

**MODELO DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:**  
Inovação organizacional, dimensionamento de Refinarias CDR / WTE  
para associações de catadores de recicláveis da cidade de Uberlândia MG

**HERMANO DA SILVEIRA <sup>a</sup> IGOR RODRIGUES MARANI<sup>b</sup>,  
ANTONIO JOSÉ VINHA ZANUNCIO<sup>c</sup>, JOSÉ LUZ SILVEIRA<sup>d</sup>,  
CRISTIANE BETANHO<sup>e</sup>, ALLYN SON TAKEHIRO FUJITA<sup>f</sup>**

<sup>a</sup> Discente Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis da UFU. E-mail: [hermano.silveira@ufu.br](mailto:hermano.silveira@ufu.br)

<sup>b</sup> Tecnólogo em Gestão Financeira. Email: [igor.marani@ufu.br](mailto:igor.marani@ufu.br)

<sup>c</sup> Professor do Programa de Pós-graduação em Biocombustível / UFU. E-mail: [ajvzanuncio@gmail.com](mailto:ajvzanuncio@gmail.com)

<sup>d</sup> Professor no Instituto de Pesquisa em Bioenergia IPBEN / UNESP. E-mail: [jose.luz@unesp.br](mailto:jose.luz@unesp.br)

<sup>e</sup> Professora na Faculdade de Gestão de Negócio - FAGEN - CIEPS / UFU. [crisbetanho@ufu.br](mailto:crisbetanho@ufu.br)

<sup>f</sup> Professor na Universidade do Estado de Minas Gerais UEMG. E-mail: [allynson.fujita@uemg.br](mailto:allynson.fujita@uemg.br)

## **ABSTRACT**

In order to mitigate ambiental impacts of trash Generation and to build up alternatives for work and revenue, this paper has investigated the dimensioning of a syngas generation plant from municipal solid waste (MSW) for collectors cooperatives and came to its conclusions by research on the literature.

It was verified the applicability, partnerships for organizacional innovation in residue management and the possible necessary technologies to accomplish the lowest price in the implementation of the system, which is promising in the resolution of economical and socioenvironmental issues of the constant rising in the volume of trash generated in the cities.

**Key-words:** Organizacional innovation; Waste To Energy, Circular economy, Pyrolysis.

## **RESUMO**

Para mitigar impactos ambientais da geração do lixo e criar alternativas de geração trabalho e renda, este estudo investigou o dimensionamento de usinas de geração de gás de síntese a partir de resíduos sólidos urbanos (RSU) para cooperativas de catadores e chegou aos resultados através da pesquisa na literatura.

Verificou-se vias para aplicabilidade, parcerias para inovação organizacional na gestão de resíduos e as possíveis tecnologias necessárias para atingir o menor custo ao implementar o sistema, que é promissor na resolução de problemas econômicos e socioambientais do aumento constante do volume de lixo gerado nas cidades.

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

## **1. INTRODUÇÃO**

Segundo dados do Banco Mundial, estima-se que até 2050 serão gerados pelo mundo quase 70% a mais de resíduos que em 2020. Para minimizar esse impacto, alguns países buscam usar tecnologia e inovação, tendo a recuperação energética, principalmente a pirólise, como prioridade na gestão (ANDRADE, 2022; IPEA, 2021; ENGELMANN, 2021; FREITAS, 2021; TULIO, 2020).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, determina que o setor público, em todas as suas esferas, e o setor privado realizem a gestão de resíduos sólidos. Para relacionar as universidades neste desenvolvimento, existem mecanismos legais para regulamentação da extensão tecnológica (Lei nº 10.973/04; Lei nº 13.243/16) e práticas de pesquisa e extensão nas universidades. Estas leis de inovação tecnológica viabilizam a organização social da produção através de parcerias, utilizando o modelo de Silveira (2010). O chamado do modelo às alianças estratégicas aciona a Política Nacional de Biocombustíveis – RenovaBio (13.576/17) e as organizações em cooperação coordenada para economia circular, fator estruturante de arranjo produtivo local (APL) de economia popular solidária para o nicho de mercado da biomassa energética (BETANHO; FERNANTES, 2017).

## **2. OBJETIVOS**

Dimensionar processos termoquímicos e organizacionais para possibilitar a conversão dos resíduos sólidos urbanos em combustíveis e fertilizantes, oferecendo oportunidades de geração de trabalho e renda através da economia circular e modelos organizacionais no processo de reciclagem do RSU amparados pela legislação normativa e a literatura técnica.

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1. Metodologia**

Na pesquisa documental de políticas públicas analisaram-se as Lei nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos), Lei nº 13.019/2014 (Marco regulatório do terceiro setor), Lei nº 13.243/2016 (Marco Legal Institucional – efetiva extensão), Lei 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.

As ferramentas jurídicas, como a PNRS e Fontão (2020) e MROSC (em dispositivo que aciona ao preterido por Soares (2019) sobre a transparência e garantias para OSCs), 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).

A metodologia utilizada para a caracterização dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e resíduos sólidos domésticos (RDO) foi extraída de experimentos elaborados com biomassa de origem animal e vegetal, com simulações e análise térmica elaborada por De Lima (2021), no sentido de aplicar novas tecnologias ao aproveitamento dessa matéria prima. Por meio da análise térmica gravimétrica (TGA) e a calorimetria diferencial de varredura (DSC), foi verificada a eficiência da transição de biomassa em gás natural de resíduos. Foram estudados experimentos em leito Fluidizado Circulante (CFB) para a desintegração da biomassa (VELDEN et al., 2010).

### **3.2. Tratamento termoquímico de RSU em leito fluidizado circulante (CFB)**

Foram pesquisados reatores CFB com o objetivo de otimizar a conversão de resíduos em energia de forma eficiência e sustentável. Em um reator de pirólise, ocorrem dois estágios: o primário, onde a biomassa se decompõe em carvão sólido, bio-óleo, gás e água, e o secundário, onde ocorre decomposição adicional e formação de mais produtos gasosos. Um maior tempo de residência e elevação de temperatura, produzirá mais gases de síntese (BITTENCOURT, F. P., 2020).

O projeto do reator de pirólise leva em conta suas condições de operação e depende da relação do PCI das entradas de biomassa (MJ/kg). Sua eficiência em termos de rendimento e é controlada pelo tempo de residência, taxa de fornecimento de biomassa e transferência de calor (NAGARAJA, 2021).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

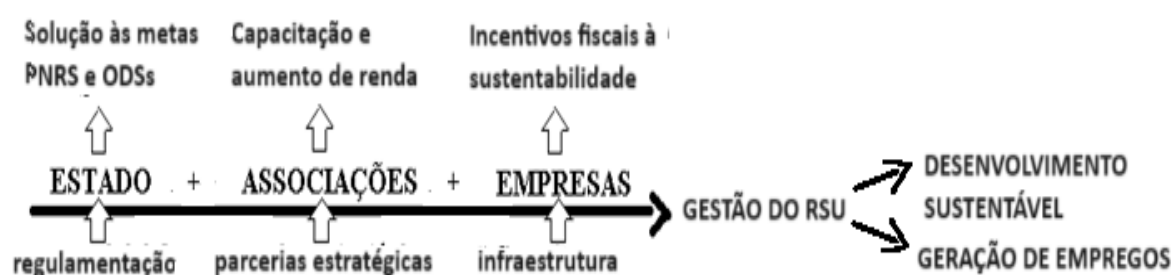
### 4.1. Dimensionamento quantitativo de resíduos RSU

Pelo levantamento quantitativo das associações de catadores e aterros em Uberlândia, juntas dispõem de 166,76 toneladas diárias em rejeitos nos parceiros das associações do atual modelo municipal de tratamento do RSU (DMAE, 2021), cuja finalidade para o presente estudo é a avaliação para o tratamento termoquímico. Esta quantidade possibilita, utilizando os dados de Scarafiz (2023), a implementação de uma planta de gaseificação com 0% de TIR e isenta de juros como investimento público com a finalidade de gerir 150 ton./dia de CDR de forma ambientalmente e socialmente responsável através da transição energética de resíduos para energia renovável e geração de renda (MORANDEIRA-ARCA et al., 2021).

### 4.2. Modelo de gestão municipal de RSU

A transição da biomassa de RSU/RDO para energia renovável possui bases na PNRS quanto ao desenvolvimento sustentável (requerendo infraestrutura logística adequada para apoiar o comércio de matéria-prima de biomassa e intermediários) e é acompanhado por preocupações ambientais, sociais e econômicas inter-relacionadas (MURADIN et al, 2020; MENEZES, 2019).

Figura 1: Modelo de economia circular na gestão do tratamento de RSU



Fonte: Marani I. e Silveira H. (2023);

A figura 1 refere-se a modelo de economia circular para gestão de RSU, através de de parcerias estratégicas (passivos abaixo, ativos acima). É baseado na inovação em dois níveis: o nível individual e o nível coletivo do plano municipal de gestão de sólidos. Cada um dos agentes envolvidos é beneficiado em troca de sua cooperação. Utilizando as tecnologias em seu nível individual, são capazes de aumentar sua renda, gerar capacitação, receber benefícios como incentivos fiscais e atender aos objetivos das políticas públicas nacionais e de acordos

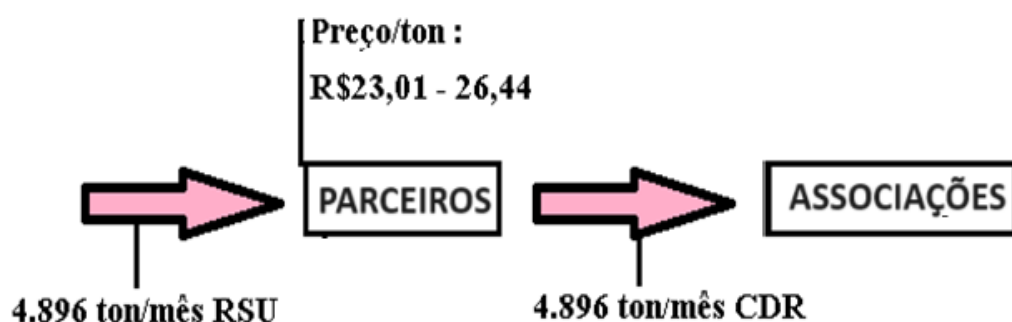
internacionais para o desenvolvimento sustentável como os objetivos de desenvolvimento sustentável (ONU, 2000). Quando em nível coletivo do plano municipal de gestão de resíduos, geram empregos e cooperam para o desenvolvimento sustentável através de infraestrutura, alianças estratégicas e gestão compartilhada do tratamento de RSU.

#### 4.3. Tratamento prévio em parceiros

Considerando o teor de água necessária no sistema e os dados utilizados de Carneiro (2007) e Shafiq et al. (2021), demonstra-se que é desnecessário submeter o resíduo a tratamento de secagem, economizando 93,24MW (R\$29.325,00 a R\$43.089,00 por mês entre horários fora-ponta e ponta, respectivamente, economiza-se ainda com a exonerados os impostos em face das atividades associativas OSC. Pela modelagem para envasamento de botijões de gás dispensando equipamentos de estocagem que encarecem o processo, além de reduzir o espaço necessário.

O triturador utilizado como exemplo possui dimensões 1800 x 800 x 1150 mm e 205 kg de peso, com capacidade de triturar até 1,24 ton./hora de RSU cada. Estima-se que o custo base repassado às associações pelos parceiros por tonelada de CDR entregue varie entre R\$23,01 a R\$26,44. Os custos com frete não foram contabilizados, sendo necessário garantir que esta taxa repassada às associações possa flutuar.

Figura 2: Parceiros Das Associações No Modelo De Gestão

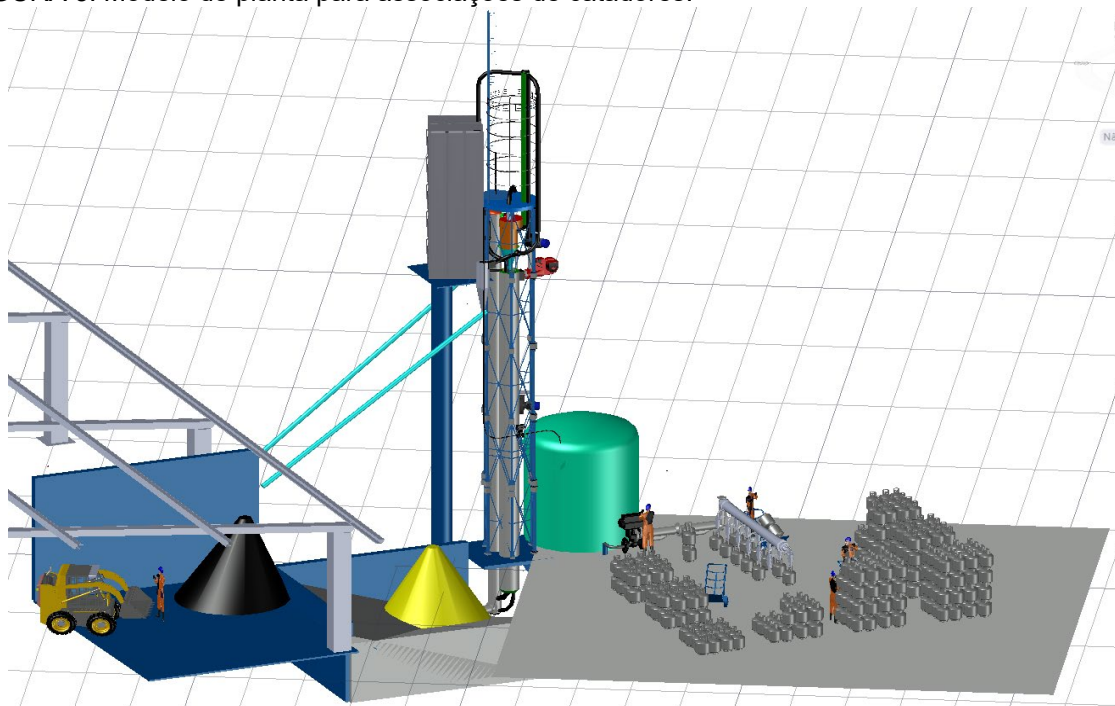


Fonte: O autor (2023)

71.6% destes resíduos estão nos aterros controlados, o que demonstra a importância destes como agentes ativos e principais parceiros das associações do modelo proposto de gerenciamento de resíduos.

#### 4.4. Equipamentos em associações:

FIGURA 3: Modelo de planta para associações de catadores.



Fonte: Marani I. e Silveira H. (2023);

A figura 3 ilustra o espaço da planta de transformação de CDR em gás de cozinha e biochar nas associações de catadores de recicláveis. 3,4ton. de CDR são processados por hora em cada planta. Estima-se que seja necessário um espaço de armazenamento de biochar de até 30m<sup>2</sup> para a venda pelas associações. Para a planta de envase, a rotatividade a cada hora é de 248 botijões.

##### 4.4.1. Reator de CFB

Assume-se para o modelo cinético e para o dimensionamento do CFB um modelo estático como em Trendewicz et al.(2014). Dada a velocidade de fluidização, a pirólise rápida requer que a reação ocorra dentro de 2 a 2,5 s. Partículas com diâmetro acima de 200  $\mu\text{m}$  levam 0,38 segundos para aquecer seu núcleo ao ponto de pirólise, comprometendo a condição ideal para o modelo de pirólise rápida(VELDEN et al., 2010).

O modelo de reator utilizado aplica adaptações ao processo de pirolise para gaseificação do bio óleo de pirólise de CDR, buscando aumentar a eficiência na produção de biocombustível utilizando a reforma a vapor de hidrocarbonetos, gás de fluidização rico em CO<sub>2</sub>, quebra térmica do alcatrão, e outras adaptações a partir do modelo de reator de leito fluidizado circulante de Manon Van der Velden. Um estudo experimental similar é de Alamsyah et

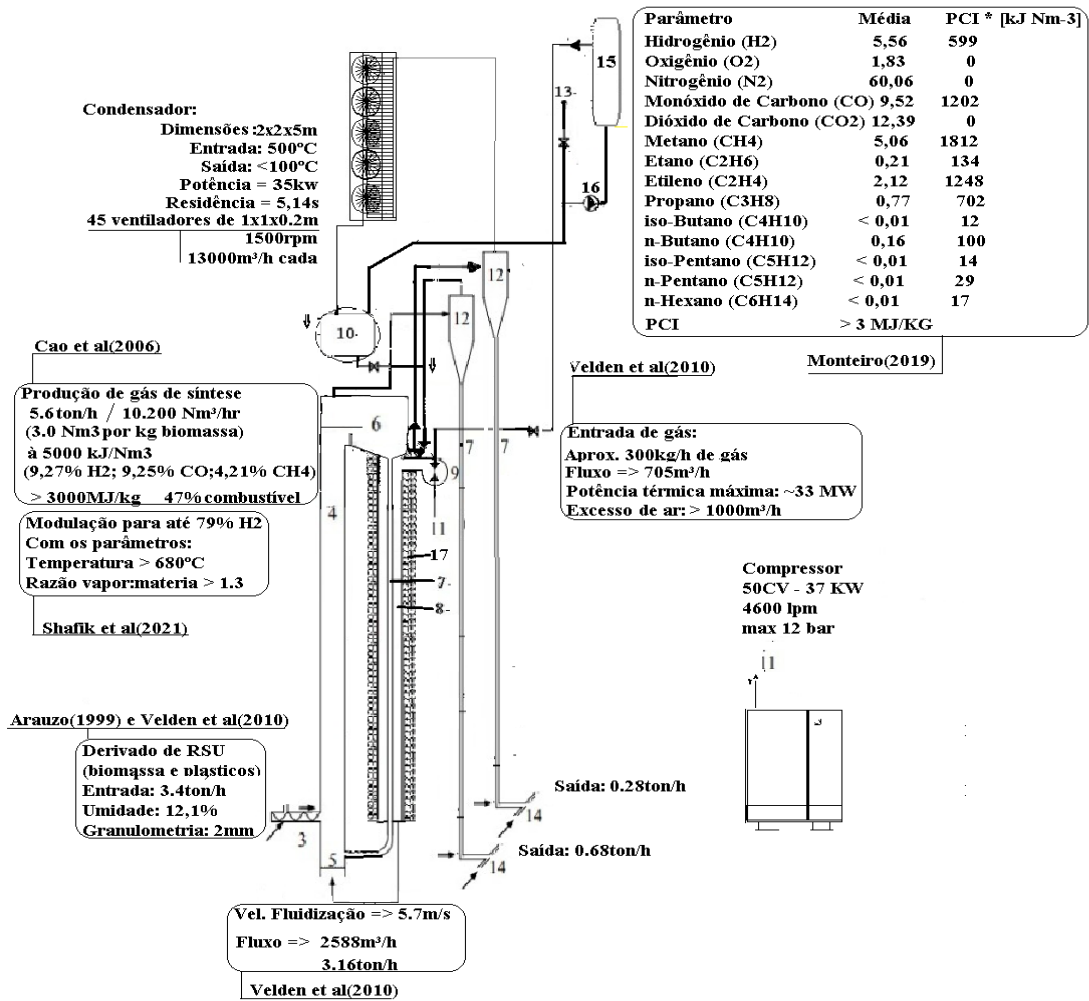
al.(2014), que já traz a produção de gás de síntese para cozinhar ou aquecer, proveniente da gaseificação de pellets de biomassa.

O coeficiente de transferência de calor por convecção em um CFB é estimado em  $620 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$  a partir dos resultados de Kobro 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:

Van De Velden, M. et al. (2010) estima que uma partícula de  $200 \mu\text{m}$  ( $r = 100 \mu\text{m}$ ) a  $773 \text{ K}$  possui  $Bi = 0,83$  para um  $h = 1250 \text{ cm}^{-2}.\text{k}^{-1}$ .

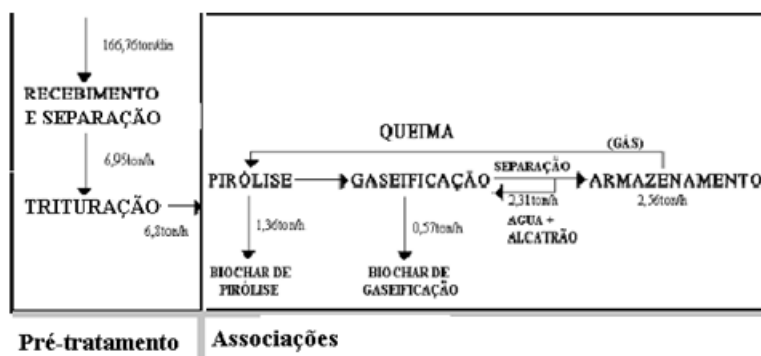
Conforme Rodrigues C. J. C. et al (2023) e Marcelino, Nogueira e Lora (2003), o PCI do gás produzido pela fração de biomassa é de  $5,1716 \text{ MJ/kg}$ , enquanto sua entalpia é de  $3,18 \text{ MJ/kg}$ . O valor negativo deve-se a entalpia de formação de elementos da composição do gás. A entalpia de formação para os gases de biomassa e de fluidização é de  $8 \text{ MJ/kg}$ .

Figura 4: Modelo de Reator CFB para produção de Gás de Síntese pelas Associações - OSCs



Na maioria das espécies de biomassa, a constante de velocidade de reação é  $>0,5 \text{ s}^{-1}$ , correspondência de uma reação rápida. O calor endotérmico de entalpia (h) da reação varia de 207 a 434 kJ.kg<sup>-1</sup> (PCI<sub>médio</sub> = 0,3205 MJ/kg). Os resultados conferem com os da literatura. As espécies de RSU analisadas possuem 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**. Segundo a literatura, aumentar o percentual de resíduos plásticos e de pneus, aumenta o PCI no CFB.

Figura 5: Fluxo de Massa do plano municipal para gestão de RSU.



Fonte: Marani I. e Silveira H. (2023);

O calor do processo é totalmente fornecido pela queima de gás na câmara de combustão, que indiretamente aquece o material no leito circulante. O gás de fluidização é composto pelo gás de pirólise, gases de escape e vapor de água.

#### 4.4.2. ENVASE DO BOTIJÃO DE GÁS

Tomando como base o estudo de Neto et al. (2021), buscou-se estimar os custos fixos para manter uma planta de envase e distribuição de gás de cozinha.

Considerando o fluxo no riser, espera-se um máximo de até 498 recipientes P13 por hora de produção, sendo necessários 17 bicos de enchimento ao total nas duas plantas para o sistema trabalhar em capacidade máxima. Espera-se um custo total de R\$233.400 mensais com o envasamento do gás de síntese. O benefício esperado pelo projeto é a produção mensal de 221.538 bujões de gás por duas associações, juntas processando 6.8 ton./h de CDR.

## 5. CONCLUSÕES

É no sentido de reaproveitamento da fração orgânica do RSU para gás de cozinha e biochar que o processo é idealizado, sendo a contaminação com plásticos misturados benéfica ao PCI do gás produzido. 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 desenvolvido um modelo de gestão de RSU para mitigar os impactos socioambientais dos resíduos sólidos urbanos e transformá-los em combustível e energias renováveis para as associações de catadores de lixo. Consonante a cada uma das metas elencadas nesta lei, a proposição de inovação tecnológica para equipamentos mais acessíveis às associações e sua disposição em um modelo organizacional de gerenciamento colaborativo para a gestão municipal de RSU é apresentada como 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 (AUTOR, 2023).

### **5.1. Benefícios socioeconômicos e ambientais**

Considerando que cada 1kg de biomassa produz 1.6 kg de CO<sub>2</sub>, todo mês 7833 toneladas de dióxido de carbono deixarão de ser emitidas diretamente e voltarão a circular como produto energético de natureza renovável e alto impacto socioeconômico. Considerando a caracterização do resíduo urbano de caminhões de lixo por Carneiro (2007) e uma estimativa de 2% por Rodrigues C. J. C. et al (2023) de metano na composição da fração seca da biomassa, são gerados créditos de carbono correspondentes relativos a 43 toneladas mensais de metano convertidos.

Além da criação de novos postos de trabalho, é esperada uma receita 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 até 110.769 famílias de baixa renda.

### **DECLARAÇÃO DE INTERESSE CONCORRENTE**

Os Autores relatam não haver conflitos de interesse.

### **AGRADECIMENTOS**

Agradeço o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), aos professores, ao catadores recicladores e associações que conhecemos e as pessoas que contribuem para realização deste trabalho científico em favor do desenvolvimento Nacional.

## ANEXOS

### Anexo A – Tabela de metas do plano nacional de resíduos sólidos

| Quadro de Metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos da PNRS  |  |
|--|--|
| Meta 1. Aumentar a capacidade de gestão dos RSU dos municípios.  |  |
| Meta 2. Eliminar práticas de disposição final inadequada e encerrar lixões e aterros controlados                 |  |
| Meta 3. Reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada.  |  |
| Meta 4. Promover a inclusão social e emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis |  |
| Meta 5. Aumentar a reciclagem da fração seca dos RSU.  |  |
| Meta 6. Aumentar a reciclagem da fração orgânica dos RSU.  |  |
| Meta 7. Aumentar a recuperação e aproveitamento energético de biogás de RSU.                                     |  |
| Meta 8. Aumentar a recuperação e aproveitamento energético por meio de tratamento térmico de RSU.                |  |
| Fonte PNRS, Brasil (2010)  |  |

### Anexo B: Tabela de equações utilizadas no dimensionamento do reator de CFB

| DESCRIÇÃO  | EQUAÇÃO   | OBSERVAÇÕES                          |
|--|---|--------------------------------------|
| 1- Calor necessário para pirólise:                 | $C = m_b \cdot c_{p,b} \cdot (T_\infty + T_0) + m_b \cdot \Delta H_r$   | Conforme VELDEN et al.(2010).        |
| 2- Coeficientes globais de transferência de calor: | $q = m \cdot c \cdot (T_0 - T_i)$ $q = U_i \cdot A_i \cdot \Delta t_{lm}$ $h = \frac{11}{(U_i - \left(\frac{D_i}{2k}\right) \cdot \ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right) - \frac{D_i}{(D_e \cdot h_e)})}$  |                                      |
| 3- Lei de condução de calor de Fourier             | $\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k_p}{\rho_p \cdot c_p} \cdot \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right)$ $= D \cdot \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right)$ $D = \frac{k_p}{\rho_p \cdot c_p}$ |                                      |
| 4- Número de Biot                                  | $Bi = r \cdot \frac{h}{kp}$   |                                      |
| 5- Balanço energético em CFB                       | $m'_b \cdot h_b + m'_a \cdot h_a$ $= m'_g \cdot h_g + m'_{cin} \cdot h_{cin}$ $+ Q'_{ma}$   | Por Rodrigues C. J. C. et al. (2023) |
| 6- Forma geral do balanço energético               | $\frac{dE_{v,c}}{dt} = Q'_{v,c} - W'_{v,c}$ $+ \sum m'_e \cdot \left( h_e + \frac{1}{2} \cdot V_e^2 + g \cdot Z_e \right)$ $+ \sum m'_s \cdot \left( h_s + \frac{1}{2} \cdot V_s^2 + g \cdot Z_s \right)$   | Pela Primeira Lei da Termodinâmica   |

|  |   |   |
|--|---|---|
| 7- Mudança na taxa de fluxo de massa da espécie i (Mi)                 | $\frac{d}{dz}(M_i) = \sum_{j=1}^k v_{i,j} \cdot R_j(z)$ , com k=19;   |   |
| 8- Taxa de reação para a reação j:                                     | $R_j(z) = k_j \cdot \exp\left(\frac{-E_{ij}}{R \cdot T}\right) \cdot M_i$   |   |
| 9- Continuidade para fase gasosa                                       | $\frac{d}{dz}(\epsilon g \cdot \rho g \cdot v g) = \sum_{i=1}^N \sum_j^k v_{i,j} \cdot R_j(z)$ , com<br>N = 20  |   |
| 10- Relação entre Fluxo de massa e a fração de volume                  | $\epsilon g \cdot \rho g \cdot v g = \sum_{i=1}^N M_i$  | De MFIX Documentation Theory Guide (SYAMLAL, M., et al, 2003).  |
| 11- Continuidade para fase de biomassa:                                | $\frac{d}{dz}(\epsilon b \cdot \rho b \cdot v b) = \sum_{i=1}^M \sum_j^k v_{i,j} \cdot R_j(z)$  |   |
| 12- Continuidade para areia inerte                                     | $\frac{d}{dz}(\epsilon s \cdot \rho s \cdot v s) = 0$   | Onde $\epsilon s, \rho s, v s$ são a fração volumétrica, densidade (kg/m <sup>3</sup> ) e velocidade (m/s) da areia.  |
| 13- Momentoda fase de biomassa   | $\begin{aligned} \frac{d}{dz}(\epsilon b \cdot \rho b \cdot v b) = & -G(\epsilon b) \cdot \frac{d\epsilon b}{dz} - \epsilon b \cdot \frac{dp}{dz} \\ & + \frac{d}{dz}\left(\epsilon b \cdot \mu b \cdot \frac{v b}{dz}\right) \\ & - \epsilon b \cdot \rho b \cdot g \\ & + \beta \cdot (v g - v b) \\ & - \frac{2 \cdot f b \cdot \epsilon b \cdot \rho b \cdot v b \cdot v g}{D h} \end{aligned}$ |   |
| 14- Balanço de energia para fase de biomassa                           | $\begin{aligned} \epsilon b \cdot \rho b \cdot v b \cdot A c \cdot c_{p,b} \cdot \frac{dTb}{dz} \\ = -A_{s,bio} \cdot h_{bg} \cdot (Tb \\ - Tg) + \sum_j^k R_j \cdot \Delta H_j \\ A_{s,bio} = \pi \cdot d^2 \cdot N b \end{aligned}$   |   |
| 15- Balanço de energia para a areia                                    | $\begin{aligned} \epsilon s \cdot \rho s \cdot v s \cdot A c \cdot c_{p,s} \cdot \frac{dTs}{dz} \\ = -A_{s,area} \cdot h_{s,g} \cdot (Ts \\ - Tg) \\ A_{s,areia} = \pi \cdot d s^2 \cdot N s \end{aligned}$   | A transferência de calor para a fase gasosa é<br>$A_{s,area} \cdot h_{s,g} \cdot (Ts - Tg)$   |
| 16- Equação de energia da fase gasosa                                  | $\begin{aligned} \epsilon g \cdot \rho g \cdot v g \cdot A c \cdot c_{p,g} \cdot \frac{dTg}{dz} \\ = A_{s,area} \cdot h_{s,g} \cdot (Ts \\ - Tg) \\ + A_{s,bio} \cdot h_{b,g} \cdot (Tb \\ - Tg) \end{aligned}$   |   |
| 17- Coeficiente de transferência de calor entre a fase sólida e gasosa | $h_{sg} = \frac{6 \cdot kg \cdot \epsilon s \cdot N us}{dp^2}$  | $\begin{aligned} N_{us} \\ = (7 - \epsilon g + 5 \cdot \epsilon g^5) \cdot (1 \\ + 0,7 \cdot \Re_s^{0,2} \cdot Pr^{0,33}) \\ + (1,33 - 2,4 \cdot \epsilon g \\ + 1,2 \cdot \epsilon g^2) \cdot \Re_s^{0,7} \cdot Pr^{0,33} \end{aligned}$ |

Fonte: Adaptação de Marani I. e Silveira H. (2023);

## Referência bibliográfica

ALAMSYAH, R. et al. (2015) “An experimental study on synthetic gas (syngas) production through gasification of Indonesian biomass pellet. Disponível em doi:10.1016/j.egypro.2015.01.053

ALAMSYAH, R. et al. (2015) “Um estudo experimental sobre a produção de gás sintético (syngas) através da gaseificação de pellets de biomassa da Indonésia”, Energy procedia. Disponível em doi:10.1016/j.egypro.2015.01.053.

ANDRADE, EDUARDO ZITKUS. (2022) Estimativa de geração de energia elétrica através da pirólise dos resíduos sólidos urbanos do aterro sanitário de Botucatu. Disponível em: <https://www.fca.unesp.br/Home/Secoes/SecaoTecnica/ApoioaoEnsinoPesquisaeExtensao/anuario---fca---2022.pdf>

BITTENCOURT, FP (2020). Simulação e análise técnico-econômica de uma planta de pirólise multipropósito para obtenção de bio-óleo a partir de diferentes biomassas. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/21545>

BRASIL, (2010) Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). European Commission, (1996). Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)

BRASIL, (2020) PNRS - Plano Nacional de Resíduos Sólidos, Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. Disponível em: [https://smastr16.blob.core.windows.net/conesan/sites/253/2020/11/pnrs\\_2020.pdf](https://smastr16.blob.core.windows.net/conesan/sites/253/2020/11/pnrs_2020.pdf)

BRASIL, (2017) Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2017]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm)

BRASIL. (2004) Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2004]. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/l10.973.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.973.htm)

BRASIL. (2016) Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2016]. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm)

BRASIL. (2014) Lei nº 13.019, de 31 de julho de 2014. Estabelece o regime jurídico das parcerias entre a administração pública e as organizações da sociedade civil. Brasília, DF: Presidência da República, [2014]. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2014/lei/l13019.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l13019.htm)

BRASIL. (1990) Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 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. Brasília, DF: Presidência da República, [1990]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l8080.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8080.htm)

BRASIL. (1990) Lei nº 8.142, de 28 de dezembro de 1990. 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. Brasília, DF: Presidência da República, [1990]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l8142.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8142.htm)

BRASIL. (2023) Decreto nº 11.414 de 13 de fevereiro de 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. Brasília, DF: Presidência da República, [1990]. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2023-2026/2023/decreto/D11414.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/D11414.htm)

CARNEIRO, L. A. P. (2007) Gerenciamento de Resíduos Sólidos Gerenciamento de Resíduos Sólidos, Gov.br. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/noticentro/2007/10/saobernardo.pdf>

ENGELMANN, P. DE M. (2021) Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Xangri-lá. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://repositorio.pucrs.br/dspace/handle/10923/17519>

BETANHO, C. E EDUARDO, F. J. (2017) Economia Popular Solidária Nosso Sul: a transformação pela solidariedade. Disponível em: <http://www.cieps.proexc.ufu.br/sites/cieps.proexc.ufu.br/files/pdf/Livro%20Economia%20Popular%20Solidária.pdf>

FONTÃO, S; OLIVEIRA, L. P. F. A importância da associação de catadores de materiais recicláveis: o contexto social dos catadores, 2020. Disponível em: <http://revistaea.org/artigo.php?idartigo=3997>.

FREITAS, KETSON PATRICK DE MEDEIROS. Geração de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos urbanos nos sistemas isolados amazonenses' Universidade Federal do Amazonas, Manaus biblioteca depositária. Disponível em: <https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/998>

MEDEIROS FREITAS DE E PRISCILA SAYME ALMEIDA SOUZA, K. P. (2021) “Geração de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos urbanos nos sistemas isolados amazonenses”. Disponível em: [https://editorapantanal.com.br/ebooks.php?ebook\\_id=geracao-de-energia-eletrica-a-partir-dos-residuos-solidos-urbanos-nos-sistemas-isolados-amazonenses&ebook\\_ano=2021&ebook\\_caps=0&ebook\\_org=0](https://editorapantanal.com.br/ebooks.php?ebook_id=geracao-de-energia-eletrica-a-partir-dos-residuos-solidos-urbanos-nos-sistemas-isolados-amazonenses&ebook_ano=2021&ebook_caps=0&ebook_org=0)

IPEA. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos - Relatório de Pesquisa IPEA, 2019. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=17247](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=17247)

LIMA, S. G. de, SANTOS, L. DE S., & MONTEIRO, L. P. C. (2021). Simulação da pirólise de resíduos para a produção de combustível limpo Pyrolysis simulation of residues for the

clean fuel production. Brazilian Journal of Development. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n8-205>.

LORA, ELECTO ES; NOGUEIRA, LUÍS AH. Dendroenergia Fundamentos e Aplicações. Interciência, Rio de Janeiro,, 2003.

MARCELINO, M. M. (2017) “Biomassa residual do coco para obtenção de energia e intermediários químicos via gaseificação: caracterização, modelagem e simulação”. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/24412>

MARANI, I. R.; DA SILVEIRA, H. (2023) “Oika Tecnologia & Inovação - modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos: Inovação organizacional, dimensionamento de Refinarias CDR / WTE para associações de catadores de recicláveis da cidade de Uberlândia MG. Disponível em: <https://github.com/Oika-Tecnologia-Inovacao/Quem-Somos/blob/main/README.md>.

MENEZES, R. O. et al. (2019) “Análise estatística da caracterização gravimétrica de resíduos sólidos domiciliares: estudo de caso do município de Juiz de Fora, Minas Gerais,” Engenharia sanitária e ambiental, 24(2), pp. 271–282. doi: 10.1590/s1413-41522019177437.

MORANDEIRA-ARCA, JON et al. Inovação social para um novo modelo energético, da teoria à acção: contributos da economia social e solidária no País Basco. Inovação: The European Journal of Social Science Research , p. 1-27, 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13511610.2021.1890549>

MURADIN, M. AND KULCZYCKA, J. (2020) “The identification of hotspots in the bioenergy production chain,” Energies, 13(21), p. 5757. Disponível em doi:10.3390/en13215757

NAGARAJA SS et al. Um estudo fundamental sobre a pirolise de hidrocarbonetos, combustão e chama. Disponível em <https://doi: 10.1016/j.combustflame.2021.111579>

Parente, V. C. (2023) “A incubadora tecnológica de cooperativas populares da UFRJ e o caso da Rede Recicla Verde.” Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/21608>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados Cidades. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/Uberlândia>

RODRIGUES, C. J. C. e UNESP (2007) “Análise técnica econômica de um gaseificador de biomassa de 100 kg/h para acionamento de um motor de combustão interna.” Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/3d7c4895-7d50-4e2c-b5c3-5066949af084>

SCARAFIZ, GUILHERME (2023). Análise comparativa econômica entre plantas de incineração e gaseificação para o processamento de resíduos sólidos urbanos. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/37757>

SILVA SCALIA CARVALHO da, M. E. (2023) “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,” Unisanta Law and Social Science, 12(1), pp. 312–326. Disponível em: <https://periodicos.unisanta.br/index.php/lss/article/view/3563>

SILVEIRA, H. da; OLIVEIRA, R. B. de; Modelo Jurídico Tecnológico Institucional de Utilidade Pública: sistema de parceria estratégica. INPI-SP. Disponível em: <https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodPedido=779748&SearchParameter=MODELO%20JUR%20CDDICO%20TECNOL%20D3GICO%20%20%20%20%20&Resumo=&Titulo=>. 2010.

SHAFIQ, H., AZAM, S. U. and HUSSAIN, A. (2021) “Steam gasification of municipal solid waste for hydrogen production using Aspen Plus® simulation,” Discover chemical engineering. Disponível em doi: 10.1007/s43938-021-00004-9.

SOARES, ALINE MARA ALVES. Política Nacional de Resíduos Sólidos e Marco Regulatório das Organizações da Sociedade Civil: reflexões sobre as influências na sustentabilidade das associações de catadores. 2018. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1568>

SYAMLAL, M.; ROGERS, W.; O'BRIEN, T. J.MFIX (1993) documentation theory guide. Office of Scientific and Technical Information (OSTI). Disponível em: <https://www.osti.gov/servlets/purl/10145548>

TRENDEWICZ, A.et al.(2014) “Modelo unidimensional de reator de leito fluidizado circulante em estado estacionário para pirólise rápida de biomassa”,Fuel (Londres, Inglaterra). Disponível em: doi: 10.1016/j.fuel.2014.05.009.

TÚLIO, TARSO JOSÉ; SCHMITZ, (2023) Arno Paulo. Análise custo-benefício das mudanças tecnológicas: caso de um consórcio de gestão de resíduos sólidos na região metropolitana de Curitiba, Brasil. Engenharia Sanitaria e Ambiental,. Disponível em doe:10.1590/s1413-415220230002

VAN DE VELDEN M. Parameter study and modelling of CFB pyrolysis (in Dutch). Master of Bio-engineering thesis, University of Antwerpen, June 2006.

Van de Velden, M., Baeyens, J. e Smolders, K. (2007) “Sólidos misturando no riser de um leito fluidizado circulante”, Ciência da engenharia química. Disponível em doi:10.1016/j.ces.2006.12.069.

Van de Velden, M., Baeyens, J., et al. (2007) “Investigação de parâmetros operacionais para um combustor industrial CFB de carvão, biomassa e lodo”. Disponível em doi:10.1016/j.cpart.2007.05.001.

VAN DE VELDEN M. Et al. (2007) Pirólise rápida de biomassa em leito fluidizado circulante. Disponível em: [https://dc.engconfintl.org/fluidization\\_xii/110/](https://dc.engconfintl.org/fluidization_xii/110/)

VAN DE VELDEN, M.; BAEYENS, J.; BOUKIS, I. (2008) “Modelagem de reatores de pirólise de biomassa CFB”,Biomass & bioenergy. Disponível em doi:10.1016/j.biombioe.2007.08.001.

VAN DE VELDEN, M.et al. (2010) “Fundamentos, cinética e endotermicidade da reação de pirólise da biomassa”, Energia renovável , 35(1). Disponível em doi:10.1016/j.renene.2009.04.019.