias estratégicas entre o estado, as associações de catadores de lixo e as empresas. Esse modelo de gestão tem por base a inovação em dois níveis: o individual e o coletivo. Em nível individual, os indivíduos nas associações são capazes de aumentar sua renda, gerar capacitação, receber benefícios como incentivos fiscais e atender aos objetivos das políticas públicas nacionais e dos acordos internacionais, para o desenvolvimento sustentável, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2000). Já no nível coletivo do plano municipal de gestão de resíduos, estes atores, coligados em parcerias intersetoriais, geram mais empregos, aumento de renda e produtividade no setor de reciclagem de RSU, cooperando para a gestão de RSU e desenvolvimento sustentável nacional por meio deste arranjo de Alianças Estratégicas (Brasil, 2004).

Na figura 13, esta demonstrada a parceria intersetorial de gestão colaborativa para composição do RSU triturado em CDR na proporção de 30% de polímeros e 70% de resíduos orgânicos. Sendo encaminhados para duas associações que possuirão reatores termoquímicos instalado com capacidade de processar 6,8 ton/h de CDR e transformá-lo em gás de cozinha, fertilizantes e subprodutos.

Figura 13 – Parceria Intersectorial de Gestão Colaborativa de RSU

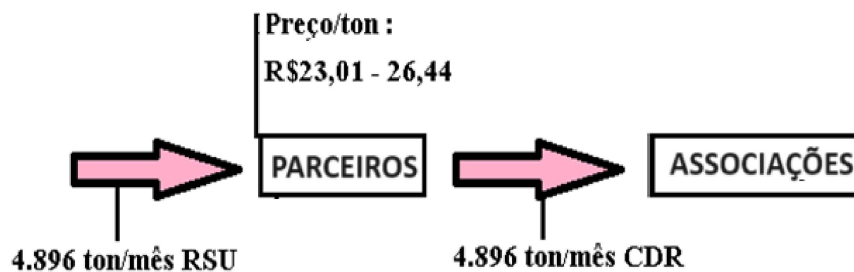
Relação Colabor-Ativa Autopoiiese Blocos: 2, 3,4,5 FCCD/2010
Aliança Estratégica InterSectorial Tratamento RSU / CDR / RCG em CFB



Fonte: Elaborado pelo Autor e Marani (2024)

Conforme figura 14, as associações pagam aos recicladores pela tonelada de RSU triturado em frações orgânicas e poliméricas separadas e dosadas para CDR. Esses parceiros realizam o tratamento de separação, trituração dos resíduos e seu beneficiamento. Ao fazer esse processamento pode-se reduzir em 71.6% dos resíduos que estão nos aterros controlados. Isto demonstra a importância destes modelos para eliminar os aterros sanitários e Lixões

Figura 14- Cadeia de fornecimento de CDR às associações



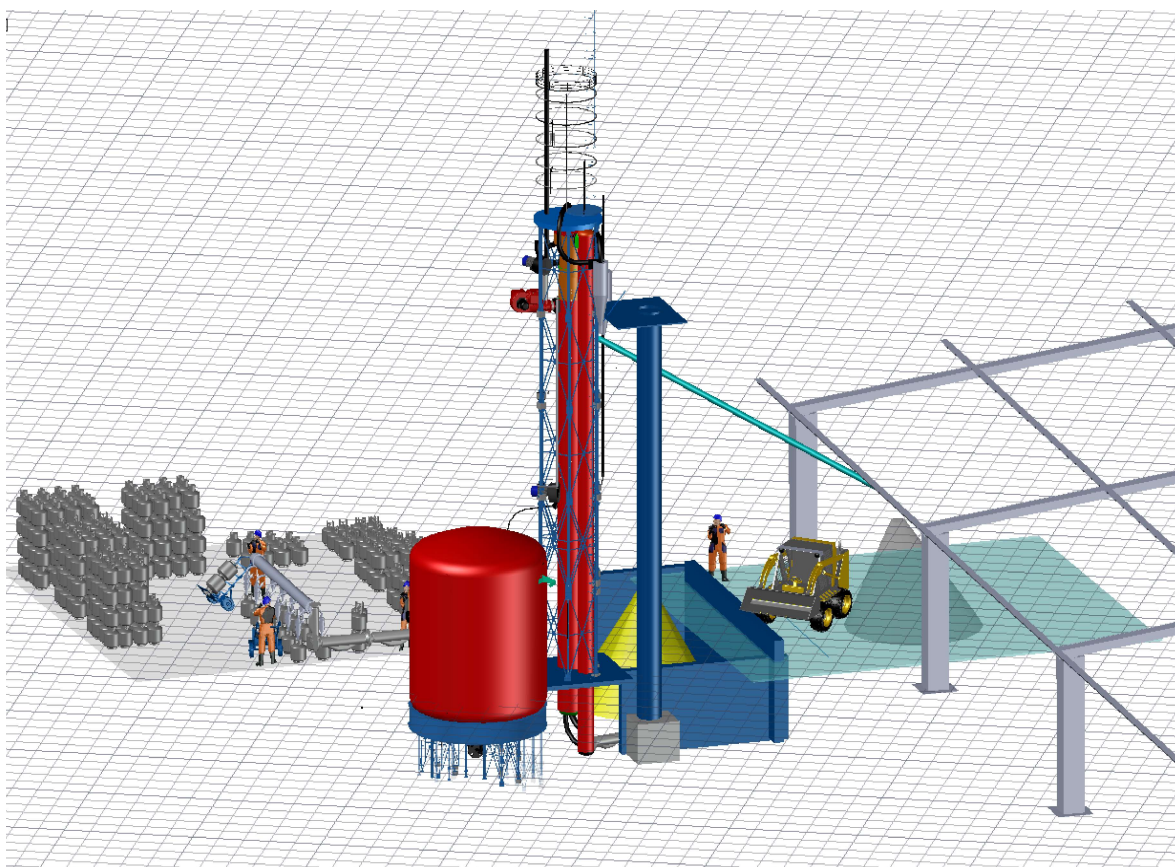
Fonte: Elaborado pelo Autor e Marani (2023)

Carneiro (2007) mostrou que a densidade média do lixo doméstico descompactado é de 250 kg/m³. Sendo assim, estima-se que ao utilizar um triturador do tipo Lippel BIO130E pode processar um volume de aproximadamente 3m³/hora do RSU, transformando-o em partículas

de 2mm de espessura de CDR. O triturador utilizado possui dimensões 1800 x 800 x 1150 mm e 205 kg de peso. É importante para o funcionamento do modelo de gestão que os parceiros realizem o processamento e beneficiamento dos resíduos orgânicos e poliméricos em frações separadas, para que a associação realize a mistura correta entre eles no tratamento.

Em seguida, apresenta-se o espaço da planta de transformação de CDR em gás de cozinha e biochar nas associações de catadores de recicláveis. Cada associação será capaz de processar 3,4 ton/h. de CDR em cada planta a ser instalada. Estima-se que seja necessário um espaço de armazenamento de biochar de até 30m² nas associações conforme figura 15.

Figura 15 - Modelo de planta para associações de catadores

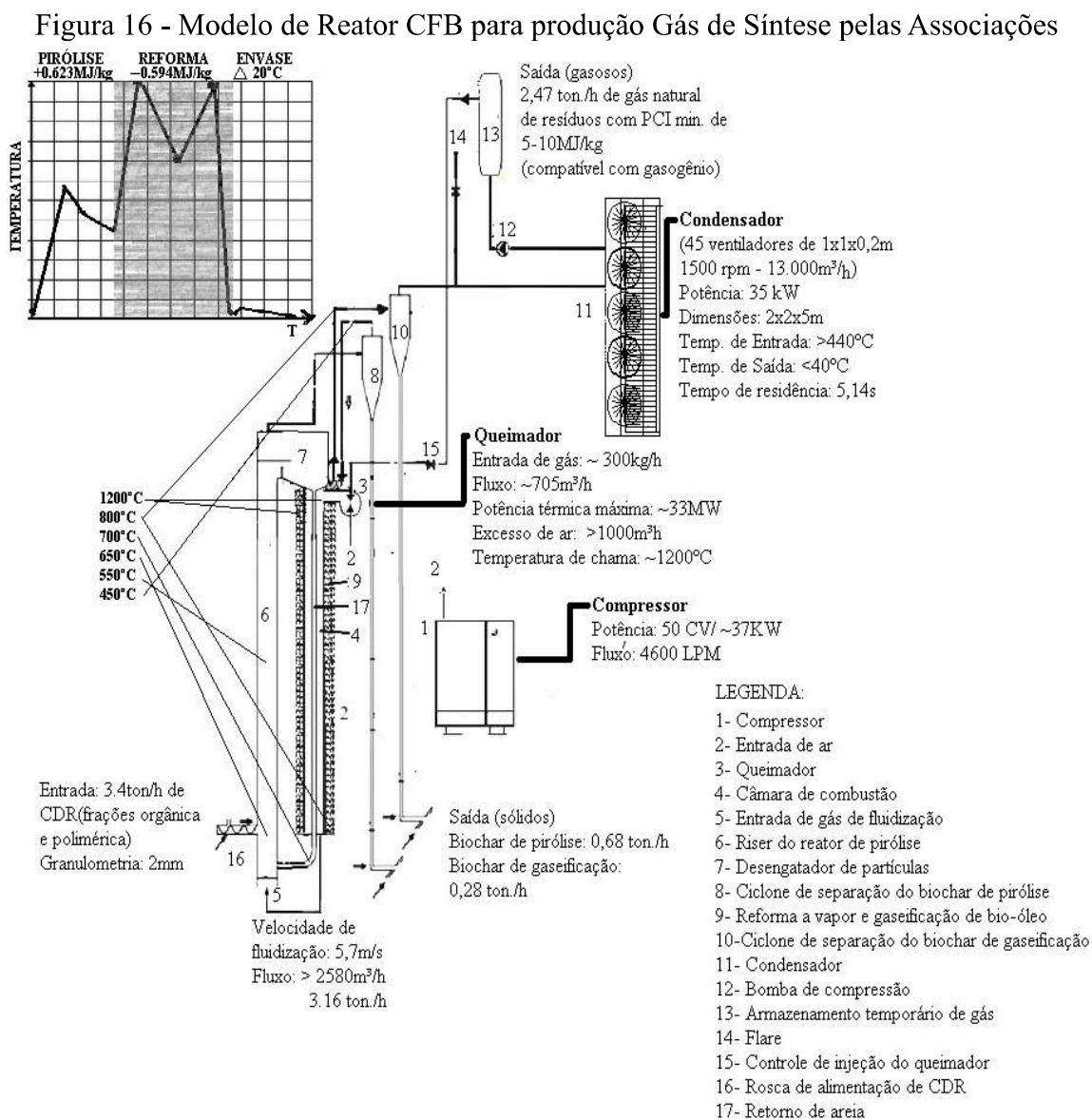


Fonte: Elaborado pelo Autor e Marani (2023)

4.4. Tratamento do CDR nas Associações

Conforme figura 16, o dimensionamento da planta feito para as associações foi baseado nos dimensionamentos e experimentos de Van de Velden (2010), para um reator da 10 MW (biogás), que consome 3,4 ton/h (0,95 kg/s) de biomassa e produz 2 ton/h de Bio-óleo, passando por um processo de reforma e gaseificação. O riser tem um diâmetro de 0,4 m (0,2 m de raio), sendo a garganta de alimentação da biomassa de RSU triturados com diâmetro de 0,2 (0,1 m de

raio), e a altura de 12,5 m. A taxa de circulação de material no CFB é de 115 ton./h (31,94 kg/s) e a velocidade do gás de 5,6 m/s para operação em fluxo de pistão com um tempo de residência de 2,5 s.



Fonte: Van de Velden (2008) com adaptações do Autor e Marani. (2023);

O valor de h foi de 900 W/m² K, a partir de um número de Nusselt de 5,02 e a transferência de calor h da parede do leito CFB resultante foi de cerca de 60 W/m² K.

No desengatador, o gás e as partículas sobem e atingem uma placa de deflexão antes de entrar na câmara de desengate, recolhendo a areia, sendo os finos de cinzas arrastados pelo gás, com a vantagem de ocorrer menos erosão no equipamento do que no ciclone (Reinking, Whitty e Lighty, 2022).

Em seguida, os produtos da pirólise são processados em gás de síntese e as cinzas produzidas da etapa secundária da pirólise são separadas por um ciclone comum e o gás segue para o beneficiamento.

Um estudo experimental com aplicação similar foi desenvolvido por Alamsyah et al (2014) para a produção de gás de síntese para cozinhar ou aquecer, provindo da gaseificação a partir de pellets de biomassa. Segundo o MCTI (2021), o Brasil possui potencial de geração de gás de síntese em diversas regiões por diferentes agentes como forma de mitigar as emissões de GEE, e aponta para a reforma de gases como possível solução à qualidade do produto energético, sendo este gás de síntese superior à gaseificação de biomassa.

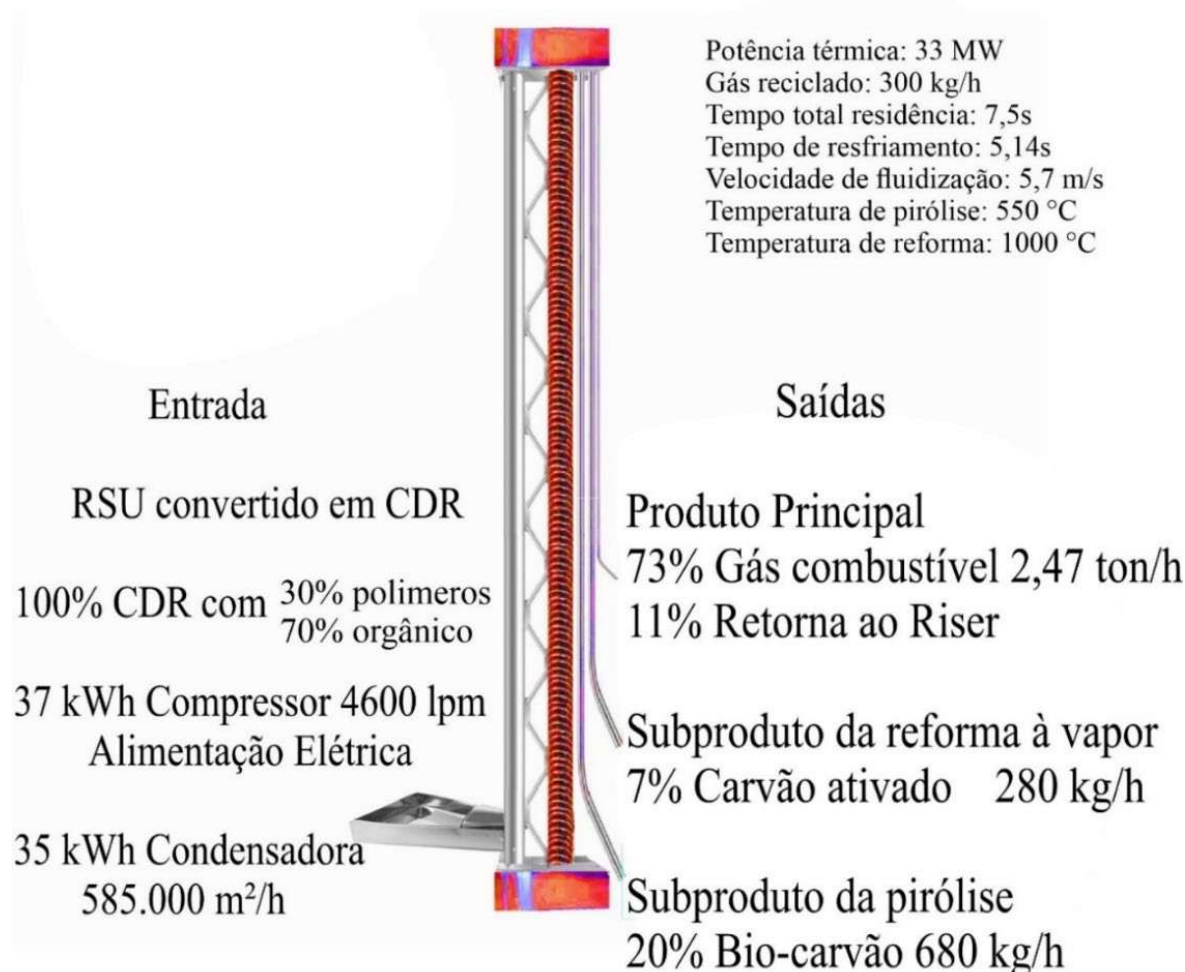
Além das barreiras associadas à viabilidade econômica e à gestão intersetorial, a pirólise e gaseificação são processos que envolvem desafios como o alcatrão no produto condensável, geração de CO₂, baixa usabilidade direta em motores de combustão e baixo PCI do óleo ou gás no final no processo. Todavia, o óleo de pirólise e o alcatrão podem ser gaseificados e produzir uma grande quantidade de gás de síntese (Ruya et al, 2020). Zheng et al (2016) afirmam que o óleo de pirólise de biomassa tem menos alcatrão e maior concentração de CO e H₂ que a simples gaseificação de biomassa. Ge et al (2022) também fez referência a processo parecido, demonstrando que a presença de CO₂ para fluidização é também um fator que pode aumentar o valor energético do gás final acima do previsto no modelo teórico utilizado pelo autor.

Para efeito de comparação, A ETIP Bioenergy (Plataforma Europeia de Tecnologia e Inovação), em sua ficha informativa sobre o biometano, descreve o biogás como um combustível com até 45% de CO₂ em sua composição, demonstrando que o gás de síntese obtido de derivado de resíduos é compatível com o biogás em termos de máximo teor de dióxido de carbono, considerando a expectativa máxima para o teor de CO₂ produzidos nos gases de diferentes reatores de pirólise relatados pelos autores estudados neste trabalho, sendo que nenhum veio a ter concentrações maiores de CO₂ que está.

Se, por um lado, o volume de CO₂ gerado está em níveis relacionados a energias renováveis como o biogás, seu baixo poder calorífico não impede sua contribuição como fonte de energia para a matriz energética nacional, tendo em vista os anos do gasogênio no Brasil no período da Segunda Guerra Mundial, entre as décadas de 40 e 50, que demonstraram que tal tecnologia do gasogênio é impraticável com combustíveis derivados da natureza, dada sua alta demanda de matéria-prima. Essa característica é, por outro lado, potencialmente muito benéfica se aplicada aos resíduos sólidos urbanos como insumo do processo, uma vez que se verifica na literatura a preocupação e falta de soluções econômicas, escalonáveis e sustentáveis frente ao crescente volume de lixo gerado nas cidades.

Considerando o teor de água necessária no sistema e os dados utilizados de Carneiro (2007) e Shafiq, Azam e Hussain (2021) demonstra-se que no sistema avaliado, é desnecessário submeter o resíduo a tratamento de secagem, economizando 93,24MW. Economiza-se de por mês entre horários fora-ponta e ponta, respectivamente. A eliminação prévia da água é uma forma simples para obter um produto de maior PCI para o caso da pirólise da biomassa. No entanto, a secagem requer um alto consumo de energia e no sistema em vista, sua falta pode ser compensada com a alimentação com uma fração volumétrica maior de polímeros em relação à biomassa no CDR (Rahimpour e Nategh, 2016). Vide o fluxo do balanço de massa figura 17.

Figura 17 – Fluxo do Balanço de Massa



Fonte: Elaborada pelo Autor e Marani (2023)

Tem-se que o PCI do CDR de biomassa comum (11.99MJ/kg) é 61,8% o PCI de biomassa tratada de Van de Velden (2010) a (19.4 MJ/kg). Por isso, incrementa-se o PCI através do aumento do coeficiente de fração polimérica na alimentação do sistema. Ou seja, para compensar a redução de PCI pela umidade na fração orgânica inserida no sistema, é realizado

o aumento da porção polimérica na alimentação. Assim, define-se a fração de alimentação de polímeros, em peso, com a relação entre conteúdo energético polimérico e de biomassa inseridos no sistema de tratamento termoquímico, segundo a tabela 13.

Tabela 13 - Parâmetros Para Alimentação do Sistema

X	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Y	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
PCI MJ/KG	40	37.199	34.398	31.597	28.796	25.995	23.194	20.393	17.592	14.791	11.99

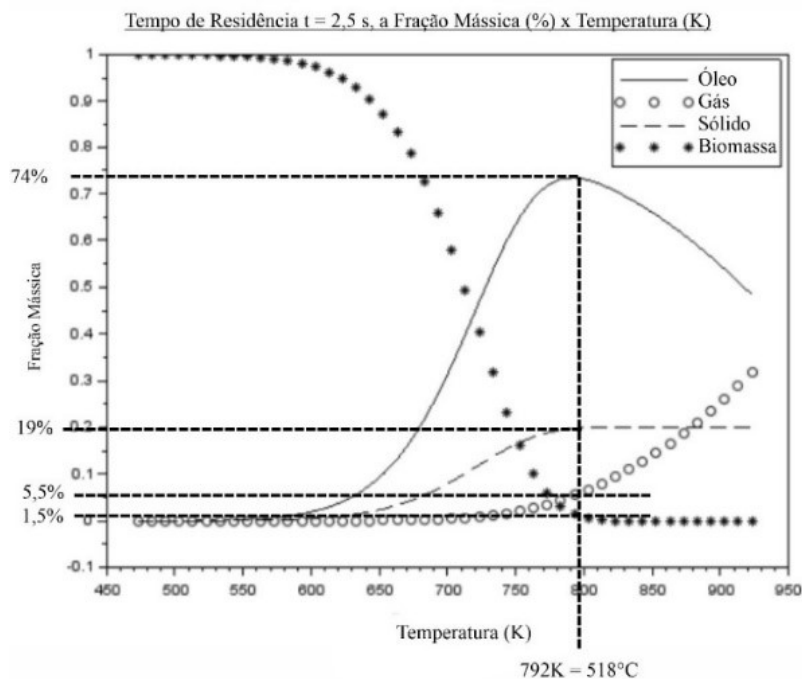
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Onde X é a fração orgânica e Y a fração polimérica da alimentação no sistema. Uma vez que buscamos com que CDR úmido de biomassa e de plásticos aproxime seu PCI observado em Velden (2010) de 19.4MJ/kg, tem-se que é necessário aproximadamente 30% de polímeros e 70% de orgânicos na alimentação, como é indicado.

Na maioria das espécies de biomassa, a constante de velocidade de reação é maior que 0,5 m/s, correspondência de uma reação rápida. O calor endotérmico de entalpia (h) da reação varia de 207 a 434 kJ/kg ($PCI_{\text{médio}} = 0,3205 \text{ MJ/kg}$). Os resultados conferem com os valores descritos pelos autores da literatura referenciada no trabalho. As análises realizadas por Trendewicz et al (2014) da variação de parâmetros do processo - volume, temperatura e tempo, para uma mesma vazão de biomassa, permitiram concluir: (i) o aumento de volume resulta em aumento de produtos gasosos e diminuição de líquidos para todas as biomassas avaliadas; (ii) a temperatura apresenta uma região de ótimo rendimento ao alcatrão em 450°C e ao bagaço da cana-de-açúcar em torno de 500°C para as demais biomassas; (iii) e em tempo de residência de até 2 segundos rendendo maiores quantidades de líquidos com valores até 75% de rendimento. Para programar experimentos de forma relevante e eficaz, e para avaliar criticamente os resultados anteriores da literatura, foi demonstrado que os testes devem ser realizados (i) com partículas de biomassa menores que aprox. 200 μm e (ii) em um ambiente de reação onde a taxa de aquecimento da partícula é de cerca de 80 $\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$ e onde a resistência interna à penetração de calor é menor que a resistência externa à transferência de calor, expressa na condição de contorno do número de Biot, $Bi < 1$.

O Gráfico TGA e DSC da figura 18 apresentam a influência da temperatura sobre os rendimentos de produtos da pirólise previstos: bio-óleo, carvão e voláteis, conforme figura 19. A temperatura que maximiza o rendimento líquido para a pirólise com tempo de residência de 2,5 segundos está entre 770 k a 800 k, ou seja, aproximadamente 515 °C.

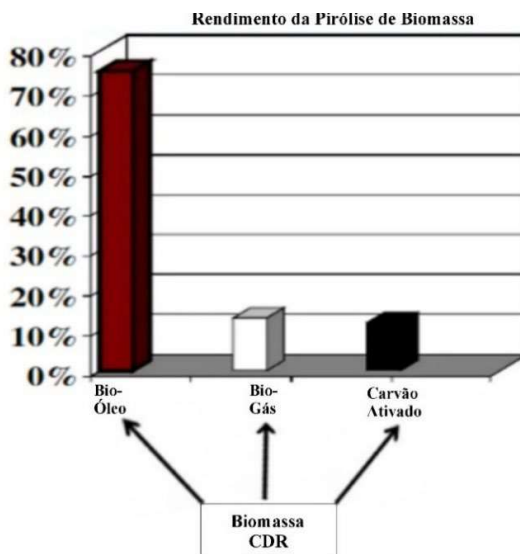
Figura 18 - Análise TGA e DSC no Consumo de biomassa e Formação de Produto



Fonte: Lima, Santos e Monteiro, 2021, adaptado pelo (Autor 2023)

Dessa forma Van de Velden et al (2010) concluíram que embora as condições operacionais para um rendimento máximo de óleo sejam bem conhecidas, a cinética da conversão de biomassa precisa ser determinada. Os autores ainda consideraram (i) as condições de trabalho necessárias para pesquisas experimentais relevantes; (ii) a medição termogravimétrica das constantes cinéticas e (iii) o calor de reação da pirólise da biomassa – entalpia expressa em kJ/kg ou kJ/m³.

Figura 19 - Rendimentos Básicos da Produção da Pirólise em CFB



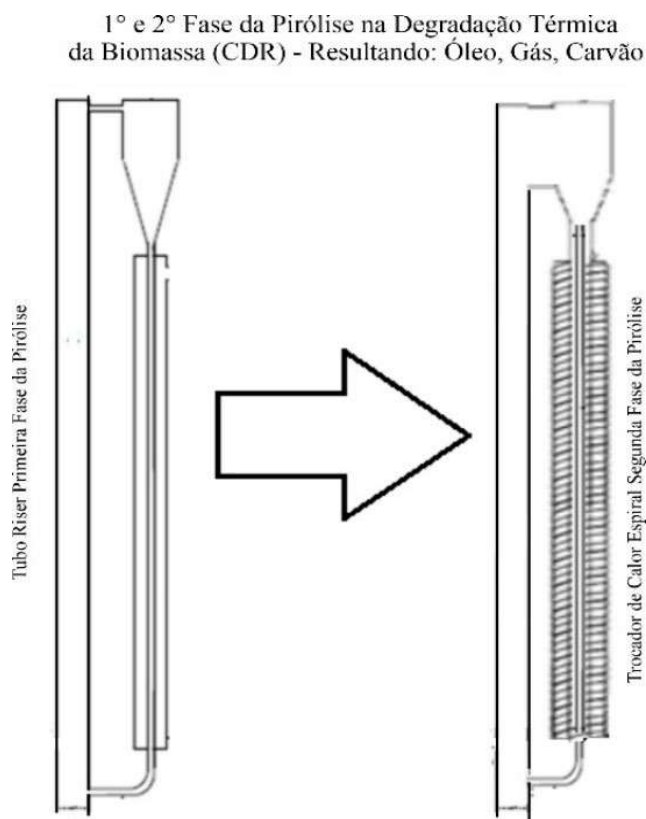
Fonte: ENSYN (2011), adaptação pelo Autor (2023)

Nagaraja (2021) apresentou os perfis de fração molar normalizados de combustível obtidos a partir de estudos de pirólise na literatura, onde detectou os tempos de residência para diferentes combustíveis. Bridgewater (2012), classificou a pirólise em três categorias dependendo da temperatura operacional (T) e do tempo de residência (τ_{res}): pirólise lenta ($\tau_{res} > 10$ min, baixa $T \sim 290 - 400$ K), pirólise intermediária ($\tau_{res} \sim 10 - 30$ s, moderado $T \sim 500$ K), pirólise rápida ($\tau_{res} \sim 1$ s, moderado $T \sim 500$ K). Essas temperaturas serão observadas para a operação e dimensionamento do equipamento. Nagaraja (2021), conclui que hidrocarbonetos maiores são mais rápidos para pirólise até que uma “temperatura limite” de ignição (~ 950 K = $676,85$ °C).

4.5. Segunda Fase de Pirólise

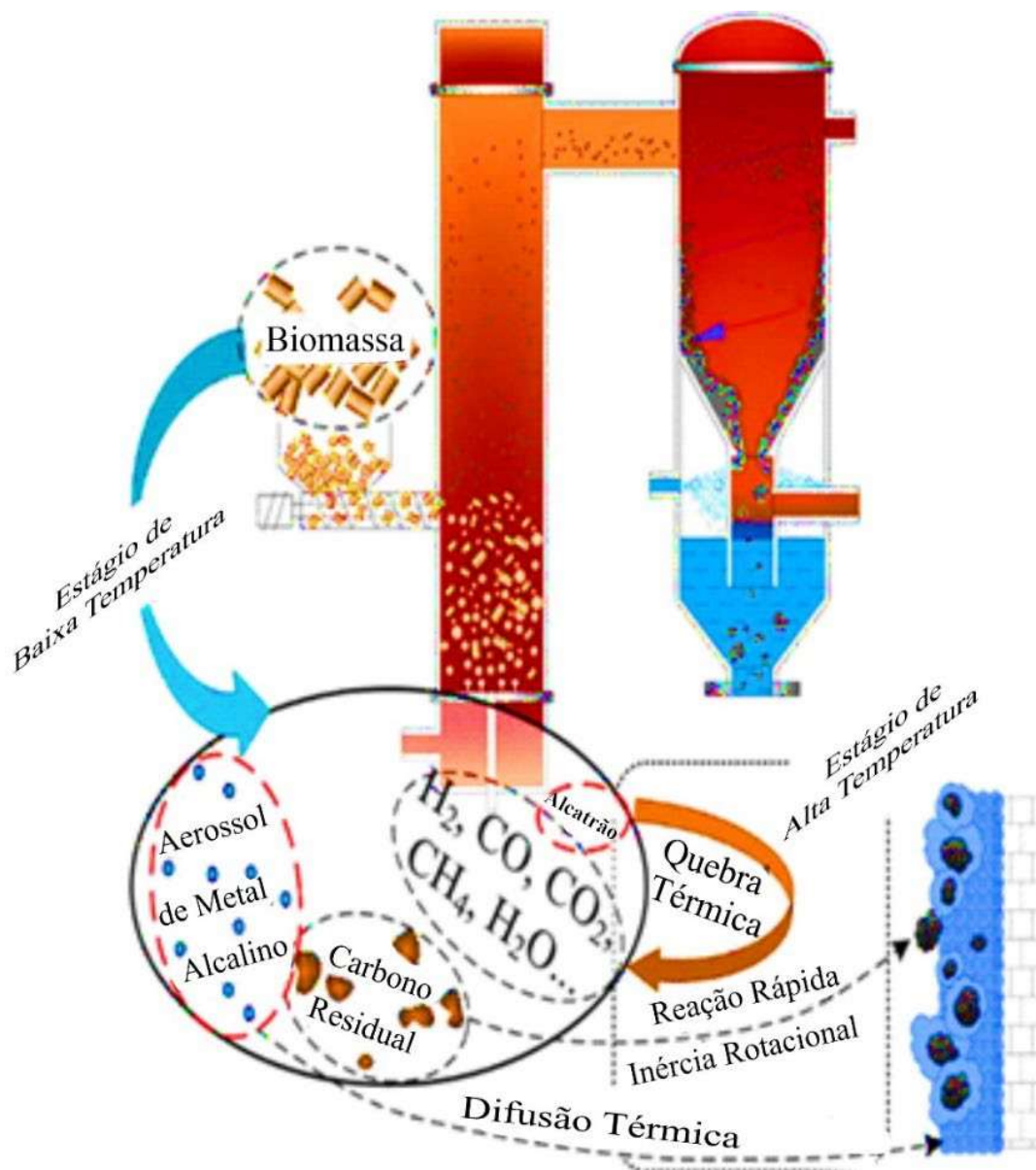
Para integrar o modelo de obtenção do bio-óleo desenvolvido por Van de Velden (2007, 2010) à geração de biocombustíveis a partir de RSU, alterações foram feitas no desenho do reator para estender a etapa secundária da pirólise em gaseificação e reforma do gás de pirólise, conforme figura 20.

Figura 20 - Adaptação tubular para quebra térmica do vapor de bio-óleo e alcatrão CFB



Considerando os estudos de Pei H et al. (2018) sobre a quebra térmica da fração condensável de pirólise em dois estágios, cria-se no sistema um aproveitamento melhorado da energia liberada pela queima de gases, conforme observa-se na figura 21, em que há exposição do vapor de bio-óleo no gás de pirólise a uma temperatura acima de 550 ° C, na presença de vapor d'água, levando à reforma de uma porção do gás, aumentando a distribuição do produto para o gás de hidrogênio. Considerando os dados de Chhiti et al (2018), verifica-se que o bio-óleo produz um gás de síntese com menor quantidade de alcatrão e de finos de carvão conforme aumenta-se a temperatura e tempo de residência em um reator.

Figura 21 - Diagrama de quebra térmica do vapor de pirólise gaseificação em BFB



Considerando os dados de Chhiti et al (2018), estima-se que expondo o bio-óleo a 1000°C por 5 segundos, tem-se até 9% do peso do vapor de bio-óleo processados para biocarvão de gaseificação (para o caso da gaseificação do bio-óleo condensado). A taxa de aquecimento influencia este resultado, reduzindo esta proporção a 2%. Um estudo detalhado da simulação das reações químicas intermediárias envolvidas no processo e um modelo simplificado foi descrito por Martins et al (2021).

Verifica-se que o bio-óleo produz um gás de síntese com menor quantidade de alcatrão e de finos de carvão conforme aumenta-se a temperatura e tempo de residência em um reator. No modelo em vista, o gás pirolítico é obtido de um reator de pirólise de Van de Velden (2007), sendo imediatamente (ainda em vapor) submetido à quebra térmica de seus compostos alifáticos por exposição durante 5 segundos à temperatura superior a 1000°C, enquanto é conduzido através de um tubo em espira com duas fases ao redor da câmara de combustão que desce e depois sobe, cada fase com 2,5s de tempo de residência.

De acordo a tabela 14, estima-se que a entalpia média da reação de reforma a vapor dos hidrocarbonetos C₃-C₁₂ é de 167,6kJ/mol. Portanto, a quantidade total de energia absorvida estimada para a formação de 2470 kg de gás, com uma entalpia de formação de -167.6 kJ/mol, onde se totaliza aproximadamente 225.000 moles, seja suficiente para dissipar entre -35.9 e -251.2°C do calor residual do tratamento realizado, com base no definido calor necessário para a pirólise ($c = \sim 1.05$). Portanto, faz-se necessário o uso de um radiador de calor anterior ao armazenamento.

Tabela 14- Entalpia da reforma a vapor dos hidrocarbonetos

Nomes	Hidrocarboneto	Reação de Formação	$\Delta H(\text{kJ/mol}) / \Delta T(^{\circ}\text{C})$
Metano	CH ₄	$\text{CH}_4 \leftrightarrow \text{C} + 2\text{H}_2$	-35.9
Etano	C ₂ H ₆	$\text{C}_2\text{H}_6 \leftrightarrow 2\text{C} + 3\text{H}_2$	-76.8
Propano	C ₃ H ₈	$\text{C}_3\text{H}_8 \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_5 + \text{CH}_3$	-90.6
Butano	C ₄ H ₁₀	$\text{C}_4\text{H}_{10} \leftrightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5 + \text{H}_2$	-108.6
Pentano	C ₅ H ₁₂	$\text{C}_5\text{H}_{12} \leftrightarrow 3\text{C}_2\text{H}_5 + \text{H}_2$	-126.3
Hexano	C ₆ H ₁₄	$\text{C}_6\text{H}_{14} \leftrightarrow 4\text{C}_2\text{H}_5 + 2\text{H}_2$	-144.2
Heptano	C ₇ H ₁₆	$\text{C}_7\text{H}_{16} \leftrightarrow 5\text{C}_2\text{H}_5 + 2\text{H}_2$	-161.9
Octano	C ₈ H ₁₈	$\text{C}_8\text{H}_{18} \leftrightarrow 6\text{C}_2\text{H}_5 + 3\text{H}_2$	-179.8
Nonano	C ₉ H ₂₀	$\text{C}_9\text{H}_{20} \leftrightarrow 7\text{C}_2\text{H}_5 + 3\text{H}_2$	-197.6
Decano	C ₁₀ H ₂₂	$\text{C}_{10}\text{H}_{22} \leftrightarrow 8\text{C}_2\text{H}_5 + 4\text{H}_2$	-215.5
Undecano	C ₁₁ H ₂₄	$\text{C}_{11}\text{H}_{24} \leftrightarrow 9\text{C}_2\text{H}_5 + 4\text{H}_2$	-233.3
Dodecano	C ₁₂ H ₂₆	$\text{C}_{12}\text{H}_{26} \leftrightarrow 10\text{C}_2\text{H}_5 + 5\text{H}_2$	-251.2

Fonte: Elaborada pelo Autor (2023)

Dessa forma, espera-se que o gás não-condensável da primeira fase de pirólise, junto aos hidrocarbonetos grandes e a água possam reagir entre 700-950 °C ao ser submetido o fluido à rápidas alterações de temperatura entre 500 e 1200 °C graus no sistema, conforme os valores apresentados na figura 15, apresentada na página (61) onde estima-se o PCI resultante entre 3,3 a 10MJ/kg, variando a razão de H:C entre 2:1 e 1:1.

4.6. Vantagem Financeira do biocarvão para as associações

A biomassa de carvão vegetal obtido pela carbonização da lenha resulta em um carvão vegetal com poder calorífico (PCI) de aproximadamente 7 MJ/kg sendo utilizado principalmente na siderurgia com gasogênio (Schurhaus P., 2007). Todavia, por ter um rico conteúdo de carbono o seu emprego como fertilizante na agricultura possui maior demanda de consumo. Em pesquisa na plataforma de vendedores de produtos agrícolas MF Rural (2023), produtos descritos como fertilizante a base de carbono e repelentes de pragas, combustível (7100 cal/kg) ou pigmento para termoplásticos, proveniente de pirólise de biomassa ou polímeros são vendidos como finos ou “negro-de-fumo”, cujo preço em todos os casos se aproxima de R\$ 1,5/kg no granel ou R\$ 1.100/ton. no atacado. Estes produtos foram elencados como representativos do biochar de pirólise, sendo semelhantes a de finos de carvão. Os subprodutos como a cinza vegetal são utilizados para a adubação e a correção de solo. As cinzas provenientes de caldeiras foram encontradas na faixa de R\$ 1.000/ton., sendo elencados no presente estudo como representativos do biochar de gaseificação.

Assim, pode-se estabelecer que a receita obtida pela associação de catadores com a venda de cada tonelada do biochar poderá ser entre R\$1.100,00 a R\$1.500,00. Considerando que a expectativa de produção mensal de biochar de pirólise é de 979.2 ton (1.36ton/h) e a de biochar de gaseificação é de 410.4 ton (0.57 ton/h).

Chhiti et al (2012), ao realizar estudos da gaseificação do bio-óleo de biomassa, encontrou uma redução da fração de sólidos de 50% ao processar o bio-óleo em relação ao processamento direto da biomassa, como encontrado em Van de Velden et al (2010). O primeiro autor demonstra que uma maior temperatura de pirólise leva a uma diminuição drástica da fração sólida obtida no processo de gaseificação da fração de bio-óleo gerada pela pirólise, vide tabela 15.

Tabela 15 - Análise de Resultado Simplificada (Considerando R\$1,00 por kW)

Receitas de Venda	quant/kg	Unit	Total
biocarvão de gaseificação	410.400	1,00	410.400,00
biocarvão de pirólise	979.200	1,10	1.077.120,00
Subtotal das Receitas			1.487.520,00
Despesas			
Energia para trituradores Lippel 10cv - R\$	2.452,80	13	31.886,40
Salário	26	2.219,83	57.715,58
Energia para rosca de alimentação 5cv	2.943,36	2	5.886,72
Energia para o condensador 35kw e bomba	1		50.400,00
Salário para 51 operadores técnicos de gás	2400	51	122.400,00
Subtotal das Despesas			268.288,70
Resultado Líquido			1.219.231,30

Fonte: Elaborada pelo Autor e Borges (2023)

Conforme tabela 15, ao considerar os preços consultados para cada classe de subproduto gerado no processo e o quantitativo esperado de produção, estima-se uma receita de R\$1.077.120,00 a R\$1.487.520,00 mensais para o biochar de pirólise, sendo vendido no atacado ou varejo, respectivamente, e R\$ 410.400,00 para o biochar de gaseificação. Considerando as referências propostas por (Chhiti et al, 2012) a seguir: erro na fração mássica de até 13,2% para a fração sólida produzida da gaseificação do bio-óleo da pirólise a 550°C e de até 10.6% para a fração sólida produzida na gaseificação do bio-óleo de pirólise a 1000°, variando para ambos a taxa de aquecimento entre 2°C/min e >2000°C/min e o tempo de residência entre flash e 16m representando uma variação esperada de condensáveis, inversamente proporcional ao aumento da temperatura tanto para a preparação do bio-óleo estudado, quanto para o processo de degradação térmica deste, variando a fração sólida entre um mínimo de 0.9% e um máximo de 14.4%, dependendo das condições do processo prévio de pirólise e de gaseificação da fração do bio-óleo. Desta forma, permite-se variar a produção esperada do biochar de gaseificação de materiais orgânicos entre 35,25 ton. (R\$ 35.250) e 564 ton. (R\$ 564.000) mensais, totalizando uma receita esperada com a venda do biochar de pirólise e de gaseificação juntos entre R\$1.112.370,00 a R\$1.487.420,00 mensais para as associações com a venda em atacado e varejo do biochar de pirólise e de gaseificação.

4.7. Beneficiamento do Gás

O envase é realizado através de um equipamento chamado “Envasadora de GLP”. Este equipamento consiste em vários postos individuais de envasamento de gás, que é feito de modo

mecânico ou eletrônico. Com base no estudo de Neto, Mergulhão e Oliveira (2021), buscou-se estimar os custos fixos para manter uma planta de envase e distribuição, bem como os métodos utilizados na produção. O autor descreve o planejamento e os custos para uma planta com capacidade similar à proposta nesta pesquisa, dimensionada para as associações de catadores de recicláveis, equivalente a 24 horas por dia e 20 dias por mês de trabalho.

Ao Comparar o Balanço de Massa entre o gás de síntese e o GLP, Oliveira (2010) e o corpo de bombeiros de MG, considerando a capacidade volumétrica dos recipientes de GLP, identificaram a densidade do gás de síntese de biomassa de palha em $0,858 \text{ kg/m}^3$ enquanto o GLP aproximadamente $\sim 2,3 \text{ kg/m}^3$. Para densidades médias relativas, em um mesmo recipiente e pressão, calcula-se a quantidade de energia em gás de síntese armazenada em um botijão. Há pelo menos 4.8 kg de gás de síntese com PCI de 7 MJ/ kg, suprindo até 71,4 horas de chama de um fogão com ~ 2400 Watts de potência, suprindo no mínimo entre 2 e 4 semanas de uso (aproximadamente 20% do desempenho de um botijão de GLP doméstico). Desta forma, este sistema de reciclagem é capaz de oferecer trajetória planejada da economia circular para 3.4 ton./h, de CDR de RSU para gás de cozinha, beneficiando entre 51.458 e 102.916 famílias de baixa renda mensalmente por planta instalada.

Tomando por base a capacidade do fluxo no riser, espera-se um máximo de 2.588 m^3 por hora de volume gasoso, levando a estimativa para o volume esperado entre 257 e 498 recipientes P-13 por hora de produção, sendo necessários até 17 postos de enchimento para trabalhar em capacidade máxima, visto que cada um tem a capacidade de encher o recipiente P-13 em 2 minutos, segundo dados da empresa Mercontainers GLP. Dessa forma, espera-se gerar 51 postos de trabalho em 3 turnos dentro das associações na equipe de produção da planta de envasamento. Considerando um salário de R\$1.967 mais encargos, espera-se um custo operacional com os técnicos de envasamento em todo o sistema de até R\$ 122.400 mensais.

4.8. Benefícios econômicos e socioambientais

Considerando que de cada 1kg de biomassa produz-se 1.6 kg de CO₂, todo mês deixarão de ser emitidas diretamente pelo menos 7.833 toneladas de dióxido de carbono e voltarão a circular como produto energético de natureza renovável. Carneiro (2007) considerou as características do resíduo urbano de caminhões de lixo de 2% de metano na composição da fração seca da biomassa do RSU enquanto Rodrigues (2007) estimou a geração de créditos de carbono relativos à conversão de, pelo menos, 43 toneladas mensais de metano, incentivos

devidos com o potencial de contribuírem para o aumento da renda dos catadores de recicláveis cadastrados em cada associação.

Além da criação de novos postos de trabalho, foi estimada uma receita bruta de até R\$854.891,00 mensais na operação com a venda do biochar em duas associações, cada uma com uma planta de tratamento CDR para gás de síntese e envasamento, beneficiando dezenas de milhares de famílias de baixa renda, em linha com a tautologia e teleologia das políticas públicas já existentes, conforme Decreto nº 4.102/2002, PL nº 1482/2020, Lei nº 14.237/2021 e Lei nº 17.428/2021, entre outros.

São notáveis os impactos do aumento do preço do gás para as famílias de baixa renda e no custo de vida da população, conforme observado pela Nota Técnica Número 195 de julho de 2018, do Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (DIEESE). Nestes termos, traz o estudo do Panorama do Setor de GLP, desenvolvido pelo Sindigás:

O Brasil é uma nação movida a GLP, mais conhecido como “gás de cozinha”. Nenhuma outra fonte energética se equipara a este produto em importância, uso, abrangência territorial e, sobretudo, confiabilidade.

É possível especular que, liberando combustíveis nacionais (como o GLP) para a venda no mercado internacional, a integração do gás de RSU à matriz energética nacional cria vantagem competitiva no mercado internacional ao reduzir a demanda interna por fontes de energia não-renováveis, afetando não só o nicho de reciclagem como também a balança comercial e a autonomia energética nacional de maneira social, econômica e ecologicamente sustentável.

Com base nos dados da Sindigás, 98,2% das famílias brasileiras utilizam GLP e 34,4 milhões de botijões de até 13 kg são vendidos mensalmente. Em uma comparação ao gás de síntese derivado de resíduos, isto representa uma demanda energética capaz de ser suprida pelo RSU gerado no país. Fraga et al., (2023) consideraram os valores de RSU produzidos em 2022 pela Abrelpe, e liberam R\$ 58.9 bilhões em GLP para venda no mercado internacional. Este valor é estimado com base no preço do GLP de acordo com a Superintendência de Defesa da Concorrência (SDC) em 2023.

Diante do exposto, pode-se concluir que o tratamento dos resíduos sólidos urbanos por meio do reator de pirólise em leito fluidizado circulante atende a pelo menos três metas do Plano Nacional de Resíduos sólidos (PNRS), conforme discutidos nesta pesquisa: (i) a meta 3 que propõem eliminar práticas de disposição final inadequada dos RSU e encerrar lixões e aterros controlados por municípios até 2024; (ii) a meta 5, que consiste em promover a inclusão social e a emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; (iii) a

meta 9 que pretende aumentar a recuperação e o aproveitamento energético de biogás por meio de tratamento térmico de RSU.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa dimensionou uma planta de pirólise e gaseificação para capacitar as associações de catadores de lixo a converter os resíduos sólidos urbanos em gás natural de resíduos (ou gás de síntese de CDR) e fertilizantes, com o objetivo de minimizar os impactos ambientais causados pelo descarte dos resíduos sólidos urbanos (RSU) em lixões e CTR, e contribuir para a recuperação energética a partir do tratamento de matéria orgânica e polimérica.

Definiu-se, para este estudo, a análise da Política Nacional de Resíduos Sólidos em metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares, 2022), por ser este o instrumento legal que instrumentaliza as relações previstas no Marco Regulatório das Organizações da Sociedade Civil (MROSC) e na Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) atendendo também os determinantes de Saúde SUS. Adicionalmente, considerou-se necessária a discussão das propostas para o tratamento de RSU existentes na literatura.

No decorrer da pesquisa, confirmou-se a aplicabilidade de tecnologias de reaproveitamento da fração orgânica do RSU para gás de cozinha e biocarvão como uma via promissora e escalonável para uma transição de matriz energética no Brasil, utilizando um processo em que a contaminação com plásticos misturados é desejável e controlada com o objetivo de regular o PCI do gás produzido em relação à umidade do CDR em um reator de pirólise em leito fluidizado circulante. Desta forma, problemas recorrentes na pirólise de biomassa e RSU, como alcatrão, água e misturas de plásticos, tornam-se benéficos à produção de biocombustível renovável a partir do modelo de gestão de RSU e do sistema de tratamento dimensionado às associações.

Considerando a PNRS, foi dimensionado um modelo de gestão de resíduos para mitigar os impactos socioambientais dos RSU e transformá-los em subprodutos ecológicos e energias renováveis para as associações de catadores de recicláveis e o município, respectivamente. Consonante a cada uma das metas elencadas no Plano Nacional de Resíduos Sólidos, a proposição de inovação organizacional para descentralizar a disposição de equipamentos torna mais acessível às associações o emprego da tecnologia de tratamento de resíduos, demonstrando como a sua disposição em um modelo organizacional de gerenciamento colaborativo para a gestão municipal de RSU é uma solução às barreiras encontradas pelas associações para

processar tais resíduos, seguindo direcionamentos para inovação tecnológica e organizacional parametrizadas no sistema normativo dos marcos regulatórios PNRS, MROSC e MLI.

Para finalizar, é necessário ressaltar que este trabalho, apesar de ter produzido conhecimento inédito, considerando-se que não se confirmaram estudos comparados sobre a temática pirólise e RSU, é apenas um estudo introdutório. O assunto ora discutido não se esgota com esta dissertação, podendo resultar em novas investigações, especialmente, se contemplar a necessidade de implementar a Política Nacional de Resíduos Sólidos, ou, então, para apresentar novas discussões acerca do tratamento sustentável do RSU e a geração de energia popular solidária renovável. Pelo contexto exposto, estudos nessa direção devem continuar a fim de identificar outras possíveis concepções e tendências que possam tratar os RSU ou para confirmar os resultados apresentados nesta investigação.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ALAMSYAH, R. An Experimental Study on Synthetic Gas (Syngas) Production through Gasification of Indonesian Biomass Pellet, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.053>.
- ANDRADE, F. M. D. Estimativa de geração de energia elétrica através da pirólise dos resíduos sólidos urbanos do aterro sanitário de Botucatu. [S.l.], p. <https://www.fca.unesp.br/Home/Secoes/SecaoTecnica/ApoioaoEnsinoPesquisaeExtensao/anuario---fca---2022.pdf>. 2022.
- ANNA TRENDEWICZ; ROBERT BRAUN; ABHIJIT DUTTA; JACK ZIEGLER. Modelo unidimensional de reator de leito fluidizado circulante em estado estacionário para pirólise rápida de biomassa, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.05.009>.
- ANP. Panorama do Setor de GLP em Movimento – setembro de 2019. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. [S.l.], p. http://chrome-extension://https://www.sindicatas.org.br/novosite/wp-content/uploads/2019/10/NOVO-GLP-EM-MOVIMENTO_SETEMBRO_VF.pdf. 2023.
- ANTÔNIO R. MARTINS; ANA ISABEL FERREIRO; RAQUEL SEGURADO; AND MIGUEL A. A. MENDES. Modelo de reação reduzida para fase gasosa secundária na gaseificação de biomassa, 2021. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c01742>.
- ARRUDA, N. D. P. O que a legislação diz sobre a gestão dos resíduos sólidos urbanos? [S.l.], p. <https://www.vertown.com/blog/o-que-a-legislacao-diz-sobre-a-gestao-dos-residuos-solidos-urbanos/>. 2021.
- BASU, P. Gaseificação e Pirólise de Biomassa: Design Prático e Teórico. [S.l.], p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374988-8.00002-7>. 2010.
- BIOENERGY, E. Bioenergia Bioetanol. [S.l.], p. https://www.etipbioenergy.eu/images/ETIP_B_Factsheet_Biomethane.pdf. 2020.
- BITTENCOURT, F. P. Simulação e análise técnico-econômica de uma planta de pirólise multipropósito para obtenção de bio-óleo a partir de diferentes biomassas. [S.l.], p. <https://app.uff.br/riuff/handle/1/21545>. 2020.
- BRASIL. Dispõe sobre a participação da comunidade na gestão do Sistema Único de Saúde (SUS) e sobre as transferências intergovernamentais de recursos financeiros na área da saúde e dá outras providências. Presidência da República. Brasília, DF, p. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8142.htm. 1990. (Lei nº 8.142, de 28 de dezembro de 1990).
- BRASIL. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. Presidência da República. Brasília, DF, p. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8080.htm. 1990. (Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990).
- BRASIL. Regulamenta a Medida Provisória de Auxílio Gás. Presidência da República. Brasília DF, p. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4102.htm. 2002. (Decreto nº 4.102, de 24 de janeiro de 2002).
- BRASIL. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. Presidência da República. Brasília, DF, p. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.973.htm. 2004. (http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8142.htm).

- BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Presidência da República. Brasília, DF, p. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. 2010. (Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010).
- BRASIL. Estabelece o regime jurídico das parcerias entre a administração pública e as organizações da sociedade civil. Presidência da República. Brasília, DF, p. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/113019.htm. 2014. (Lei nº 13.019, de 31 de julho de 2014).
- BRASIL. Estabelece o regime jurídico das parcerias entre a administração pública e as organizações da sociedade civil. Presidência da República. Brasília, DF, p. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/113019.htm. 2014. (Lei nº 13.019, de 31 de julho de 2014).
- BRASIL. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. Presidência da República. Brasília, DF, p. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm. 2016. (Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016).
- BRASIL. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Presidência da República. Brasília, DF, p. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113576.htm. 2017. (Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017).
- BRASIL. Estabelece critérios de distribuição e comercialização do gás de cozinha para a população de baixa. Portal da Câmara dos Deputados. Brasília, p. <https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2242818>. 2020. (PL 1482/2020).
- BRASIL. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental. Brasília, DF, p. https://smastr16.blob.core.windows.net/conesan/sites/253/2020/11/pnrs_2020.pdf. 2020.
- BRASIL. Institui o auxílio Gás dos Brasileiros. Presidência da República. Brasília, DF, p. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14237.htm. 2021. (Lei nº 14.237 de 19 de novembro de 2021).
- BRASIL. Renova Autorização Para Que O Poder Executivo Possa Adquirir E Distribuir Gás Em Botijão Às Famílias Em Situação De Maior Vulnerabilidade Social Do Estado Do Ceará, Em Razão Da Pandemia Da Covid-19. GOVERNADOR DO ESTADO DO CEARÁ. Ceará , p. <https://leisestaduais.com.br/ce/lei-ordinaria-n-17428-2021-ceara-renova-autorizacao-para-que-o-poder-executivo-possa-adquirir-e-distribuir-gas-em-botijao-as-familias-em-situacao-de-maior-vulnerabilidade-social-do-estado-do-ceara-em-razao-da-pandemia-da-co>. 2021. (Lei Ordinária 17428/2021 de Ceará CE).
- BRASIL. Planares - Aprova o Planares - Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Presidência da República. Brasília DF, p. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d11043.htm. 2022. (Decreto nº 11.043 de 13 de abril de 2022).
- BRASIL. Institui o Programa Diogo de Sant'Ana Pró-Catadoras e Pró-Catadores para a Reciclagem Popular e o Comitê Interministerial para Inclusão Socioeconômica de Catadoras e Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis. Presidência da República. Brasília, DF, p. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/D11414.htm. 2023. (Decreto nº 11.414 de 13 de fevereiro de 2023).
- BRASIL. Superintendência de Defesa da Concorrência - SDC. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Brasília DF, p. <https://www.gov.br/anp/pt-br/composicao/agenda-dirigentes/diretoria-iv/superintendencia-de-defesa-da-concorrenca-sdc>. 2023.
- BRIDGWATER, A. V. Revisão da pirólise rápida de biomassa e atualização de produtos, Biomassa e bioenergia, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.048>.
- BRUNO D'ALESSANDRO, MICHELE D'AMICO, UMBERTO DESIDERI, FRANCESCO FANTOZZI. The IPRP (Integrated Pyrolysis Regenerated Plant) technology: From concept to demonstration, 2013. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912003224>.
- CAIBRE, D. I. et al. Análise da Viabilidade Econômica do Processo de Pirólise para Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso Aplicado A Uma Cidade De Médio Porte, 2016. <https://doi.org/10.18316/1981-8858.16.32>.
- CALDAS, F. D. A. Análise da utilização de usinas de pirólise para geração de energia elétrica com resíduos sólidos urbanos, 2019. <https://doi.org/10.11606/D.96.2019.tde-05092019-152241>.
- CARLOS VARGAS SALGADO; JESÚS ÁGUILA-LEÓN; DAVID ALFONSO SOLAR; ANDERS MALMQUIST. Simulações e estudo experimental para comparar o comportamento de um grupo gerador movido a gasolina ou gás de síntese para geração de energia em pequena escala, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122633>.
- CARNEIRO, L. A. P. P. Gerenciamento de Resíduos Sólidos Gerenciamento de Resíduos Sólidos, 2007. <https://cetesb.sp.gov.br/noticentro/2007/10/saobernardo.pdf>.
- CARSLAW AND J. C. JAEGER PP. Conduction of Heat in Solids, Oxford, 1944. <https://www.cambridge.org/core/journals/mathematical-gazette/article/abs/conduction-of-heat-in-solids-by-h-s-carslaw-and-j-c-jaeger-pp-viii-386-30s-1947-oxford-at-the-clarendon-press/A090C4D879DCDCF2CB6C456D05BF76A7>.

- CARVALHO, M. E. D. S. S. O direito ao trabalho decente e à proteção social de coletoras e coletores de reutilizáveis e recicláveis: caminhos para uma transição ecológica justa e inclusiva no Brasil, 2023. <https://periodicos.unisanta.br/index.php/lss/article/view/3563>.
- CORDEIRO, K. X. Análise da viabilidade de sistema de gaseificação a bagaço de cana para produção de energia elétrica em estabelecimento comercial, 2018. <https://bdm.unb.br/handle/10483/20773>.
- CORONADO RODRÍGUEZ; CHRISTIAN JEREMI. Análise técnica econômica de um gaseificador de biomassa de 100 kg/h para acionamento de um motor de combustão interna, 2007. <https://repositorio.unesp.br/items/3d7c4895-7d50-4e2c-b5c3-5066949af084>.
- CRISTIANE BETANHO, C. & EDUARDO, F. J.. Economia Popular Solidária Nosso Sul: a transformação pela solidariedade. [S.l.], p. <http://www.cieps.proexc.ufu.br/sites/cieps.proexc.ufu.br/files/pdf/Livro%20Economia%20Popular%20Solidária.pdf>. 2017.
- DIEESE. A alta dos preços do gás de cozinha e o impacto para os trabalhadores. [S.l.], p. <https://www.dieese.org.br/notatecnica/2018/notaTec195gas.html>. 2018. (nota técnica - NT no 195).
- DIEGO MOYA; CLAY ALDÁS; GERMÁNICO LÓPEZ; PRASAD KAPARAJU. Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using Waste-To-Energy Technologies, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.618>.
- DMAE. Coleta, transporte e disposição de resíduos sólidos urbanos no resíduo sanitário. Departamento Municipal De Água E Esgoto – DMAE. Uberlândia MG, p. <https://docs.uberlandia.mg.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/6.-TABELA-RS-Domiciliar- JUN-2022.pdf>. 2022.
- EFFECT of Steam on the Tar Reforming during Circulating Fluidized Bed Char Gasification, 2021. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8153945/>.
- ENGELMANN, P. D. M. Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Xangri-lá, 2021. <https://repositorio.pucrs.br/dspace/handle/10923/17519>.
- ENSYN, E. Technology-based Producer of Renewable Fuels and Chemicals. [S.l.], p. <https://pt.scribd.com/document/60431549/ENSYN-RTP-Description-2011>. 2011.
- FARIA, L. A. E. Economia e Autopoiese. Brazilian Journal of Political Economy, 2002. <https://doi.org/10.1590/0101-31572002-1273>.
- FERREIRA, CASSIUS RICARDO NASCIMENTO; CARVALHO, SOLIDÔNIO RODRIGUES DE; BANDARRA FILHO, ENIO PEDONE; SILVA JUNIOR, WASHINGTON MARTINS DA. Projeto de linha industrial para o processamento de resíduos sólidos urbanos e produção de combustível derivado de resíduos para a gaseificação em reator termoquímico: análise experimental do Syngas para a produção de energia térmica e elétrica, 2021. https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFU_faa235584bedbb6c04459c6c9b1a049a.
- FILHO, J. S. P. Tratamento Térmico para Aproveitamento Energético de Resíduos Plásticos: Análise Experimental, 2020. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/29586>.
- FLÁVIO VASSALLO MATTOS; GIUSILENE COSTA DE SOUZA PINHO; JOSÉ CARLOS MARTINS RAMALHO; JOÃO LUIZ CALMON; RENATO RIBEIRO SIMAN. A gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos com base na ACV, AECV e ACVS: perspectivas e caminhos para o Brasil e países em desenvolvimento / Sustainable management of MSW with LCA, LCC and S-LCA, 2022. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n4-003>.
- FOLK, E. Progress of Waste-to-Energy in the USA, 2024. <http://www.bioenergyconsult.com/tag/biofuels/>.
- FRAGA, S. Brasil gerou quase 82 milhões de toneladas de lixo no ano passado. Editora Brasil 41. [S.l.], p. <https://edicaodobrasil.com.br/2023/08/04/brasil-gerou-quase-82-milhoes-de-toneladas-de-lixo-no-ano-passado/>. 2023.
- GLP, M. Carrossel de Enchimento. Empresa. [S.l.], p. <https://www.mercontainersglp.com.br/produtos/2/>. 2023.
- HAIPENG PEI; XIAOJIA WANG; XIN DAI; BAOSHENG JIN; YAJI HUANG. A novel two-stage biomass gasification concept: Design and operation of a 1.5 MWth demonstration plant, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.021>.
- HAMZA SHAFIQ; SHAKIR UL AZAM E ARSHAD HUSSAIN. Gaseificação a vapor de resíduos sólidos urbanos para produção de hidrogênio usando simulação Aspen Plus®, 2021. <https://doi.org/10.1007/s43938-021-00004-9>.
- HANKS, R. W. The laminar-turbulent transition for flow in pipes, concentric annuli, and parallel plates, 1963. <https://doi.org/10.1002/aic.690090110>.
- HEISLER, M. P. Gráficos de temperatura para aquecimento por indução e temperatura constante, 1947.
- HUMAN SOLUTIONS, E. Quanto custa um funcionário para empresa? Veja como calcular, Soluções Humanas. Empresa. [S.l.], p. <https://www.humansolutionsbrasil.com.br/artigos/quanto-custa-funcionario-para-empresa>. 2023.
- IBGE. População Brasileira. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados Cidades. [S.l.], p. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/Uberlândia>. 2022.
- IPEA. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos. [S.l.], p. https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=17247. 2019. (Relatório de

Pesquisa IPEA).

J R GRACE; C J LIM; C M H BRERETON & J CHAOUKI. Circulating fluidized bed reactor design and operation. [S.l.], p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-031869-1.50010-7>. 1987.

JI-LU ZHENG; MING-QIANG ZHU; JIA-LONG WEN; RUN-CANG SUN. Gasification of bio-oil: Effects of equivalence ratio and gasifying agents on product distribution and gasification efficiency, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.088>.

JON MORANDEIRA-ARCA; ENEKOITZ ETXEZARRETA-ETXARRI; OLATZ AZURZA-ZUBIZARRETA; JULEN IZAGIRRE-OLAIZOLA. Inovação Social para um Novo Modelo Energético, da Teoria à Ação: contribuindo para economia social solidária no País Basco, 2021. <https://doi.10.1080/13511610.2021.1890549>.

JORNAL. Aterro sanitário de Uberlândia recebe cerca de 700 toneladas de lixo por dia. Diário de Uberlândia. Uberlândia MG, p. <https://diariodeuberlandia.com.br/noticia/27296/aterro-sanitario-de-uberlandia-recebe-cerca-de-700-toneladas-de-lixo-por-dia#box-comentarios>. 2020.

JOSÉ E. GONÇALVES; MARIA M. P. SARTORI; ALCIDES L. LEÃO. Avaliação energética e ambiental de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*, 2009. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/GQzcmwmdM4Q8TMSJKX9kDGs/?format=pdf&lang=pt>.

JOSMAR DAVILSON PAGLIUSO; GERALDO LOMBARDI; LEONARDO GOLDSTEIN JR. Experiments on the local heat transfer characteristics of a circulating fluidized bed, 2000. [https://doi.org/10.1016/s0894-1777\(99\)00042-4](https://doi.org/10.1016/s0894-1777(99)00042-4).

KETSON PATRICK DE MEDEIROS FREITAS; GENILSON PEREIRA SANTAN; PRISCILA SAYME ALMEIDA SOUZA. Geração de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos urbanos nos sistemas isolados amazenses, 2021. <https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/998>.

KEVIN WYSS; KARLA J. SILVA; KSENIA V. BETS E JAMES TOUR. Synthesis of clean hydrogen gas from waste plastic at zero net cost, *Advanced materials* (Deerfield Beach, Fla.), 2023.

<https://doi.org/10.1002/adma.202306763>.

LEONARDO SZIGETHY; SAMUEL ANTENOR. Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos, 2021. <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217>.

LIZANDRO DE SOUSA SANTOS; ISABELA BARRETO CORREA. Simulação e Otimização do Processo de Pirólise de Biomassas, 2018. <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/enmc-ectm/article/view/12229/9664>.

LOPAMUDRA DEVI; KRZYSZTOF J PTASINSKI; FRANS J.J.G JANSSEN. A review of the primary measures for tar elimination in biomass gasification processes *Biomass & bioenergy*, 2003. [https://doi.org/10.1016/s0961-9534\(02\)00102-2](https://doi.org/10.1016/s0961-9534(02)00102-2).

LUCIANO PIVOTO SPECHT; PEDRO AUGUSTO PEREIRA BORGES; RICARDO FORGIARINI RUPP; ROSANE VARNIER. Heat transfer analysis in walls composed by different materials, 2010.

<https://doi.org/10.1590/s1678-86212010000400002>.

LUIZ A HORTA NOGUEIRA; ELECTO LORA. *Dendroenergia: fundamentos e aplicações*, 2003.

https://www.researchgate.net/publication/272814747_Dendroenergia_fundamentos_e_aplicacoes_2a_ed.

M.R. RAHIMPOUR, M. NATEGH. Hydrogen production from pyrolysis-derived bio-oil using membrane reactors, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100451-7.00016-5>.

MAGDALENA MURADIN; JOANNA KULCZYCKA. The identification of hotspots in the bioenergy production chain, 2020. <https://doi.org/10.3390/en13215757>.

MANON VAN DE VELDEN; JAN BAEYENS; KATHLEEN SMOLDERS. Mistura de sólidos no riser de um leito fluidizado circulante, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2006.12.069>.

MANON VAN DE VELDEN; JAN BAEYENS; ANKE BREMS; BART JANSSENS; RAF DEWIL.

Fundamentos, cinética e endotermicidade da reação de pirólise de biomassa, 2010.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.04.019>.

MANON VAN DE VELDEN; JAN BAEYENS; IOANNIS BOUKIS. Modeling CFB biomass pyrolysis reactors. [S.l.], p. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.08.001>. 2008.

MANON VAN DE VELDEN; XIANFENG FAN; ANDY INGRAM; JAN BAEYENS. Pirólise rápida de biomassa em leito fluidizado circulante. University of Birmingham. [S.l.], p.

https://dc.engconfintl.org/fluidization_xii/110/. 2007.

MARIO MARCOS MOREIRA DA CONCEIÇÃO; LUÍZA CARLA GIRARD MENDES TEIXEIRA. RELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E CRESCIMENTO POPULACIONAL NA REGIÃO NORTE, 2021. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.3.75886>.

MCTI. Brazilian-German Technical Cooperation for Sustainable Development. [S.l.], p. chrome-extension://efaidnbhttps://ptx-hub.org/wp-content/uploads/2021/09/Potential-Syngas-Production-Brazilian-Industry-ENG.pdf. 2021.

MÉLO, S. E. D. L. H. Conversão térmica dos resíduos urbanos como alternativa energética para o encerramento dos lixões da Paraíba, 2021. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/23489>.

MG, B. Manipulação, Armazenamento, Comercialização e Utilização De Gás Liquefeito de Petróleo (GLP).

- Corpo de Bombeiro. [S.l.], p.
https://www.bombeiros.mg.gov.br/storage/files/shares/intrucoestecnicas/IT_23_2a_Ed_portaria_69_emenda_13.pdf. 2022.
- MICHELLE MERLINO LINS CAMPOS RAMOS; RODOFO CARDOSO; RODOFO CARDOSO; CARLOS FREDERICO BARROS; IARA TAMMELA; CARLOS EDUARDO LOPES DA SILVA. LEVANTAMENTO DO MODELO ADEQUADO PARA UMA PARCERIA ENTRE MUNICÍPIO(S) COM INSTITUIÇÃO PRIVADA PARA VIABILIZAR A IMPLANTAÇÃO DE UNIDADES AUTOSSUSTENTÁVEIS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS POR PIRÓLISE -UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, 2015.
https://www.researchgate.net/publication/333907731_LEVANTAMENTO_DO_MODELO_ADEQUADO_PAR_A_UMA_PARCERIA_ENTRE_MUNICIPIOS_COM_INSTITUICAO_PRIVADA_PARA_VIABILIZAR_A_IMPLANTACAO_DE_UNIDADES_AUTOSSUSTENTAVEIS_DE_TRATAMENTO_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_URBANOS_POR_PIR.
- MIGUEL, E. D. A. C.; OLIVEIRA, J. C. D. E. GESTÃO PÚBLICA NA COLETA SELETIVA DE UBERLÂNDIA – MG. Anais do I Congresso Nacional de Sustentabilidade On-line: Uma abordagem social, ambiental e econômica. [S.l.], p. <https://ime.events/conasust2023/pdf/15263>. 2023.
- MOHAMMAD JAVAD BAZREGARI, NIMA NOROUZI. Uma análise paramétrica de exergia e energia do sistema municipal de secagem de resíduos sólidos: com uma abordagem analítica comparativa para métodos experimentais recentes, Engenharia e tecnologia mais limpa. [S.l.], p. <https://doi: 10.1016/j.clet.2021.100389>. 2022.
- MOLIN, FÁBIO DAL; FONSECA, TÂNIA MARA GALLI. Autopoiese e Sociedade: a posição estratégica do desejo na gestão de uma rede social, 2008. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5161443>.
- MONTEIRO, V. A. L. Modelagem Termodinâmica de Gás de Síntese de Combustível Derivado de Resíduos Sólidos Urbanos Com Simulações em Ciclos de Potência a Gás e Vapor, 2019. <chrome-extension://efaidnbmnnnhttp://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/27117/4/ModelagemTermodin%C3%A2micaG%C3%A1s.pdf>.
- MOURA, J.P; GAMA, P; CARDIM, G. DE. Fundamentos da combustão de biomassa em leito fluidizado circulante, 2011. http://www.infobibos.com.br/Artigos/2011_3/FundamentosCombustao/Index.htm.
- MROSC, P. 18º ENCONTRO NACIONAL DO TERCEIRO SETOR - ENATS 2023. Marco Regulatório das Organizações da Sociedade Civil. [S.l.], p. <https://www.minasgerais.com.br/pt/eventos/belo-horizonte/18-encontro-nacional-do-terceiro-setor-enats-2023>. 2023.
- NAGARAJA, S. S. et al. Um estudo fundamental sobre a pirólise de hidrocarbonetos, combustão e chama, 2021. <https://doi: 10.1016/j.combustflame.2021.111579>.
- NETO, M. F. D. M.; MERGULHÃO, R. A. C.; OLIVEIRA, R. G. D. PROPOSTA DE UM NOVO LAYOUT DA OPERAÇÃO DE ENVASE DO GÁS GLP NO P13 DE UMA DISTRIBUIDORA DA PARAÍBA, 2021. <https://estacio.periodicoscientificos.com.br/index.php/mangaio/article/view/1554>.
- NIMESHA RATHNAYAKE; SAVANKUMAR PATEL; POBITRA HALDER; SHEFALI AKTAR; JORGE PAZFERREIRO; ABHISHEK SHARMA; ARAVIND SURAPANENI; KALPIT SHAH. Co-pyrolysis of biosolids with alum sludge: Effect of temperature and mixing ratio on product properties, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2022.105488>.
- OCTÁVIO ALVES, LUÍS CALADO, ROBERTA M. PANIZIO, MARGARIDA GONÇALVES, ELISEU MONTEIRO, PAULO BRITO. Techno-economic study for a gasification plant processing residues of sewage sludge and solid recovered fuels, New York, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.05.026>.
- OLIVEIRA, A. O combustível de emergência: a história do gasogênio, 2019. <https://www.saopauloinfoco.com.br/gasogenio/>.
- ONU. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Organização das Nações Unidas. [S.l.], p. <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 08/01/2023. 2018.
- P, M. R. A. Estudos Para Contribuição Na Modelagem Dinâmica e Simulação Computacional de Sistemas Térmicos: Processos de Gaseificação e Pirólise da Biomassa e da Combustão do Gás Natural, 2012. <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/11907/1/DISSERTA%20c3%87AOFINAL%28rodrigomelo%29.pdf>.
- PAULO MARCHIORI BUSS, ALBERTO PELLEGRINI FILHO. A saúde e seus determinantes sociais, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0103-73312007000100006>.
- PETRIC MARC RUYA; DWI HANTOKO; ZHANG HAIDAN; HERRI SUSANTO; MI YAN. Experimental study on the cracking of tar derived from municipal solid waste gasification to produce syngas, 2020. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1744773>.
- PMU. Dispõe Sobre O Serviço Público De Coleta Seletiva Solidária Dos Resíduos Recicláveis No Município De Uberlândia E Dá Outras Providências. Prefeitura Municipal de Uberlândia. [S.l.], p. <https://leismunicipais.com.br/a/mg/u/uberlandia/lei-ordinaria/2016/1250/12504/lei-ordinaria-n-12504-2016-dispoe-sobre-o-servico-publico-de-coleta-seletiva-solidaria-dos-residuos-reciclaveis-no-municipio-de->

- uberlandia-e-da-outras-providencias. 2016. (Lei municipal nº 12.504, de 25 de agosto de 2016).
- PMU. Programa Para Estações de Reciclagem e Determina Ampliação da Coleta Seletiva. Prefeitura Municipal de Uberlândia. [S.l.], p. <https://www.uberlandia.mg.gov.br/2023/05/15/prefeito-assina-decreto-que-institui-programa-para-estacoes-de-reciclagem-e-determina-ampliacao-da-coleta-seletiva/>. 2021.
- PMU. Mais de 100 mil pneus são coletados pela Prefeitura de Uberlândia. Prefeitura Municipal de Uberlândia. [S.l.], p. <https://www.uberlandia.mg.gov.br/2022/06/23/mais-de-100-mil-pneus-sao-coletados-pela-prefeitura-de-uberlandia/>. 2022.
- PMU. Semana da Reciclagem do Dmae permitirá criação de programa para estações de reciclagem. Prefeitura Municipal de Uberlândia. [S.l.], p. <https://www.uberlandia.mg.gov.br/2023/05/12/semana-da-reciclagem-do-dmae-permitira-criacao-de-programa-para-estacoes-de-reciclagem/>. 2023.
- PMU/DMAE. APROVA A REVISÃO DO PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DO MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA. Prefeitura Municipal de Uberlândia - Departamento Municipal De Saneamento Básico Saneamento Básico. [S.l.], p. <https://leismunicipais.com.br/MG/UBERLANDIA/ANEXO-DECRETO-18462-2020-UBERLANDIA-MG.pdf>. 2019. (DECRETO Nº 18.462/2020).
- PMU-OSCS. Coleta De Resíduos de Uberlândia. DMAE e Associação e Cooperativa de Catadores. [S.l.], p. <https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/orgaos-municipais/dmae/servicos-dmae/coleta-de-residuos/>. 2023.
- R. L. WU; C. J. LIM; JAMAL CHAOUKI; J. R. GRACE. Heat transfer from a circulating fluidized bed to membrane waterwall surfaces, 1987. <https://doi.org/10.1002/aic.690331116>.
- RAIMONDI, V. Autopoiese e evolução: o papel dos organismos na natural derivado, 2021. <https://doi.org/10.1177/10597123211030694>.
- RIBEIRO, S. G. Geração de Energia Elétrica com Resíduos Sólidos Urbanos-Usinas“Waste-To-Energy” (Wte), 2010. https://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/publicacoes/usinas_lixo_energia_no_brasill.pdf.
- ROSANA OLIVEIRA MENEZES; SAMUEL RODRIGUES CASTRO; JONATHAS BATISTA GONÇALVES SILVA; GISELE PEREIRA TEIXEIRA; MARCO AURÉLIO MIGUEL SILVA. Análise estatística da caracterização gravimétrica de resíduos sólidos domiciliares: estudo de caso do município de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2019. <https://doi.10.1590/s1413-41522019177437>.
- RURAL, M. -. MF Rural - Compre e Venda Produtos Agro em todo Brasil. MF - Rural. [S.l.], p. <http://www.mfrural.com.br>. 2023.
- SANTOS, J. C. M. D. Tecnologias de conversão térmica para aproveitamento de resíduos polímeros : modelagem e simulação, 2022. https://bdt.ibict.br/vufind/Record/UFCEG_69b7d8aeb7bfc0f51247b08cba0aaa9.
- SASCHA R. A. KERSTEN; XIAOQUAN WANG; WOLTER PRINS AND WIM P. M. VAN SWAAIJ. Biomass Pyrolysis in a Fluidized Bed Reactor. Part 1: Literature Review and Model Simulations. [S.l.], p. <https://doi:10.1021/ie0504856>. 2005.
- SAVVAS DOUVARTZIDES; NIKOLAOS D. CHARISIOU; WEN WANG; VAGELIS G. PAPADAKIS; KYRIAKI POLYCHRONOPOULOU; MARIA A. GOULA. Pirólise rápida catalítica de resíduos agrícolas e culturas energéticas dedicadas para a produção de biocombustíveis de transporte de alta densidade energética. Parte II: Pesquisa catalítica, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.106>.
- SCARAFIZ, G. Análise Comparativa Econômica Entre Plantas de Incineração e Gaseificação Para O Processamento de Resíduos Sólidos Urbanos, 2023. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/37757>.
- SHAOHENG GE; DEZHEN CHEN; LIJIE YIN A B, LIU HONG;, HONGQUAN ZHOU; ZHEN HUANG. Municipal solid wastes pyro-gasification using high-temperature flue gas as heating resource and gasifying agent, New York, 2022. <https://doi:10.1016/j.wasman.2022.06.010>.
- SILVA, MARIA CRISTINA BASÍLIO CRISPIM DA; LIMA, GUSTAVO FERREIRA DA COSTA. Análise da inclusão dos catadores na gestão dos resíduos sólidos urbanos em municípios do litoral sul do estado de Pernambuco / Brasil, 2022. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/28065>.
- SILVEIRA, H. D.; OLIVEIRA, R. B. D. Modelo Jurídico Tecnológico Institucional de Utilidade Pública: Sistema de Parceria Estratégica. MU8802432-6 U2, 28 out. 2010. Disponível em: <<https://github.com/Oika-Tecnologia-Inovacao/Quem-Somos/blob/main/Carta%20Patente%20INPI-2010-%20Moderno%20Metodo%20de%20Gest%C3%A3o%20-%20MU8802432-6.pdf>>.
- SILVEIRA, H., MARANI, I. R. Modelo De Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos: Inovação organizacional, dimensionamento de Usina CDR / RCG para associações de catadores de recicláveis da cidade de Uberlândia MG, 2023. isponível em: <https://github.com/Oika-Tecnologia-Inovacao/Quem-Somos/blob/main/Modelo%20de%20Gest%C3%A3o%20de%20Res%C3%ADuos%20S%C3%B3lidos%20Urbanos%20-%20Inova%C3%A7%C3%A3o%20Organizacional%20Dimencionamento%20CDR%20WTE.pdf>.
- SIMONE SEDANO FONTÃO; LILIAN PITTOL FIRME DE OLIVEIRA. A importância da associação de catadores de materiais recicláveis: o contexto social dos catadores, 2020. <http://revistaea.org/artigo.php?idartigo=3997>.
- SOARES, A. M. A. Política Nacional de Resíduos Sólidos e Marco Regulatório das Organizações da Sociedade Civil : reflexões sobre as influências na sustentabilidade das associações de catadores. <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1568>.

- SOUZA, A. C.; SILVEIRA, J. L. Ensinando os princípios básicos da reforma a vapor para a produção de hidrogênio. In Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia—COBENGE, 2004. http://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/15/artigos/01_363.pdf.
- SUZANA GUIMARÃES DE LIMA; LIZANDRO DE SOUSA SANTOS; LUCIANE PIMENTEL COSTA MONTEIRO. Simulação da pirólise de resíduos para a produção de combustível limpo / Pyrolysis simulation of residues for the clean fuel production, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n8-205>.
- SYAMLAL, M.; ROGERS, W.; O'BRIEN, T. J. Mfix: documentation theory guide". Office of Scientific and Technical Information (OSTI), 1993. <https://www.osti.gov/servlets/purl/10145548>.
- TAN LI; JING SU; CONG WANG; ATSUSHI WATANABE; NORIO TERAMAE C, HAJIME OHTANI; KAIGE WANG. Advances in the development and application of analytical pyrolysis in biomass research: A review. *Energy Conversion and Management*, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116302>.
- TARSO JOSÉ TÚLIO; ARNO PAULO SCHMITZ. Análise custo-benefício das mudanças tecnológicas: caso de um consórcio de gestão de resíduos sólidos na região metropolitana de Curitiba, Brasil, 2023. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220230002>.
- TOSIN ONABANJO SOMORIN; SOLA ADESOLA; AISHA KOLAWOLE. Avaliação a nível estatal do potencial de transformação de resíduos em energia (através da incineração) de resíduos sólidos municipais na Nigéria, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.228>.
- VAN DE VELDEN, MANON; BAEYENS, J.; BOUKIS, I. Operating parameters for the circulating fluidized bed (CFB) pyrolysis of biomass. [S.l.], p. chrome-extension://efaidnhttps://folk.ntnu.no/skoge/prost/proceedings/ecce6_sep07/upload/extra-abstracts-volume1/40-t1-5a.pdf. 2007.
- YOLANDA PIRES; NELSON OLIVEIRA. Aumento da produção de lixo no Brasil requer ação coordenada entre governos e cooperativas de catadores. Senado Federal. Brasília, DF, p. <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2021/06/aumento-da-producao-de-lixo-no-brasil-requer-acao-coordenada-entre-governos-e-cooperativas-de-catadores>. 2021.
- YOUNES CHHITI; SYLVAIN SALVADOR; JEAN-MICHEL COMMANDRÉ; FRANÇOIS BROUST. Decomposição térmica do bio-óleo: Foco nos rendimentos dos produtos sob diferentes condições de pirólise, 2012. <https://doi:10.1016/j.fuel.2012.06.098>.
- ZACHARY REINKING; KEVIN J. WHITTY; JOANN S. LIGHTY. Projeto de um separador gás-sólido-sólido para remover cinzas de reatores de leito fluidizado circulante, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117467>.

DECLARAÇÃO DE INTERESSE CONCORRENTE E RECONHECIMENTO.

O Autor relata que não haver conflitos de interesse.

ANEXOS.

O autor anexa documentação de trâmites com instituições democráticas em proposição de modelo de utilidade pública para alianças intersetoriais que vêm evoluindo desde 2004, para em 2024 indicar aplicação na gestão colaborada de resíduos sólidos urbanos, transformando-os em gasogênio e fertilizantes em atendimento às metas do Planares (2022) e a prioridade das políticas industrial e tecnologia nacional. Realiza-se demanda de acesso ao desenvolvimento de inovação organizacional de efetiva extensão e responde protocolo do Ministério das Minas e Energia, fundamentando no Art. 3º e 19. da Lei 10.973/2004 e no Art.3º e Art. 5º inciso XXIX da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.

ANEXOS

Anexo 1 - 2005 - Carta de Reconhecimento – Cujo Compromisso de Formação pela EESC-USP é de Trabalhar em Promoção aos pelo Desenvolvimento Nacional – Art. 3º CF/88

Para Quem de Direito

Sirvo-me deste meio para informar que o Eng. Hermano da Silveira foi meu bolsista pré-universitário no antigo Laboratório de Metrologia na EESC-USP nos idos de 1995. Ali desenvolveu seus estudos visando entrar na universidade e, paralelamente, trabalhos laboratoriais incluindo montagens de sistemas experimentais. Através do vestibular do Instituto de Ciências Matemáticas foi admitido na EESC. Diplomou-se no Departamento de Engenharia Elétrica. Sempre demonstrou grande dedicação e esforço no cumprimento das obrigações na busca de seus objetivos. Paralelamente é pessoa honesta, sociável, educada e cooperativa, excelente para trabalho em grupo.

Da forma exposta, recomendo-o para receber o apoio desejado visando a implantação de sua miniempresa, na confiança de que cumprirá seus objetivos.


Geraldo Lombardi
Coord. do NETeF

São Carlos, 01 de outubro de 2005



Anexo 2 - 2004 - Interlocução de Alianças Estratégicas - Parcerias Sociais em Desenvolvimento de Modelo de Utilidade Pública de Gestão Colaborativa



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
Gabinete Pessoal do Presidente da República

Brasília, 16 de junho de 2004.

HERMANO DA SILVEIRA

Avenida Trabalhador Sarcartense, 400 - Alcj. - Q. 32 - USP -
13566590 - SÃO CARLOS - SP

Prezado Senhor,

Registramos o recebimento de sua carta de 25/05/2004. O Presidente Luiz Inácio Lula da Silva agradece os comentários e pede-lhe para acompanhar, pelos meios de comunicação, as ações empreendidas pelo Governo em benefício do reerguimento do País. Exemplo disso são os programas de largo alcance 'Fome Zero', 'Primeiro Emprego' e 'Brasil Alfabetizado'.

O Presidente pede ainda para continuar participando cada vez mais da construção do país com que todos sonhamos.

Quanto a seu projeto, permita-nos sugerir o encaminhamento para o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, no endereço: Esplanada dos Ministérios, Bloco 'J' CEP: 70053-900 Brasília/DF, onde será analisado com toda a consideração.

Atenciosamente,

CLAUDIO SOARES ROCHA
Diretor
Diretoria de Documentação Histórica

Anexo 3 - 2008 - Invento Publicado INPI– Aplicado ao Gerenciamentos Cooperado de RCG.
Demanda incentivos do Art. 5º inciso XXIX da CF/88 e do Art. 19. da Lei nº 10.973/04



(21) **MU8802432-6 U2**



(22) Data de Depósito: 28/10/2008
(43) Data da Publicação: 29/06/2010
(RPI 2060)

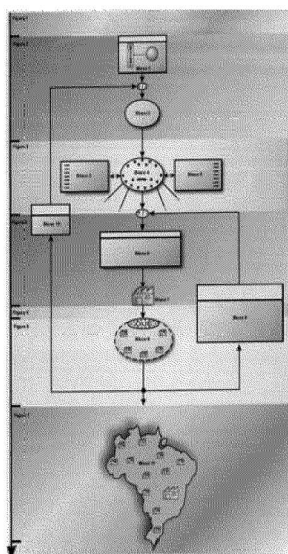
(51) *Int.Cl.:*
G06Q 90/00

(54) Título: **MODELO JURÍDICO TECNOLÓGICO INSTITUCIONAL DE UTILIDADE PÚBLICA: SISTEMA DE PARCERIA ESTRATÉGICA**

(73) Titular(es): HERMANO DA SILVEIRA, ROGÉRIO
BERNARDES DE OLIVEIRA

(72) Inventor(es): HERMANO DA SILVEIRA, ROGÉRIO
BERNARDES DE OLIVEIRA

(57) Resumo: Proposto é uma tecnologia social que se materializa sob a forma de um Fluxo grama de Controle Cronológico de Desenvolvimento, por meio do qual são acionadas formas específicas de parcerias estratégicas. O modelo é mensurado, monitorado e controlado por um ferramental da engenharia de controle, conhecido como digrama de bloco de malha fechada. Por meio deste diagrama de bloco obtém-se o equacionamento sistêmico, que é dado pelas funções de transferência, garantindo a construção de mecanismos de eficiência e estabilidade de operação. Esse ferramental é aplicado no desenvolvimento de parcerias estratégicas e institucionais envolvendo, sistêmica e sinergicamente, instituições científicas e tecnológicas, organizações da sociedade civil de interesse público, agências de fomento, núcleos de inovação tecnológica, parques tecnológico-industriais, micro, pequenas e médias empresas de base tecnológica, inventores independentes e inventores industriais. O modelo, portanto, é um ferramental social dinâmico, que mobiliza as dimensões societais públicas e privadas proporcionando o alinhamento e o desenvolvimento integrado de agentes da sociedade civil e das estruturas do estado em consonância com a lógica do circuito integrado de controle.



Anexo 4 – 2010 - Demanda de Justiça Gratuita em Acesso a Efetiva Extensão



PODER JUDICIÁRIO

SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA

PETIÇÃO

Pet 8078/DF (2010/0145513-0)

Volume : 1/1 Autuado em 06/09/2010
 Assunto : DIREITO ADMINISTRATIVO E OUTRAS MATÉRIAS
 DE DIREITO PÚBLICO - Serviços - Ensino
 Superior - Financiamento Privado da
 Educação e/ou Pesquisa
 REQUERENTE : HERMANO DA SILVEIRA
 ADVOGADO : JOSÉ OSIL MAXIMIANO
 REQUERIDO : MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
 REQUERIDO : SECRETÁRIA DE ESTADO DE CIÊNCIA,
 TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR - SECTES
 REQUERIDO : FUNDAÇÃO DE AMPARO A PESQUISA DO ESTADO DE
 MINAS GERAIS - FAPEMIG
 REQUERIDO : UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 ADVOGADO : JOSE MARCO TAYAH
 REQUERIDO : CAIXA ECONÔMICA FEDERAL DE BRASÍLIA - CEF
 Distribuição automática em 13/09/2010
 RELATOR : MINISTRO HERMAN BENJAMIN - SEGUNDA TURMA
 Justiça gratuita

Anexo 5 - 2009 - CNPJ OSC Oika Constituída Para Atividades de Colaboradas Associativa
Integração de Cientistas e Sociedade na Produção de Máquinas Térmicas em EPS

 REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL CADASTRO NACIONAL DA PESSOA JURÍDICA			
NÚMERO DE INSCRIÇÃO 11.675.963/0001-01 MATRIZ	COMPROVANTE DE INSCRIÇÃO E DE SITUAÇÃO CADASTRAL		DATA DE ABERTURA 28/08/2009
NOME EMPRESARIAL OIKA TECNOLOGIA & INOVACAO			
TÍTULO DO ESTABELECIMENTO (NOME DE FANTASIA) OIKA TECNOLOGIA & INOVACAO			
CÓDIGO E DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE ECONÔMICA PRINCIPAL 74.90-1-99 - Outras atividades profissionais, científicas e técnicas não especificadas anteriormente			
CÓDIGO E DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS SECUNDÁRIAS 85.42-2-00 - Educação profissional de nível tecnológico 69.11-7-02 - Atividades auxiliares da justiça 70.20-4-00 - Atividades de consultoria em gestão empresarial, exceto consultoria técnica específica 94.12-0-00 - Atividades de organizações associativas profissionais			
CÓDIGO E DESCRIÇÃO DA NATUREZA JURÍDICA 399-9 - ASSOCIAÇÃO PRIVADA			
LOGRADOURO R AREDIO SANTANA DE ANDRADE	NÚMERO 980	COMPLEMENTO GALPAO: VILA DA SSVF;	
CEP 38.200-000	BAIRRO/DISTRITO ALTO BOA VISTA	MUNICÍPIO FRUTAL	UF MG
SITUAÇÃO CADASTRAL ATIVA		DATA DA SITUAÇÃO CADASTRAL 28/08/2009	
MOTIVO DE SITUAÇÃO CADASTRAL			
SITUAÇÃO ESPECIAL *****		DATA DA SITUAÇÃO ESPECIAL *****	

Fonte: <https://github.com/Oika-Tecnologia-Inovacao/Quem-Somos>

Anexo 6 - 2024 - CNPJ OSC Cooperadas Atividades de Cientistas e Catadores OSC Oika
Regulamentação e declara de Atividades Associativas Supra Relacionadas

 REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL CADASTRO NACIONAL DA PESSOA JURÍDICA			
NÚMERO DE INSCRIÇÃO 11.675.963/0001-01 MATRIZ	COMPROVANTE DE INSCRIÇÃO E DE SITUAÇÃO CADASTRAL		DATA DE ABERTURA 28/08/2009
NOME EMPRESARIAL OIKA TECNOLOGIA & INOVACAO			
TÍTULO DO ESTABELECIMENTO (NOME DE FANTASIA) OIKA TECNOLOGIA & INOVACAO			PORTE DEMAIS
CÓDIGO E DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE ECONÔMICA PRINCIPAL *****			
CÓDIGO E DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS SECUNDÁRIAS *****			
CÓDIGO E DESCRIÇÃO DA NATUREZA JURÍDICA 399-9 - Associação Privada			
LOGRADOURO *****	NÚMERO *****	COMPLEMENTO *****	
CEP *****	BAIRRO/DISTRITO *****	MUNICÍPIO *****	UF *****
ENDEREÇO ELETRÔNICO SILVEIRA.HERNANO@GMAIL.COM	TELEFONE (34) 9131-5486/ (34) 9991-9820		
ENTE FEDERATIVO RESPONSÁVEL (EFR) *****			
SITUAÇÃO CADASTRAL INAPTA		DATA DA SITUAÇÃO CADASTRAL 23/01/2019	
MOTIVO DE SITUAÇÃO CADASTRAL Omissão De Declarações			
SITUAÇÃO ESPECIAL *****		DATA DA SITUAÇÃO ESPECIAL *****	

Fonte: https://solucoes.receita.fazenda.gov.br/Servicos/cnpjreva/Cnpjreva_Comprovante.asp

Anexo 7 - Instituto Federal de Gestão de Gestão Colaborativa OSC Tratamento de RSU
Ambientes Produtivos de Economia Solidária (NIT – Lei nº 10.973/2004)



SISTEMA DE PARCERIA ESTRATÉGICA

Junho/2009

ÀS POLÍTICAS PÚBLICAS INCLUSIVAS: PROTÓTIPO DE
AMBIENTES PRODUTIVO SOLIDÁRIO DE GESTÃO PPP
INSTITUIÇÃO DEMOCRÁTICA DE DIREITOS



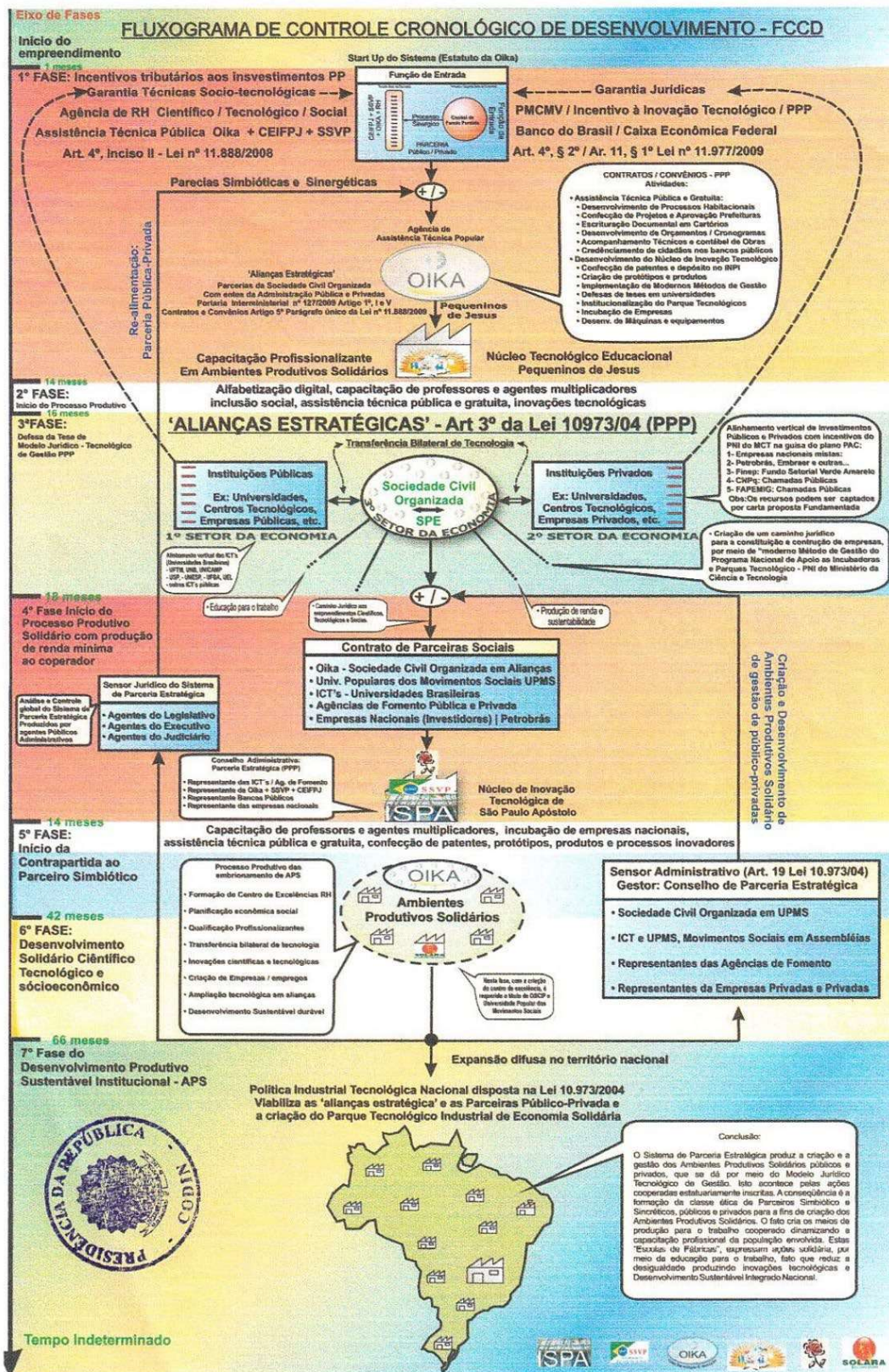
Núcleo Inovação Tecnológica de São Paulo Apóstolo
Agência de Assistência Técnica Pública Oika
Núcleo Tecnológico Educacional - PJ

FERRAMENTAS DESENVOLVEDORAS DE: PARCERIAS INTER-ORGANIZACIONAIS¹
GESTÃO EM ALIANÇAS SINERGÉTICAS E SOLIDÁRIAS

PARCEIROS SOCIAIS PARA O BEM!	OBJETIVOS COMUNS
REUNIDOS SINERGICAMENTE PELO: 'ESTADO DEMOCRÁTICO DE DIREITOS' => SOCIEDADE CÍVEL ORGANIZADA => PEQUENINOS DE JESUS + OIKA + AMABV => + VICENTINOS + ANTONINOS + PESSOAS => FÍSICAS E JURÍDICAS AFINS => SOCIEDADE CÍVEL NÃO ORGANIZADA	EDUCAÇÃO PARA O TRABALHO COM PRODUÇÃO DE RENDA EM AMBIENTES PRODUTIVOS SOLIDÁRIOS DE GESTÃO DE PARCERIAS PÚBLICO-PRIVADAS - INSTITUIÇÕES DEMOCRÁTICAS NO EXERCÍCIO DA CIDADANIA PELO DESENVOLVIMENTO NACIONAL

¹ 'ESTADO DEMOCRÁTICO DE DIREITO' – EDUCAÇÃO PARA O TRABALHO E SUSTENTABILIDADE

Anexo 8 - 2010 - Fluxograma de Controle Cronológico de Desenvolvimento Protocolado na Presidência da República Federativa do Brasil - Gestão de Parcerias SISTEMA DE PARCERIA ESTRATÉGICA AOS PROGRAMAS DE POLÍTICAS PÚBLICAS INCLUSIVAS



Fonte: Protocolo Gabinete Presidência da República.

Anexo 9 - 2012 - Interlocação de Alianças Estratégicas - Parcerias Sociais para capacitação social inclusiva em Universidade Popular dos Movimentos Sociais – MPMS (Paulo Freire)

NUP 00001.002867/2012-31



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
GABINETE PESSOAL DA PRESIDENTA DA REPÚBLICA
Tel. (61) 3411-1159
Fax. (61) 3411-1865

Ao Senhor
HERMANO DA SILVEIRA
Relator do Projeto de Parceria Social
Agência de Assistência Técnica Oika - IGB

FONE/FAX: (34)3421-0147 / E-MAIL: oikainova@gmail.com

DATA: 04/05/2012	Nº PÁG: Esta +	Nº DOC: 639/2012/GP/GAB/GESTÃO/DGI
------------------	----------------	------------------------------------

Prezado Senhor,

Acuso o recebimento de correspondência s/n.º, de 02/05/2012, dirigida à Excelentíssima Senhora Presidenta da República, pela qual solicita apoio ao projeto de constituição das Universidades Populares dos Movimentos Sociais - UPMS.

Pela natureza do assunto, informo que o expediente foi encaminhado ao Ministério da Educação, por meio do Ofício n.º 1409/2012-GP/GAB/GESTÃO/DGI, e à Secretaria-Geral da Presidência da República, por meio do Memorando n.º 665/2012-GP/GAB/GESTÃO/DGI.

Atenciosamente,

ELISA SMANEOTO
Diretora de Gestão Interna
Gabinete-Adjunto de Gestão e Atendimento

Anexo 10 - 2014 - Interlocução de Universidade Federal de Uberlândia em Pleito de Programa de Pós-graduação Interinstitucional em Demandando de Incentivos



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
REITORIA



Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Diretoria de Pós-Graduação

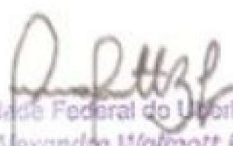
Av. João Naves de Ávila, 2121 - Campus Santa Mônica
Bloco 3P - 3239-4981 CEP 38408-144 - Uberlândia - MG
reitoria@ufu.br / dirpg@conpp.ufu.br <http://www.ufu.br>

Uberlândia, 18 de julho de 2014.

OF/DIRPG/020/2014.

Prezado Senhor, em resposta à carta solicitando pleite de Pós-graduação Interinstitucional, informo-lhe que não há Programa de Pós-graduação, ou Curso de Mestrado/Doutorado, na área mencionada, menos ainda com a natureza de Programa Interinstitucional.

São as informações a prestar.


Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Dr. Alexandre Walmott Borges
Diretor de Pós-Graduação
Portaria RE nº 2569/2012

Anexo 11 - 2024 - Anexo 10 - Interlocação com a Presidência da República Demanda Aliança Estratégica – Defesa de Mestrado em Biocombustível

05/02/2024, 16:02

Email – Hermano da Silveira – Outlook

[Fala.BR] Manifestação Respondida no Sistema

nao-responder.falabr@cgu.gov.br <nao-responder.falabr@cgu.gov.br>

Seg, 05/02/2024 14:27

Para:Hermano da Silveira <hermano.silveira@ufu.br>

Prezado(a) Hermano da Silveira,

Sua manifestação apresentada no sistema Fala.BR foi respondida em 05/02/2024, conforme os dados abaixo.

Dados da Manifestação

Protocolo: [48003.000339/2024-98](#)

Órgão ou Entidade: MME – Ministério de Minas e Energia

Cidadão: Hermano da Silveira

Tipo de Manifestação: Sugestão

Prazo para Atendimento: 15/02/2024

Descrição da Manifestação: Uma OSC quer contar ao Exmo. Presidente que nós brasileiros encontramos uma solução tecnológica sensível ao País e pedimos um minuto da atenção do sr. Presidente da República para ler nossa carta. Excelentíssimo Senhor Presidente da República Luiz Inácio Lula da Silva, Espero que esta missiva o encontre bem. Meu nome é Hermano da Silveira e atuo como diretor geral na OSC Oika, que tem dedicado seus esforços desde 2004 à missão de reunir cientistas em prol do Brasil, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologia em favor de nosso amado País. Aos moldes do Gasogênio no Brasil, entre as décadas de 40 e 60, sugerimos um modelo de gestão de resíduos a ser aplicado pelo Estado para integrar a matriz energética nacional, porém utilizando lixo em vez de floresta para gerar um gás alternativo ao GLP, que é o nosso principal combustível doméstico. À época, em apenas 3 anos da criação da Comissão do Gasogênio, faltou madeira, lenha e derivados na cidade de São Paulo, pois destas se fazia o gás. Queremos entregar a este Governo uma tecnologia para consumir e findar todo o acúmulo de lixo urbano antes da COP30 chegar: não só em Belém, Blumenau e Brasília, mas em todo o território nacional, de forma que todo brasileiro possa contribuir para eliminação da poluição e aumento da produção energética no País simplesmente ao continuar produzindo o lixo que já produz: sem precisar de turbinas de milhões de reais nem de transportar combustíveis pela malha viária brasileira. Esperamos que isto solucione os principais problemas socioambientais e econômicos relacionados à lixo e energia no Brasil de hoje. Estamos à disposição para uma apresentação presencial, caso seja de interesse do Senhor Presidente, para discutir detalhes e alinhar nossos objetivos com as diretrizes governamentais. Agradecemos pela atenção dispensada a esta proposta e permanecemos à disposição para colaborar em pr ol de um Brasil mais sustentável e inovador. Respeitosamente, Hermano da Silveira, OSC Oika

Resposta

Agradecemos o seu contato e informamos que precisamos de informações adicionais para compreensão do processo produtivo, bem como para avaliar se o projeto é, de fato, revolucionário, justificando recomendar que seja apresentado ao Presidente da República.

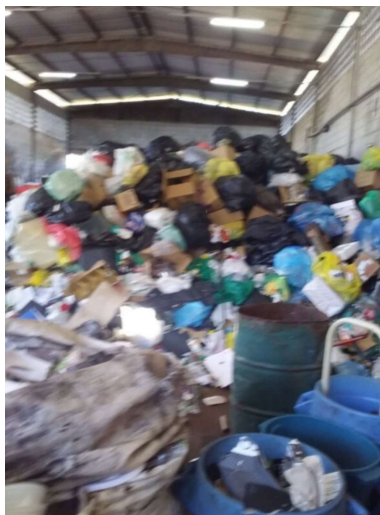
Diante disso, recomendamos uma videoconferência para que a OSC Oika apresente o projeto ao MME, ao MMA e ao Ministério das Cidades, para conhecermos a iniciativa e termos melhores condições para avaliá-la.

<https://outlook.office365.com/mail/inbox/id/AAQkAGVIZTkyYjZlTY3ZmYNDY4OS1iYzJlWUyZjEYNWMyNjRlYgAQAPMvVEOUHhNKuSVR7s2...> 1/2

Fonte: Documentos de Interlocação Pública – Defesa de Mestrado em Biocombustível

Vide Videoconferência: <https://www.youtube.com/watch?v=ujE4REZ12zs>

Anexo 12 - 13/03/2024 – Demanda continuidade pós-graduação de doutorado no IQ/UFU no Programa de Biocombustível, em previsões de efetiva extensão, art. 5º inciso XXIX CF/1988, Lei nº 13.243/2016 e Lei nº 10.973/2004. Seguem fotos das atividades da OSC Oika e apoio do CIEPS/UFU, na elaboração de maquete de atendimento a gestão colaborativa de resíduos em economia popular solidária, sendo dimensionados para duas associações de recicladores.



Fotos: Atividade de trabalho da Oika Tecnologia & Inovação no CIEPS/PROEXC/UFU.

Anexo – 13 - Apresentação da Dissertação dia 23/02/2024

<https://www.youtube.com/watch?v=ujE4REZ12zs>

Combustível de Emergência Nacional

Política Pública Energética de 1938 Criação da Comissão Nacional do Gasogênio

Considerando os combustíveis como principais fontes de energia utilizada na circulação dos valores possuindo um valor inestimável na economia dos povos. Considerando que os países que importam tais produtos têm o dever, quer sob o ponto de vista econômico, quer sob o ponto de vista militar, de cuidar com todo empenho da produção e desenvolvimento dos mesmos, quando possível, ou de utilizar toda e qualquer fonte energética que possam substituir os combustíveis universalmente conhecidos (BRASIL, 1939, p. 84).

A presente inovações organizacionais de gestão colaborativa de resíduos sólidos urbanos, demanda publicidade e encaminhamento à Câmara de Ciência Tecnologia e Inovação PGF AGU. Onde pede as providencias de acessos à efetiva extensão ao desenvolvimento da matéria e cumprimento às normativas indutoras do desenvolvimento nacional Art. 3º CF/88.



OSC Oika Tecnologia & Inovação – Organização da Sociedade Científico, Civil Indígena, Quilombola de Interesse Público Econômico Ambiental Sustentável: Sistema de Parceria Social - Alianças Estratégicas.

<https://github.com/Oika-Tecnologia-Inovacao/Quem-Somos>

Documento assinado digitalmente
gov.br HERMANO DA SILVEIRA
Data: 13/03/2024 16:05:56-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

<https://www.youtube.com/watch?v=ujE4REZ12zs>

Hermano da Silveira (34-992131673)

e-mail: hermano.silveira@ufu.br