

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**ALINE FERNANDA OLIVEIRA DA COSTA
DONIZETI LEONARDO MANCINI TOLARI
LUIZ FERNANDO MACHADO FREGATTO**

PHOENIX ENERGY: USINA DE GERAÇÃO DE ENERGIA

APUCARANA

2022

**ALINE FERNANADA OLIVEIRA DA COSTA
DONIZETI LEONARDO MANCINI TOLARI
LUIZ FERNANDO MACHADO FREGATTO**

PHOENIX ENERGY: USINA DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Phoenix Energy: Power Generation Plant

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Fernando Alves da Silva.

APUCARANA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

PHONIX ENERGY: USINA DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Por

Aline Fernanda Oliveira da Costa

Donizeti Leonardo Mancini Tolari

Luiz Fernando Machado Fregatto

Monografia apresentada às 08 horas 00 min. do dia 23 de junho de 2022 como requisito parcial para conclusão do Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana. Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Profa. Ana Cláudia Ueda, D.Sc. Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Membro
Profa. Juliana Guerra Sgorlon, D.Sc. Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Membro
Prof. Fernando Alves da Silva, D.Sc. Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Orientador



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **FERNANDO ALVES DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em (at) 26/06/2022, às 13:05, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **JULIANA GUERRA SGORLON, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em (at) 27/06/2022, às 11:37, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **ANA CLAUDIA UEDA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em (at) 27/06/2022, às 12:57, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site (The authenticity of this document can be checked on the website) https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador (informing the verification code) **2802530** e o código CRC (and the CRC code) **776ABE98**.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não atenderão a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de nossas vidas. Portanto, desde já pedimos desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do nosso pensamento e de nossa gratidão.

Gostaríamos de agradecer primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ser refúgio em muitos momentos desta jornada, a nossa família por todo apoio e suporte nesta caminhada, ao grupo por toda dedicação e empenho para com este trabalho, aos professores por todo conhecimento passado e a disponibilidade para nos auxiliar e por fim, mas de forma alguma menos importante aos amigos e colegas que de forma indireta contribuíram para nosso crescimento e nossa chegada até aqui.

Agradecemos ao orientador Prof. Dr. Fernando Alves, pela sabedoria com que nos guiou nesta trajetória, acreditando neste projeto.

Aos nossos colegas de sala.

Também deixamos registrado, o reconhecimento às nossas famílias, pois acreditamos que sem apoio seria muito difícil vencer esse desafio e muito menos a realização deste sonho.

RESUMO

O mundo moderno caracteriza-se pelo consumismo, elevando cada vez mais a geração de resíduos sólidos, ou seja, o crescimento e o desenvolvimento humano estão ligados diretamente com o consumo. Devido a este aumento, de acordo com a ABRELPE, 29 milhões de toneladas por ano de resíduos produzidos acabam sendo descartados incorretamente. Sendo assim, o presente trabalho visa o desenvolvimento de uma usina de geração de potência, bio-óleo e *biochar*, por meio do processamento pirolítico dos resíduos sólidos urbanos (RSU). A matéria-prima foi escolhida devido à necessidade brasileira de destinação adequada de resíduos, juntamente com a demanda energética. Com isto, a *Phoenix Energy* localizar-se-á na cidade de Lorena, no estado de São Paulo, escolhida devido a estar próxima a grandes centros de geração de RSU, além de encontrar-se próxima a uma rede de coleta e distribuição de energia. O nome escolhido refere-se à fênix, pássaro mitológico utilizado como representação da organização devido à agregação de valor à matéria-prima. A *Phoenix Energy*, visa processar de 40 t/h de resíduos que passarão a ter sua destinação correta. O projeto apresenta a análise de mercado, características empresariais, processo industrial, balanço material e energético além da especificação/dimensionamento dos equipamentos e a análise financeira. Por meio do processamento pirolítico auto-térmico adotado e a integração energética foram estabelecidas condições de processo para uma produção de 8015 kW de energia, o que garante um viés financeiro de implementação, com um *payback* de 4 anos e um ponto de equilíbrio de 53%.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos; geração de potência; pirólise; demanda energética brasileira.

ABSTRACT

The modern world is characterized by consumerism, increasing the generation of solid waste, that is, growth and human development are directly linked to consumption. Due to this increase, according to ABRELPE, 29 million tons of waste produced per year end up being disposed of incorrectly. Therefore, the present work aims at the development of a power generation plant, bio-oil and biochar, through the pyrolytic processing of urban solid waste (MSW). The raw material was chosen due to the Brazilian need for adequate waste disposal, together with the lack of energy demand. With this, Phoenix Energy will be located in the city of Lorena, in the state of São Paulo, chosen because it is close to large centers of MSW generation, in addition to being close to an energy collection and distribution network. The name chosen refers to the phoenix, a mythological bird used as a representation of the organization due to the aggregation of value to the raw material. Phoenix Energy, aims to process 40 t/h of waste that will have its correct destination. The project presents the market analysis, business characteristics, industrial process, material and energy balance in addition to the specification/sizing of the equipment and the financial analysis. Through the adopted auto-thermal pyrolytic processing and energy integration, process conditions were established for 8015 KW of energy production, which guarantees a financial implementation bias, with a payback of 4 years and a break-even point of 53%.

Keywords: solid urban waste; power generation; pyrolysis; Brazilian energy demand.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil.....	18
Figura 2 - Projeção de geração de RSU no Brasil.	19
Figura 3 – Quantidade de RSU, em toneladas, gerada, coletada e disposta de maneira inadequada.....	20
Figura 4 - Disposição de RSU por município.....	21
Figura 5 - Evolução da composição da capacidade instalada total por fonte. ..	24
Figura 6 - Projeção do consumo de energia elétrica no Brasil.	25
Figura 7 - Logomarca da <i>Phoenix Energy</i>	28
Figura 8 - Organograma da usina <i>Phoenix Energy</i>	30
Figura 9 - Geração de RSU por macrorregião.....	32
Figura 10 - Localização da <i>Phoenix Energy</i>	33
Figura 11 - Mapa hidroviário.....	34
Figura 12 - Mapa de transmissão do setor elétrico.	35
Figura 13 - Etapas e Reações envolvidas no Processamento Pirolítico.	37
Figura 14 - Composição gravimétrica de RSU no Brasil.....	38
Figura 15 - Diagrama de blocos do processo produtivo da <i>Phoenix Energy</i>	41
Figura 16 – Prensa enfardadeiras para compressão de resíduos.	42
Figura 17 - Sistema de exaustão para o armazenamento de RSU.	43
Figura 18 - Produção de gás em função da granulometria em diferentes temperaturas.....	44
Figura 19 - Esquema de reator CSBR.....	46
Figura 20 – Esquema de uma CSAO.....	49
Figura 21 - Processo produtivo e identificação das correntes envolvidas.....	54
Figura 22 - Identificação de correntes envolvidas no recebimento e armazenagem.	55
Figura 23 - Identificação de correntes envolvidas no transporte e triagem.....	56
Figura 24 - Identificação de correntes envolvidas na trituração.....	57
Figura 25 - Identificação de correntes envolvidas no pirolisador.....	59
Figura 26 - Esquema do processamento pirolítico auto térmico.....	67
Figura 27 - Identificação de correntes envolvidas no precipitador eletrostático.	68
Figura 28 - Identificação de correntes envolvidas destinadas ao armazenamento de biochar.....	70
Figura 29 - Identificação de correntes envolvidas no processo <i>quench</i>	71
Figura 30 - Identificação de correntes envolvidas no decantador.	74
Figura 31 - Identificação de correntes envolvidas na Turbina.	76
Figura 32 - Identificação de correntes envolvidas no condensador.....	78
Figura 33 - Identificação de correntes envolvidas na purga.	79
Figura 34 - Identificação de correntes de água de reciclo.....	81
Figura 35 – Diagrama de temperaturas.	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipo de disposição de RSU por regiões e municípios.	21
Tabela 2 - Característica do processo operacional pirolítico em diferentes configurações.....	40
Tabela 3 - Composição do gás obtido através da pirólise a 900 °C.....	43
Tabela 4 - Composição das correntes envolvidas no recebimento e armazenagem.	55
Tabela 5 - Entalpia das correntes envolvidas no recebimento e armazenagem	55
Tabela 6 - Composição das correntes envolvidas no transporte e triagem.....	56
Tabela 7 - Energia das correntes envolvidas no transporte e triagem.....	57
Tabela 8 - Composição da corrente de biochar que deixa o pirolisador.....	60
Tabela 9 - Composição das correntes de entrada do pirolisador.....	60
Tabela 10 - Composição das correntes de saída do pirolisador.....	61
Tabela 11 – Composição das correntes de entrada do pirolisador auto térmico.	62
Tabela 12 – Composição das correntes de saída do pirolisador auto térmico..	63
Tabela 13 - Energia das correntes de entrada no pirolisador.	63
Tabela 14 - Energia na saída do pirolisador.....	64
Tabela 15 – Composição das correntes de entrada do pirolisador auto térmico com integração energética.	65
Tabela 16 – Composição das correntes de saída do pirolisador auto térmico com integração energética.	65
Tabela 17 - Entalpia das correntes de entrada no pirolisador auto térmico com integração energética.	66
Tabela 18 – Entalpia das correntes de saída do pirolisador auto térmico com integração energética.	66
Tabela 19 - Composição das correntes envolvidas no precipitador eletrostático.	69
Tabela 20 – Entalpia das correntes no precipitador eletrostático.	69
Tabela 21 - Composição das correntes envolvidas no processo <i>quench</i>	72
Tabela 22 – Balanço energético no processo <i>quench</i>	72
Tabela 23 - Composição das correntes envolvidas no decantador.....	74
Tabela 24 - Energia das correntes envolvidas no decantador.	75
Tabela 25 - Composição das correntes envolvidas na turbina.	76
Tabela 26 – Entalpia das correntes envolvidas na turbina.....	77
Tabela 27 - Composição das correntes envolvidas no condensador.....	79
Tabela 28 – Composição e entalpia das correntes envolvidas no condensador.	80
Tabela 29 - Vazões de água envolvidas no processo de mistura para reciclo. .	81
Tabela 30 – Entalpias das correntes no tanque de mistura.....	81
Tabela 31 – Financiamento.....	104
Tabela 32 – Tributos.....	105
Tabela 33 – Tributos.....	105

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	ANÁLISE DE MERCADO	17
3.1	Contexto ambiental	17
3.1.1	Crescimento na geração de resíduos urbanos	17
3.1.2	Disposição inadequada dos resíduos	19
3.1.3	Uso de RSU como fonte alternativa de energia	21
3.2	Contexto econômico e energia no Brasil	23
4	EMPRESA	27
4.1	Missão	28
4.2	Visão	29
4.3	Valores	29
4.4	Organograma e metodologia de trabalho	29
5	LOCALIZAÇÃO	31
6	PROCESSAMENTO PIROLÍTICO	36
6.1	Condições de processo	37
6.1.1	Matéria-prima	38
6.1.2	Reator pirolítico	39
6.2	Fluxograma de processo	40
6.2.1	Setor 1000	42
<u>6.2.1.1</u>	<u>Recebimento, armazenagem e transporte</u>	<u>42</u>
<u>6.2.1.2</u>	<u>Trituração</u>	<u>43</u>
6.2.2	Setor 2000	45
<u>6.2.2.1</u>	<u>Pirólise</u>	<u>45</u>
<u>6.2.2.2</u>	<u>Precipitador eletrostático</u>	<u>47</u>
6.2.3	Setor 3000	47
<u>6.2.3.1</u>	<u>Armazenagem de subproduto - Biochar</u>	<u>47</u>
6.2.4	Setor 4000	48
<u>6.2.4.1</u>	<u>Processo <i>quen</i>ch</u>	<u>48</u>
<u>6.2.4.2</u>	<u>Decantador</u>	<u>48</u>
<u>6.2.4.3</u>	<u>Armazenagem de subproduto – Bio-óleo</u>	<u>49</u>

6.2.4.4	Turbina	49
6.2.4.5	Condensador.....	50
6.2.4.6	Armazenagem de subproduto – Gás de síntese	50
7	BALANÇO MATERIAL E ENERGÉTICO	51
7.1	Setor 1000	54
7.1.1	Recebimento e armazenagem de matéria-prima.....	54
7.1.2	Transporte e Triagem	55
7.1.3	Trituração	57
7.2	Setor 2000	58
7.2.1	Pirólise.....	58
7.2.2	Precipitador Eletrostático.....	67
7.3	Setor 3000	70
7.3.1	Armazenamento de Biochar	70
7.4	Setor 4000	70
7.4.1	Processo <i>Quench</i>	70
7.4.2	Decantador	73
7.4.3	Armazenamento de bio-óleo	75
7.4.4	Turbina	75
7.4.5	Condensador	77
7.4.5.1	Água em reciclo.....	80
8	INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA	82
9	DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	84
9.1	Setor 1000	84
9.1.1	Recebimento e armazenamento de matéria-prima.....	84
9.1.2	Esteira de triagem	84
9.1.3	Triturador.....	85
9.2	Setor 2000	86
9.2.1	Pirolisador	86
9.2.2	Precipitador eletrostático	87
9.3	Setor 3000	88
9.3.1	Armazenamento biochar	88
9.4	Setor 4000	89
9.4.1	Quench.....	89
9.4.2	Decantador.....	90
9.4.3	Armazenamento e Envase do Bio-óleo	91

9.4.4	Turbina com Gerador	91
9.4.5	Envase de gás de síntese	92
9.4.6	Condensador.....	93
9.4.6.1	Água em reciclo.....	94
10	RESÍDUOS GERADOS E TRATAMENTOS	96
10.1	Resíduos da triagem	96
10.2	Águas de lavagem	97
10.2.1	Dimensionamento do tratamento combinado	98
10.3	Material particulado.....	99
11	LAYOUT DA EMPRESA.....	101
12	DIAGRAMA DE FLUXO DE PROCESSO	102
13	ANÁLISE FINANCEIRA.....	103
13.1	Custos Fixos	103
13.2	Custos Variáveis.....	103
13.3	Financiamento	103
13.4	Receitas.....	105
13.5	Demonstração de Resultado de Exercício (DRE)	106
13.6	Receitas.....	107
13.7	Ponto de Equilíbrio.....	107
13.8	Taxa Interna de Retorno (TIR)	108
13.9	Payback.....	109
14	CONCLUSÃO	110
15	PROJETOS FUTUROS.....	111
	REFERÊNCIAS.....	112
	APÊNDICE A - Cálculos do tratamento biológico	118
	APÊNDICE B - Layout da empresa	122
	APÊNDICE C - Diagrama de Fluxo de Processo.....	124
	APÊNDICE D - Análise Financeira	126

1 INTRODUÇÃO

Acredita-se que a cultura do consumismo tenha iniciado na era pós-moderna. Porém esse hábito está ligado à modernidade por inteiro, desde o feudalismo até a revolução industrial (SLATER, 2002).

O consumismo é uma essência da construção do mundo moderno, o que leva à conclusão de que o desenvolvimento humano está ligado com a produção de resíduos sólidos, refletindo-se em uma proporção direta da evolução humana e o consumo de artigos não recicláveis (URBAN, 2016).

De acordo com Retondar (2008), a sociedade caracteriza-se como supérflua, na qual o desejo de compra é constantemente alimentado, como forma de transparecer o luxo. O que gera assim, grandes desafios na atualidade tendo em consideração a quantidade de resíduo urbano gerado, isto significa uma busca simultânea de alternativas em que a emissão de gases do efeito estufa seja reduzida frente ao aumento dos resíduos gerados.

O consumo não pode ser tratado como problema, pois ele é necessário para a sobrevivência dos seres humanos, a adversidade em si é o efeito do consumo tanto na sociedade quanto para o meio ambiente. Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) mostram que a geração de resíduos sólidos de 2010 para 2019 resultou em um aumento de 67 para 79 toneladas por ano e que sua disposição inadequada também cresceu, passando de 25 milhões para pouco mais de 29 milhões de toneladas por ano (ABRELPE, 2020).

Sendo a geração de resíduos sólidos uma atividade intrínseca ao modelo de vida contemporâneo, sua gestão constitui um desafio. O consumo exacerbado fomentado pelo atual modelo de produção incentiva a compra e banaliza o descarte correto de produtos (RIBEIRO; INOUE, 2016). Um estudo publicado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) em janeiro de 2017, avalia o potencial de reaproveitamento e reciclagem em uma faixa de 30 a 40% do volume total de resíduo sólido urbano (RSU), enquanto estima que apenas 13% destes resíduos sejam encaminhados para a reciclagem (SILVA, 2017). Além disso, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Snis), o índice de aproveitamento de resíduos recicláveis em relação ao total de RSUs foi de apenas 1,91% no ano de 2016 (PUGA; CASTRO, 2018).

Desde 2010, quando foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), o percentual de destinação adequada tem-se mantido praticamente constante em torno de 58%, de acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, da Abrelpe (2020).

Observa-se, portanto, que apesar da vigência de uma lei moderna e arrojada, que após 20 anos de discussão no Congresso Nacional trouxe uma nova sistemática para a gestão de resíduos sólidos no país, o decreto não se faz eficiente. O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil demonstra que ainda há grandes dificuldades para se colocar em prática os avanços planejados na aplicação da PNRS. Princípios fundamentais como reduzir a geração, implementar os sistemas de logística reversa, aumentar a recuperação dos materiais e assegurar a disposição final adequada apenas dos rejeitos ainda estão longe de serem alcançados (ABRELPE, 2020).

Todo este resíduo gerado resulta em um complexo problema pela forma de disposição inadequada, desencadeando diversos transtornos no âmbito da saúde pública e ambiental, como a constituição de focos de doenças e a contaminação de solo e água (alterando características físico-químicas e biológicas). Neste contexto, é evidenciado que os resíduos sólidos gerados pelos seres humanos afetam o equilíbrio ecológico, por se apresentarem em uma proporção muito maior do que deveriam e sendo dispostos inadequadamente (SANTOS, 2012).

Destinar, tratar ou aproveitar estes resíduos é uma responsabilidade social, tornando-se uma questão de cidadania propor alternativas para diminuição dos impactos gerados pelo acúmulo e destinação inadequada. Deste modo, é necessário encontrar caminhos para o aproveitamento de resíduos sólidos como matéria-prima e fonte de recursos.

Uma solução que sana o complexo problema é a conversão destes resíduos sólidos gerados em energia - WET (do inglês *Waste To Energy*), sendo considerada no contexto do mundo desenvolvido como uma opção ambientalmente sustentável (MARANHO, 2008). De acordo com Babcock (2005), a maior parte dos resíduos gerados pela sociedade podem ser utilizados como combustíveis para a conversão em energia.

Por terem uma grande quantidade de material orgânico em sua composição, os RSUs podem ser adequados ao processo de produção de energia, e quando submetidos a tratamentos termoquímicos os materiais sofrem alteração em sua

estrutura química. Esses podem ser classificados como tratamentos termoquímicos a combustão, a gaseificação e a pirólise, divergindo apenas nos produtos gerados por cada processo (BELGIORNO, V. *et al.*, 2003).

O processo de pirólise leva destaque por apresentar três principais produtos: carvão (ou biochar), óleo pirolítico (ou bio-óleo) e uma mistura gasosa composta principalmente de hidrogênio, dióxido de carbono, monóxido de carbono e metano (CHHITI; KEMIHA, 2013). Dos co-produtos gerados, destacam-se seus potenciais de aplicação, como: o carvão que pode ser reinserido no processo de aquecimento, o bio-óleo apresenta densidade energética elevada e pode ser purificado em combustíveis e os gases também possuem o potencial de aplicação em combustível e alta carga térmica (WILLIAMS; BESLER, 1996).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo do presente trabalho é apresentar o projeto de uma planta industrial inovadora no contexto de processamento de resíduos sólidos urbanos para geração de energia utilizando o processo de pirólise.

2.2 Objetivos específicos

- Realização de uma análise de mercado com projeções de geração de resíduos sólidos urbanos e demanda energética;
- Estudo de localização e instalação da planta industrial proposta;
- Elaboração de um diagrama de blocos com a descrição das etapas sequenciais que compõe o processo;
- Desenvolvimento de balanços de massa e energia, assim como cálculos de rendimentos para a configuração do processo;
- Integração e aproveitamento energético dos processos envolvidos;
- Estudo de viabilidade econômica de implantação do processamento pirolítico.

3 ANÁLISE DE MERCADO

Um dos grandes desafios do país é agregar valor aos resíduos, e para superá-los, um conjunto de práticas não excludentes pode ser utilizado: tratamento dos orgânicos, reciclagem, produção de biogás ou de combustível derivado do resíduo (CDR), e produção de energia elétrica (CAPANEMA *et al.*, 2018).

3.1 Contexto ambiental

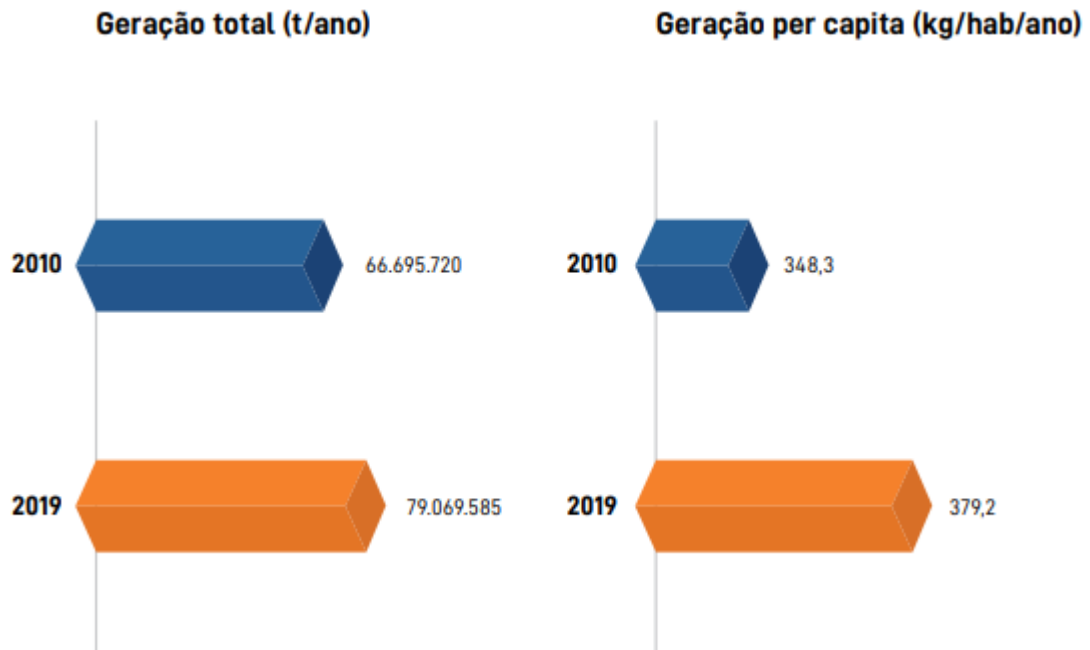
Os resíduos sólidos urbanos necessitam de um caminho para seu aproveitamento, já que a quantidade gerada aumenta conforme o desenvolvimento social, e também a disposição inadequada ocasiona ao meio ambiente e à saúde pública diversos problemas.

3.1.1 Crescimento na geração de resíduos urbanos

A gestão de resíduos sólidos tem se tornado um assunto cada vez mais complexo ao redor do mundo ao longo da última década, passando a demandar mais atenção por parte da sociedade como um todo. Tal fato também pode ser observado no Brasil, principalmente por influência dos princípios, diretrizes e da sistemática inovadora e arrojada trazida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, sancionada em agosto de 2010 (ABRELPE, 2020).

A relevância dessa questão tem sido confirmada pelo aumento da geração total de RSU no período de 2010 a 2019. Este aumento é avaliado em cerca de 19%, conforme os dados apresentados pela Abrelpe, demonstrados na Figura 1.

Figura 1 - Geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil.



Fonte: Abrelpe (2020).

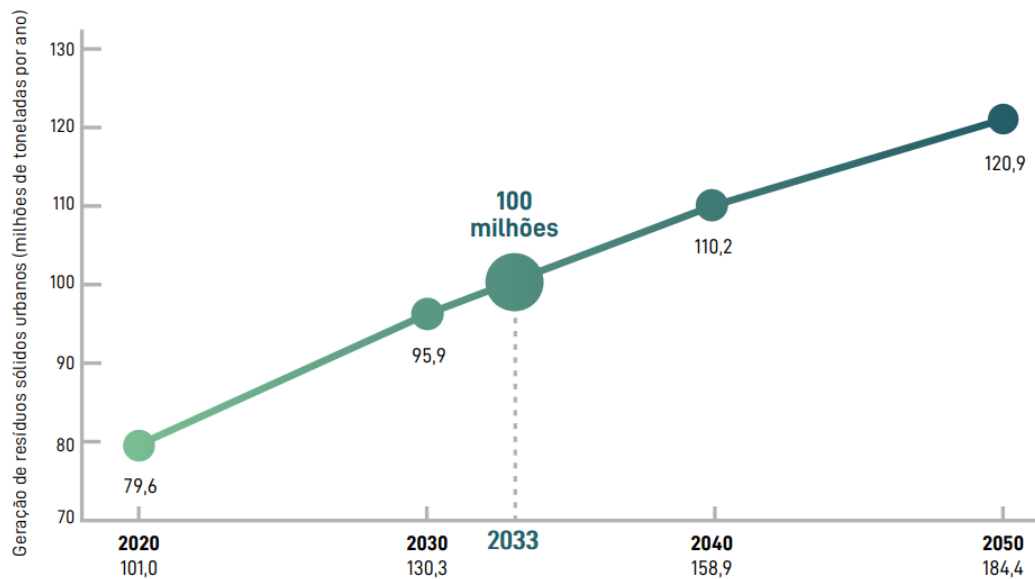
No contexto da pandemia de SARS-Cov-2 (COVID-19) a Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020) liberou um comunicado inédito, logo no início deste período pandêmico, estimando que durante o período de emergência sanitária e, por conta das medidas de quarentena, isolamento e distanciamento social adotadas, foi estimado um aumento relevante na quantidade gerada de resíduos sólidos domiciliares (15-25%) e um crescimento bastante considerável na geração de resíduos hospitalares em unidades de atendimento à saúde (10 a 20 vezes).

Um estudo realizado nos Estados Unidos aponta que o aumento dos resíduos sólidos gerados nas residências, devido ao contexto pandêmico, é fruto da grande procura por compras *online*, sejam de objetos de uso geral ou alimentícios. Como os produtos comprados são levados aos destinatários por meio de entregas e esse mecanismo de entrega necessita de embalagens mais reforçadas, essas embalagens demandam mais material em sua construção, que acaba por se transformar em resíduo após a entrega (NEWTON, 2020).

A projeção da geração de resíduos sólidos urbanos no país para as próximas décadas, de acordo com a ABRELPE, resulta em uma curva crescente ao longo de 30 anos conforme observado na Figura 2 que apresenta a geração de RSU em função

do Produto Interno Bruto (PIB), ano a ano. Até 2050, o Brasil observará um aumento de quase 50% no montante de RSU em comparação ao ano base de 2019, e para o mesmo período, a projeção de crescimento populacional esperado é de 12%. Esta projeção leva em conta o avanço gradual do PIB e o consequente aumento do poder aquisitivo da sociedade.

Figura 2 - Projeção de geração de RSU no Brasil.



Fonte: Abrelpe (2020).

Tendo em vista este aumento na geração de RSU fornecido pelas projeções, tem-se a necessidade de caminhos alternativos mais adequados, afim de evitar futuros problemas associados ao acúmulo destes resíduos no meio urbano sem nenhum tipo de tratamento ou disposição inadequado.

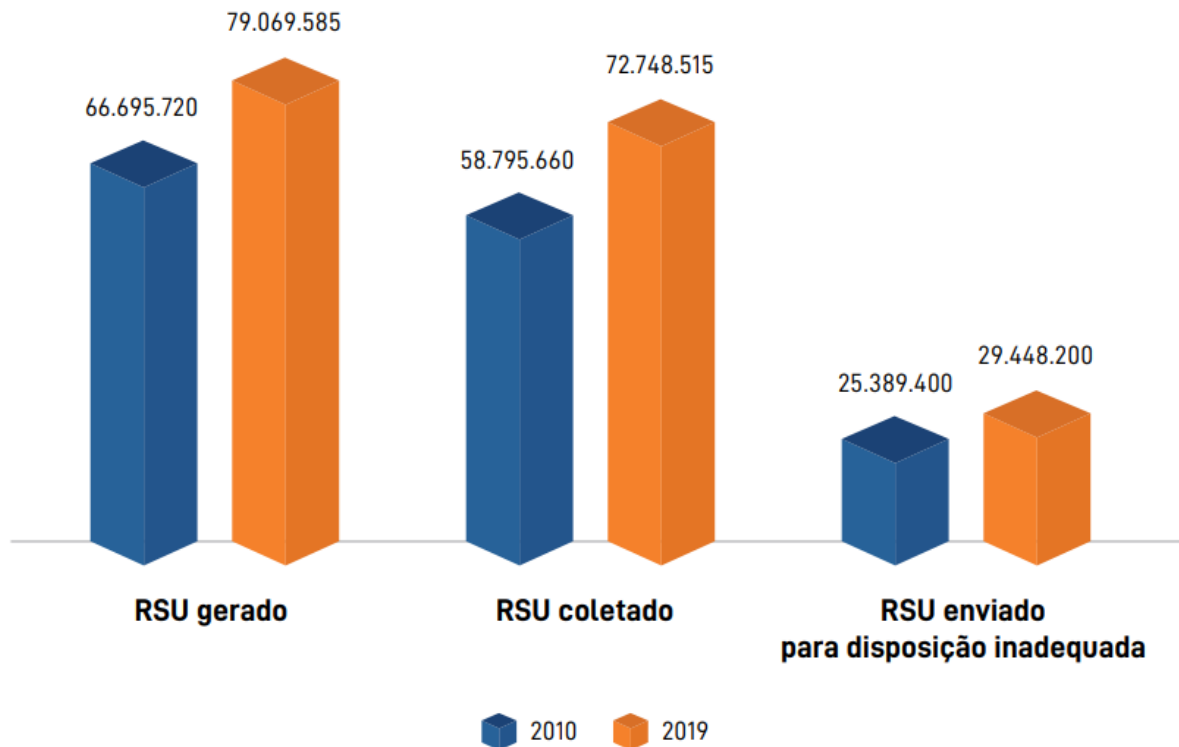
3.1.2 Disposição inadequada dos resíduos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), visa alternativas para disposição final ambientalmente adequada dos resíduos, abrangendo desde as normas operacionais específicas até a minimização dos impactos ambientais adversos de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança. De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil elaborado pela Abrelpe (2020), a maior parte dos RSU coletados segue para disposição em aterros sanitários, tendo registrado um aumento de 10 milhões de toneladas em uma década, passando de 33 milhões para 43 milhões de toneladas ao ano. Por outro lado, ainda de acordo com o

panorama, a quantidade de resíduos que segue para unidades inadequadas (lixões e aterros controlados) também cresceu, passando de 25 milhões para pouco mais de 29 milhões de toneladas por ano, sendo que ainda 6,3 milhões de toneladas seguem abandonadas no meio ambiente anualmente.

A realidade da disposição inadequada ainda está presente em todas as regiões, apresentando atualmente um aumento de 16% em relação a 2010; conforme dados apresentados pela Figura 3, situação que impacta diretamente na saúde de 77,65 milhões de brasileiros. Os custos envolvidos na disposição inadequada e para tratamento dos resíduos são de cerca de USD 1 bilhão por ano (ABRELPE, 2020).

Figura 3 – Quantidade de RSU, em toneladas, gerada, coletada e disposta de maneira inadequada.



Fonte: Abrelpe (2020).

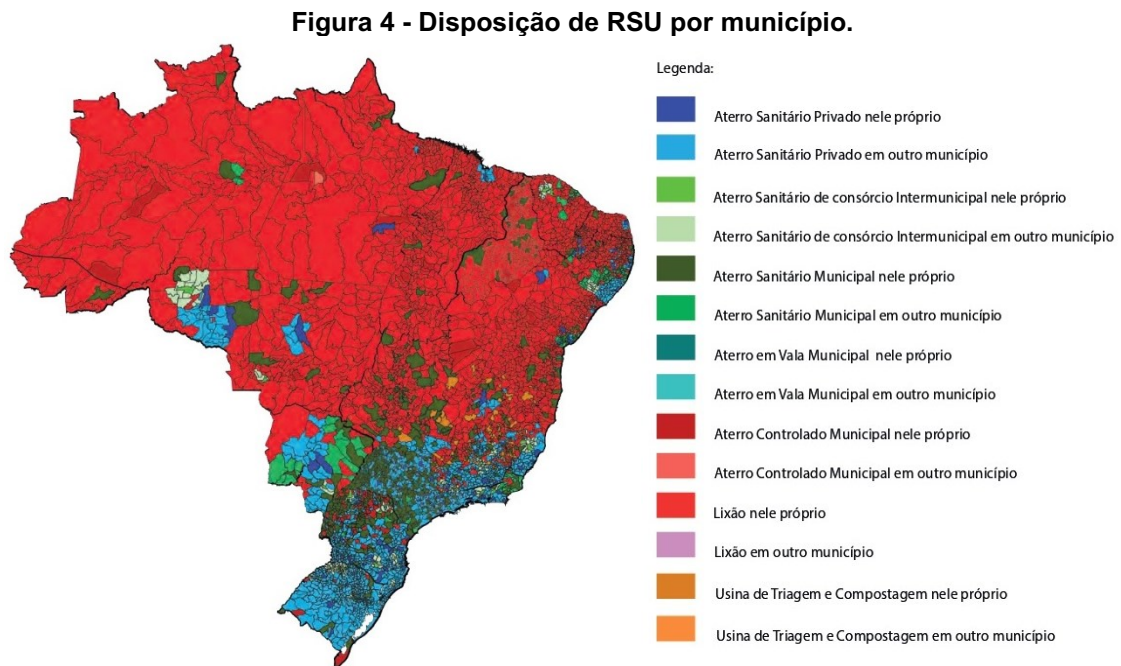
Em termos regionais, as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte ainda registram índices abaixo da média nacional de destinação adequada. Na região Norte, 79% das cidades (370 municípios) ainda encaminham seus resíduos para aterros controlados ou lixões. A região Nordeste, por sua vez, concentra o maior número de cidades com destinação irregular: 74,6% (1.381 municípios) e no Centro Oeste, 65% (341 municípios) encaminham seus resíduos para unidades inadequadas. Esta

disposição inadequada regionalmente fica visivelmente evidente na Tabela 1 e também pode ser observada graficamente na Figura 4 (ABRELPE, 2020).

Tabela 1 - Tipo de disposição de RSU por regiões e municípios.

Condição	Brasil	SUL	SUDESTE	CENTRO OESTE	NORTE	NORDESTE
Aterro Controlado Municipal nele próprio	137	79	0	1	12	45
Aterro Controlado Municipal em outro município	4	2	0	0	1	1
Lixão nele próprio	2475	19	356	341	378	1381
Lixão em outro município	11	0	2	1	0	8
Número de Municípios	5570	1191	1668	467	450	1794

Fonte: Adaptado de ABETRE (2020).



Fonte: Abetre (2020).

3.1.3 Uso de RSU como fonte alternativa de energia

A composição dos RSU é a mais diversa, sendo uma mistura heterogênea de matéria orgânica, contendo ainda materiais como metais, plásticos, vidros e resíduos vegetais. O potencial energético contido neste tipo de material pode ser aproveitado por meio de tecnologias de conversão por duas rotas, bioquímica e termoquímica (CARDOSO, 2012).

Conforme apresentado por Lora *et al.* (2012) as rotas bioquímicas que utilizam hidrólise e fermentação apresentam sérios desafios tecnológicos, já as rotas

termoquímicas são realizadas por meio de combustão/incineração, gaseificação ou pirólise. A diferenciação entre os processos termoquímicos destacados encontra-se no Quadro 1.

Estas tecnologias ganham destaque no mercado de energia, levando em conta o aproveitamento de resíduos como fonte energética alternativa e limpa. Deste modo, o uso de RSU é uma boa alternativa para diversificação da matriz energética utilizada atualmente, que tem dependência de recursos finitos e combustíveis fósseis (CARDOSO, 2012).

Quadro 1 - Comparações de conversões termoquímicas de RSU.

Processo	Descrição	Vantagens	Desvantagens
1. Combustão ou Incineração	RSU encaminhado para câmara de combustão onde sofre uma oxidação térmica total em excesso de oxigênio.	<ul style="list-style-type: none"> - Redução de volume e massa de RSUs; - Destruição de resíduos orgânicos perigosos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo elevado de implantação e operação; - Necessidade de mão de obra qualificada; - Emissões de dioxinas e furanos.
2. Gaseificação	Decomposição de matéria orgânica utilizando um agente de gaseificação (oxigênio, ar ou vapor quente) em quantidades inferiores à proporção estequiométrica (mínimo teórico para combustão)	<ul style="list-style-type: none"> - Cinzas e carbono residual permanecem no gaseificador; - Associações catalíticas diminuem a emissão de CO₂; - A taxa de gaseificação pode ser monitorada e controlada facilmente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Resíduo deve estar limpo; - Potencial de fusão das cinzas a 900°C provocando corrosão nos equipamentos; - O alcatrão formado durante o processo se não queimado por completo atrapalha o rendimento do produto.
3. Pirólise	Decomposição térmica na ausência de oxigênio por fonte de calor externo convertendo a matéria orgânica em carvão, bio-óleo e gás não condensável.	<ul style="list-style-type: none"> - Menor emissão de poluentes atmosféricos; - Sistema de alimentação automático (processo contínuo) e semiautomático (batelada); - Presença de queimadores auxiliares; - Inserção de produtos gerados no próprio processo para aproveitamento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Heterogeneidade do RSU dificulta controle de variáveis operacionais; - Constante trabalho de limpeza no sistema de alimentação de combustível auxiliar;

Fonte: Adaptado de Dalbosco e Leites (2011).

Os resíduos sólidos urbanos, compostos por materiais heterogêneos, são matéria-prima para o processo pirolítico, gerando três produtos finais: bio-óleo, gases e finos de carvão. O bio-óleo apresenta em sua composição a deficiência de

compostos sulfurados, além de um alto poder calorífico possibilitando, assim a utilização como biocombustíveis. O carvão obtido possui potencial utilização na remoção de materiais pesados e substâncias orgânicas de efluentes industriais, sendo capaz de substituir o carvão ativado comercial (obtido de outras fontes) quando submetido ao processo de ativação. Já a porção gasosa possui em sua composição hidrocarbonetos, hidrogênio, CO e CO₂, resultando em um alto poder calorífico, além da geração de energia através da expansão em turbinas para movimentação de hélices, mostrando assim o potencial deste tipo de tecnologia para a destinação de resíduos sólidos urbanos (SILVEIRA, 2015).

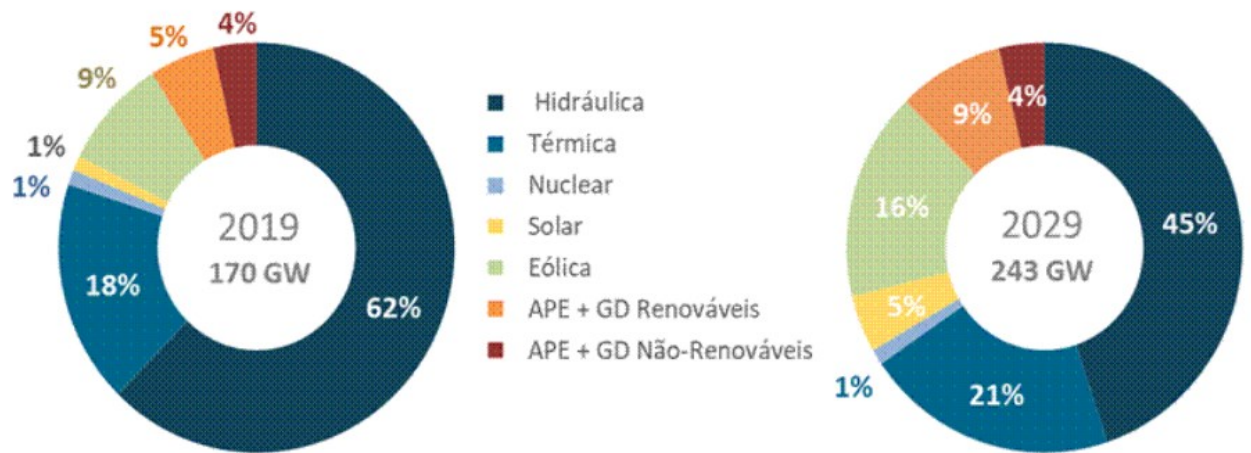
3.2 Contexto econômico e energia no Brasil

Com o passar dos anos o aumento de renda per capita ocorre, o que gera um crescimento no poder de compra com relação a produtos e à expansão industrial, assim, a necessidade de atender a oferta de demanda de energia elétrica se expande. As hidrelétricas são as maiores fontes de fornecimento de energia ao país, atendendo cerca de 63% da matriz energética, entretanto em comparação com o ano de 1990, houve um decréscimo de 22% com relação a sua participação (ABRACH, 2019).

Dentre a atual matriz energética brasileira, as hidrelétricas referem-se financeiramente à energia de menor custo. Porém, devido à geração de energia depender de fatores naturais, como por exemplo as chuvas, há um aumento destes valores em períodos de seca, ocasionando a urgência na busca de novos meios de geração de energia, dentre estas as fontes de energia renováveis e alternativas.

Desta forma, em projeções futuras o aumento na contribuição energética brasileira por outras fontes, sejam elas renováveis ou não, é apresentado na Figura 5, na qual as siglas APE e GD significam Auto Produção e Geração Distribuída, respectivamente.

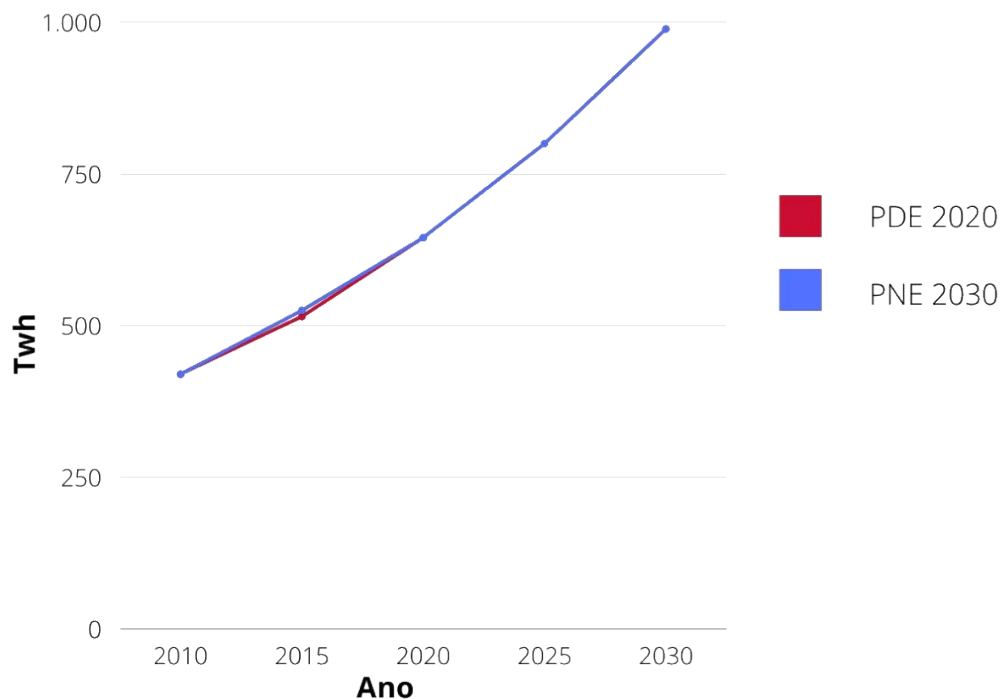
Figura 5 - Evolução da composição da capacidade instalada total por fonte.



Fonte: EPE (2019).

Nota-se que de acordo com alta demanda energética, há a necessidade de investimentos neste setor, como indicado na Figura 6 na qual as siglas PDE e PNE refere-se ao Plano Decenal de Expansão de Energia e ao Plano Nacional de Energia, respectivamente, considerando não somente as limitações de curto prazo como também as consequências dessas implementações a longo prazo (HASHIMURA, 2012). A demanda de quase 1.000 TWh no ano de 2030 é insuficiente visto que a produção nacional de energia prevista é de 243 GW para o ano de 2029, confirmando a necessidade da expansão do setor energético no Brasil.

Figura 6 - Projeção do consumo de energia elétrica no Brasil.



Fonte: EPE (2019).

Devido à alta demanda de energia, a comercialização de energia elétrica foi regulamentada pela Lei nº 10.848, reformulando a forma com que a energia é comercializada no Brasil, no intuito de promover a modicidade tarifária, a segurança do abastecimento e a universalização do acesso (PLANALTO, 2004).

O mercado de vendas de energia elétrica, pode ser dividido em dois campos, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL) (PINTO JR *et al.*, 2007). O ACL é conduzido pela livre concorrência, sendo que somente consumidores livres podem participar e as condições são ajustadas livremente e conduzidas por um contrato de compra e venda.

Entretanto, na ACR somente distribuidores de energia elétrica podem participar e, diferentemente do ACL, a contratação é realizada através de leilões competitivos, sendo formalizada por um conjunto de contrato (HASHIMURA, 2012).

Um dos destaques para o leilão de energia é o tratamento dado às usinas termelétricas a partir de resíduos sólidos urbanos. Para este certame, as diretrizes estabelecidas pelo Ministério de Minas e Energia fixaram um produto específico para essas usinas, na modalidade por disponibilidade, que não compete com as demais

termelétricas – tendo um preço inicial específico e uma oferta de lances destacada das demais (ANEEL, 2021).

Com o objetivo de impulsionar a captação de energia a partir de rejeitos depositados em aterros sanitários, lançou-se a Frente Brasil de Recuperação Energética de Resíduos (FBRER), em 02/06/2020, partindo da iniciativa de quatro importantes entidade setoriais - Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Associação Brasileira de Tratamento de Resíduos e Efluentes (ABETRE), Associação Brasileira de Produção e Aproveitamento do Biogás (Abiogás) e Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE).

A iniciativa é um marco histórico para os esforços de destinação mais sustentável e ambientalmente adequada dos resíduos do Brasil. O acordo de cooperação buscará, entre outras iniciativas, coordenar esforços para a remoção de barreiras regulatórias que dificultam o aproveitamento mais intenso dos resíduos. Além disso, pretende viabilizar projetos para a recuperação energética de resíduos sólidos e promover sua integração ao mercado de energias limpas e renováveis (ABCP, 2021).

Assim, tal forma de compra torna-se viável além da comercialização de energia elétrica, a criação e exploração de novos meios de geração de potência responsavelmente sustentável.

4 EMPRESA

A empresa *Phoenix Energy* surge a partir um de grupo de pessoas preocupadas com a realidade do excesso de geração de resíduos sólidos e movidos pela necessidade de um amanhã com oportunidades. Pensando em não somente abranger uma destinação correta dos resíduos gerados, mas em gerar valor a resíduos que demandam um destino verde e consciente, define-se então a matéria-prima, RSU, uma fonte de energia alternativa.

No cenário atual apresentado, projeta-se a *Phoenix Energy*, uma usina de geração de energia através do processamento pirolítico de resíduos sólidos urbanos. A empresa busca contribuir no cenário energético, tendo como principal mercado consumidor as empresas que comercializam e distribuem energia ao país, portanto, configurando-se como uma empresa *BtoB* (*Business To Business*).

A *Phoenix Energy* surge no mercado para produzir 8.015 KWh de energia, quantidade capaz de abastecer uma região de cerca de 3,5 milhões de habitantes, e que corresponde a 0,001% da projeção de demanda nacional para o ano de 2030, processando 40 t/h de resíduo em um funcionamento contínuo de 24h, correspondente a 0,3% da projeção nacional de geração prevista para o ano de 2030 de RSU, apresentando-se como uma empresa de médio porte.

Phoenix, remete à fênix, pássaro lendário utilizado para representar a empresa, que se refere ao renascimento de novas oportunidades com relação à matéria-prima utilizada, fomentando valores aos resíduos e a organização em si. A denominação *Energy* se refere ao principal produto do processo industrial: energia comercializada e distribuída, tendo sua logomarca destacada na Figura 7.

Figura 7 - Logomarca da *Phoenix Energy*.



Fonte: Autoria Própria (2022).

O tom alaranjado contido na logomarca da empresa foi escolhido de acordo com a psicologia das cores (CLEMENTE, 2020), e com base no processo mais importante contido na *Phoenix Energy*, remete ao equilíbrio entre problema e solução. A tonalidade vermelha, simboliza o desejo e a paixão de conquistar a referência no âmbito de solução de problemas, além de ser um tom que representa o principal produto, a energia. Já o amarelo tem como objetivo a representação da eletricidade, em adição ao objetivo da empresa em diminuir os impactos causados pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos.

A forma cíclica da fênix representa o novo ciclo ao qual a nossa matéria-prima será submetida. O pássaro representa também a persistência em recomeçar e a transformar, além de ser uma ave representada através de sua mitologia como força, longevidade e imortalidade, significados estes que fortalecem a base da empresa descrita em forma de missão, visão e valores.

4.1 Missão

Contribuir para a matriz energética brasileira através de uma solução de geração inteligente de energia, utilizando o potencial energético descartado com os resíduos sólidos urbanos, promovendo uma sociedade mais sustentável.

4.2 Visão

Ser uma empresa multivalente, integrando a partir de uma solução alternativa a demanda energética brasileira e o acúmulo de resíduos sólidos gerados no meio urbano, buscando sempre a inovação e melhoria de processos, além de melhor aproveitamento energético.

4.3 Valores

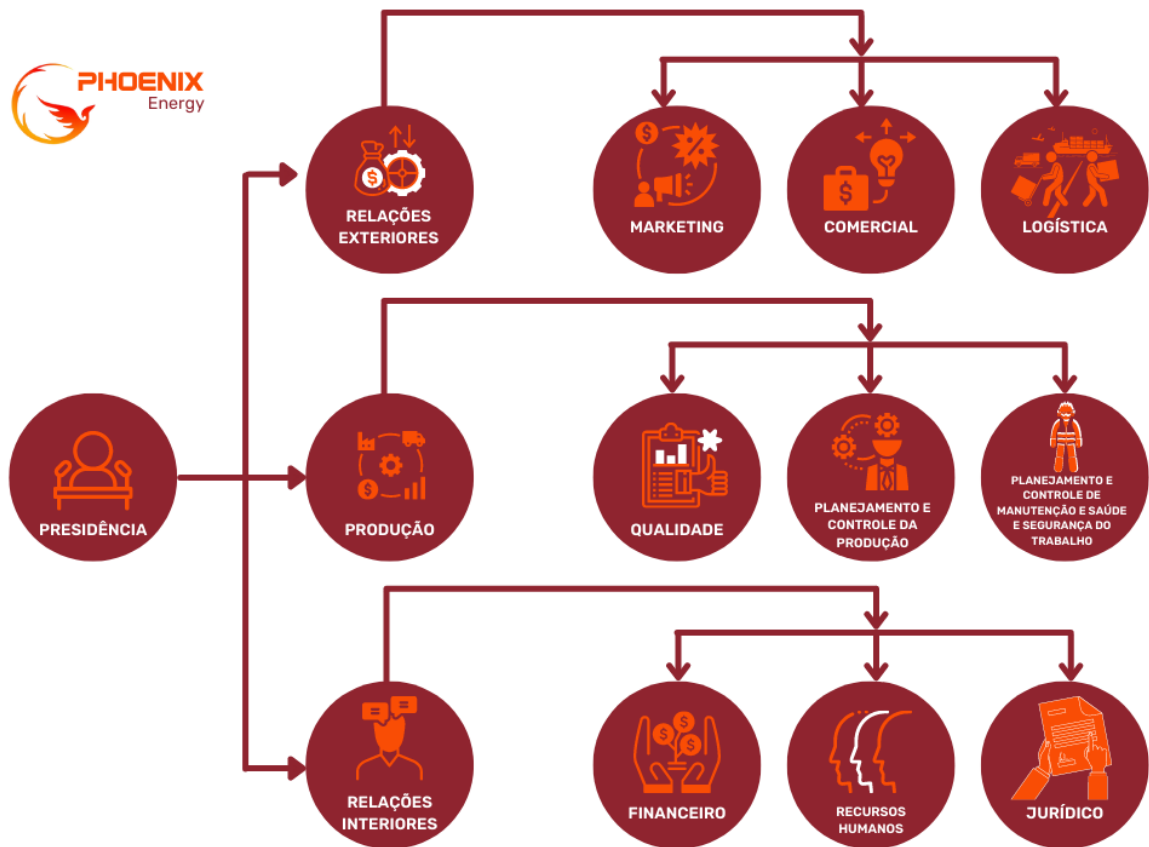
Os valores da *Phoenix Energy* são baseados na força de rompimento de ciclos que não geram respeito ao futuro, abraçando o surgimento de oportunidades de fazer algo maior e inovador no ramo de energia. A empresa é engajada na solução de problemas. Desta maneira, os valores são pautados em:

- Constância em melhoria e inovação;
- Ética e Respeito;
- Horizontalidade;
- Promoção de um ambiente sustentável;
- Transformar problemas em soluções.

4.4 Organograma e metodologia de trabalho

A fim de manter um organograma alinhado e estruturado, a *Phoenix Energy* desenvolveu uma estrutura horizontal, representada na Figura 8. O organograma então escolhido foi devido ao seu modo inovador e à possibilidade de criação de grupos interdisciplinares, além de autogeridos (OSTROFF, 1999), assegurando assim os valores da empresa, pois a horizontalidade permite rápida comunicação, agilidade e constante crescimento não só com relação à empresa, mas em junção com a evolução pessoal dos colaboradores (ROLDAN, 2010).

Figura 8 - Organograma da usina *Phoenix Energy*.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Com o propósito de se obter melhores resultados, a empresa conta com a Metodologia *Lean*, a qual tem como objetivo a diminuição de custo através da eliminação de desperdícios, contribuindo essencialmente para o alcance da missão e visão da *Phoenix Energy*, além do desenvolvimento e expansão da organização.

5 LOCALIZAÇÃO

Uma boa localização tem influência direta na capacidade competitiva de uma empresa, e devido a isso a análise prévia de fatores locacionais é imprescindível (WOILER; MATHIAS, 1996).

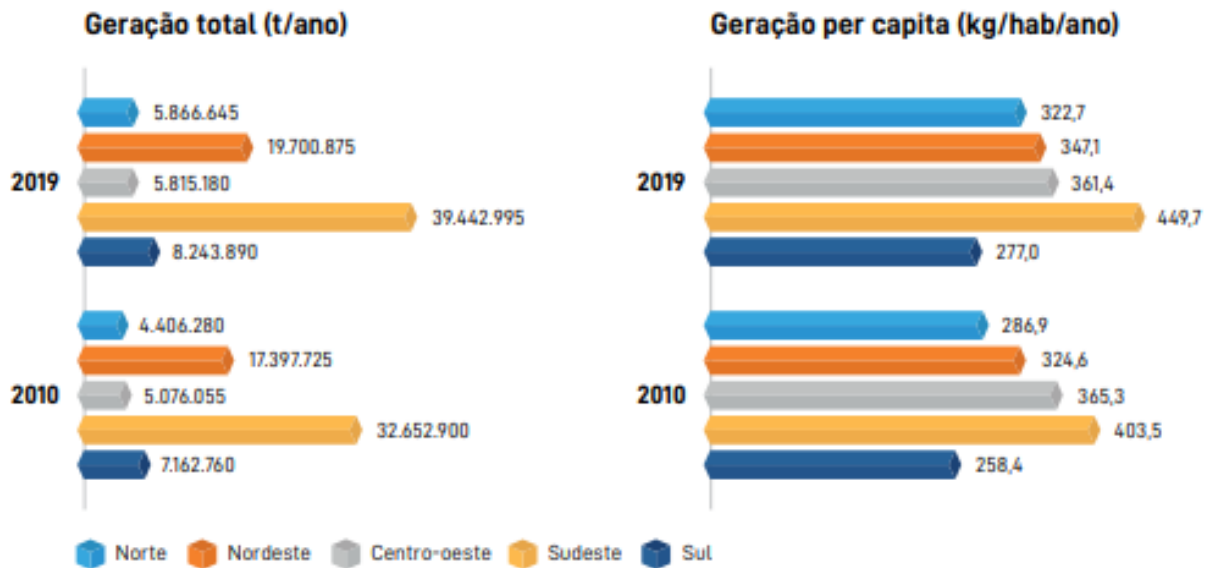
Por fatores locacionais entende-se como tudo aquilo que de alguma forma pode influenciar na escolha do local para o desenvolvimento das atividades produtivas, e esses fatores podem ser de natureza econômica ou não. De maneira geral, a indústria determinará sua localização com vistas à máxima rentabilidade do capital a ser investido. Para Kon (1994), muitos fatores devem ser levados em consideração no momento de se definir a melhor localização para a empresa como: suprimento de matérias-primas, disponibilidade de rotas para transportes, disponibilidade de mão-de-obra, disponibilidade de energia e água, eliminação de resíduos e dispositivos fiscais e financeiros.

A disponibilidade de matéria-prima para o processo da *Phoenix Energy* está diretamente relacionada com a região de maior índice de geração de resíduos. Segundo Alves (2000), esta geração está diretamente relacionada com a população urbana, seu padrão de vida e hábitos de consumo, onde a coleta, o tratamento e a disposição adequada desses resíduos, refletem a qualidade de vida dessa.

Dados apresentados pelo IBGE a respeito das condições de vida da população mostra uma distribuição percentual da população nas grandes regiões onde foram definidas 11 categorias que vão do A ao K, em que as categorias do A ao F, são consideradas condições de vida médias e boas. Na média do Brasil, a maior parte das 435 concentrações urbanas pesquisadas (30,9%) é encontrada no tipo E, com condições medianas de vida. Na região Sudeste, o percentual atinge 41,2% apresentando um valor maior que a média brasileira (Agência Brasil, 2017).

Uma análise regional fornecida pela Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais permite verificar que o Sudeste segue como a região que mais contribui para a geração de resíduos em âmbito nacional, cerca de 49,88% conforme observado na Figura 9.

Figura 9 - Geração de RSU por macrorregião.



Fonte: Abrelpe (2020).

Tendo em vista a concentração de matéria-prima para a *Phoenix Energy* nesta região, juntamente com os fatores a seguir, optou-se pela instalação de sua unidade no município de Lorena no estado de São Paulo.

Lorena pertence à Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, destaca-se, dentre seus 232 anos de emancipação política, por ser um município referência em qualidade de vida, infraestrutura, capital humano e desenvolvimento.

Possui uma população estimada em 86.764 habitantes, de acordo com as projeções do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e uma extensão territorial de 414,160 km² (Prefeitura Municipal de Lorena, 2021).

A cidade é localizada entre os principais centros comerciais do país, São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, uma posição privilegiada para seu desenvolvimento. Economicamente, Lorena se destaca por estar também nas proximidades de quatro dos nove principais portos do país, Santos, Sepetiba, Rio de Janeiro e São Sebastião (Prefeitura Municipal de Lorena, 2021).

A escolha do terreno deu-se de forma estratégica a fim de atender as necessidades de recursos hídricos, logística para transporte de matérias-primas e co-produtos, bem como, para a distribuição do produto principal (energia). Como pode-se observar na Figura 10, a *Phoenix Energy* terá acesso a água a partir do Rio Paraíba

do Sul, que também pode ter sua utilização como hidrovia de acordo com o Ministério da Infraestrutura, indicado na Figura 11.

Figura 10 - Localização da Phoenix Energy.



Fonte: Google Earth (2021).

Através de 5 km na estrada Lorena-Itajubá a partir da localização escolhida, tem-se acesso a BR-116, a maior rodovia do Brasil segundo o Ministério da Infraestrutura (2019), que cruza o país de norte a sul passando pelas cidades de Porto Alegre, Pelotas, Canela, Gramado, Curitiba, São Paulo, Guarulhos, São José dos Campos, Volta Redonda, Resende, Rio de Janeiro, Teresópolis, Governador Valadares, Vitória da Conquista, Feira de Santana e Fortaleza.

O município de Lorena conta ainda com uma linha férrea ligando as regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e São Paulo.

Na educação, o município de Lorena é privilegiado por contar com ensinos profissionalizantes que estão em constante atualização de acordo com as demandas do mercado de trabalho, com qualidade e facilidade de inserção de seus profissionais no mercado.

Figura 11 - Mapa hidroviário.



Fonte: Ministério da Infraestrutura (2021).

Em ensino técnico destacam-se as escolas COTEL, E.M. Milton Ballerini (Senai) e Colégio Delta; e em ensino superior de excelência, a cidade recebe jovens de todas as partes do país para estudarem em uma unidade da Universidade de São Paulo – USP, com cursos na área de engenharia, no Centro Universitário Salesiano – UNISAL e no Centro Universitário Teresa D’ávila – UNIFATEA, na área de humanas, possibilitando assim mão de obra qualificada para a *Phoenix Energy* (Prefeitura de Lorena, 2021).

Além da potência gerada a partir da ação do gás na turbina pelo movimento das hélices, produzindo o principal produto da organização, também são formados co-produtos. Neste processo os co-produtos gerados serão o bio-óleo e o carvão. Como o foco da empresa em um primeiro momento é a venda de potência, estes co-produtos serão inicialmente encaminhados para empresas parceiras, na intenção de valorização para inserção no mercado.

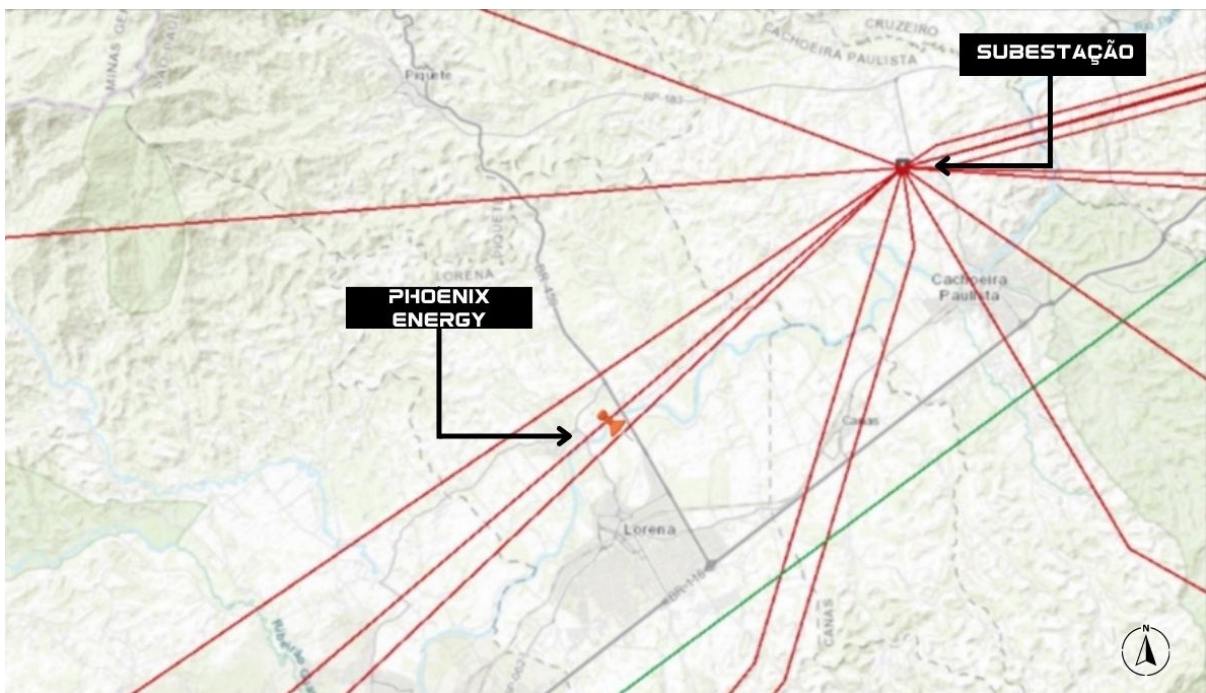
Deste modo, para a transformação do bio-óleo, é interessante uma região que esteja próxima de empresas de biodiesel e refinarias de óleo. Duas destas estão localizadas a cerca de 98 km e 146 km de distância da *Phoenix Energy*.

Já para a transformação do carvão, opções de parcerias em São Paulo a 190 km da *Phoenix Energy* e Mauá a 208 km.

No que se refere a parte de incentivos fiscais, o município de Lorena apresenta em seu Capítulo IV da Lei Complementar N° 327, de 10 de setembro de 2021, que trata a respeito dos benefícios fiscais destinados a atração de investimentos para o município, alguns dos quais: as isenções de Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), de Taxas de aprovação de plantas e memoriais, Taxas de Licença para Localização e Funcionamento e a redução de Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISSQN). Nesse sentido, além das questões de logística de matéria-prima, produtos e capacitação de profissionais, a *Phoenix* contará com o apoio do estado local para sua implantação.

Para o escoamento da energia produzida, a instalação da empresa também foi estratégica. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que fornece um mapa de transmissão do setor elétrico, mostrado na Figura 12, há uma subestação no município de Cachoeira Paulista localizada a cerca de 14 km do município de Lorena, sendo uma possível rota para a distribuição do principal produto da *Phoenix Energy*.

Figura 12 - Mapa de transmissão do setor elétrico.



Fonte: ANEEL (2021).

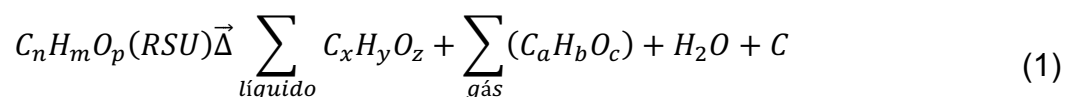
6 PROCESSAMENTO PIROLÍTICO

O processamento pirolítico trata-se da degradação térmica dos materiais na ausência de oxigênio promovendo uma quebra das moléculas mais pesadas em moléculas com menor massa molecular.

Regido por mecanismo reacionais complexos combinando transformações físicas e químicas, de acordo com Henriques (2012), estes mecanismos podem ser descritos genericamente da seguinte forma:

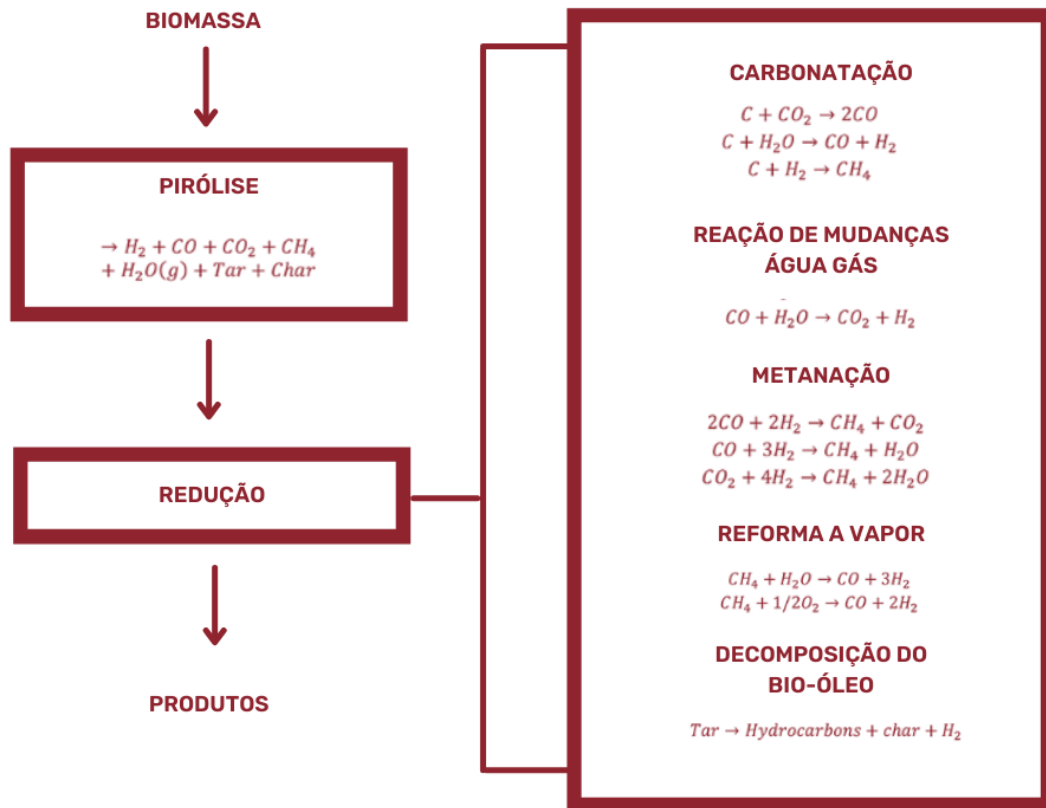
- Reações Primárias: Formação de radicais livres devido a ação térmica do processo;
- Reações secundárias com quebra de ligação: Em menores pressões, os radicais livres podem ser pirolisados novamente até a formação de radicais menores e H₂, CO e CO₂. Os radicais menores reagem com H₂ formando metano, propano, etano, eteno e compostos mais longos;
- Reações secundárias com recombinação: Caso os radicais livres choquem-se ocorre a recombinação e formação de macromoléculas estáveis.

A equação geral da pirólise é definida por Henriques (2010, *apud* Basu, 2010) e está expressa na Equação 1.



Todas as diferentes reações sendo sequenciais ou paralelas ocorrem durante o processamento pirolítico, no qual com o aumento de temperatura é apresentado uma decomposição do material orgânico proveniente do RSU, através da etapa de craqueamento. O mecanismo das reações envolvidas no processamento da *Phoenix Energy* é apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Etapas e Reações envolvidas no Processamento Pirolítico.



Fonte: Adaptado de Wang; Austin e Song (2017).

O processo pirolítico é influenciado por diversos fatores, sendo necessário o estabelecimento das condições de processo para o favorecimento da obtenção de produtos específicos, bem como maior eficiência.

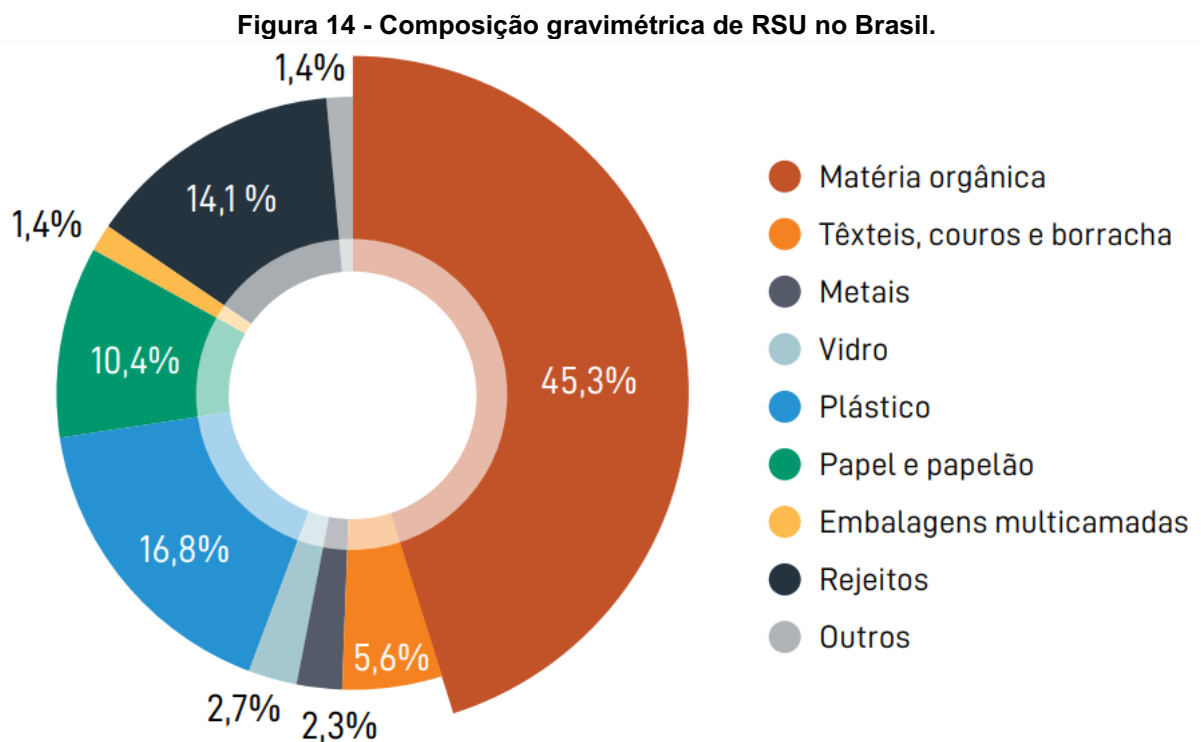
6.1 Condições de processo

Vieira *et al.* (2011) descreve fatores físicos e químicos como influenciadores no processo de degradação térmica, pois este procedimento caracteriza-se pelas reações químicas complexas, as quais dependem qualitativa e quantitativamente das condições de reação e das características da matéria.

As condições de processo são fatores essenciais para a empresa, pois estas circunstâncias definem a percentagem do produto, a energia. Dentre eles, quatro parâmetros se destacam, sendo: o tamanho das partículas de RSU, a taxa necessária para o aquecimento da biomassa, a temperatura do processo pirolítico e o tempo de residência da matéria-prima dentro do reator (CHHITI; KEMIHA, 2013).

6.1.1 Matéria-prima

Para a geração de potência a matéria-prima utilizada será RSU, que possui uma alta variação em sua composição. Os resíduos sólidos urbanos abrangem desde matéria orgânica (em maior quantidade) até resíduos recicláveis (presentes pelo descarte inadequado). A composição gravimétrica média destes RSU para o Brasil é apresentada na Figura 14.



Fonte: Abrelpe (2020).

É observável que a fração orgânica é a principal componente dos RSU, com 45,3%. Os resíduos recicláveis somam 35% da composição, sendo compostos principalmente por plásticos (16,8%), papel e papelão (10,4%), além dos vidros (2,7%), metais (2,3%), e embalagens multicamadas (1,4%). Já os rejeitos correspondem a 14,1% da composição, principalmente, os materiais sanitários.

As demais frações são compostas de resíduos têxteis, couros e borrachas, com 5,6%, e outros resíduos, também com 1,4%, os quais contemplam diversos materiais.

A composição de RSU pode ser variada conforme a região, e isso é um fator que influencia de maneira direta no processamento pirolítico na previsão dos produtos e co-produtos gerados.

O tamanho da partícula da biomassa também é uma variável associada com a característica do sólido e que têm grande influência na dinâmica do processo térmico (PEDROZA *et al.*, 2014).

A granulometria dos RSU influencia no desempenho do processo de pirólise. Um estudo de Luo *et al.* (2010) concluiu que a redução do tamanho das partículas dos resíduos na alimentação do reator consiste em uma alternativa para incremento do poder calorífico da mistura gasosa, em função das maiores concentrações de CO e H₂.

6.1.2 Reator pirolítico

De acordo com o produto que se deseja obter através da pirólise, são utilizados diferentes tipos de reatores. Os mais comuns são os de leito fluidizado borbulhante e circular e leito fixo, porém alguns outros exemplos como o cone rotativo e reator ablativo também são utilizados (BASU, 2010, GOMEZ *et al.*, 2000).

Baixas temperaturas de processo e longos tempos de residência favorecem a produção de sólidos. Altas temperaturas e longos tempos de residência favorecem a conversão da biomassa em gás, sendo que temperaturas moderadas e curtos tempos de residência otimizam a produção de líquidos (BRIDGWATER, 2012).

O reator é operado de acordo com o tempo de residência do RSU, ou seja, em pirólise lenta, rápida, flash e ultrarrápida (CHHITI; KEMIHA, 2013). A pirólise lenta é caracterizada por temperaturas relativamente baixas (400°C), com taxa de aquecimento baixa e lenta, além de um tempo de residência de até alguns dias resultando em vapores que reajam favorecendo a produção de carvão (BASU, 2010).

Já na pirólise rápida o favorecimento é a formação de bio-óleo e gases, sendo assim, caracteriza-se por um tempo de residência baixo e temperaturas na faixa de 650 a 1000°C (BASU, 2010). Na Tabela 2 são apresentadas a distribuição de produtos obtidos para diversos parâmetros de reação.

Tabela 2 - Característica do processo operacional pirolítico em diferentes configurações.

Processo	Tempo de Residência	Taxa de Aquecimento	Temperatura de Pirólise (°C)	Produtos
Carbonização	Dias	Muito Baixa	400	Carvão
Convencional	5 a 30 min	Baixa	600	Carvão, bio-óleo e gás
Rápido	<2 s	Muito Alta	~500	Bio-óleo
Flash	<1 s	Alta	<650	Bio-óleo, químicos e gás
Ultrarrápida	<0,5 s	Muito Alta	~1000	Químico e gás
Hidro Pirólise	<10 s	Alta	<500	Bio-óleo

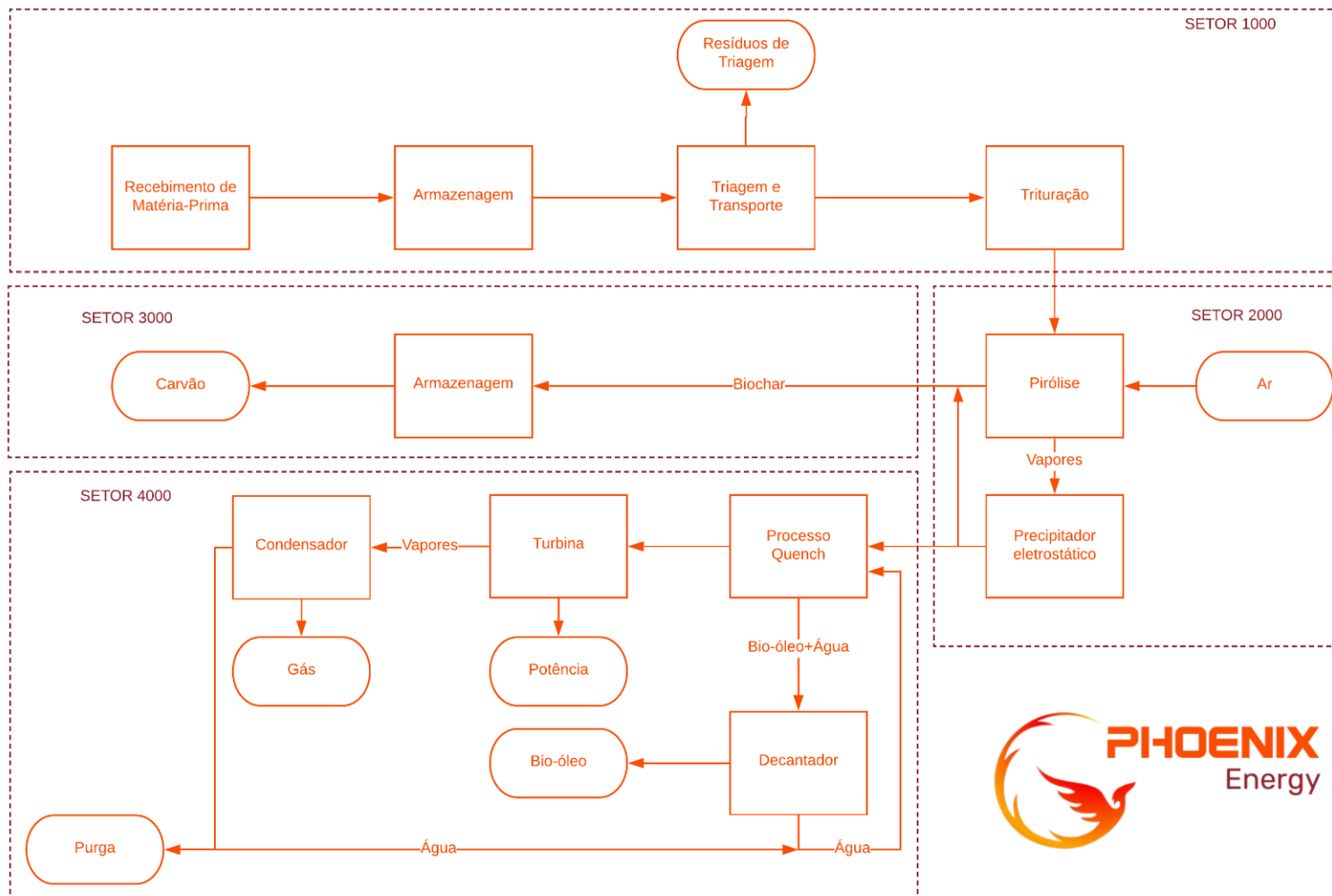
Fonte: Adaptado de BASU (2010).

Dentro das diversas opções, buscando maximizar a produção do gás proveniente do processo pirolítico, a empresa operará em uma faixa de temperatura de 900°C por tempos de residência de 5 min, com o intuito de se obter uma maior produção de gás, porém não deixando de lado os outros compostos, ou seja, biochar e bio-óleo.

6.2 Fluxograma de processo

O Processo da *Phoenix Energy* é adaptado do fluxograma do processo de pirólise convencional de RSU apresentado por Filho (2014), e pode ser observado através do diagrama de blocos da Figura 15.

Figura 15 - Diagrama de blocos do processo produtivo da *Phoenix Energy*.



Fonte: Autoria Própria (2022).

6.2.1 Setor 1000

6.2.1.1 Recebimento, armazenagem e transporte

A matéria-prima a ser processada pela *Phoenix Energy* poderá ser recebida via transporte hidroviário, ferroviário ou rodoviário, sendo pesada, comprimida e seguindo para o armazenamento nas baias em barracões cobertos e ventilados, com piso impermeável para evitar a contaminação do solo pelo percolado dos resíduos (este que será contido por canaletas e seguirá para o processamento no reator juntamente com o RSU).

A compressão dos resíduos se dar-se-á através de prensas enfardadeiras, similares ao modelo apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Prensa enfardadeiras para compressão de resíduos.

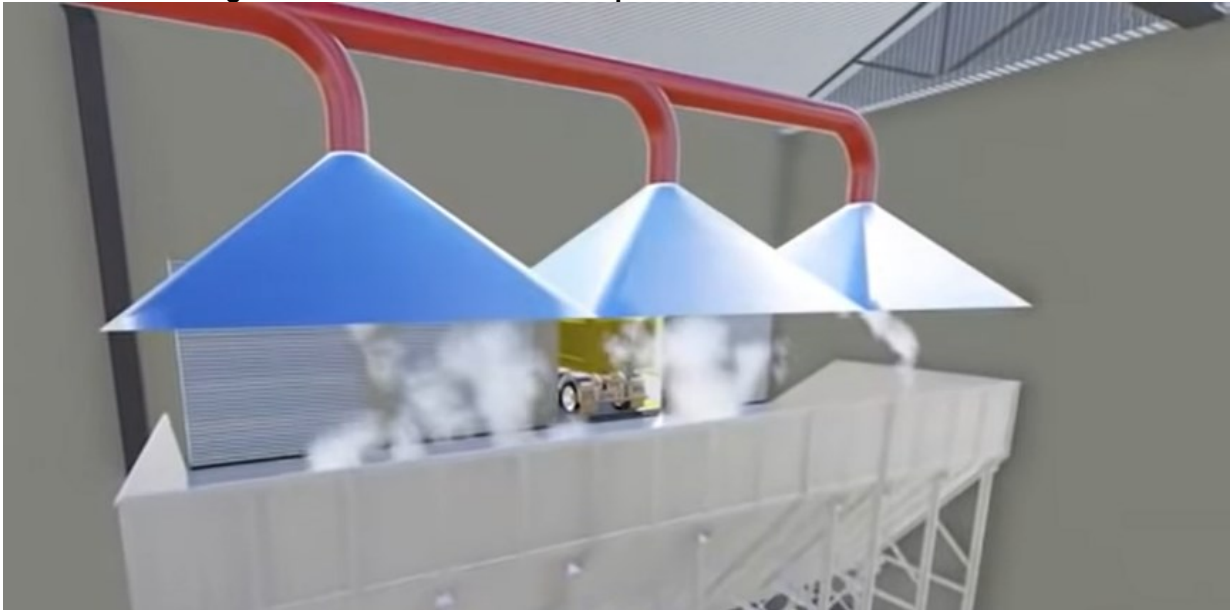


Fonte: YLS (2022).

As baias de armazenamento contarão com um sistema de exaustores tipo coifa industrial a fim de evitar o mau cheiro nos arredores da planta industrial, similar a Figura 17.

O transporte para a trituração será efetuado com o auxílio de tratores pá carregadeiras que descarregarão a matéria-prima em moegas, para então seguir através de esteiras até a entrada do triturador. Nessa esteira, a matéria-prima passa por uma triagem visual onde colaboradores irão separar os materiais metálicos e vidros para serem encaminhados para reciclagem externa.

Figura 17 - Sistema de exaustão para o armazenamento de RSU.



Fonte: Usitar (2015).

6.2.1.2 Trituração

Luo *et al.* (2010) avaliaram a influência da granulometria dos RSU no desempenho do processo de pirólise e gaseificação na faixa de 600 a 900 °C, concluindo que a redução do tamanho das partículas dos resíduos na alimentação do reator consiste em uma alternativa para a maior produção, maior qualidade e para o incremento do poder calorífico do gás, em função das maiores concentrações de CO e H₂. A Tabela 3 apresenta as composições do gás para as diferentes faixas granulométricas estudadas.

Tabela 3 - Composição do gás obtido através da pirólise a 900 °C.

Componente	d < 5 mm	5 mm < d < 10 mm	10 mm < d < 20 mm
H ₂	0,224	0,206	0,183
CO	0,265	0,247	0,220
CO ₂	0,342	0,371	0,432
CH ₄	0,101	0,126	0,115
C ₂ H ₄	0,053	0,033	0,043
C ₂ H ₆	0,015	0,017	0,007

Fonte: Adaptado de Luo *et al.* (2010).

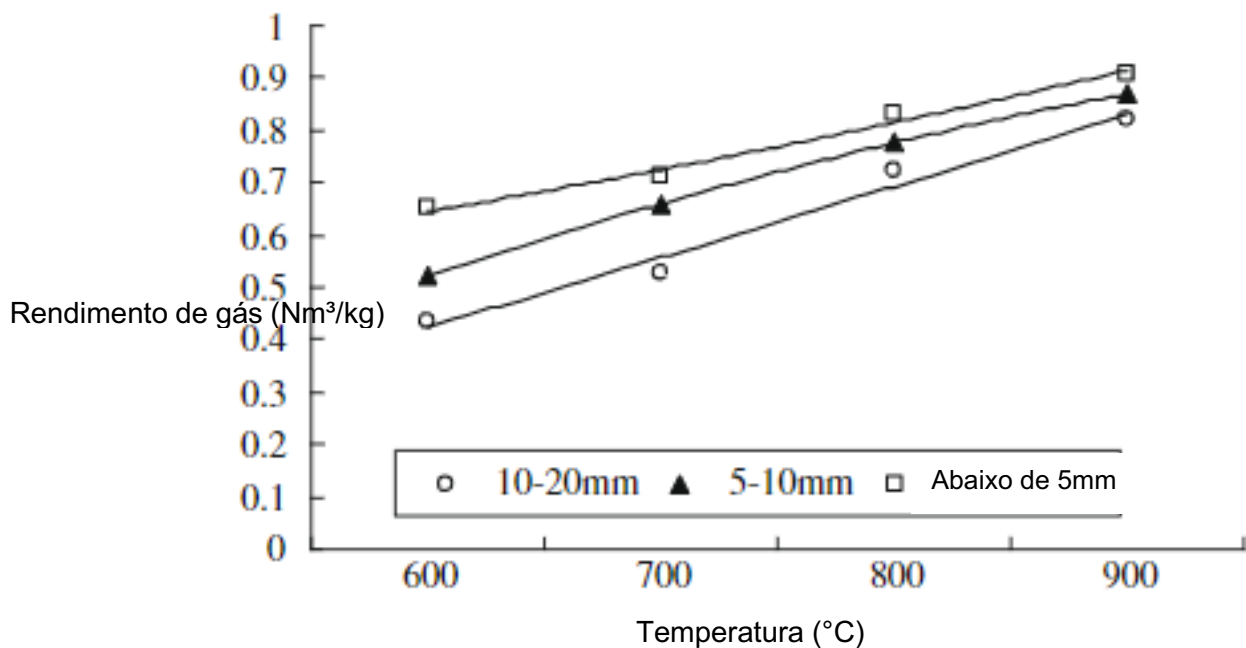
O rendimento do produto da pirólise e sua composição são dependentes também da taxa de aquecimento: maiores taxas produzem gases leves assim como

menos carvão e bio-óleo. Partículas menores contribuem para uma maior superfície de contato e, portanto, taxas de aquecimentos mais rápidas (Di Blasi, 1996).

Como pode ser observado na Figura 16, o efeito da granulometria altera o rendimento do processo quanto a produção de gás; em uma mesma temperatura, menores partículas favorecem uma maior produção de gás. Partículas maiores contêm maior a transferência de calor e, portanto, a temperatura no interior da partícula é menor, o que leva à ocorrência do processo de desvolatilização (Lv *et al.*, 2004).

A redução do efeito da granulometria com o aumento da temperatura também é observada na Figura 18, uma vez que ao alcançar a faixa de 800-900°C, a diferença na produção de gás é mínima. Sendo assim, a *Phoenix Energy* adotará que as partículas de RSU deixarão a etapa de trituração com granulometria abaixo dos 5 mm para seguir para o reator.

Figura 18 - Produção de gás em função da granulometria em diferentes temperaturas.



Fonte: Luo *et al.* (2010).

6.2.2 Setor 2000

6.2.2.1 Pirólise

Um dos grandes desafios do processamento pirolítico em grandes escalas é manter o fornecimento de calor para o reator, para o aquecimento e conversão da matéria-prima.

Conforme apresentado por Amutio (2012), diversas estratégias e configurações de aquecimento dos reatores e operação são adotados como:

- Troca de calor pelas paredes do reator: a relação entre a área de troca térmica e massa contida no reator limita o processo pela baixa transferência de calor;
- Dispositivos internos: o aquecimento por meio de dispositivos como serpentinas atrapalham a fluidodinâmica do processo resultando em incrustações rápidas e formação de alcatrão e fuligem;
- Gás fluidizante: o calor é fornecido apenas parcialmente por limitações de circulação do gás no reator, temperatura e taxa de injeção do mesmo no reator;
- Leito separado: o material é removido através de um leito fluidizado e transportado para aquecimento em um reator separado, aumentando a complexidade e o calor necessário é fornecido por combustão;
- Adição de Oxigênio: é realizada a adição de pequenas quantidades de oxigênio ao reator, que não afetam o processo de maneira significativa, mas que fornecem a energia *in situ* para a reação ocorrer a partir da queima de parte da matéria-prima.

Através da comparação dos processos de aquecimento, o mais vantajoso para a *Phoenix Energy* é o realizado com a adição de oxigênio em quantidades controladas, processo conhecido como pirólise oxidativa.

De acordo com o apresentado por Amutio (2012) a pirólise oxidativa apresenta vantagem por ser um processo auto térmico, além de ser o mais economicamente viável já que não depende de processos em paralelo; e também, o fornecimento energético necessário é realizado pela própria reação de pirólise com combustão de parte dos produtos pirolíticos.

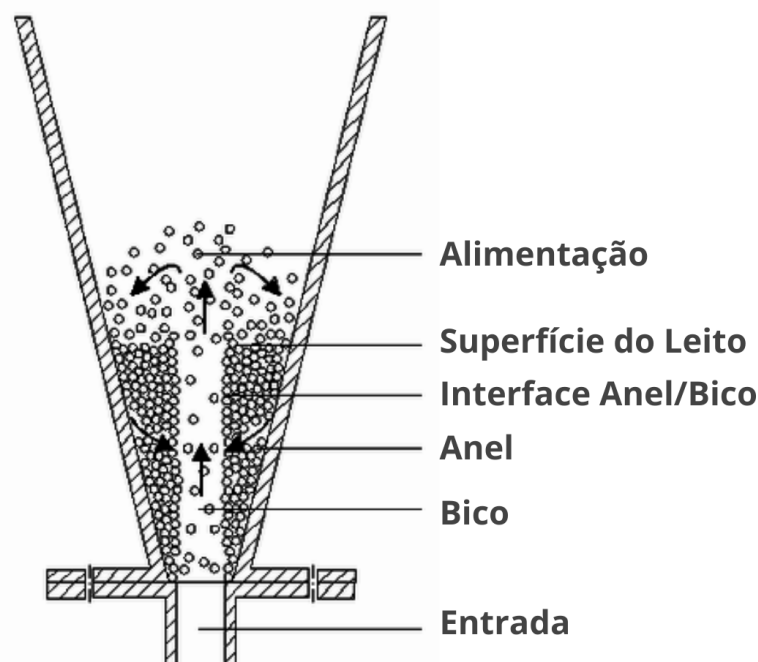
O estabelecimento do regime auto térmico para o processo permite uma integração energética além da redução de custos e aumento da viabilidade do processo.

Além destas vantagens o processamento por rota auto térmica tem alteração em seu mecanismo apresentando um aumento na fração gasosa e água nos produtos e uma redução para o bio-óleo e o carvão (devido a ocorrência de combustão).

O modelo de reator pirolítico utilizado para a pirólise oxidativa será um reator de leito cônico (CSBR, do inglês *conical spouted bed reactor*) apresentado na Figura 19; este reator permite a operação contínua com remoção seletiva do carvão (AMUTIO, 2012).

Avaliando em termos do foco de produção da *Phoenix Energy*, o principal interesse é a formação da fase gasosa no processamento pirolítico, e considerando o tipo de processo é necessário estabelecer condições para o favorecimento da formação desta fase.

Figura 19 - Esquema de reator CSBR.



Fonte: Adaptado de Elordi et al. (2007).

A partir de dados da literatura (BRIDGWATER, 2003; CHEN, 2014), pôde-se verificar que a formação da fase gasosa é favorecida em processos de altas temperaturas. De acordo com o apresentado por Almeida (2008) o processamento

para obtenção de uma maior fração de gases ocorre a uma temperatura por volta de 800 °C.

Este processamento pirolítico é baseado na ideia de pirólise rápida/flash, sendo realizado em altas temperaturas sendo divergente no tempo de residência dos resíduos no reator.

De acordo com os estudos de Bridgwater (2003) o processamento pirolítico para favorecimento de gases, ocorrendo a uma temperatura próxima de 800 °C, apresenta uma formação de 85% de fase gasosa, 10% de biochar e 5% de bio-óleo em proporção de massa (m/m), sendo realizada a total conversão dos resíduos nestes produtos.

6.2.2.2 Precipitador eletrostático

O precipitador eletrostático tem como objetivo nesta etapa do processo a remoção de partículas sólidas suspensas na corrente de gás, originada no processamento pirolítico, com o intuito de reduzir os impactos gerados em etapas posteriores.

O equipamento possui diversas vantagens quando comparado com outras ferramentas com o mesmo princípio, pois opera em elevadas temperaturas, alta eficiência (99 a 99,9%) mesmo que as partículas sejam de 0,3 µm, possuindo baixa perda de carga e baixo custo de manutenção (KIM *et al.*, 2001; PARKER, 2003; OZAWA, 2003).

O precipitador do tipo placa-fio pode ser caracterizado com uma fila de fios de descarga, posicionadas ao longo do eixo gravitacional, localizadas dentre placas de coleta formando um duto. Com isso as partículas de cinzas são coletadas a partir do impacto mecânico causado, depositando-as nos reservatórios (MEIRA, 2009).

6.2.3 Setor 3000

6.2.3.1 Armazenagem de subproduto - Biochar

Os produtos sólidos da pirólise contêm carvão, cinzas e constituintes da biomassa não degradados. As condições da pirólise determinam a composição química dos sólidos produzidos (YAMAN, 2004).

Segundo Silveira (2015), o carvão é uma estrutura de carbono porosa de aproximadamente 85% de carbono. Este será retirado do reator e acondicionado em galpões cobertos para resfriamento a temperatura ambiente onde na sequência serão inseridos em big bags para o transporte a indústrias parceiras.

6.2.4 Setor 4000

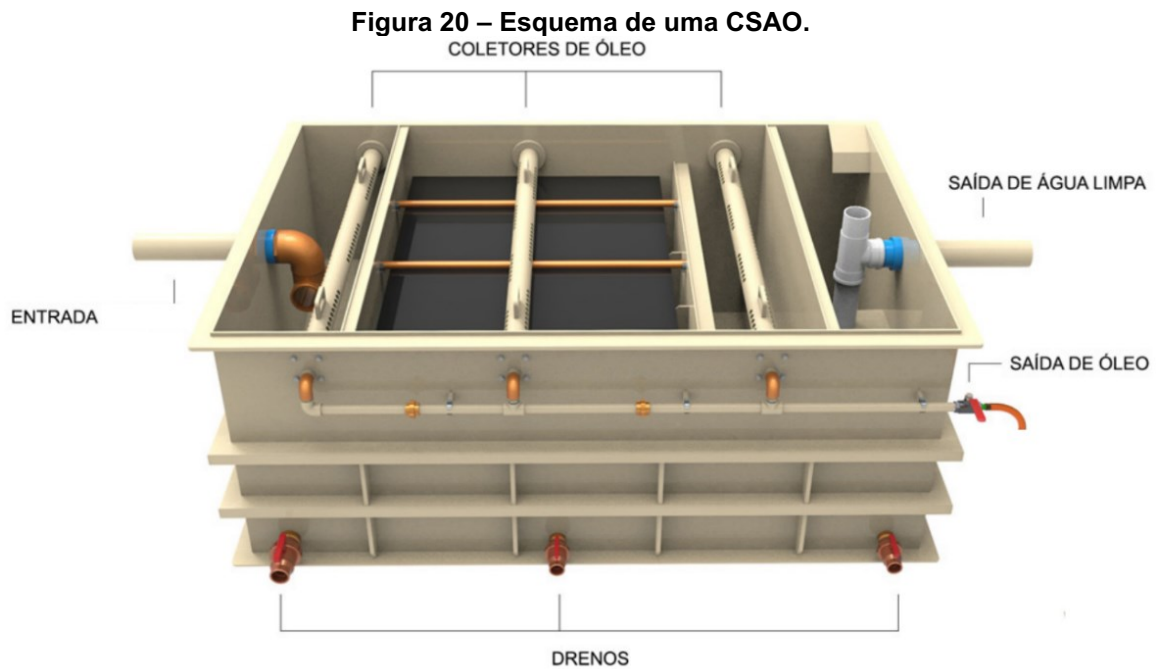
6.2.4.1 Processo *quench*

O *quenching* possui o mesmo princípio de um trocador de calor, com a finalidade de realizar um resfriamento rápido entre a corrente quente (gás) e fria (água) (RIBEIRO NETO, 2014). Sendo assim, o processo consiste na entrada de uma corrente, contendo gás residual de pirólise e o bio-óleo ainda não condensado, recebendo em contracorrente a corrente de água que condensa o bio-óleo, e simultaneamente ocorre a formação de vapor de água, que junto com os gases não-condensáveis segue para a turbina.

Ringer, Putsche e Scahill (2006) descrevem que o produto líquido obtido pelo processo de resfriamento carrega 28% de água em sua composição. O *quench* é essencial nesta etapa para a separação do bio-óleo, posteriormente coletado, e a conservação da corrente gasosa composta por gás excedente do processo pirolítico e vapor d'água, essencial para a geração de potência.

6.2.4.2 Decantador

A corrente de bio-óleo e água na saída do processo *quench* passará por um decantador do tipo caixa separadora de água e óleo onde a fase aquosa será reinserida no processo *quench* para novamente voltar a resfriar a corrente de saída do precipitador eletroestático enquanto o bio-óleo será retirado e seguirá para armazenamento, este tipo de processo pode ser observado na Figura 20 e por ser uma operação contínua onde a retirada de fases é feita perto das superfícies superior e inferior de cada fase, é garantido que as correntes não saiam desta etapa contaminadas uma com as outras.



Fonte: Grabe (2021).

6.2.4.3 Armazenagem de subproduto – Bio-óleo

O Bio-óleo, ou óleo de pirólise, é uma mistura entre água, oxigênio e diversos compostos hidro-carbonados de estruturas complexas, entre eles os hidroxialdeídos, hidroxicetonas, açúcares, ácidos carboxílicos e compostos fenólicos.

Este será coletado do decantador, sendo bombeado e acondicionado em bombonas para posterior transporte e comercialização a empresas parceiras.

6.2.4.4 Turbina

Equipamento constituído por um anel de expansores, seguido por estágios de palhetas móveis, ligados ao rotor, intercalando palhetas fixas, conectadas a parede do equipamento. O fluxo do gás escoo pelas palhetas móveis, transferindo energia do fluido para a turbina, na qual transforma energia cinética em trabalho mecânico (PAZ, 2002).

A geração de energia elétrica é realizada por meio de um gerador síncrono, com seu rotor acoplado a uma turbina movimentada pelo gás do processo. Com esse movimento, surge um campo girante através dos polos do rotor da máquina, que induz uma tensão trifásica nos enrolamentos do estator. Após a geração, a energia flui até

um transformador de potência que altera os níveis de tensão para os valores desejados (CHAPMAN, 2013).

Borgnakke e Sonntag (2009) refere-se à delimitação do processo de geração de energia da turbina a gás, ao seu valor isentrópico. Mas devido a não-idealidade das condições de processo, estima-se que a eficiência estará entre os valores de 70 a 88%. Além de uma pressão de vapor de entrada em torno de 80 a 85 kg/cm², com uma potência de 50 MW.

6.2.4.5 Condensador

A corrente de vapor responsável pela movimentação das hélices da turbina, segue para um condensador, onde se recupera a fração aquosa que então retorna ao processo *quench* e o gás de síntese segue para armazenagem em gasômetro.

6.2.4.6 Armazenagem de subproduto – Gás de síntese

O gás de síntese passará por um gasômetro a fim de homogeneizar o fluido para na sequência ser envasado em cilindros e armazenados ou transportados para empresas parceiras, seguindo as normativas NBR 12790 e 12791 que trata a respeito dos cuidados no armazenamento e transporte de gases a alta pressão.

O envase destes cilindros se dará por meio de compressores tomando os seguintes cuidados: durante o envase, os cilindros deverão ficar acomodados na vertical presos através de uma corrente, evitando a chance de quedas. além disso, será feito em um local com ventilação para minimizar a temperatura do cilindro, que é aumentada devido à agitação molecular causada pela pressão. Os cilindros terão sua temperatura monitorada durante todo o processo, ao constatar um valor acima do recomendado pelo fabricante, o processo será imediatamente interrompido e o mesmo cilindro poderá retornar após constatar que sua temperatura está aceitável.

7 BALANÇO MATERIAL E ENERGÉTICO

A *Phoenix Energy* tem como meta processar 350.400 toneladas de RSU ao ano com o intuito de gerar energia, além de matéria-prima para combustíveis líquidos e carvão, sendo responsável por cerca de 0,001% da demanda energética nacional através do processamento pirolítico. A usina irá exercer sua operação durante todo o ano, sendo fonte de energia alternativa paralelamente como uma empresa responsável pela destinação final do resíduo sólido urbano.

Sendo assim, o balanço de massa, que corresponde ao monitoramento e descrição dos fluxos de massa que percorrem por todo processo produtivo, será desenvolvido nas etapas do processo, considerando um processo contínuo. O balanço em regime permanente possui como princípio a Conservação da Massa, no qual refere-se que a quantidade de massa inicial de um processo corresponde a mesma porção ao final. Contudo pode-se observar na fórmula geral representada pela Equação 2:

$$\Sigma \text{Acúmulo} = \Sigma \text{Entrada} - \Sigma \text{Saída} + \Sigma \text{Gerado} - \Sigma \text{Consumido} \quad (2)$$

Considera-se que o processamento ocorre em regime permanente (RP), não apresentado variações das propriedades com o tempo. Com isso, o termo de acúmulo é nulo; além disso, para as operações que ocorrem na ausência de reação química, o termo de geração e consumo também é anulado, resultando em uma equação reduzida para o Balanço de Massa, identificada na Equação 3:

$$\Sigma \text{Entrada} - \Sigma \text{Saída} = 0 \quad (3)$$

Para fins de entendimento, a Figura 21 mostra todo o processo produtivo da *Phoenix Energy* com a identificação das correntes envolvidas em cada etapa do processo.

Os balanços por componentes também foram realizados para cada etapa do processamento, e está representado na Equação 4, em que x_i^j representa a fração mássica do componente j na corrente i .

$$M_i x_i^j = N_i x_i^j \quad (4)$$

Com o intuito de assegurar a relação entre mapeamento e estrutura da usina, assim como coletar dados importantes para averiguação dos resultados produtivos, combina-se o balanço de massa e o de energia. O balanço de energia está fundamentado na primeira lei da termodinâmica, no qual independentemente das várias formas que a energia assuma, a quantidade permanece constante e quando de alguma forma a energia desaparece, ela reaparece paralelamente em outras formas, sendo contabilizadas pela diferença entre o trabalho realizado e o calor fornecido ao sistema, de acordo com a Equação 5 (BATISTA, 2015).

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum_e \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gZ_e \right) - \sum_s \dot{m}_s \left(h_s + \frac{V_s^2}{2} + gZ_s \right) \quad (5)$$

Sabe-se que no sistema da *Phoenix Energy* se encontra em regime permanente, e considerando-se desprezíveis as variações de energia cinética (K) e potencial (P), pode-se reduzir a equação do balanço de energia a Equação 6:

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \dot{m}(h_s - h_e) \quad (6)$$

Onde Q , W e h representam respectivamente o calor, o trabalho e a entalpia que uma corrente sofre ao passar por um processo dentro do volume de controle analisado.

A energia, no entanto, pode ser transferida de três formas distintas: fluxo de massa, calor ou trabalho. A transferência de energia em processos operando em regime permanente é quantificada por meio da determinação da entalpia, considera-se uma entalpia de referência (na temperatura ambiente), disponível na literatura (SMITH; VAN NESS; ABBOT, 2007). Como durante o processo pode ocorrer a mudança de estado físico da matéria a entalpia também é alterada, sendo determinada então por meio da Equação 7.

$$H(T) = H(T_{ref}) + n \int c_{p(l)} dT + \Delta H_{latente} + n \int c_{p(g)} dT \quad (7)$$

Para se determinar a entalpia de qualquer componente a partir de uma referência, faz-se necessário o cálculo de c_p , considerando que os componentes de cada corrente admitem comportamento ideal utilizou-se a Equação 9 (SMITK *et al.*, 2007):

$$c_{pi} = \frac{c_{pi}^{gás\ ideal}}{R} = A + BT + CT^2 + DT^{-2} \quad (9)$$

onde R refere-se a constante universal dos gases ideais, e A, B, C e D são constantes obtidas experimentalmente e tabeladas.

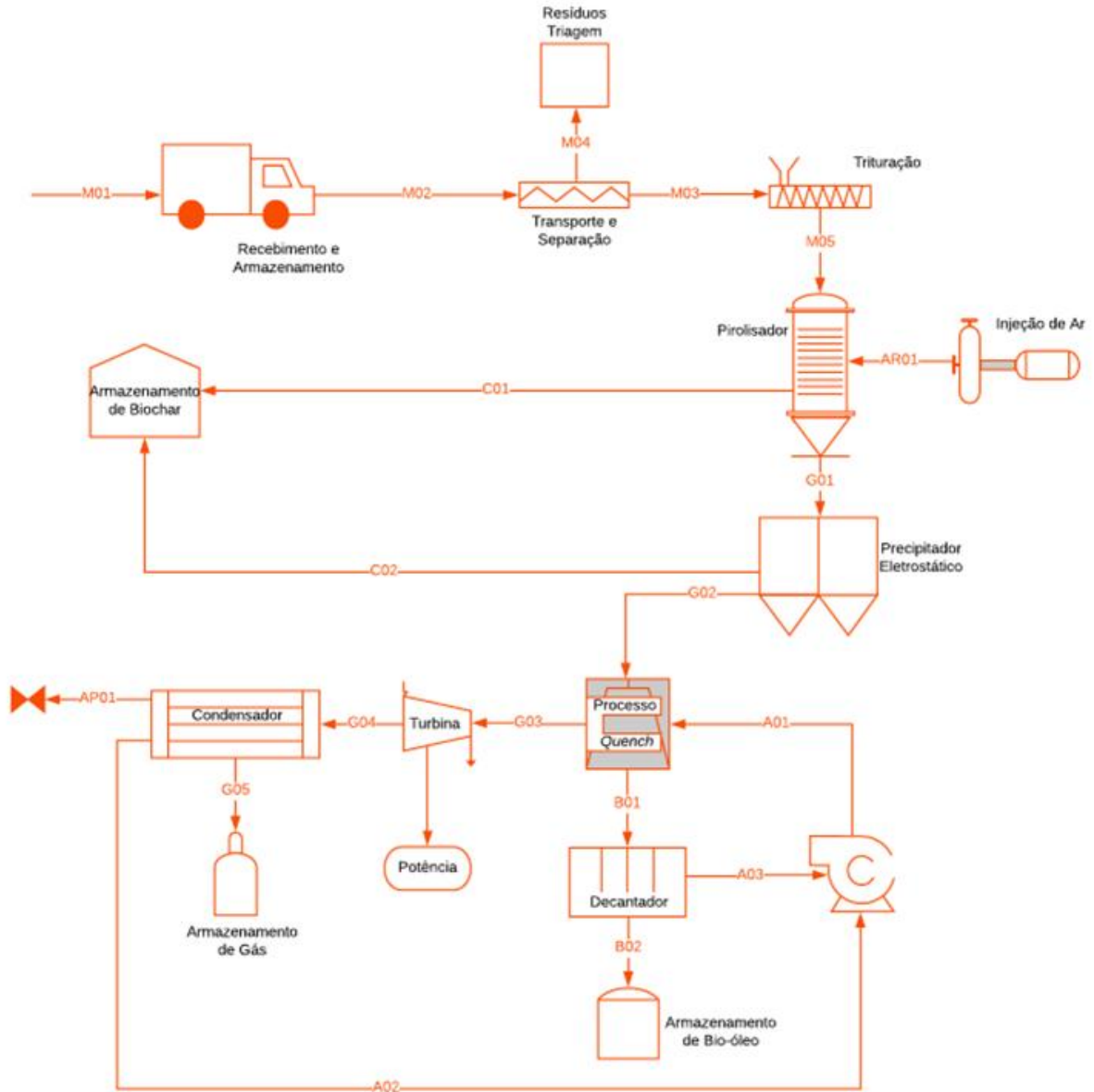
Entretanto para etapas do processo que não ocorre transferência de calor, mas há transferência de trabalho, a Equação 6 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$-W = \Delta H \Delta T \quad (10)$$

Essa equação é válida para os sistemas de compressão ou expansão dos gases, em turbinas ou compressores.

Para a identificação das correntes é apresentado o diagrama de processo produtivo na Figura 21. Os cálculos de balanço mássico e energético estão apresentados por ordem de processamento do RSU ordenados por setores.

Figura 21 - Processo produtivo e identificação das correntes envolvidas.



Fonte: Autoria Própria (2022).

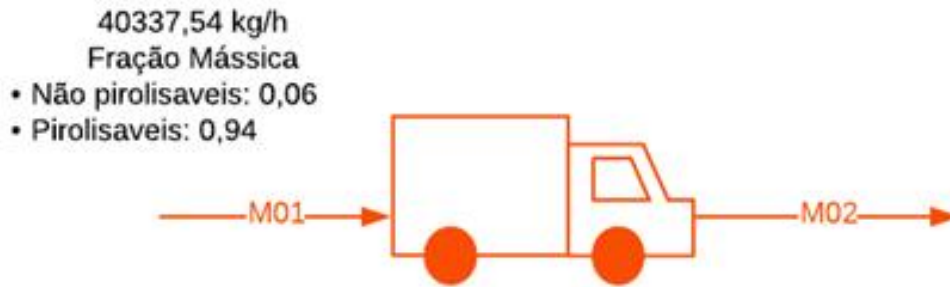
7.1 Setor 1000

7.1.1 Recebimento e armazenagem de matéria-prima

O processo inicia-se com a chegada da matéria-prima no setor de recebimento e sua armazenagem ocorre sem a alteração do RSU, a identificação das correntes que passam pelo processo de recebimento e armazenagem estão apresentadas na Figura 22. A composição desta corrente pode ser identificada na Tabela 4, considerando a composição gravimétrica do RSU apresentada pela Abrelpe (2020). A matéria-prima é separada em porcentagem mássica nos itens que serão

submetidos ao processamento pirolítico e os resíduos não pirolisáveis (vidro e metais) sendo submetida ao processo em uma vazão mássica de 40.337,54 kg/h.

Figura 22 - Identificação de correntes envolvidas no recebimento e armazenagem.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Sendo assim é possível determinar as vazões mássicas e as entalpias dos componentes nas correntes, demonstrados na Tabela 4 e 5 respectivamente.

Tabela 4 - Composição das correntes envolvidas no recebimento e armazenagem.

Corrente	M01		M02	
	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)
Não Pirolisáveis	0,06	2581,60	0,06	2581,60
Pirolisáveis	0,94	37755,94	0,94	37755,94
Total	1,00	40337,54	1,00	40337,54

Fonte: Autoria Própria (2022).

Tabela 5 - Entalpia das correntes envolvidas no recebimento e armazenagem

Corrente	M01		M02	
	Vazão Molar (kmol/h)	Entalpia (kW)	Vazão Molar (kmol/h)	Entalpia (kW)
Não Pirolisáveis	32,45	0,45	32,45	0,45
Pirolisáveis	6,49	0,70	6,49	0,70
Total	39,03	1,15	39,03	1,15
Temperatura da Corrente (K)	300,15		300,15	

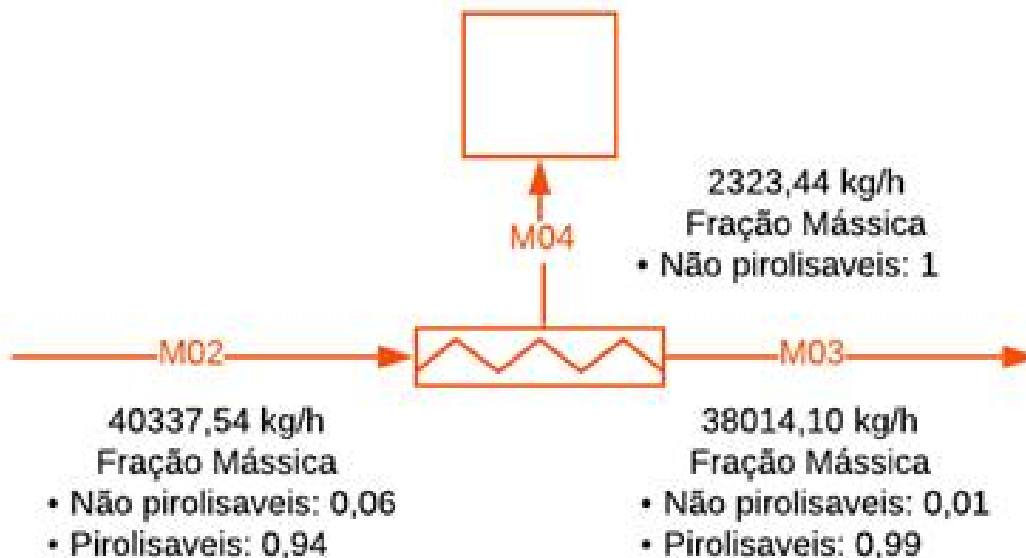
Fonte: Autoria Própria (202).

7.1.2 Transporte e Triagem

Durante o transporte da matéria-prima via esteiras, do armazenamento até a trituração, o RSU passa por uma triagem manual onde tem-se a retirada de 90% dos

resíduos não pirolisáveis (metais e vidros), que são retirados do processo e representados pela corrente M04; a corrente M03 segue o processo. Essa triagem e divisão das correntes é exemplificada na Figura 23.

Figura 23 - Identificação de correntes envolvidas no transporte e triagem.



Fonte: Autoria Própria (2022).

A corrente M03 então passa a contar com uma vazão mássica de 38.014,10 kg/h, contendo apenas 10% dos resíduos que não são pirolisáveis. Desta forma pode-se determinar a fração mássica e a quantidade de energia (entalpia) contida nos componentes presentes na corrente M03 utilizando os balanços por componente.

Os valores das correntes, assim como a composição e a energia destas são apresentadas na Tabela 6 e 7, respectivamente.

Tabela 6 - Composição das correntes envolvidas no transporte e triagem.

Corrente	M02		M03		M04	
	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)
Não Pirolisáveis	0,06	2581,60	0,01	258,16	1,00	2323,44
Pirolisáveis	0,94	37755,94	0,99	37755,94	0,00	0,00
Total	1,00	40337,54	1,00	38014,10	1,00	2323,44

Fonte: Autoria Própria (2022).

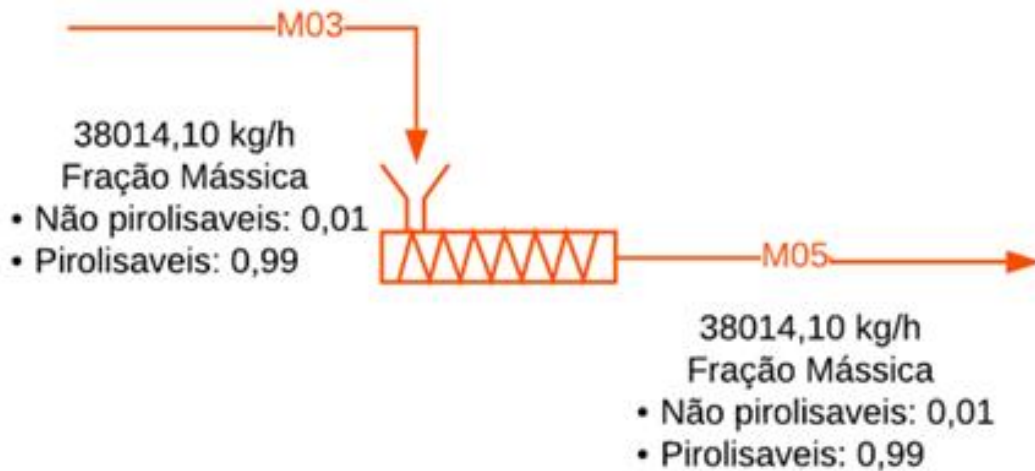
Tabela 7 - Energia das correntes envolvidas no transporte e triagem.

Corrente	M02		M03		M04	
Componente	Vazão Molar (kmol/h)	Entalpia (kW)	Vazão Molar (kmol/h)	Entalpia (kW)	Vazão Molar (kmol/h)	Entalpia (kW)
Não Pirolisáveis	32,54	0,45	3,25	0,04	29,29	0,41
Pirolisáveis	6,49	0,70	6,49	0,70	0,00	0,00
Total	39,03	1,15	9,75	0,74	29,29	0,1
Temperatura da Corrente (K)	300,15		300,15		300,15	

Fonte: Autoria Própria (2022).

7.1.3 Trituração

Após a separação manual dos resíduos não pirolisáveis, a corrente M03 segue para a etapa de trituração, como mostra a Figura 24.

Figura 24 - Identificação de correntes envolvidas na trituração.

Fonte: Autoria Própria (2022).

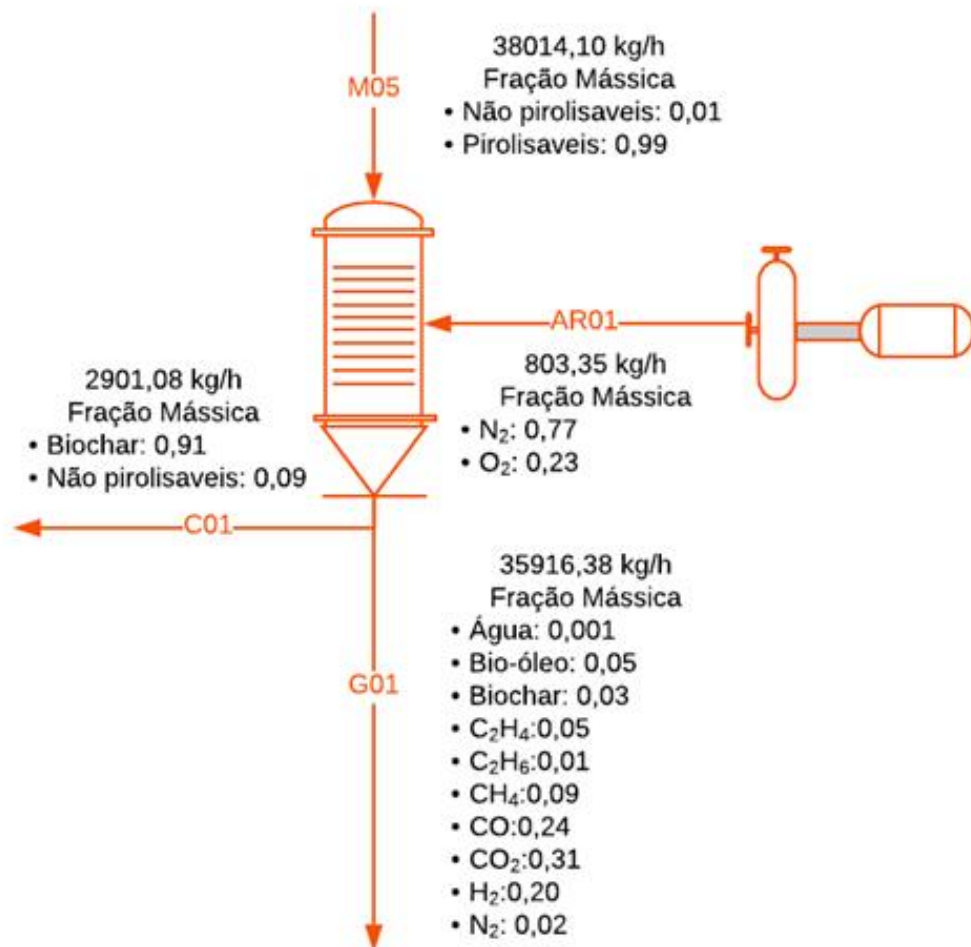
O processo de trituração tem por objetivo diminuir a granulometria dos RSU até atingirem um diâmetro máximo de 5mm. Este processo não conta com perdas de massa nem conversão de matéria, sendo então as correntes M03 e M05 iguais em composição e vazão, como pode ser verificado na Figura 24.

7.2 Setor 2000

7.2.1 Pirólise

O reator pirolítico recebe a matéria-prima proveniente da corrente M05. Como o processamento dentro do reator é estabelecido em um regime auto térmico, onde se é utilizada a oxidação da própria matéria-prima para se oferecer calor para a reação, a partir do fornecimento de uma corrente controlada de ar (foi estipulada inicialmente como 2% da corrente de entrada do processo M01). O valor da vazão da corrente A01 é confirmado através do balanço de energia considerando a reação de oxidação do material. Com a oxidação têm-se o fornecimento de calor necessário para a pirólise, onde através desta são formados carvão, bio-óleo e gás. O reator CSBR tem uma saída para o carvão formado (C01) e outra para os gases e o bio-óleo (G01), este esquema é exemplificado na Figura 25.

Figura 25 - Identificação de correntes envolvidas no pirolisador.



Fonte: Autoria Própria (2022).

A conversão no pirolisador é total, onde todo o material inserido é convertido em produtos. Para uma operação a 900 °C, que favorece a formação da fase gasosa, têm-se uma proporção em massa dos produtos formados apresentado nos estudos de Bridgwater (2003), sendo de 85% em gás, 10% de biochar e 5% de bio-óleo.

A corrente C01, que é para a retirada de material sólido formado do reator leva junto a estes sólidos os resíduos não pirolisáveis. Os 10% convertidos em carvão podem ser compostos por diversos tamanhos de partículas, deste modo, nem todo carvão é removido pela corrente C01, mas somente os sólidos grosseiros (considerados como 7%). Já os sólidos finos formados (correspondente a 3%) são arrastados pelo gás para a corrente G01. A Tabela 8 apresenta a composição e vazão mássica obtida para o biochar.

Tabela 8 - Composição da corrente de biochar que deixa o pirolisador.

Corrente	C01	
	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)
Biochar	0,91	2642,92
Não Pirolisáveis	0,09	258,16
Total	1,00	2901,08

Fonte: Autoria Própria (2022).

A corrente G01 contará também com os 5% convertidos em bio-óleo. Já a composição da fase gasosa para as condições do pirolisador, descrita na Tabela 3, foi utilizada para se determinar a vazão correspondente de cada componente formado, sendo estes C_2H_4 , C_2H_6 , CH_4 , CO , H_2 . Para os produtos de oxidação, um balanço elementar permite determinar a composição de CO_2 e H_2O , a partir da vazão de ar adotada, da composição elementar do RSU e da fração destes elementos no gás de síntese fornecido pela Tabela 3.

A composição elementar do RSU utilizado para os cálculos foi obtida de SILVEIRA (2015), sendo este 86% Carbono, 12% Hidrogênio e 2% Nitrogênio.

As informações completas das correntes de entrada no pirolisador pode ser observada na Tabela 9 e as de saída na Tabela 10, estas informações são referentes ao balanço material.

Tabela 9 - Composição das correntes de entrada do pirolisador.

Corrente	M05		AR01	
	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)
N ₂	0,00	0,00	0,77	616,21
Não Pirolisáveis	0,01	258,16	0,00	0,00
O ₂	0,00	0,00	0,23	187,14
Pirolisáveis	0,99	37755,94	0,00	0,00
Total	1,00	38014,10	1,00	803,35

Fonte: Autoria Própria (2022).

Tabela 10 - Composição das correntes de saída do pirolisador.

Corrente Componente	C01		G01	
	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)
Água	0,00	0,00	0,001	22,40
Bio-óleo	0,00	0,00	0,05	1887,80
Biochar	0,91	2642,92	0,03	1132,68
C ₂ H ₄	0,00	0,00	0,05	1700,91
C ₂ H ₆	0,00	0,00	0,01	481,39
CH ₄	0,00	0,00	0,09	3241,35
CO	0,00	0,00	0,24	8504,53
CO ₂	0,00	0,00	0,31	11136,07
H ₂	0,00	0,00	0,20	7188,73
N ₂	0,00	0,00	0,02	620,53
Não Pirolisáveis	0,09	258,16	0,00	0,00
Total	1,00	2901,08	1,00	35916,38

Fonte: Autoria Própria (2022).

Para a determinação do balanço energético no pirolisador utilizou-se da Equação 6 considerando que durante o processamento em regime permanente não há trabalho ou calor de fontes externas envolvidas no processo.

Deste modo, o balanço energético foi realizado através da variação de entalpia das correntes envolvidas. Através deste balanço identificou-se uma demanda energética inicial de 61,64 KW, e esta é sanada através do processamento auto térmico da pirólise oxidativa.

O gás de síntese produzido no pirolisador possui um grande potencial energético e sendo assim pode ser utilizado como fonte energética para suprimento desta demanda. Dentre os gases disponíveis tem-se o hidrogênio em abundância e conforme apresentado por Ferreira (2017) é possível validar que as propriedades do H₂ cumprem um importante papel no processo de combustão.

O gás hidrogênio apresenta uma ampla faixa de inflamabilidade, baixa energia de ignição, alta temperatura de autoignição, alta difusividade e alta velocidade de chama (FERREIRA, 2017). A oxidação do hidrogênio ocorre através da reação apresentada na Equação 11 e libera uma energia de 285,8 J/mol.



Como já discutido, a conversão do material pirolisável no reator é total e, a quantidade e composição dos gases gerados (C_2H_4 , C_2H_6 , CH_4 e CO) foram determinadas do mesmo modo que no balanço material apresentado na Tabela 10. A quantidade de hidrogênio do gás de síntese é determinada do mesmo modo, entretanto parte deste material é consumido para a geração de calor, sendo assim, o balanço material é alterado.

A determinação da quantidade de hidrogênio necessária para o processo oxidativo do pirolisador, tem como função suprir a demanda de energia. A reação, no entanto, também envolve o ar injetado no pirolisador, e esta é uma variável a ser determinada juntamente com a quantidade de hidrogênio.

A quantidade de água gerada é relacionada com a oxidação de hidrogênio, seguindo a proporção molar, e a determinação foi realizada através de cálculos iterativos por meio do uso do *solver*. Portanto, os balanços material e energético foram realizados de forma simultânea, e estão apresentados nas Tabelas 11 e 12 (material) e Tabelas 13 e 14 (energético).

Tabela 11 – Composição das correntes de entrada do pirolisador auto térmico.

Corrente	M05		AR01	
	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)
N2	0,00	0,00	0,77	40909,47
Não Pirolisáveis	0,01	258,16	0,00	0,00
O2	0,00	0,00	0,23	12423,76
Pirolisáveis	0,99	37755,94	0,00	0,00
Total	1,00	38014,10	1,00	53333,23

Fonte: Autoria Própria (2022).

Tabela 12 – Composição das correntes de saída do pirolisador auto térmico.

Corrente	C01		G01	
Componente	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)
Água	0,00	0,00	0,128	11320,42
Bio-óleo	0,00	0,00	0,02	1887,80
Biochar	0,91	2642,92	0,04	3801,41
C ₂ H ₄	0,00	0,00	0,02	1700,91
C ₂ H ₆	0,00	0,00	0,01	481,39
CH ₄	0,00	0,00	0,04	3241,35
CO	0,00	0,00	0,10	8504,53
CO ₂	0,00	0,00	0,12	10975,65
H ₂	0,00	0,00	0,06	5623,34
N ₂	0,00	0,00	0,46	40909,47
Não Pirolisáveis	0,09	258,16	0,00	11320,42
Total	1,00	2901,08	1,00	88446,26

Fonte: Autoria Própria (2022).

Tabela 13 - Energia das correntes de entrada no pirolisador.

Corrente	M05		AR01	
Componente	Vazão Molar (kmol/h)	Energia (kW)	Vazão Molar (kmol/h)	Energia (kW)
N ₂	0,00	0,00	1460,53	23,63
Não Pirolisáveis	3,25	0,04	0,00	0,00
O ₂	0,00	0,00	388,24	6,34
Pirolisáveis	6,49	0,70	0,00	0,00
Total	9,74	0,74		29,97
Temperatura (K)		300,15		300,15

Fonte: Autoria Própria (2022).

Tabela 14 - Energia na saída do pirolisador.

Corrente	C01		G01	
	Vazão Molar (kmol/h)	Energia (kW)	Vazão Molar (kmol/h)	Energia (kW)
Água	0,00	0,00	628,21	5760,92
Bio-óleo	0,00	0,00	163,29	12849,90
Biochar	220,24	930,31	316,78	1338,11
C ₂ H ₄	0,00	0,00	60,64	1140,18
C ₂ H ₆	0,00	0,00	16,01	384,90
CH ₄	0,00	0,00	202,08	2869,58
CO	0,00	0,00	303,62	2309,45
CO ₂	0,00	0,00	249,39	2950,48
H ₂	0,00	0,00	2789,35	20108,33
N ₂	0,00	0,00	1460,53	11001,82
Não Pirolisáveis	3,25	30,99	628,21	0,00
Total	223,50	961,31	6189,91	60713,67
Temperatura (K)	1173,15		1173,15	

Fonte: Autoria Própria (2022).

A quantidade de ar que entra no pirolisador resultante foi de 132,22% da quantidade de RSU processado na *Phoenix Energy*. Essa porcentagem pode ser reduzida realizando um pré-aquecimento do ar. O carvão que sai do pirolisador tem uma alta temperatura, e isso se deve à temperatura de operação do reator de pirólise. Essa temperatura faz com que este material carregue um excedente de energia, que é desprezada até que o carvão atinja a temperatura ambiente para seguir ao armazenamento para destinação final.

Seguindo este raciocínio, por meio de uma integração energética, pode-se utilizar da energia disponível na corrente C01 para pré-aquecimento do ar injetado pela corrente AR01. Com isso através da integração foi possível realizar um aquecimento da corrente de 300,15 K para 583,00 K, e esta alteração tem influência direta na reação de combustão do hidrogênio, já que o oxigênio limitante é um controlador do processo.

Neste caso, foi preciso reavaliar os valores encontrados tanto para o balanço material como o energético. Após a realização do ajuste simultâneo tornou-se possível redução da injeção de ar para 119,63% com o pré-aquecimento da corrente e, por

consequência os valores de composição também sofrem alterações e se encontram nas Tabelas 15 a 18.

Tabela 15 – Composição das correntes de entrada do pirolisador auto térmico com integração energética.

Corrente	M05		AR01	
	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)
N ₂	0,00	0,00	0,77	37014,72
Não Pirolisáveis	0,01	258,16	0,00	0,00
O ₂	0,00	0,00	0,23	11240,96
Pirolisáveis	0,99	37755,94	0,00	0,00
Total	1,00	38014,10	1,00	48255,68

Fonte: Autoria Própria (2022).

Tabela 16 – Composição das correntes de saída do pirolisador auto térmico com integração energética.

Corrente	C01		G01	
	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)
Água	0,00	0,00	0,120	9988,59
Bio-óleo	0,00	0,00	0,02	1887,80
Biochar	0,91	2642,92	0,05	3801,41
C ₂ H ₄	0,00	0,00	0,02	1700,91
C ₂ H ₆	0,00	0,00	0,01	481,39
CH ₄	0,00	0,00	0,04	3241,35
CO	0,00	0,00	0,10	8504,53
CO ₂	0,00	0,00	0,13	10975,65
H ₂	0,00	0,00	0,07	5772,37
N ₂	0,00	0,00	0,44	37014,72
Não Pirolisáveis	0,09	258,16	0,00	0,00
Total	1,00	2901,08	1,00	83368,71

Fonte: Autoria Própria (2022).

Tabela 17 - Entalpia das correntes de entrada no pirolisador auto térmico com integração energética.

Corrente	M05		AR01	
	Vazão Molar (kmol/h)	Energia (kW)	Vazão Molar (kmol/h)	Energia (kW)
N ₂	0,00	0,00	1321,48	3098,53
Não Pirolisáveis	3,25	0,04	0,00	0,00
O ₂	0,00	0,00	351,28	862,27
Pirolisáveis	6,49	0,70	0,00	0,00
Total	9,75	0,74	1672,76	3960,80
Temperatura (K)	300,15		583,00	

Fonte: Autoria Própria (2022).

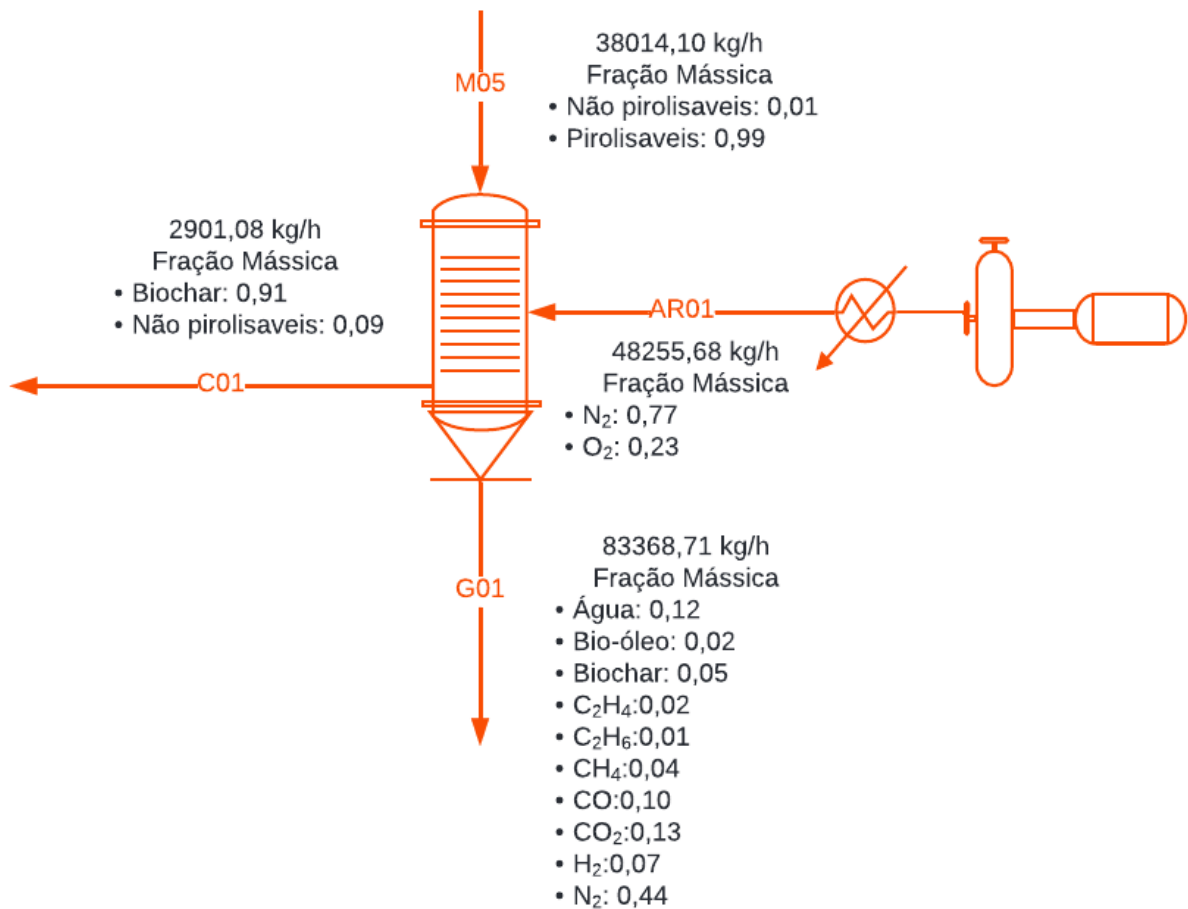
Tabela 18 – Entalpia das correntes de saída do pirolisador auto térmico com integração energética.

Corrente	C01		G01	
	Vazão Molar (kmol/h)	Energia (kW)	Vazão Molar (kmol/h)	Energia (kW)
Água	0,00	0,00	554,31	5083,16
Bio-óleo	0,00	0,00	163,29	12849,90
Biochar	220,24	209,34	316,78	1338,11
C ₂ H ₄	0,00	0,00	60,64	1140,18
C ₂ H ₆	0,00	0,00	16,01	384,90
CH ₄	0,00	0,00	202,08	2869,58
CO	0,00	0,00	303,62	2309,45
CO ₂	0,00	0,00	249,39	2950,48
H ₂	0,00	0,00	2863,28	20641,25
N ₂	0,00	0,00	1321,48	9954,40
Não Pirolisáveis	3,25	6,26	0,00	0,00
Total	223,50	215,60	6050,88	59521,41
Temperatura (K)	1173,15		1173,15	

Fonte: Autoria Própria (2022).

A partir dos balanços, material e energético, o esquema do pirolisador apresentado na Figura 24 pode ser atualizado com os valores determinados com a consideração de um processamento auto térmico e com integração energética, sendo apresentado na Figura 26.

Figura 26 - Esquema do processamento pirolítico auto térmico.

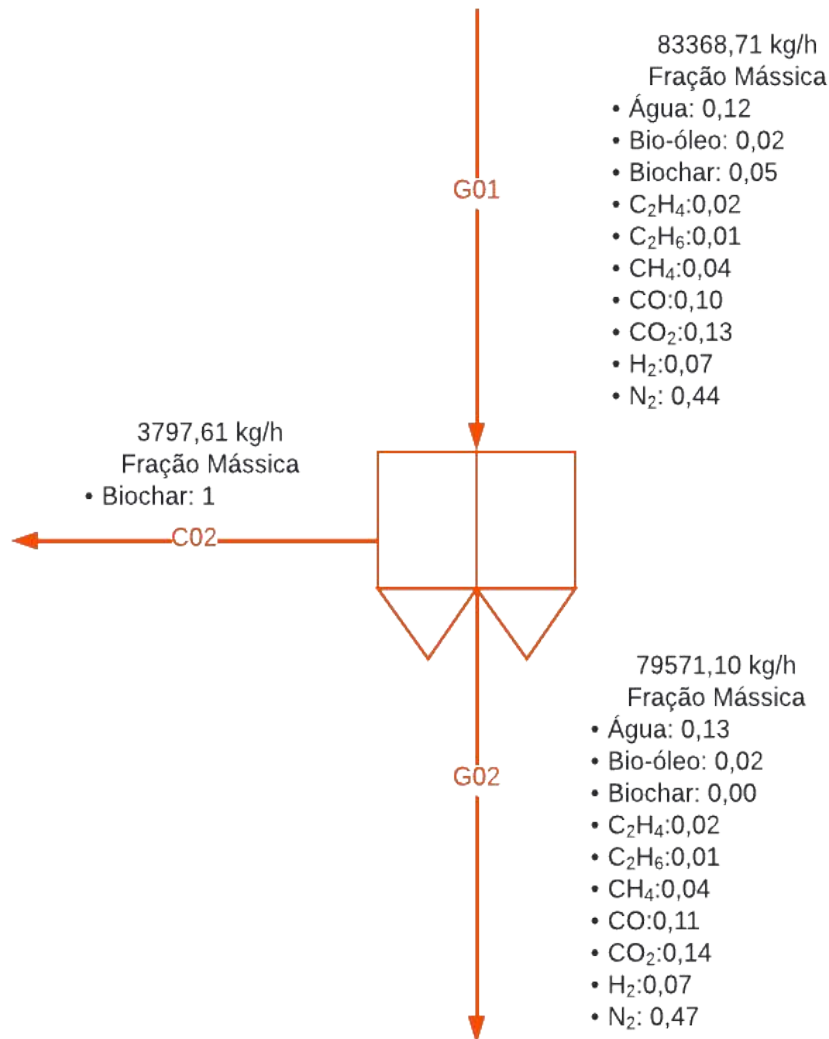


Fonte: Autoria Própria (2022).

7.2.2 Precipitador Eletrostático

O precipitador eletrostático tem como objetivo a retirada majoritária do material particulado fino que é arrastado junto ao gás, contido na corrente G01. O material particulado recolhido compõe a corrente C02, e esta corrente é somada à corrente C01, que juntas compõem a quantidade de biochar produzido pela planta pirolítica. Já o gás limpo segue para o próximo processo pela corrente G02, como mostra a Figura 27.

Figura 27 - Identificação de correntes envolvidas no precipitador eletrostático.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Os precipitadores eletrostáticos apresentam elevadas eficiências de remoção de partículas, sendo possível a separação com até 99,90% de eficiência. Assim, tem-se as vazões de 79571,10 e 3797,61 kg/h, para as correntes de G02 e C02, respectivamente.

Como descrito, o intuito do precipitador é a remoção de possíveis partículas de carvão carregadas juntamente com a corrente de gás. Considerando que nesta etapa há somente separação (e não há reação química), o balanço material global e por componente estão demonstrados na Tabela 19 e o balanço energético na Tabela 20.

Tabela 19 - Composição das correntes envolvidas no precipitador eletrostático.

Corrente	G02		C02	
Componente	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)
Água	6,44E-04	22,40	0,00	0,00
Bio-óleo	0,05	1900,71	0,00	0,00
Biochar	3,26E-05	0,11	1,00	1131,55
C ₂ H ₄	0,05	1712,54	0,00	0,00
C ₂ H ₆	0,01	484,68	0,00	0,00
CH ₄	0,09	3263,51	0,00	0,00
CO	0,24	8562,68	0,00	0,00
CO ₂	0,32	11211,12	0,00	0,00
H ₂	0,21	7237,89	0,00	0,00
N ₂	0,02	620,53	0,00	0,00
Total	1,00	35016,16	1,00	1131,55

Fonte: Autoria Própria (2022).

Tabela 20 – Entalpia das correntes no precipitador eletrostático.

Corrente	G02		C02	
Componente	Vazão Molar (kmol/h)	Energia (kW)	Vazão Molar (kmol/h)	Energia (kW)
Água	554,31	5083,16	0,00	0,00
Bio-óleo	163,29	12849,90	0,00	0,00
Biochar	0,32	1,34	316,47	1336,77
C ₂ H ₄	60,64	1140,18	0,00	0,00
C ₂ H ₆	16,01	384,90	0,00	0,00
CH ₄	202,08	2869,58	0,00	0,00
CO	303,62	2309,45	0,00	0,00
CO ₂	249,39	2950,48	0,00	0,00
H ₂	2863,28	20641,25	0,00	0,00
N ₂	1321,48	9954,40	0,00	0,00
Total	5734,41	58184,64	316,47	1336,77
Temperatura (K)	1173,15		1173,15	

Fonte: Autoria Própria (2022).

7.3 Setor 3000

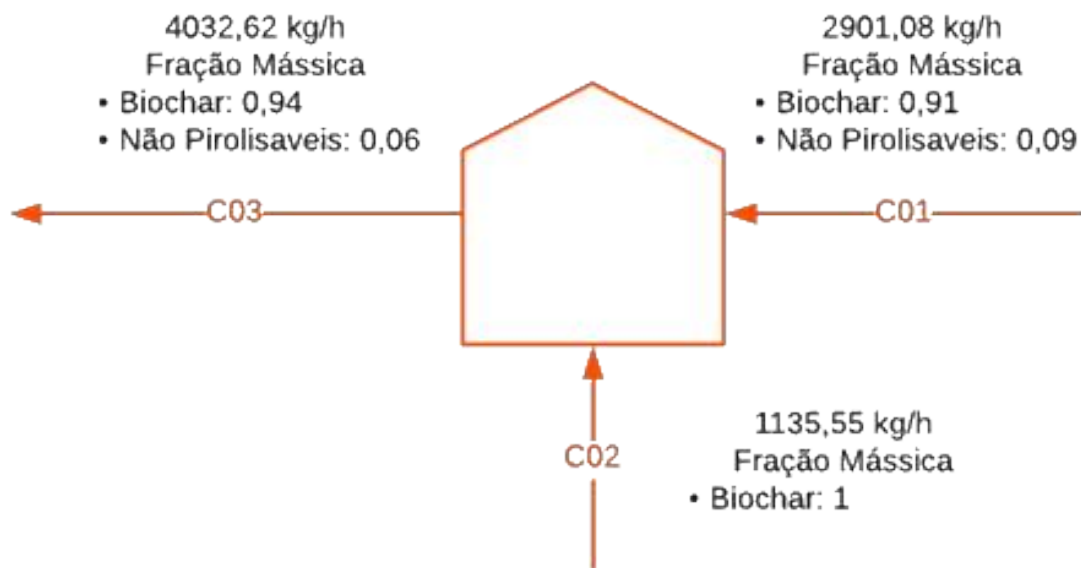
7.3.1 Armazenamento de Biochar

O armazenamento do biochar é caracterizado pelo recebimento de duas correntes de carvão C01 (carvão removido no reator) e C02 (carvão removido pelo precipitador) como mostra a Figura 28.

Pela contribuição das duas correntes é possível caracterizar a produção do produto biochar em uma vazão mássica de 6.698,68 kg/h, sendo este armazenado e posteriormente encaminhado a empresas parceiras para processamento.

A corrente C01 e a C02 possuem a temperatura de 1173,15 K, com isso o calor excedente da corrente C01 pode ser aproveitado na corrente de ar injetado no pirolisador, elevando a temperatura do ar e por consequência reduzindo a temperatura do biochar a uma temperatura de 558,54 K, este que ainda será resfriado naturalmente nas caçambas até temperatura ambiente para após isso ser transportado.

Figura 28 - Identificação de correntes envolvidas destinadas ao armazenamento de biochar.



Fonte: Autoria Própria (2022).

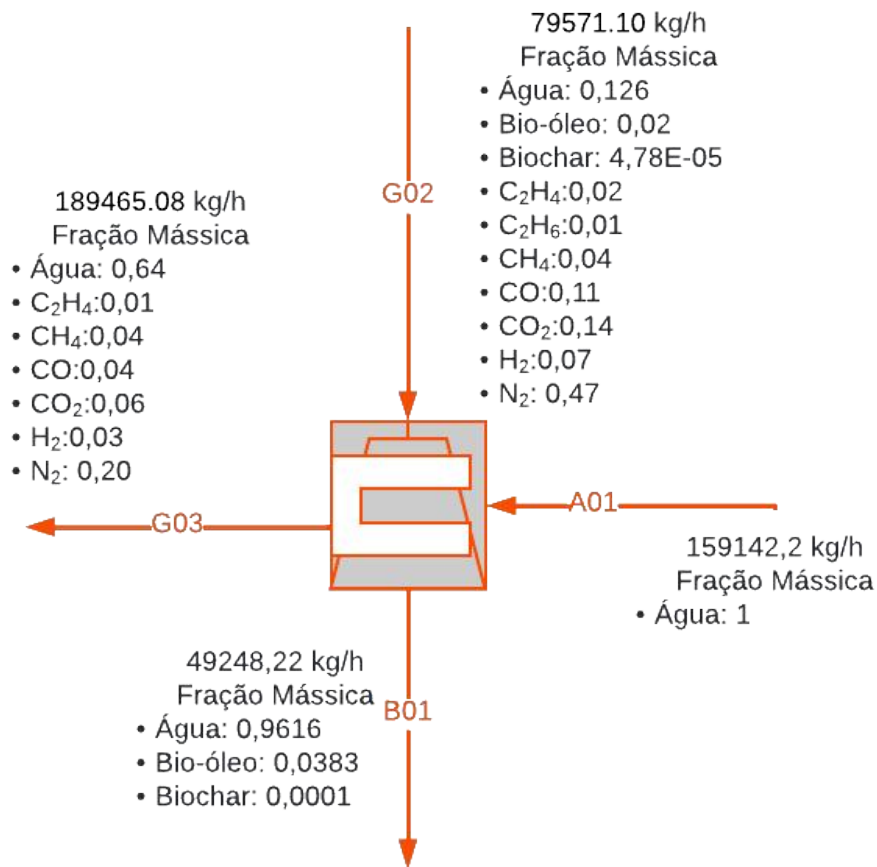
7.4 Setor 4000

7.4.1 Processo *Quench*

O processo *quench* é responsável por fazer a separação total do bio-óleo contido na corrente de gás G02, além de conservar a fração gasosa contida na mesma

corrente destinada à geração de energia (G03), sendo possível observar na Figura 29 as frações envolvidas nas correntes. Nota-se também a injeção da corrente de água A01, responsável pela troca de calor com a corrente de gás G02; esta troca de calor realizada pelo contato direto da fase gasosa com a aquosa realiza a condensação do bio-óleo da corrente gasosa e simultânea evaporação de parte da água.

Figura 29 - Identificação de correntes envolvidas no processo *quench*.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Porém, sabe-se que no processo *quench* cerca de 28% da água gerada na combustão do pirólizador que entra na corrente G02 será retirada juntamente com a fase de óleo, assim como 100% do material particulado fica retido juntamente com bio-óleo, sendo assim possível calcular o balanço por componente.

A corrente G02 que vem do precipitador eletrostático a 1173,15K se encontra com a corrente de água a temperatura de 300,15K (A01) e dentro do equipamento ocorre o equilíbrio térmico das correntes sem reação química (processamento pirolítico), sendo assim as correntes de saída apresentam as temperaturas conforme a Tabela 22.

Tabela 21 - Composição das correntes envolvidas no processo *quen*ch.

Corrente	G03		B01		A01	
Componente	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)
Água	0,64	121774,17	0,9616	47356,62	1,0000	159142,20
Bio-óleo	0,00	0,00	0,0383	1887,80	0,0000	0,00
Biochar	0,00	0,00	0,0001	3,80	0,00	0,00
C ₂ H ₄	0,01	1700,91	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₂ H ₆	0,00	481,39	0,00	0,00	0,00	0,00
CH ₄	0,02	3241,35	0,00	0,00	0,00	0,00
CO	0,04	8504,53	0,00	0,00	0,00	0,00
CO ₂	0,06	10975,65	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂	0,03	5772,37	0,00	0,00	0,00	0,00
N ₂	0,20	37014,72	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	1,00	189465,08	1,00	49248,22	1,00	159142,20
Temperatura (K)	591,70		583,48		300,15	

Fonte: Autoria Própria (2022).

Tabela 22 – Balanço energético no processo *quen*ch.

Corrente	G03		B01		A01	
Componente	Fração Molar	Energia (kW)	Fração Molar	Energia (kW)	Fração Molar	Energia (kW)
Água	0,57	18713,05	0,94	22810,15	1,00	-216,53
Bio-óleo	0,00	0,00	0,06	2910,24	0,00	0,00
Biochar	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00
C ₂ H ₄	0,01	283,09	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₂ H ₆	0,00	92,35	0,00	0,00	0,00	0,00
CH ₄	0,02	709,05	0,00	0,00	0,00	0,00
CO	0,03	723,48	0,00	0,00	0,00	0,00
CO ₂	0,02	839,66	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂	0,24	6810,95	0,00	0,00	0,00	0,00
N ₂	0,11	3195,18	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	1,00	31366,80	1,00	25720,73	1,00	-216,53
Temperaturas (K)	583,48		583,48		300,15	

Fonte: Autoria Própria (2022).

7.4.2 Decantador

A corrente B01 na saída do processo *Quench* é direcionada para o decantador, o uso do decantador serve para a separação das fases de água e óleo. Como o bio-óleo é menos denso (GARCIA; MENDONÇA, 2018) e mais viscoso que a água, as cinzas de biochar que não são recolhidas pelo precipitador eletrostático seguem juntamente com este.

As cinzas poderiam ser removidas com a fase aquosa, entretanto seria necessário estabelecer um tempo de residência maior no decantador, tornando o processo inviabilizado de execução contínua.

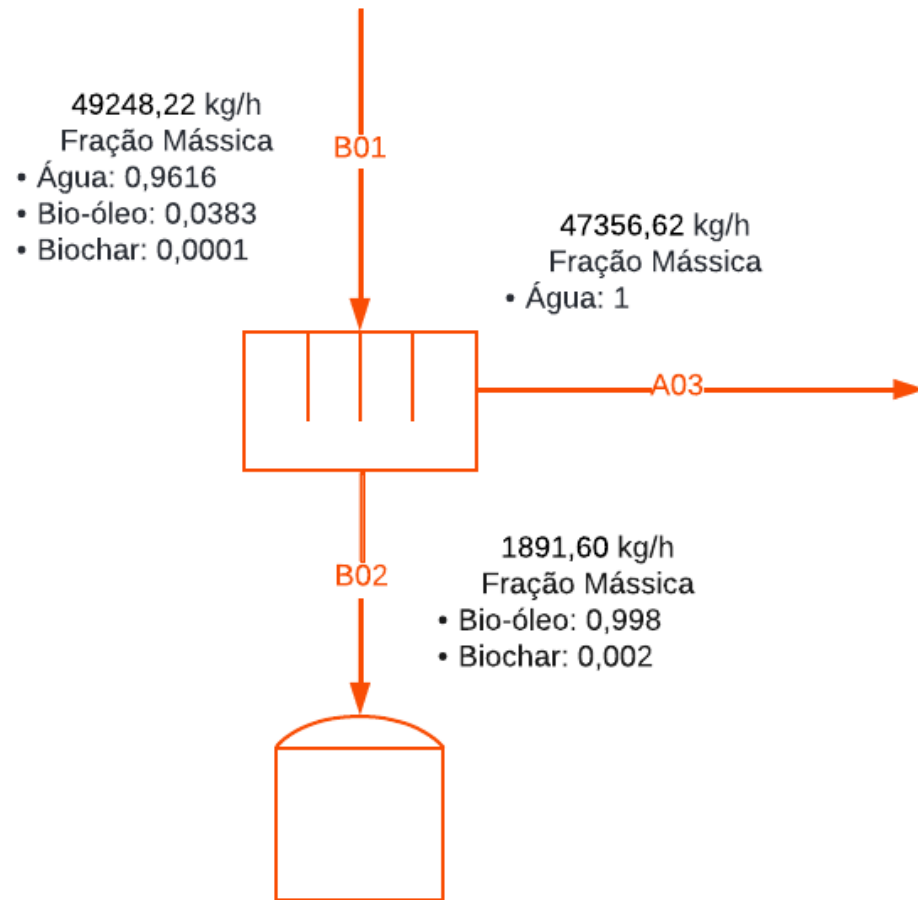
No decantador têm-se a separação das fases, sendo o bio-óleo removido na parte superior do decantador; já a água sai em uma corrente de *downflow*. Por mais que seja estabelecida uma separação, esta não ocorre em uma eficiência total, sendo necessário considerar que uma parte da água retirada carrega uma porcentagem de bio-óleo.

Deste modo considera-se que a separação das correntes ocorre com uma eficiência de 98,38% ($\eta_{Decantador}$), conforme apresentado por Carneiro *et al.* (2020). As correntes envolvidas neste processo estão destacadas pela Figura 30.

A corrente B01 sai a mesma temperatura da corrente que segue para a turbina, a 583,48 K, porém antes de entrar no decantador esta corrente precisara passar por um resfriamento por questões de segurança, com o auxílio de um trocador de calor.

Os valores de fração mássica e energia das correntes envolvidas neste equipamento antes do resfriamento, são apresentados na Tabela 24:

Figura 30 - Identificação de correntes envolvidas no decantador.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Os valores de vazão e composição determinados através dos balanços estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Composição das correntes envolvidas no decantador.

Corrente	B01		B02		A03	
	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)
Água	0,9616	47356,62	0,00	0,00	1,000	2628,00
Bio-óleo	0,0383	1887,80	0,998	1887,80	0,000	0,00
Biochar	0,0001	3,80	0,002	3,80	0,00	0,00
Total	1,00	49248,22	1,00	1891,60	1,00	2628,00

Fonte: Autoria Própria (2022).

Tabela 24 - Energia das correntes envolvidas no decantador.

Corrente	B01		B02		A03	
	Fração Molar	Energia (kW)	Fração Molar	Energia (kW)	Fração Molar	Energia (kW)
Água	0,94	22810,15	0,00	0,00	1,00	-64,43
Bio-óleo	0,06	2910,24	0,998	4955,55	0,00	0,00
Biochar	0,00	0,34	0,002	0,56	0,00	0,00
Total	1,00	25720,73	1,00	4956,11	1,00	-64,43
Temperaturas (K)	583,48		300,15		300,15	

Fonte: Autoria Própria (2022).

7.4.3 Armazenamento de bio-óleo

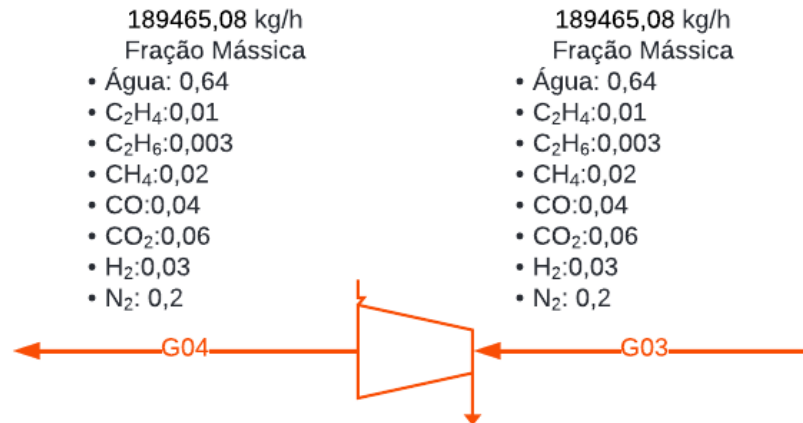
O armazenamento do bio-óleo é realizado com a alimentação pela corrente B02. Esta corrente é originada no decantador como mostrado na Figura 30 e tem sua composição descrita na Tabela 24, na corrente B02. Desta maneira a produção de bio-óleo é caracterizada por 1.891,60 kg/h.

7.4.4 Turbina

A turbina, responsável pela geração de energia através da expansão do gás inserido no equipamento, mantendo a vazão e a composição na corrente de entrada (G03) e na corrente de saída (G04), é representada na Figura 31, com os balanços (material e energético) apresentados nas Tabelas 25 e 26.

Após a passagem pela turbina a corrente sofre uma queda de temperatura no mesmo passo em que trabalho é gerado (e após transformado em energia elétrica) e distribuído pelo transformador, sendo está de 11131,68 kW considerando 100% de eficiência. Para a determinação dos valores considerou-se que o processo de expansão do gás no processo ocorre de maneira isentrópica.

Por meio da atribuição de processo isentrópico o valor encontrado para energia é adotado como o valor máximo de produção que pode ser obtido pela *Phoenix Energy*.

Figura 31 - Identificação de correntes envolvidas na Turbina.

Fonte: Autoria Própria (2022).

Tabela 25 - Composição das correntes envolvidas na turbina.

Corrente Componente	G03		G04	
	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)
Água	0,64	121774,17	0,64	121774,17
C ₂ H ₄	0,01	1700,91	0,01	1700,91
C ₂ H ₆	0,003	481,68	0,003	481,68
CH ₄	0,02	3241,35	0,02	3241,35
CO	0,04	8504,53	0,04	8504,53
CO ₂	0,06	10975,65	0,06	10975,65
H ₂	0,03	5772,37	0,03	5772,37
N ₂	0,20	37014,72	0,20	37014,72
Total	1,00	189465,08	1,00	189465,08

Fonte: Autoria Própria (2022).

Tabela 26 – Entalpia das correntes envolvidas na turbina.

Corrente Componente	G03		G04	
	Vazão Molar (kmol/h)	Energia (kW)	Vazão Molar (kmol/h)	Energia (kW)
Água	6757,72	18713,05	6757,72	12006,81
C ₂ H ₄	60,64	283,09	60,64	172,05
C ₂ H ₆	16,01	92,35	16,01	55,72
CH ₄	202,08	709,05	202,08	435,44
CO	303,62	723,48	303,62	470,01
CO ₂	249,39	839,66	249,39	522,35
H ₂	2863,28	6810,95	2863,28	4480,81
N ₂	1321,48	3195,18	1321,48	2091,93
Total	11774,22	31366,80	11774,22	20235,12
Temperatura (K)	591,70		491,07	

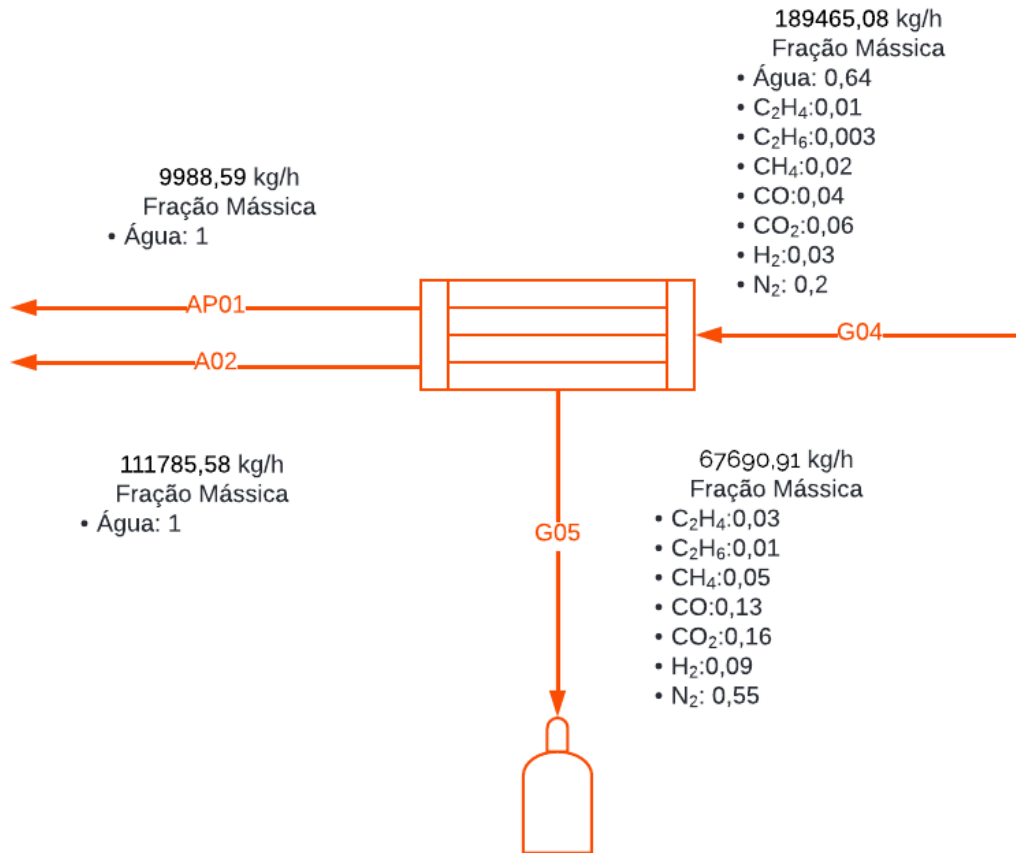
Fonte: Autoria Própria (2022).

A diferença entre as energias totais das correntes é a quantidade ideal (considerando 100% de eficiência no processo) gerada pela turbina, cerca de 11000kW, considerando uma eficiência isentrópica de cerca de 70%, chegamos aos 8000kW propostos a ser atendido pela usina.

7.4.5 Condensador

O gás da corrente G04, segue para o condensador no qual é responsável por fazer com que seja retirado a maior quantidade de água dos gases de pirólise; tal separação permite que a água seja reinjetada no processo *quench* (A02 e AP01), como demonstrado na Figura 32.

Figura 32 - Identificação de correntes envolvidas no condensador.



Fonte: Autoria Própria (2022).

O balanço energético do condensador é apresentado na Tabela 26, juntamente com as temperaturas das correntes que se encontram resfriadas por uma utilidade do processo, esta utilidade foi escolhida como o fluido refrigerante R – 717, sendo necessária uma vazão de aproximadamente 48 ton/h deste para alcançar o resfriamento necessário nesta etapa, retirando cerca de 20 MW de energia.

No entanto, a corrente AP01 representada por uma vazão de 9988,59 kg/h, é direcionada a uma purga (Figura 33) correspondendo à fração de água gerada pela reação de combustão sucedida no interior do reator pirolítico, visando manter a constância da corrente de água que é recirculada ao processo *quench*.

Figura 33 - Identificação de correntes envolvidas na purga.



9988,59 kg/h
Fração Mássica
• Água: 1

Fonte: Aatoria Própria (2022).

O balanço material no condensador é disposto na Tabela 27 e balanço energético na Tabela 28.

Tabela 27 - Composição das correntes envolvidas no condensador.

Corrente	G04		G05		AP01	
	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)
Água	0,60	50106,29	0,9103	0,00	1,00	22,40
Bio-óleo	0,00	0,00	0,0896	0,00	0,00	0,00
Biochar	0,00	0,00	0,0001	0,00	0,00	0,00
C ₂ H ₄	0,02	1700,91	0,05	1700,91	0,00	0,00
C ₂ H ₆	0,01	481,39	0,01	481,39	0,00	0,00
CH ₄	0,04	3241,35	0,10	3241,35	0,00	0,00
CO	0,10	8504,53	0,26	8504,53	0,00	0,00
CO ₂	0,13	11136,07	0,34	11136,07	0,00	0,00
H ₂	0,09	7188,73	0,22	7188,73	0,00	0,00
N ₂	0,01	620,53	0,02	620,53	0,00	0,00
Total	1,00	82979,79	1,00	32873,50	1,00	22,40

Fonte: Aatoria Própria (2022).

Tabela 28 – Composição e entalpia das correntes envolvidas no condensador.

Corrente	G04		G05		AP01	
Componente	Fração Molar	Energia (kW)	Fração Molar	Energia (kW)	Fração Molar	Energia (kW)
Água	0,57	12006,81	0,00	0,00	1,00	-13,59
Bio-óleo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₂ H ₄	0,01	172,05	0,01	2,33	0,00	0,00
C ₂ H ₆	0,00	55,72	0,00	0,10	0,00	0,00
CH ₄	0,02	435,44	0,04	-0,19	0,00	0,00
CO	0,03	470,01	0,06	-4,41	0,00	0,00
CO ₂	0,02	522,35	0,05	-22,10	0,00	0,00
H ₂	0,24	4480,81	0,57	45,91	0,00	0,00
N ₂	0,11	2091,93	0,26	21,38	0,00	0,00
Total	1,00	20235,12	1,00	43,01	1,00	-13,59
Temperatura (K)	491,7		300,15		300,15	

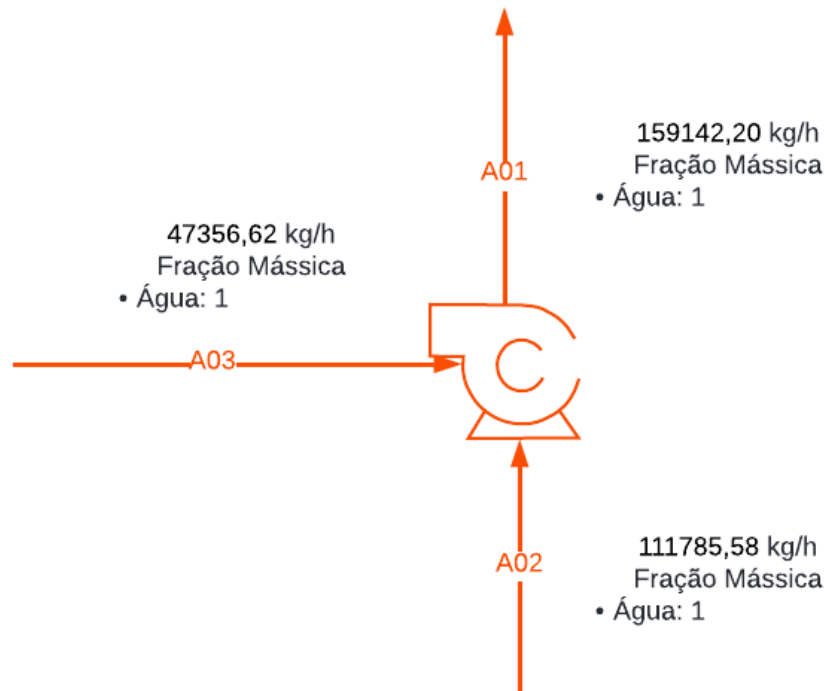
Fonte: Autoria Própria (2022).

7.4.5.1 Água em reciclo

A água utilizada no processo *quench* é reciclada no setor 4000; como neste processo são geradas duas correntes, estas se unem para formar a corrente de reciclo. A corrente de saída G03 contém em sua composição o gás de síntese e também vapor de água que serão condensados e então recuperados para o processo, juntamente com a fase líquida do decantador.

Essas duas correntes (A03 e A02) são somadas e redirecionadas para a corrente A01 que dá entrada no processo *quench*, como é representada na Figura 34. Todas as correntes relacionadas nesta etapa encontram-se à temperatura ambiente.

Figura 34 - Identificação de correntes de água de reciclo.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Os valores determinados de balanço material para a corrente de reciclo são apresentados na Tabela 29, e o balanço energético na Tabela 30.

Tabela 29 - Vazões de água envolvidas no processo de mistura para reciclo.

Corrente	A01		A02		A03	
Componente	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)	Fração Mássica	Vazão Mássica (kg/h)
Água	1,00	159142,20	1,00	111785,58	1,00	47356,62
Total	1,00	159142,20	1,00	111785,58	1,00	47356,62

Fonte: Autoria Própria (2022).

Tabela 30 – Entalpias das correntes no tanque de mistura.

Corrente	A01		A02		A03	
Componente	Fração Molar	Energia (kW)	Fração Molar	Energia (kW)	Fração Molar	Energia (kW)
Água	1,00	-216,53	0,00	-152,09	1,00	-13,59
Total	1,00	216,53	1,00	-152,09	1,00	-13,59
Temperatura (K)	300,15		300,15		300,15	

Fonte: Autoria própria (2022).

8 INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA

Buscando sempre a competitividade de mercado e uma operação mais sustentável, a *Phoenix Energy* conta com o processo de integração energética em seu escopo.

O principal objetivo deste processo é reduzir a necessidade de fornecimento de energia a sistemas produtivos e, conseqüentemente, reduzir o uso de utilidades e os custos da empresa.

Além disso, integrações energéticas trazem um benefício da redução de geração de gases poluentes e reduz a utilização de recursos hídricos.

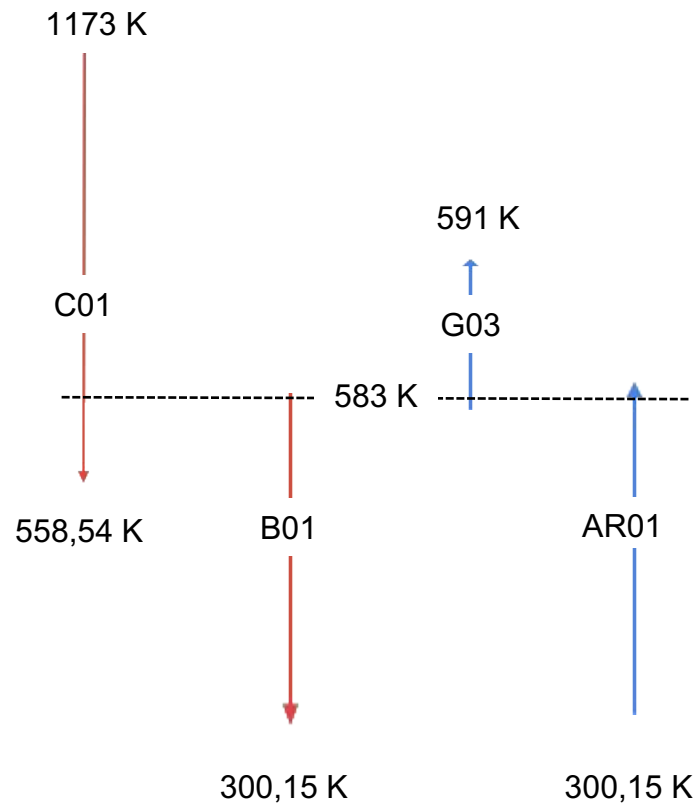
A integração energética trata-se de uma técnica industrial baseada no reaproveitamento da energia térmica presente nas correntes, fluxos de fluido do processo, quentes e frias vindas de outras etapas do processo, para aquecimento e resfriamento, onde na maioria dos casos esta energia térmica seria desperdiçada.

No processo da *Phoenix Energy*, as correntes que foram consideradas para a integração energética foram: Corrente de biochar na saída do pirolisador (G01), corrente de entrada no decantador (B01), corrente de entrada na turbina (G03) e corrente de injeção de ar no pirolisador (AR01), o que permitiu uma economia de 12,59% de ar injetado no pirolisador.

Esta economia impacta no processo também a partir da menor necessidade de queima de H₂ para se manter a temperatura de operação do pirolisador, produzindo menos água e favorecendo a geração de gás, conseqüentemente a expansão até baixas temperaturas na turbina.

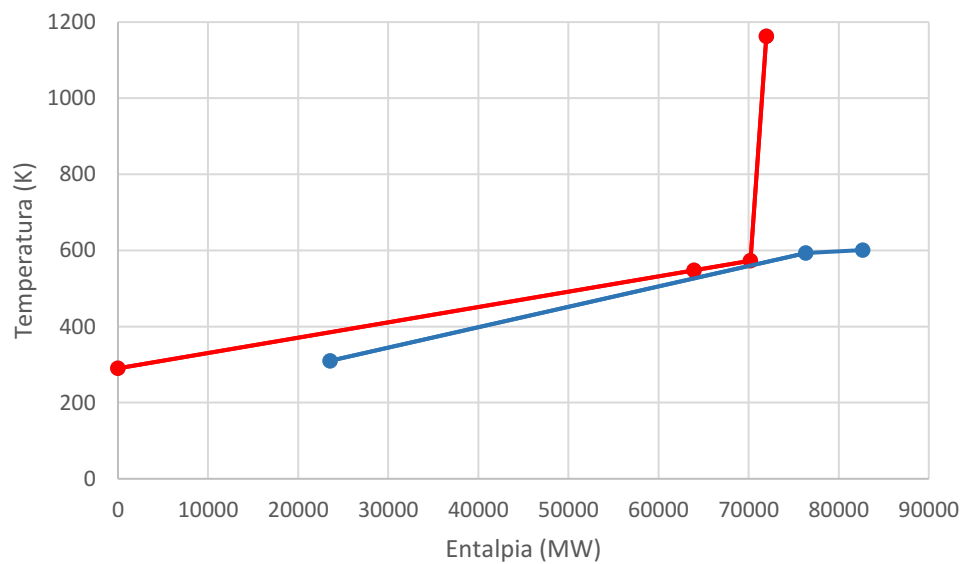
As correntes citadas têm seu aquecimento e resfriamento apresentados conforme o diagrama a seguir na Figura 35, juntamente com a curva composta das correntes na Figura 36.

Figura 35 – Diagrama de temperaturas.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 36 – Diagrama de temperaturas.



Fonte: Autoria própria (2022).

9 DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

9.1 Setor 1000

9.1.1 Recebimento e armazenamento de matéria-prima

Considerando o volume de resíduos a ser processado e as boas práticas de armazenamento dos mesmos, foi considerado para o dimensionamento do barracão de estoque da matéria-prima que o mesmo não acumule uma quantidade maior do que um volume que não seja processado dentro de 60 dias, ou seja, 57600 toneladas. A partir da densidade do RSU (231 kg/m^3), o volume de RSU armazenado equivale a aproximadamente $249350,65 \text{ m}^3$.

Porém, como citado anteriormente, os resíduos passarão por um compactador antes de seu armazenamento, e este que visa reduzir o volume ocupado em $1/3$, logo o volume ocupado se aproxima de $83116,88 \text{ m}^3$. Considerando o empilhamento máximo de fardos de resíduos a 7 metros, o barracão de armazenamento necessário será de 175m de comprimento e 70m de largura.

A prensa enfardadeira responsável pela compactação dos resíduos é a já apresentada na figura 16 e tem capacidade de operação na faixa de 18 a 72 t/h.

9.1.2 Esteira de triagem

Os resíduos recebidos pela *Phoenix Energy* são classificados como resíduos sólidos urbanos, e este tipo de resíduo, conforme mostrado anteriormente, apresenta uma diversificação em seu meio de resíduos. A fim de manter o processamento o mais limpo possível, reduzindo a emissão de dioxinas e furanos, é necessária a remoção de itens recicláveis que se apresentam no meio dos resíduos.

A remoção destes itens é realizada por separação manual em uma estação de separação dentro da *Phoenix Energy*. Esta estação é basicamente um conjunto de esteiras, onde os colaboradores removem manualmente os itens recicláveis; esta estação de separação é apresentada na Figura 37.

Figura 37 - Estação de separação de resíduos.



Fonte: Calderol (2022).

9.1.3 Triturador

O triturador é responsável pela diminuição da granulometria da matéria-prima. Sabendo que a vazão mássica de RSU processada e isenta de materiais recicláveis é de aproximadamente 38 t/h, a empresa utilizará de dois trituradores do tipo facas, no qual resulta em tiras de 25 a 75 mm de resíduos encaminhados para as etapas seguintes do processo. Os trituradores apresentam as seguintes especificações identificada no Quadro 2 e seu modelo pode ser visto na figura 38.

Quadro 2 - Especificações do Triturador.

Modelo	Capacidade (t/h)	Potência (kW)	Largura (m)	Comprimento (m)
Triturador D-690	20	300	2,355	5,64

Fonte: Autoria Própria (2022).

Figura 38 - Triturador.



Fonte: Jaguar Equipamentos (2022).

9.2 Setor 2000

9.2.1 Pirolisador

O reator pirolítico principal equipamento da *Phoenix Energy*, no qual realiza o processo de pirólise oxidativa, possui uma válvula controladora de injeção de oxigênio, controlando a combustão do resíduo urbano sólido. Sabendo que a temperatura de trabalho do reator, a vazão molar total dos gases produzidos na reação, a constante dos gases e a pressão de trabalho pode-se calcular o volume total do reator, com base no tempo de residência de 0,1 min conforme apresentado na Equação 11.

$$V = \frac{\eta TR}{P} \cdot \tau \quad (11)$$

obtendo uma vazão volumétrica correspondente a um volume total de $970,766 \text{ m}^3$, sendo assim, para que o reator atenda a demanda da empresa o reator segue as seguintes definições apresentadas no Quadro 3. O reator utilizador é conforme apresentado na Figura 39, entretanto o pirolisador da *Phoenix Energy* será instalado de maneira horizontal para escoamento do material de maneira favorável com a gravidade.

Quadro 3 - Especificações do Pirolisador.

Modelo	Quantidade	Volume (m ³)	Diâmetro (m)	Comprimento (m)
Pirolisador Oxidativo	10	100	2,5	10

Fonte: Autoria Própria (2022).

Figura 39 - Pirolisador.

Fonte: França (2009).

9.2.2 Precipitador eletrostático

Para a remoção de parte do carvão que é arrastado pelos gases gerados no processamento da planta pirolítica a *Phoenix Energy* utilizará de um precipitador eletrostático. A vazão de entrada nesta etapa é de 6050,88 kg/h e através da massa específica do gás de síntese de 1,18 kg/m³ (FERREIRA, 2021) é possível verificar a vazão volumétrica de entrada no processo, sendo esta correspondente a 5127,86 m³/h.

Para utilização de um precipitador que atenda esta demanda foi selecionado um precipitador com as configurações apresentadas no Quadro 4, tal precipitador é apresentado na Figura 40.

Quadro 4 – Especificação do precipitador eletrostático.

Modelo	Capacidade (m ³ /h)	Altura	Largura	Comprimento
Precipitador Eletrostático	6400	1	2	3

Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 40 - Precipitador eletrostático.

Fonte: Arwek (2022).

9.3 Setor 3000

9.3.1 Armazenamento biochar

O biochar ao sair do processo, será disposto em caçambas basculantes PARA ser transportado até as empresas parceiras, conforme apresentado na Figura 41.

Para se atender a produção aproximadamente 6,7 t/h, serão utilizadas caçambas de 14m³ que suportam aproximadamente 20 toneladas e possuem as medidas apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Especificações do armazenamento de biochar.

Modelo	Quantidade	Capacidade (m ³)	Altura (m)	Largura (m)	Comprimento (m)
Caçamba basculante	8	14	5,2	2,4	1,1

Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 41 – Caçamba basculante.

Fonte: Basco (2022).

9.4 Setor 4000

9.4.1 Quench

O processo *quench* é realizado em torres para forçar a separação do bio-óleo e gás de síntese, para isso determinou-se o volume de torre considerando o tempo de residência como mostra a Equação 12.

$$V = \left(\frac{\text{vazão molar} \cdot R \cdot T}{P} \right) \cdot \tau \quad (12)$$

A vazão volumétrica foi determinada modelando o gás como ideal e considerando um tempo de residência (τ) de 0,1 min dentro do *quenching*, onde na equação 12 temos ainda as constantes dos gases ideais (R) a Temperatura (T) o Volume (V) e a Pressão (P).

Sendo assim, tem-se a vazão neste equipamento é de 5734,41 kmol/h e utilizando a aproximação para gás ideal e o tempo de residência, tem-se o volume da torre de aproximadamente 920 m³, com suas dimensões conforme Quadro 6. A torre utilizada no processo é apresentada na Figura 42.

Quadro 6 - Especificações da torre de Quench.

Modelo	Quantidade	Comprimento (m)	Diâmetro (m)	Volume por coluna (m ³)
Torre Quench	9	15	2	106,03

Fonte: Autoria Própria (2022).

Figura 42 – Torre Quench.



Fonte: Basco (2022).

9.4.2 Decantador

O modelo de decantador utilizado para a separação da corrente de água e bio-óleo apresenta-se na Figura 20, este possui faixa de operação de 3 a 100 mil litros por hora.

Para a determinação do dimensionamento do decantador utilizou-se da vazão volumétrica através do equipamento e também considerando o tempo de residência de conforme o apresentado pela Equação 13.

$$V = v. \tau \quad (13)$$

A partir de um tempo de residência de 20 min, tem-se o volume de 20m³ para atender a especificação da produção. Sendo este capaz de atender a produção de bio-óleo, conforme a especificação apresentada no Quadro 7.

Quadro 7 - Especificações do decantador.

Modelo	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)
Caixa separadora de água e óleo.	5	2	2

Fonte: Autoria Própria (2022).

9.4.3 Armazenamento e Envase do Bio-óleo

O armazenamento e envase do Bio-óleo, ocorre com o auxílio de uma válvula acoplada no tanque de decantação, possibilitando o envase do mesmo em bombonas de plásticos de 50 L, nas seguintes especificações apresentadas no Quadro 8.

Quadro 8 - Especificações de Bombonas.

Modelo	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)
Bombona	0,4	0,3	0,5

Fonte: Autoria Própria (2022).

9.4.4 Turbina com Gerador

A classificação de turbinas ocorre através do nível de pressão de trabalho e da sua finalidade, na *Phoenix Energy* a turbina a ser utilizada será a de gás contrapressão, ou seja, a expansão do gás é a principal fonte de energia no qual irá gerar trabalho mecânico, porém com uma pressão de escape controlada (CONNOR, 2019).

Com isso para geração de energia, o principal produto ofertado pela *Phoenix*, sabendo que a vazão de vapor é de 189465,08 kg/h gerando uma potência ideal de 11131,68 kW, a empresa utilizará de uma turbina de multi-estágios com gerador nas seguintes condições apresentadas no Quadro 9.

Quadro 9 - Especificação da Turbina.

Modelo	Potência (kW)	Rotação (rpm)	Temperatura de Entrada (K)	Temperatura de Saída (K)	Pressão de Saída (atm)
Turbina MEGA 10000	12000	6000	591,70	491,07	1

Fonte: Autoria Própria (2022).

Figura 43 - Turbina Contrapressão.

Fonte: Turbimaq (2022).

9.4.5 Envase de gás de síntese

O gás de síntese produzido pela *Phoenix Energy* será envasado e vendido para empresas parceiras. Este envasamento será realizado em um sistema de compressor para cilindros, conforme mostra a Figura 44. As especificações do compressor de envase são apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10 - Especificações do condensador.

Equipamento	Quantidade	Dimensões	Pressão	Refrigeração
Compressor de Envase	1	1,6x1,2x2,0 m	210 bar	Água gelada

Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 44 - Compressor para envase de cilindros.



Fonte: Dinattec (2022).

9.4.6 Condensador

O gás que passa através da turbina carrega uma quantidade de água, essa água é proveniente do processamento da pirolítico e da água que recicla o processo no setor 4000. Para a remoção desta água é preciso realizar a remoção de calor desta corrente, fazendo com que a temperatura diminua promovendo a condensação da água. O dimensionamento de um condensador para a remoção do calor desta corrente é baseado na determinação da área de troca térmica necessária, utilizando a Equação 14.

O fluido refrigerante utilizado será o R-717 a uma vazão de aproximadamente 48 ton/h.

$$Q = U \cdot A_t \cdot \Delta T \quad (14)$$

Onde:

Q - Taxa de remoção de calor pelo condensador (kW);

U - Coeficiente global de troca térmica (W/m².K);

A_t - Área de troca térmica (m²);

ΔT - Diferença de temperatura entre a corrente de gás e a corrente de saída do condensador (K).

Os coeficientes globais de troca térmica podem ser encontrados na literatura sendo o utilizado para os cálculos um coeficiente de 714 W/m².K (TLV, 2022). Considerando então o coeficiente, o calor trocado e também a diferença de temperaturas, determinou-se a área de troca térmica necessária para o condensador. O valor de área necessária encontra-se disponível no Quadro 10 e o condensador é apresentado na Figura 45.

Quadro 11 - Especificações do condensador.

Equipamento	Quantidade	Área (m ²)	Posição	Material
Condensador	1	147,74	Vertical	Aço inox

Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 45 - Condensador.



Fonte: Vacuo Industrial (2022).

9.4.6.1 Água em reciclo

No processamento da planta pirolítica tem-se a recirculação de água na pelo setor 4000; esta água proveniente da saída do condensador (A02) é misturada com a água de saída do decantador (A03), sendo reinserida no processo *quench* pela corrente A01. Essa junção das correntes contabiliza 159142,2 kg/h de água. De acordo com a Norma Petrobras N-270 (2020) os tanques para este tipo de armazenamento não possuem teto, ou seja, são tanques a céu aberto somente para realizar a junção das correntes.

Para a determinação do volume, a massa específica da água foi considerada 996,5 kg/m³ (MORAN, 2009). Desta forma o tanque de mistura para as correntes de água tem a capacidade de 13,31 m³ de capacidade com um tempo de residência de 5 min, para suprir essa necessidade foi selecionado um tanque me polipropileno,

como apresentado na Figura 46, e com as especificações apresentadas no Quadro 11.

Quadro 12 - Especificações do tanque de mistura.

Modelo	Quantidade	Capacidade (m ³)	Altura	Diâmetro
Tanque de Mistura	1	14	4,5	2

Fonte: A autoria própria (2022).

Figura 46 - Tanque de mistura.



Fonte: Grabe (2022)

10 RESÍDUOS GERADOS E TRATAMENTOS

Os processos industriais convencionais acarretam a geração de inúmeros resíduos que por sua vez necessitam de tratamentos adequados para descarte e liberação de recursos novamente ao ambiente. Tais tratamentos que são extremamente necessários para manter a integridade do meio ambiente e manter o equilíbrio entre uma grande produção e a sustentabilidade.

A *Phoenix Energy* surge no mercado com a intenção de geração de potência através do aproveitamento de resíduos, desta maneira a fim de manter os ideais da empresa não haverá grandes gerações de resíduos na planta pirolítica.

Além de gerar potência, no processo produtivo da planta de pirólise são gerados subprodutos como o biochar, bio-óleo e o gás de síntese. Estes subprodutos possuem grande aplicação e podem ser aproveitados em outros processos.

Devido ao elevado potencial e levando em consideração a ideia principal de criação da empresa para o aproveitamento de resíduos, os subprodutos gerados serão encaminhados para empresas parceiras a fim de suas aplicações promovendo um uso adequado deles.

Deste modo, geração de resíduos nos processos da planta pirolítica ocorre acerca do material particulado (MP), esse que é arrastado juntamente aos vapores na saída do reator e segue para o precipitador eletrostático. Além do MP, há a geração de resíduos provenientes da triagem da matéria-prima e as águas de lavagem assim como a água gerada pelo processo.

10.1 Resíduos da triagem

Considerando a vasta gama de composição dos resíduos sólidos no Brasil e o descarte incorreto, para a promoção de um processamento de um material de maior carga orgânica é instaurado uma triagem antes do processo de trituração dos RSU.

Esta etapa tem por finalidade a retirada grosseira de materiais que podem influenciar na qualidade dos subprodutos gerados, deste modo são gerados resíduos nesta etapa. Os resíduos da triagem se trata de materiais recicláveis (vidro e também metais) que ao serem retirados do processo, serão encaminhados para cooperativas que realizam a destinação destes.

10.2 Águas de lavagem

A manutenção e limpeza contínua são pilares necessários para um bom funcionamento do processo, e neste quesito resquícios dos resíduos são arrastados juntamente com a água utilizada para limpeza nos componentes industriais e também de transporte. Além da água utilizada para a limpeza têm-se a água que é gerada no processo, sendo encaminhada para tratamento junto com a água de lavagem.

Estes resquícios são compostos por matéria orgânica, e o tratamento para este tipo de efluente faz-se necessário para atender parâmetros estabelecidos por legislações ambientais. A legislação que estabelece os padrões e condições para o lançamento de efluentes em corpos receptores é a CONAMA N° 430/2011, e os parâmetros estabelecidos pela resolução estão apresentados no Quadro 12.

Quadro 13 - Parâmetros para lançamento de efluentes em corpos receptores.

Parâmetro	Limite permitido
pH	1 - 5
Temperatura	40 °C
Materiais Sedimentáveis	1 mL/L – Teste de 1 hora em Cone Imhoff
Vazão	50% maior que a vazão média do período de atividade diária
Óleos Minerais	20 mg/L
Óleos Vegetais e Gorduras Animais	50 mg/L
Materiais Flutuantes	Ausência
DBO (5 dias, 20 °C)	Remoção mínima de 60%

Fonte: Adaptado de Conama (2011).

Considerando o efluente gerado, é necessário o estabelecimento de um tratamento combinado, iniciado por um tratamento preliminar. O tratamento preliminar é realizado através de gradeamento para separação de sólidos grosseiros presentes na água. Posteriormente é realizado um tratamento primário para remoção dos sólidos em suspensão nas águas residuais; essa remoção é realizada por um sedimentador em que o efluente que sai deste processo segue para um tratamento secundário.

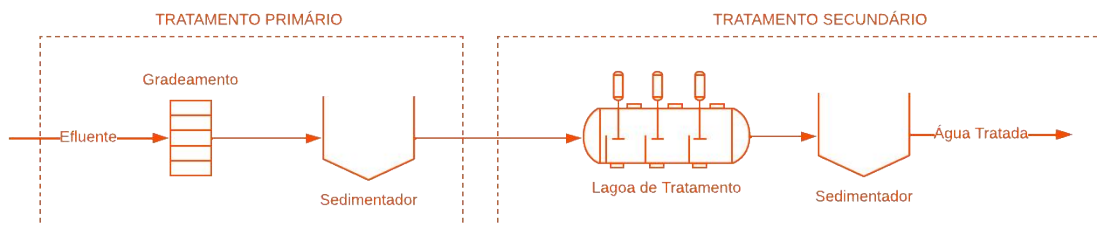
O efluente que segue para o tratamento secundário não apresenta sólidos em sua composição, somente carga orgânica que pode ser removida por tratamento biológico. Os tratamentos biológicos secundários removem a matéria orgânica dissolvida, e esse processo é realizado através da conversão de substrato (matéria orgânica) em material sedimentável (lodos) e gases (RAMALHO, 1991).

O processo é realizado através da tecnologia de lodos ativados, onde é realizado o fornecimento de oxigênio em uma lagoa onde é destinado o resíduo. A

partir do fornecimento de oxigênio microrganismos biodegradam a matéria orgânica em suspensão, gerando flocos biológicos e gás carbônico. Após a conversão o efluente segue para uma sedimentação, a fim de separar a água dos flocos biológicos (GIORADANO, 2004).

O tratamento combinado pode ser exemplificado em um diagrama de processos, a fim de compreensão das partes envolvidas. Este fluxograma do tratamento combinado é apresentado na Figura 47.

Figura 47 - Fluxograma de tratamento combinado.



Fonte: Autoria própria (2022).

Comumente os flocos biológicos, chamados de lodo, seguem para um leito de secagem e em processamentos comuns, esse material orgânico é encaminhado para aterros sanitário. Entretanto, é interessante para a *Phoenix Energy* o aproveitamento total e minimização de qualquer resíduo gerado, deste modo foge-se do comum, adotando que estes resíduos serão reinseridos no processamento pirolítico junto a matéria-prima.

10.2.1 Dimensionamento do tratamento combinado

Como o uso de água na *Phoenix Energy* é restrito a limpezas, o consumo de água é relativamente baixo, e foi estimado um gasto máximo de água correspondente a 1% da quantidade de resíduo processado. Sendo assim, é previsto um gasto máximo de 250 m³/dia de água para lavagens e limpezas, é uma quantidade superestimada por isso é adotada como o teto máximo.

Para que a CONAMA N°430/2011 seja atendida, é necessária uma redução de 60% da quantidade de matéria orgânica presente nos efluentes gerados. A fim de garantir que este valor seja atingido a *Phoenix Energy* contará com uma lagoa de

tratamento com um tempo de retenção de 1,95 dias, sendo esta lagoa dimensionada no volume de 487,5 m³.

O decantador a ser utilizado apresentará uma área de 2,08 m², com um volume correspondente de 1,7 m³ sendo o necessário para a redução de DBO e possibilitando o desague no Rio Paraíba do Sul, os cálculos de dimensionamento do tratamento se encontram no Apêndice A.

10.3 Material particulado

Conforme apresentado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (2012) há relatos de riscos de mortalidade cardiovascular e respiratória a um longo prazo de exposição. O MP afeta também condições ambientais atmosféricas pela absorção de radiação solar, agravando o efeito estufa, e afeta materiais e superfícies (por exemplo vegetações).

Frente aos efeitos adversos causados pela liberação deste material e por uma possível desvalorização dos subprodutos gerados, será instalado um sistema de recolhimento deste material, pelo precipitador eletrostático. O material particulado presente na corrente gasosa, proveniente do processo pirolítico auto térmico, é composto por partículas pequenas (20 µm até menos de 0,05 µm) do biochar.

Seguindo os princípios da *Phoenix Energy*, pretende-se criar uma empresa que aproveita resíduos e não os gera, portanto o MP tem por destinação o armazenamento junto ao biochar após seu recolhimento.

Contudo, sabe-se que condições como as idealizadas podem não ocorrer de acordo com o esperado na prática. Como forma de prevenção e garantia de uma empresa ambientalmente correta, serão adotados esquemas para controle e destinação de possíveis resíduos gerados que surjam não dentro do planejado.

Para isso, a *Phoenix Energy* atenderá a Lei N° 12 305/2010 que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), para uma gestão integrada e gerenciamento dos resíduos. Como garantia de cumprimento da PNRS também é realizado um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) para classificação e destinação correta de possíveis resíduos. O PGRS é muito interessante para a *Phoenix Energy* pois além de garantir que qualquer resíduo gerado pela produção tenha destinação adequada também efetua o controle de resíduos diversos (por exemplo resíduo de escritório).

Além disso, será necessário manter um controle para emissões atmosféricas, na intenção de manter a empresa dentro do previsto na legislação e demonstrar a necessidade de atenção a possíveis emissões. Para este controle, é seguida a CONAMA N° 003 de 28 de junho de 1990 que estabelece parâmetros para controle de emissão de acordo com a tipologia de fonte emissora e estabelece as redes de monitoramento necessárias, que serão adotadas pela *Phoenix Energy*.

11 LAYOUT DA EMPRESA

O layout industrial é de extrema importância dentro do processo sendo necessário um pensamento crítico na alocação das regiões. A importância do layout recai sobre a capacidade da instalação e produtividade das operações, afetando diretamente os custos de produção (SILVA, 2018).

A *Phoenix Energy* teve seu layout construído com pensamento estratégico de modo a aumentar a eficiência dos processos produtivos com a intenção de maximização produtiva. Conseqüentemente, por meio da disposição estratégica e alocação dos setores é possibilitada uma maior qualidade e melhoria no fluxo de processo.

O layout da *Phoenix Energy* está disponibilizado no Apêndice B, abrangendo os quatro setores produtivos principais para o funcionamento. A chegada do RSU e preparo pelo setor 1000, o processamento pirolítico no setor 2000, o armazenamento e envase de biochar no 3000 e também o processamento energético no setor 4000.

Além dos macro setores produtivos, o layout abrange a estação de tratamento de efluente disponível na planta da *Phoenix Energy*, e o setor administrativo para gestão e organização das atividades produtivas.

12 DIAGRAMA DE FLUXO DE PROCESSO

O Diagrama de Fluxo de Processos (*Process Flow Diagram* - PFD) é um esquema gráfico utilizado para a representação do fluxo de informações referentes aos equipamentos e conexões entre eles em um processo produtivo. O PFD foi elaborado para a *Phoenix Energy* a fim de uma maior compreensão dos processos produtivos envolvidos, sendo o diagrama é apresentado no Apêndice C.

13 ANÁLISE FINANCEIRA

A fim de analisar a viabilidade de instalação do novo empreendimento, a *Phoenix Energy*, a análise financeira torna-se indispensável para demonstrar informações úteis para tomada de decisões. A análise financeira tem como função examinar os mínimos detalhes dos dados financeiros assim como as condições internas e externas da organização (SILVA, 2008).

Desta forma, avaliando-se os custos fixos e variáveis, investimentos e recursos necessários para inicializar o projeto, assim como o balanço dos fatores de risco, demonstrando a fragilidade, lucratividade e futuras atualizações da *Phoenix*.

13.1 Custos Fixos

Custos fixos é definido como custos que se apresentam inalteráveis dentro de uma estipulada instalação e independentemente do volume a ser produzido (CARARETO, 2006).

Sendo assim, para os custos fixos considerou-se as despesas da *Phoenix Energy*, como por exemplo os equipamentos envolvidos no processo, a construção das instalações, colaboradores e veículos, como apresentados no Apêndice D. A usina conta com um total de 121 colaboradores sendo divididos por turnos, e considerou-se um percentual de insalubridade, além do adicional noturno para os colaboradores do terceiro turno.

13.2 Custos Variáveis

Os custos variáveis estão relacionados com o volume de produção ou serviço prestado e possuem diferentes classificações, progressivos, constantes e regressivos, todos referentes a variações com a proporção a ser produzida (CARARETO, 2006). Desta forma, os custos variáveis são apresentados no Apêndice D.

13.3 Financiamento

O conceito de financiamento pode ser descrito como a maneira de conquistar um investimento e realizar o pagamento em um período de médio e longo prazo, pagamento este no qual é realizado com o acréscimo de taxas e juros. Sendo assim, o valor total a ser financiado será de R\$ 48.287.360,74 sendo que 30% desse valor

será investido pelos sócios e os 70% restante será financiado pelo programa do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDES).

Conseqüentemente, optou-se pelo financiamento do tipo amortização constante (SAC -Sistema de Amortização Constante), mais especificamente a uma taxa de 3% a.a. e uma carência de 6 meses. Posto isto, o valor estimado com base em pesquisas para o financiamento da *Phoenix Energy* será liquidado após 20 anos conforme apresentado na Tabela 31, na qual apresenta o cálculo realizado, composta por amortização, saldo devedor, juros e parcelas a serem pagas por ano. O financiamento detalhado, mês a mês é apresentado no Apêndice D.

Tabela 31 – Financiamento

Ano	Parcela	Juros	Amortização	SD
1	R\$ 1.388.949,81	R\$ 1.019.368,35	R\$ 879.778,19	R\$ 441.178.912,46
2	R\$ 2.742.708,49	R\$ 978.753,23	R\$ 1.759.556,37	R\$ 389.741.736,30
3	R\$ 2.689.921,80	R\$ 930.365,43	R\$ 1.759.556,37	R\$ 370.386.616,21
4	R\$ 2.637.135,11	R\$ 877.578,74	R\$ 1.759.556,37	R\$ 349.271.939,75
5	R\$ 2.584.348,42	R\$ 824.792,05	R\$ 1.759.556,37	R\$ 328.157.263,30
6	R\$ 2.531.561,73	R\$ 772.005,36	R\$ 1.759.556,37	R\$ 307.042.586,84
7	R\$ 2.478.775,04	R\$ 719.218,67	R\$ 1.759.556,37	R\$ 285.927.910,38
8	R\$ 2.425.988,35	R\$ 666.431,98	R\$ 1.759.556,37	R\$ 264.813.233,92
9	R\$ 2.373.201,66	R\$ 613.645,28	R\$ 1.759.556,37	R\$ 243.698.557,46
10	R\$ 2.320.414,96	R\$ 560.858,59	R\$ 1.759.556,37	R\$ 222.583.881,00
11	R\$ 2.267.628,27	R\$ 508.071,90	R\$ 1.759.556,37	R\$ 201.469.204,54
12	R\$ 2.214.841,58	R\$ 455.285,21	R\$ 1.759.556,37	R\$ 180.354.528,08
13	R\$ 2.162.054,89	R\$ 402.498,52	R\$ 1.759.556,37	R\$ 159.239.851,63
14	R\$ 2.109.268,20	R\$ 349.711,83	R\$ 1.759.556,37	R\$ 138.125.175,17
15	R\$ 2.056.481,51	R\$ 296.925,14	R\$ 1.759.556,37	R\$ 117.010.498,71
16	R\$ 2.003.694,82	R\$ 244.138,45	R\$ 1.759.556,37	R\$ 95.895.822,25
17	R\$ 1.950.908,13	R\$ 191.351,76	R\$ 1.759.556,37	R\$ 74.781.145,79
18	R\$ 1.893.722,54	R\$ 134.166,17	R\$ 1.759.556,37	R\$ 51.906.912,96
19	R\$ 1.840.935,85	R\$ 81.379,48	R\$ 1.759.556,37	R\$ 30.792.236,50
20	R\$ 1.788.149,16	R\$ 28.592,79	R\$ 1.759.556,37	R\$ 9.677.560,04
	R\$ 44.460.690,34	R\$ 10.655.138,93	R\$ 34.311.349,25	R\$ 4.262.055.573,30

Fonte: Autoria própria (2022).

A fim de se obter o rendimento da receita líquida no período anual, seguiu-se os seguintes tributos, dos quais são impostos sobre a receita bruta, dentre eles:

Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadoria e Serviços (ICMS), Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), Programa de Integração Social (PIS).

Contudo, incidem-se também impostos sobre o lucro líquido, dentre eles: Imposto de Renda de Pessoa Jurídica (IRPJ), Adicional do Imposto de Renda de Pessoa Jurídica (ADIRPJ), Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSSL), e como o IRPJ ultrapassa de 240.000,00 anual, incide ainda o adicional de IR, no qual representa 10% do valor excedente.

Os respectivos valores tributários são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 – Tributos

Tributos	Taxa
ICMS	27,00%
PIS	0,65%
COFINS	3,00%
IRPJ	15,00%
ADIRPJ	10,00%
CSSL	9,00%

Fonte: Autoria própria (2022).

13.4 Receitas

As receitas são a fonte de renda da empresa e sustentarão a Phoenix Energy no viés financeiro, essa renda é gerada por meio da venda dos produtos para empresas parceiras. Os valores dos subprodutos de valor agregado tiveram seus preços estabelecidos de acordo com o mercado internacional (GIWA *et al.*, 2019), já a energia teve seu preço estabelecido pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), os valores estão demonstrados na Tabela 33.

Tabela 33 – Tributos

Produto	Valor	Produção Mensal	Renda Mensal
Gás de Síntese	R\$ 1,05/m ³	48.737.453,71 m ³	R\$ 51.369.276,21
Biochar	R\$ 3,16/kg	1.361.952,0 kg	R\$ 4.306.492,22
Bio-óleo	R\$ 6,32/m ³	4.823.049,0 m ³	R\$ 30.500.961,88
Energia Elétrica	R\$ 55,70/kW	8014,8 kW	R\$ 446.424,36
		Total	R\$ 86.623.154,67

Fonte: Autoria própria (2022).

13.5 Demonstração de Resultado de Exercício (DRE)

Para Zdanowicz (2002), o sucesso de uma empresa depende da capacidade da administração ao avaliar e de se planejar para o futuro, sendo assim o DRE fornece uma visão econômica, acarretando a transparência da liquidez e da situação patrimonial.

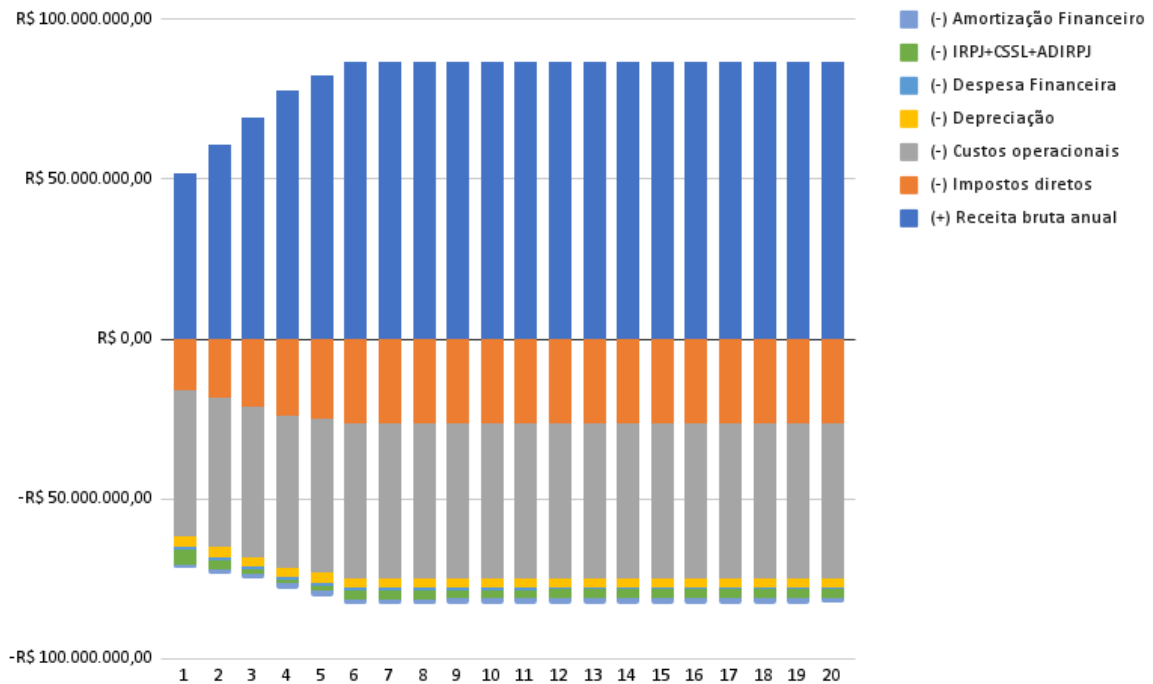
Já para Morante (2009), o demonstrativo de resultado de exercício é crucial para análise de rentabilidade de empresas, como também para análise de demonstrações financeiras, pois apresenta demonstrativos de tendências, custos e despesas, assim como estudo de estratégias para que seja possível contornar situações indesejadas.

Desta forma, com a demonstração de resultado de exercício, a usina demonstra um alto potencial econômico, justificado pelo valor de EBITDA (*Earnings before interest, taxes, depreciation and amortization*) de aproximadamente 12 milhões de reais. A EBITDA é um indicador relacionado a demonstração de resultados da organização. Para analisar tal valor os juros, as despesas financeiras, o imposto de renda e a contribuição social, a depreciação e a amortização são consideradas, a fim de que se obtenha uma aproximação com o fluxo de caixa operacional (FREZATTI; AGUIAR, 2007). Tais valores de DRE são demonstrados na Figura 48.

Desta maneira, a partir da análise do financiamento apresentada anteriormente, assim como os juros apresentados, foram detalhados os custos e lucros anuais para determinação da DRE.

Para avaliar a DRE levou-se em consideração uma variação de 10% ao ano na capacidade produtiva da *Phoenix Energy*, com início em 60% no primeiro até 90% no quarto ano. Para o quinto ano foi estabelecido uma capacidade de produção de 95% e a partir deste a fábrica funciona com 100% de sua capacidade. Esta análise é apresentada graficamente na Figura 48.

Figura 48 - Demonstração de Resultado do Exercício



Fonte: Autoria própria (2022).

13.6 Receitas

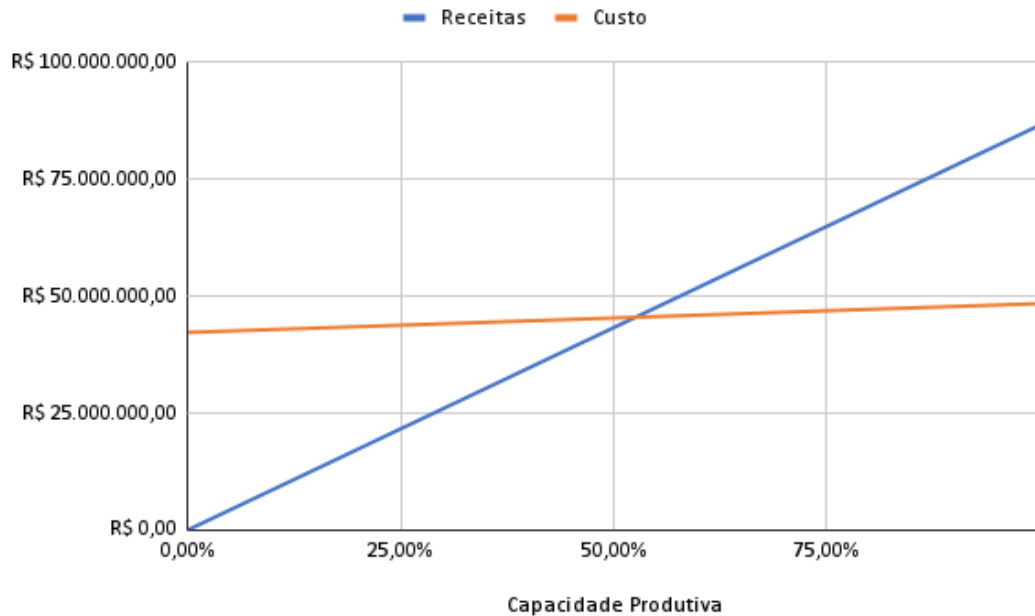
13.7 Ponto de Equilíbrio

O ponto de equilíbrio é definido como o nível em que o volume de vendas cobre os custos fixos dos recursos envolvidos no processo, ou seja, a empresa só começará a contabilizar os lucros no momento que as vendas superarem o ponto de equilíbrio indicado. Contudo, a análise pelo ponto de equilíbrio demonstra o empenho necessário para se obter lucro com o empreendimento, sendo assim a viabilidade do mesmo (COSTA; FERREIRA; SARAIVA JÚNIOR, 2010).

Para a execução da análise, modificou-se a porcentagem de produção da usina de forma linear de 0% a 100%, como também se designou os custos e as receitas em cada faixa de porcentagem.

Por fim, a intercepção das retas de custo e receita demonstra o ponto de produção mínima necessária para que os lucros sejam o suficiente para cobrir os gastos sem que gere prejuízo. Desta forma, para a *Phoenix* o ponto de equilíbrio encontra-se na faixa de 53%, conforme apresentado na Figura 49.

Figura 49 - Ponto de Equilíbrio Financeiro.



Fonte: Autoria própria (2022).

Por meio da análise de ponto de equilíbrio fica demonstrado que a operação da *Phoenix Energy* necessita de no mínimo mais da metade de sua capacidade produtiva em operação para a que seja possível a obtenção de um negócio viável. Isso deve-se pelo tipo de processamento adotado na indústria, sendo necessário uma instalação robusta para o processo.

13.8 Taxa Interna de Retorno (TIR)

O básico de um projeto viável financeiramente é que geração de retorno econômico ocorra, compensando os riscos e os custos de capital envolvidos no projeto (SCHROEDER *et al.*, 2005).

Desde modo é possível averiguar a taxa mínima de atratividade (TMA) do empreendimento. Esta serve para considerar o risco do negócio, a liquidez e o custo de oportunidade. Para a *Phoenix Energy*, a determinação da TMA teve embase na taxa básica de juros da economia (SELIC) de 2,75%, um risco de 3,5% e a liquidez em 3,0% cada, totalizando 9,25% de TMA.

Para verificar a viabilidade do projeto, deve-se comparar a TMA com a taxa interna de retorno (TIR) e também verificar o valor presente líquido (VPL). A *Phoenix*

Energy possui uma TIR de 10,0% sendo esta maior que a TMA e um VPL positivo de R\$ 657.610,12 mostrando novamente que o projeto é viável.

13.9 Payback

Payback definido como o limite do prazo estimado para a recuperação de um investimento, ou seja, um indicador que representa o tempo necessário para a recuperação do capital (RAMIRES, 2008). Portanto, a partir da análise realizada pelo *payback*, o retorno financeiro para a *Phoenix Energy* ocorre a partir do quinto ano, conforme demonstrado no Apêndice D.

14 CONCLUSÃO

A *Phoenix Energy* foi desenvolvida em meio a fatores importantes, nos quais dizem respeito a geração de RSU no decorrer dos anos, estudo de mercado, aspectos essenciais para a construção e transparência da empresa. Dentre outros conceitos abordados neste projeto, destacam-se também as descrições dos processos de reaproveitamento energético, dimensionamento de equipamentos, análise financeira e o tratamento dos resíduos juntamente com as suas devidas destinações, cumprindo o objetivo previamente estabelecido no qual era destrinchar toda o conceito desse projeto.

A empresa terá sua sede localizada na cidade de Lorena – SP, atingindo o processamento de cerca 40 ton/h de RSU, gerando através do processo pirolítico aproximadamente 8015 KW de potência, totalizando 0,30% projeção de demanda de energética brasileira para 2030, além de matéria-prima renovável para a obtenção de combustíveis líquidos e carvão ativado. Essa produção advém de uma análise do mercado e suas projeções, que estimam um crescimento tanto da geração de RSU (e sua destinação inadequada) quanto na demanda por energia.

Tornando possível a agregação de valor a um resíduo na qual necessita de tratamento adequado, gerando com ela não somente a potência, mas como também biochar, bio-óleo, co-produtos que podem ser utilizados em outros processos fabris, a *Phoenix Energy*, surge como solução juntamente com a oportunidade de um mundo melhor e mais sustentável, levando consigo a responsabilidade e a visão de não gerar qualquer dano a sociedade e ao meio ambiente.

Através do processamento de aproximadamente 40 ton/h, o processo desenvolvido é capaz de produzir 1,9 ton/h de bio-óleo e 4,0 ton/h de biochar, com uma conversão completa dos RSU e uma eficiência de 85% para gases de expansão, 5% em fase líquida e 10% de produto sólido.

Os indicativos financeiros demonstraram que a implementação da *Phoenix Energy* ocorreria de forma segura, devido a sua alta TIR, *payback* e baixo ponto de equilíbrio.

15 PROJETOS FUTUROS

A *Phoenix Energy* surgiu do inconformismo com a alta geração de resíduos sólidos urbanos e devido ao déficit energético presente no meio brasileiro atualmente. Por meio das projeções é notável a necessidade de investimento e desenvolvimento de tecnologias que possam suprir esta demanda energética e melhorar as condições ambientais com a destinação correta de RSU.

O projeto *Phoenix Energy* busca inovação e estabelecimento de alternativas inteligentes para as dores destacadas. Como foi apresentado é um projeto que tem viés econômico positivo, despertando ainda mais o interesse por atuações neste campo de processamento.

Entretanto, há alguns pontos do projeto apresentado que podem ser investigados mais a fundo para uma melhoria dos processos estabelecidos, como um maior aproveitamento energético das correntes de processo, para que seja utilizado todo e qualquer potencial energético disponível na planta pirolítica.

A busca por otimização da pirólise auto térmica também se faz necessária para que o objetivo principal seja alcançado, isso deve-se pela alta quantidade de subprodutos que são gerados durante o processamento. Por mais que este apresente potencial econômico, não se apresentavam como o enfoque principal do projeto no momento.

O alto valor que pode ser agregado aos subprodutos gerados é um ponto de atenção, o bio-óleo possui alto potencial energético e terá ainda mais valor no mercado após um processo de refinamento, onde pode-se obter combustíveis como diesel, gasolina e óleo lubrificante.

Já o biochar possui grande potencial de utilização como carvão ativado após sua passagem pelo processo de ativação, e por fim tem-se também a possibilidade de uso do gás de síntese como combustível para aquecimento da corrente de entrada da turbina e da corrente de ar injetada no pirolisador, gerando assim mais energia elétrica e menos consumo de ar no processo respectivamente.

Estes são alguns pontos de melhoria que auxiliariam a *Phoenix Energy* alavancar os resultados e tornar o Brasil um país mais limpo, mais eficiente, mais tecnológico e mais inovador!

REFERÊNCIAS

- ABRAPCH, Associação Brasileira de Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradores Hidrelétricas. **Com menor custo do país, energia hidrelétrica diminui participação na matriz energética**. Imprensa-Abrapch. 2019. Disponível em: <<https://abrapch.org.br/2019/05/com-menor-custo-do-pais-energia-hidreletrica-diminui-participacao-na-matriz-energetica/>>. Acesso em: 17 de out. de 2021.
- ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acesso em: 01 de set. 2021.
- ABRELPE. **Recomendações para a gestão de resíduos sólidos durante a pandemia de coronavírus (COVID-19)**. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/abrelpe-no-combate-a-covid-19/>>. Acesso em: 12 de out. de 2021.
- ALMEIDA, MBB de. **Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gásóleo em craqueamento catalítico**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2008.
- AMUTIO, Maider *et al.* **Biomass oxidative flash pyrolysis: autothermal operation, yields and product properties**. Energy & fuels, v. 26, n. 2, p. 1353-1362, 2012.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Mapas Básicos**. 2016. Disponível em: <<https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/group.html?id=8d5bb6379e0e4378a4934e6869482e2d#overview>>. Acesso em: 17 de out. de 2021.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **O Leilão de Energia Nova entra em consulta pública, com termelétricas a resíduos sólidos urbanos**. Disponível em: <<https://abcp.org.br/criada-a-fbrer-frente-brasil-de-recuperacao-energetica-de-residuos/>>. Acesso e.m: 17 de out. de 2021.
- ABETRE, Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes. **Atlas de destinação final de resíduos**. Brasil, 2020. Disponível em: <<https://abetre.org.br/atlas-da-destinacao-final-de-residuos-brasil-2020/>> Acesso em: 18 de out. 2021.
- BABCOCK; Wilcox Company. **Steam: its generation and use**. Kessinger Publishing, 2005.
- BASU, Prabir. **Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory**. Academic press, 2010.
- BELGIORNO, V. *et al.* **Energy from gasification of solid wastes**. Waste management, v. 23, n. 1, p. 1-15, 2003.
- BERNARDES, Francisco Fernandes; SIQUEIRA, ACF. **Desenvolvimento de novos produtos nas organizações inovadoras e sustentáveis B2B e B2C**. XVII Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, XVII ENGEMA, São Paulo, 2015.

BORGNAKKE, Claus; SONNTAG, Richard E. **Fundamentos da termodinâmica**. 7. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2009.

BRIDGWATER, Anthony V. **Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass**. Chemical engineering journal, v. 91, n. 2-3, p. 87-102, 2003.

CALDEROL. **Esteira de triagem de resíduos**. 2022. Disponível em: <<https://www.calderol.com.br/esteira-triagem-residuos>>. Acesso em: 16 de maio de 2022.

CANDEIAS, José Sales das. **Funções e simbolismos da Ave-Benu na arte e mitologia egípcia**. Revista de Geistória e Pré-História, p. 94.

CAPANEMA, Nádia SV *et al.* **Superabsorbent crosslinked carboxymethyl cellulose-PEG hydrogels for potential wound dressing applications**. International journal of biological macromolecules, v. 106, p. 1218-1234, 2018.

CARARETO, Edson Soares et al. **Gestão estratégica de custos: custos na tomada de decisão**. Revista de Economia da UEG, v. 2, n. 2, p. 1-24, 2006.

CARDOSO, Bruno Monteiro. **Uso da biomassa como alternativa energética**. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2012.

CHEN, Dezhen *et al.* **Pyrolysis technologies for municipal solid waste: a review**. Waste management, v. 34, n. 12, p. 2466-2486, 2014.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. AMGH Editora, 2013.

CHHITI, Younes; KEMIHA, Mohammed. **Thermal conversion of biomass, pyrolysis and gasification**. International Journal of Engineering and Science (IJES), v. 2, n. 3, p. 75-85, 2013.

CLEMENTE, Matheus. **Entenda o que é psicologia das cores e descubra o significado de cada cor**. Rock Content, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <<https://rockcontent.com/br/blog/psicologia-das-cores/>>. Acesso em: 13 de out. de 2021.

COSTA, Reinaldo Pacheco da; FERREIRA, Helisson Akira Shimada; SARAIVA JÚNIOR, Abraão Freires. **Preços, orçamentos e custos industriais: fundamentos da gestão de custos e de preços industriais; inclui o sistema de apoio à decisão POC**. 2010.

DALBOSCO, Giovani Valle; LEITES, Tania Nalborczyk. **Geração de energia através de resíduos sólidos urbanos**. 2011.

DINATEC. **Compressor para envase de cilindros**. 2022. Disponível em: <<https://dinatec.ind.br/compressor-para-envase-de-cilindros/>>. Acesso em: 17 de maio de 2022.

ELORDI, Gorka *et al.* **Catalytic pyrolysis of high density polyethylene on a HZSM-5 zeolite catalyst in a conical spouted bed reactor.** International Journal of Chemical Reactor Engineering, v. 5, n. 1, 2007.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2011** – Ano base 2010. Rio de Janeiro: 2011.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2029** – Ano base 2019. Rio de Janeiro: 2019.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030.** Rio de Janeiro: 2007.

FBRRER, Frente Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos. **Associação Brasileira de Cimento Portland.** Disponível em: <<https://abcp.org.br/criada-a-fbrer-frente-brasil-de-recuperacao-energetica-de-residuos/>> Acesso em: 18 de out. de 2021.

FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos:** guia de orientações para governos municipais de Minas Gerais. 2012.

FERREIRA, Cassius Ricardo Nascimento *et al.* **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.

FERREIRA, Monique Cristina. **Estudo da combustão com adição de hidrogênio em motor a diesel.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FRANÇA, Bárbara Xavier. O lixo que vira carvão. **Boletim UFMG**, 2009. Disponível em: <<https://www.ufmg.br/boletim/bol1677/3.shtml>>. Acesso em 17 de out. 2021.

FREZATTI, Fábio; AGUIAR, Andson Braga de. **EBITDA:** possíveis impactos sobre o gerenciamento das empresas. Revista Universo Contábil, v. 3, n. 3, p. 7-24, 2007.

GARCIA, Adriana; MENDONÇA, Marcelo Aparecido. **Bio-óleo de resíduos sólidos obtido via pirólise:** análise dos parâmetros físico-químicos. Brazilian Applied Science Review, v. 2, n. 5, p. 1632-1635, 2018.

GIORDANO, Gandhi *et al.* **Tratamento e controle de efluentes industriais.** Revista ABES, v. 4, n. 76, p. 1-84, 2004.

GIWA, Adewale *et al.* **Pyrolysis of date palm waste to biochar using concentrated solar thermal energy:** economic and sustainability implications. Waste Management, v. 93, p. 14-22, 2019.

HASHIMURA, Luis de Marques Medeiros. **Aproveitamento do potencial de geração de energia elétrica por fontes renováveis alternativas no Brasil:** instrumentos de política e indicadores de progresso. Rio de Janeiro, 2012.

KON, Anitta. **Economia industrial.** São Paulo, 1994.

LATER, Don. **Cultura do consumo & modernidade–Exame**. NBL Editora, 2001.

LAZARINI, Caroline Aparecida. **Aplicação de técnica de integração energética no sistema de pré-tratamento de matéria-prima para a produção de biodiesel**, Campinas, 2016.

LEGISLAÇÃO DIGITAL. **Lei complementar nº327, de 10 de set. de 2021**.

Disponível em: <<https://www.legislacaodigital.com.br/Lorena-SP/LeisComplementares/327-2021#art40>>. Acesso em: 17 de out. de 2021.

LORA, Electo Eduardo Silva *et al.* **Gaseificação e pirólise para a conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis**. Biocombustíveis. Interciência, v. 1, p. 411-498, 2012.

MARANHO, Alexander da Silva. **Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos para Bauru e região**. 2008.

MEIRA, Camila Roberta de. **Desempenho de um precipitador eletrostático operando na remoção de nanopartículas de aerossóis**. 2009.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Rodovias brasileiras**. 2019, Disponível em: <<https://antigo.infraestrutura.gov.br/rodovias-brasileiras.html>>. Acesso em: 17/10/2021.

MORAN, Michael J. *et al.* **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**, 6ª edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2009.

MORANTE, Antonio Salvador. **Análise das demonstrações financeiras: aspectos contábeis da demonstração de resultado e do balanço patrimonial**. Atlas, 2009.

NEWTON, Paul N. *et al.* **COVID-19 and risks to the supply and quality of tests, drugs, and vaccines**. The Lancet Global Health, v. 8, n. 6, p. e754-e755, 2020.

PAZ, Agis Espártaco Cervo. **Simulação de sistemas térmicos de potência para geração de energia elétrica**. 2002.

PINTO JR., H. Q. *et al.* **Economia da energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

PLANALTO. **Lei nº 10.848 de 15 de março de 2004**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm>. Acesso em 17 de out. de 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LORENA. **A cidade**. Disponível em: <<http://www.lorena.sp.gov.br/wordpress/index.php/a-cidade-lorena/>>. Acesso em: 17 de out. de 2021.

PUGA, Fernando Pimentel; CASTRO, Lavínia Barros de. **Visão 2035: Brasil, país desenvolvido: agendas setoriais para alcance da meta**. 2018.

- RIBEIRO NETO, Altamirando Colombo; ASSIS, Adilson José de. **Influência da razão de reciclo sobre o gasto energético e composição de saída em um flash usados em processos de “quenching”**. Jornada em Engenharia Química. Minas Gerais, 2014.
- OLIVEIRA, Amanda Fernanda de et al. **Inogran: indústria de óleos vegetais**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- OSTROFF, Frank. **The horizontal organization: What the organization of the future actually looks like and how it delivers value to customers**. Oxford University Press, 1999.
- OZAWA, Marcelo. **Determinação experimental da resistividade ôhmica de cinzas volantes para projeto de precipitadores eletrostáticos**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- RAMALHO, R.S. **Tratamiento de aguas residuales**. Barcelona: Editorial Reverté S.A., 1991.
- RAMIRES, Katia Karina. **Análise fundamentalista e definição de preço-alvo para Lojas Renner SA**. 2008.
- RETONDAR, Anderson Moebus. **A (re) construção do indivíduo: a sociedade de consumo como " contexto social" de produção de subjetividades**. Sociedade e estado, v. 23, p. 137-160, 2008.
- RIBEIRO, Thais Maria Machado Lemos; INOUE, Cristina YA. **Padrões sustentáveis de produção e consumo: resíduos sólidos e os desafios de governança do global ao local**. Meridiano 47, v. 17, 2016.
- RINGER, Matthew; PUTSCHE, Victoria; SCAHILL, John. **Large-scale pyrolysis oil production: a technology assessment and economic analysis**. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2006.
- ROCHA, Erika da Justa Teixeira *et al.* **Caracterização das águas de lavagem de uma recicladora de plásticos e viabilidade do seu reuso**, 2005.
- ROLDAN, Lucas B. **Caderno de Organização, Sistemas e Métodos Dom Alberto**. Santa Cruz do Sul: Faculdade Dom Alberto, 2010.
- SAMPAIO, Kleber. **Condições de vida são mais baixas em áreas longe dos centros, diz IBGE**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2017-12/condicoes-de-vida-sao-mais-baixas-em-areas-longe-dos-centros-diz-ibge>>. Acesso em: 17 de out de 2021.
- SANTOS, Jaqueline Guimarães. **A logística reversa como ferramenta para a sustentabilidade: um estudo sobre a importância das cooperativas de reciclagem na gestão dos resíduos sólidos urbanos**. Revista Reuna, v. 17, n. 2, p. 81-96, 2012.
- SLATER, Don. **Cultura do consumo e modernidade—trad.** Dinath de Abreu Azevedo—São Paulo: Nobel, 2002.

SCHROEDER, Jocimari Tres *et al.* **O custo de capital como taxa mínima de atratividade na avaliação de projetos de investimento.** Revista Gestão Industrial, v. 1, n. 2, 2005.

SILVA, Beatriz Pereira Marques da *et al.* **Layout e arronjo físico: uma revisão bibliográfica.** Revista Engenharia em Ação UniToledo, v. 3, n. 1, 2018.

SILVA, Sandro Pereira. A organização coletiva de catadores de material reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da economia solidária. 2017.

TLV. **Coeficiente Global de Transferência de Calor.** 2022. Disponível em: <<https://www.tlv.com/global/BR/steam-theory/overall-heat-transfer-coefficient.html>> Acesso em: 02 de jun. de 2022.

URBAN, Rodrigo Custódio. **Índice de adequação do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos como ferramenta para o planejamento: aplicação no estado de São Paulo.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, p. 367-377, 2016.

VÁCUO INDUSTRIAL. **Condensador casco e tubo.** 2022. Disponível em: <<https://www.vacuointustrial.com.br/condensador-casco-tubo>>. Acessado em: 11 de maio de 2022.

VIEIRA, Gláucia Gama *et al.* **O processo de pirólise como alternativa para o aproveitamento do potencial energético de lodo de esgoto—uma revisão.** Revista Liberato, v. 12, n. 17, p. 81-96, 2011.

WANG, Aiguo G.; AUSTIN, Danielle; SONG, Hua. **Catalytic biomass valorization.** In: Biomass Volume Estimation and Valorization for Energy. IntechOpen, 2017.

WILLIAMS, Paul T.; BESLER, Serpil. **The influence of temperature and heating rate on the slow pyrolysis of biomass.** Renewable energy, v. 7, n. 3, p. 233-250, 1996.

WOILER, Samsão; MATHIAS, Washington Franco. **Projetos: planejamento, elaboração e análise.** São Paulo: Atlas, 1996.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **The machine that change the world.** Rawson Associates, NY, 1990.

ZDANOWICZ, José Eduardo. **Fluxo de Caixa: Uma Decisão de Planejamento e Controle Financeiro.** 9. ed. São Paulo: Editora Sagra Luzzatto, 2002.

APÊNDICE A - Cálculos do tratamento biológico

CÁLCULOS DO TRATAMENTO BIOLÓGICO

As águas residuais de lavagem têm uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO) estimada em um valor médio de 61,5 mg/L (ROCHA et al., 2005). Para a determinação do tempo de retenção (r) é utilizada a Equação A.1, apresentada abaixo (OLIVEIRA, 2021).

$$\frac{1}{r} = \frac{\mu_m S_e}{K_S + S_e} - b \quad (\text{A.1})$$

Onde:

r - Tempo de retenção;

μ_m - Taxa de crescimento específico;

K_S - Coeficiente de meia saturação;

S_e - Concentração de substrato (40% da DBO inicial);

b - Taxa de decaimento.

Como a vazão máxima estipulada em 250 m³/dia e com um S_e de 24,6 mg/L é possível determinar o tempo de retenção, os demais dados utilizados foram retirados da literatura (JEPPSSON, 1996)

$$\frac{1}{r} = \frac{(6,9 \text{ d}^{-1})(24,6 \text{ mg/L})}{60 \text{ mg/L} + 24,6 \text{ mg/L}} - 0,06 \text{ d}^{-1}$$

$$r = 1,95 \text{ d}$$

Com um tempo de retenção de 1,95 dias, o seguinte passo é a determinação da concentração de biomassa (X_e), essa concentração é determinada pela Equação A.2 (OLIVEIRA, 2021).

$$r = \frac{(S_a - S_e) \cdot Y \cdot (K_S + S_e)}{\mu_m \cdot X_e \cdot S_e} \quad (\text{A.2})$$

Onde o S_a é a concentração inicial de DBO de 61,5 mg/L e Y o fator de rendimento obtido da literatura (JEPPSSON, 1966).

$$1,95 d = \frac{(61,5 \text{ mg/L} - 24,6 \text{ mg/L})(0,565)(60 \text{ mg/L} + 24,6 \text{ mg/L})}{(6,9 d^{-1})(24,6 \text{ mg/L})X_e}$$

$$X_e = 5,33 \text{ mg/L}$$

Também se determina o volume da lagoa por meio da vazão volumétrica e do tempo de retenção, como mostra a Equação A.3.

$$V = v \cdot r \quad (\text{A.3})$$

$$V = \left(250 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right)(1,95 d) = 487,5 \text{ m}^3$$

Para a determinação do decantador, o dimensionamento foi realizado seguindo a NBR 12209 de 2011, inicialmente determinou-se a área do decantador por meio da Equação A.4.

$$A = \frac{V}{TAS} \quad (\text{A.4})$$

Em que V é a vazão volumétrica do efluente a ser tratado e TAS é a taxa de aplicação superficial. Conforme o apresentado pela NBR 12209 a TAS tem um valor máximo de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$, deste modo:

$$A = \frac{250 \text{ m}^3/\text{d}}{120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}}$$

$$A = 2,08 \text{ m}^2$$

A partir da área obtém-se o diâmetro do decantador, correspondente a 2,06, que atende a especificação máxima de 7 m da NBR 12209. A altura máxima de decantação ($h_{\text{água}}$) que a água pode estar alocada é de 0,5 m, sendo assim o volume de decantação é dado por:

$$V_{dec} = \frac{\pi D^2}{4} h_{\text{água}}$$

$$V_{dec} = 1,7 \text{ m}^3$$

O decantador possui um corpo cônico abaixo da área de decantação, para determinação do volume útil, determinou-se o volume do cone considerando a inclinação mínima do poço de 1,5 m na vertical e 1 m na horizontal, sendo assim o volume do poço é de 0,445 m³.

O volume útil é dado a partir da junção do volume de decantação e do volume do poço. Com o volume útil pode-se determinar o tempo de detenção hidráulica:

$$TDH = \frac{(1,7 + 0,445)m^3}{400 \text{ m}^3/d}$$

$$TDH = 0,129 \text{ h}$$

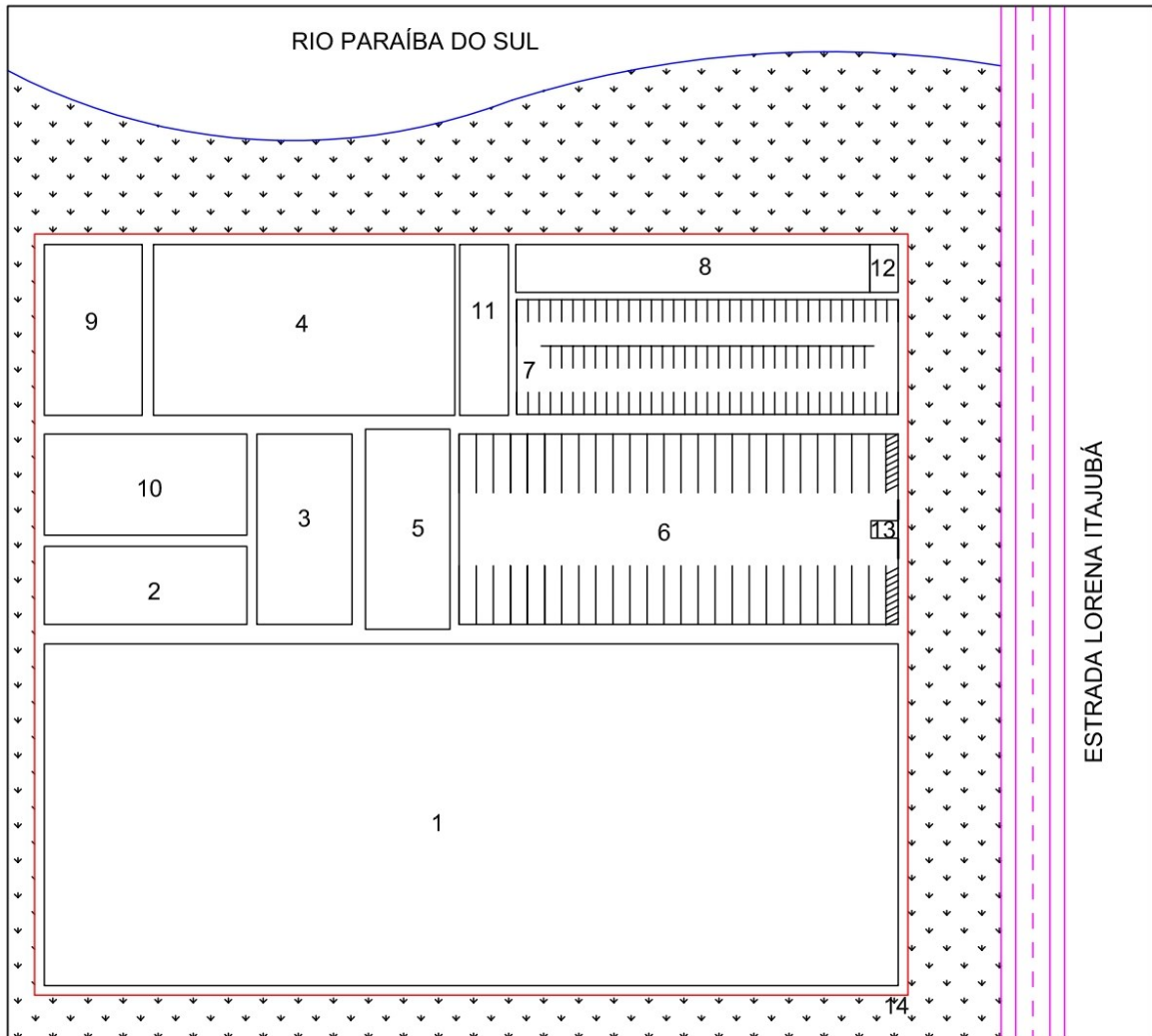
Por fim, a partir do *TDH* determinou-se a vazão de lodo (v_{lodo}):

$$v_{\text{lodo}} = \frac{0,445 \text{ m}^3}{0,129 \text{ h}}$$

$$v_{\text{lodo}} = 3,53 \text{ m}^3/h$$

APÊNDICE B - Layout da empresa

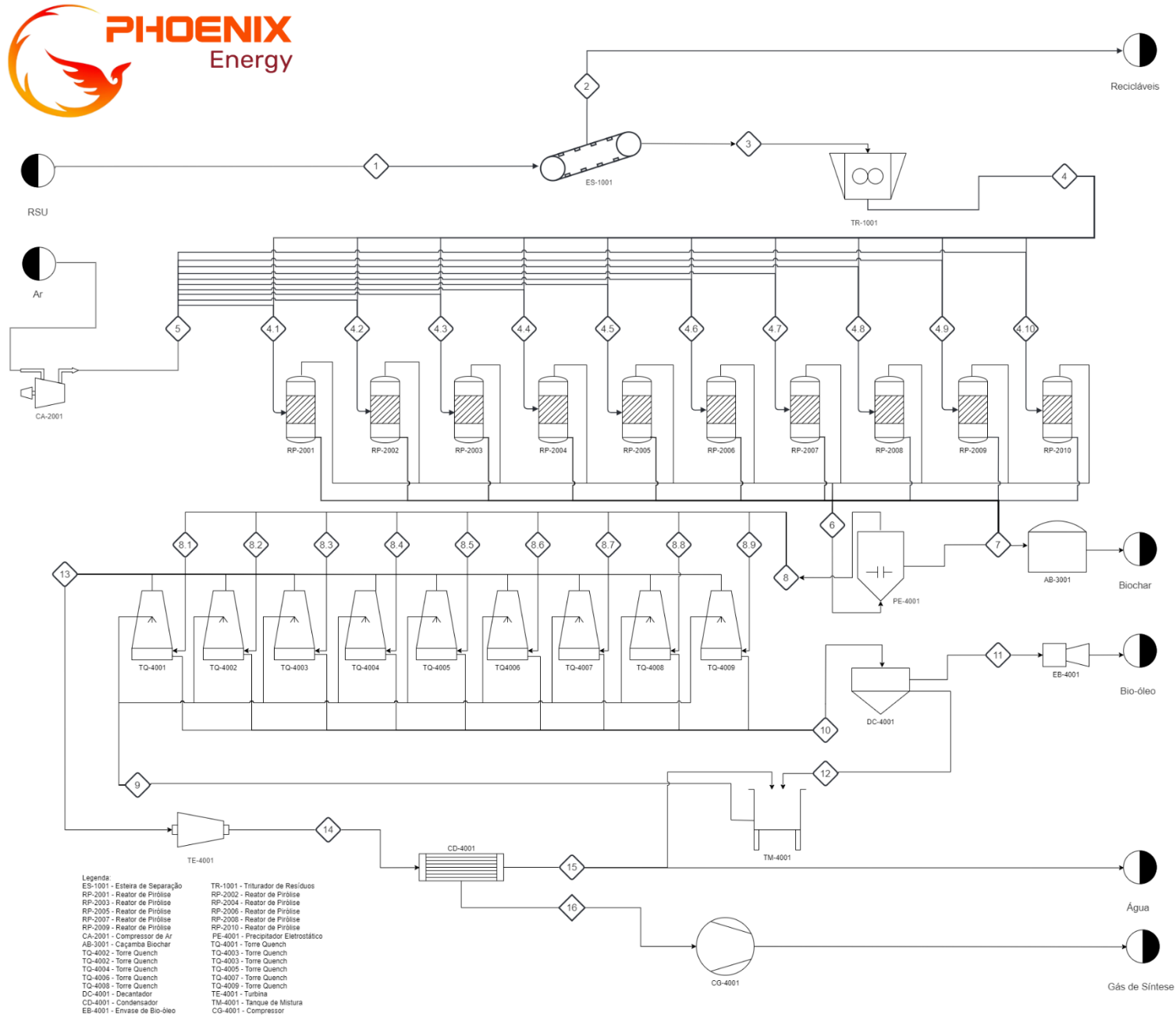
LAYOUT EMPRESARIAL DA PHOENIX ENERGY



LEGENDA					
N°	NOME	ÁREA	N°	NOME	ÁREA
1	ARMAZENAMENTO DE RESÍDUOS	12.250,00m ²	8	ADMINISTRATIVO	728,75m ²
2	TRIAGEM E PREPARO	664,00m ²	9	ALMOXARIFADO	700,00m ²
3	PIRÓLISE	760,50m ²	10	ETE	858,16m ²
4	PROCESSO	2.160,60m ²	11	REFEITÓRIO	350,00m ²
5	BIOCHAR	710,60m ²	12	GUARITA ADM	39,18m ²
6	PÁTIO DE CAMINHÕES	3.510,00m ²	13	GUARITA PÁTIO	12,00m ²
7	ESTACIONAMENTO	1.837,70m ²	14	TERRENO	27.924,00m ²

APÊNDICE C - Diagrama de Fluxo de Processo

DIAGRAMA DE FLUXO DE PROCESSO (PFD) PHOENIX ENERGY



APÊNDICE D - Análise Financeira

ANÁLISE FINANCEIRA

No Apêndice D encontram-se dispostas as tabelas de análises financeiras para o custo de equipamentos, infraestrutura e funcionários assim como o fluxo de caixa detalhado. O Apêndice D é dividido em:

- D.1 – Equipamentos de Processo;
- D.2 – Infraestrutura;
- D.3 – Quadro de Colaboradores;
- D.4 – Financiamento;
- D.5 – Fluxo de Caixa;
- D.6 – Payback.

D.1 - EQUIPAMENTOS DE PROCESSO

Equipamento	Valor Unitário	Quantidade	Valor total
Reator	R\$ 152.500,00	10	R\$ 1.525.000,00
Triturador	R\$ 20.000,00	2	R\$ 40.000,00
Prensa Enfardadeira	R\$ 123.500,00	1	R\$ 123.500,00
Sistema de esteiras	R\$ 15.000,00	1	R\$ 15.000,00
Precipitador	R\$ 65.127,30	1	R\$ 65.127,30
Quench	R\$ 146.915,26	9	R\$ 1.322.237,34
Decantador	R\$ 2.500,00	1	R\$ 2.500,00
Turbina	R\$ 90.879,00	1	R\$ 90.879,00
Compressor	R\$ 14.172.293,99	1	R\$ 14.172.293,99
Condensador	R\$ 37.188,25	1	R\$ 37.188,25
Tanque de mistura	R\$ 226.156,64	1	R\$ 226.156,64
Exaustores	R\$ 378,00	15	R\$ 5.670,00
Total			R\$ 17.625.552,52

D.2 – INFRAESTRUTURA

Construção			
	Valor Unitário	Quantidade	Valor total
Terreno	R\$ 8.799.836,76	1	R\$ 8.799.836,76
Instalações	R\$ 1.055.980,41	1	R\$ 1.055.980,41
Construção Civil	R\$ 1.759.967,35	1	R\$ 1.759.967,35
ETE	R\$ 3.519.934,70	1	R\$ 3.519.934,70
Total	R\$ 15.135.719,23		R\$ 15.135.719,23

Veículos			
	Valor Unitário	Quantidade	Valor total
Caminhões	R\$ 581.978,00	5	R\$ 2.909.890,00
Carros	R\$ 50.000,00	1	R\$ 50.000,00
Retroescavadeira	R\$ 53.655,50	1	R\$ 53.655,50
Caçambas	R\$ 5.150,00	5	R\$ 25.750,00
Empilhadeiras	R\$ 100.000,00	3	R\$ 300.000,00
Ônibus	R\$ 220.000,00	2	R\$ 440.000,00
Total			R\$ 3.779.295,50

Materiais gerais			
Item	Valor Unitário	Quantidade	Valor total
Bombonas	R\$ 710,00	500	R\$ 355.000,00
Cilindros	R\$ 1.599,00	200	R\$ 319.800,00
Computadores	R\$ 4.500,00	20	R\$ 90.000,00
Moveis	R\$ 10.000,00	10	R\$ 100.000,00
Pallet	R\$ 14,00	20	R\$ 280,00
Material de Escritório	R\$ 50.000,00	1	R\$ 50.000,00
Total			R\$ 915.080,00

D.3 – QUADRO DE COLABORADORES

Custos envolvidos com colaboradores da <i>Phoenix Energy</i>							Insalubridade	Adicional Noturno
Setor	Cargo	Colaborador	Turno	Horários	Salário	120,00%	120,00%	
Presidência	Presidente	3	Comercial	8h/18h	R\$ 20.000,00	R\$ 24.000,00	R\$ 24.000,00	
Relações Exteriores	Marketing	Diretor	1	Comercial	8h/18h	R\$ 6.098,06	R\$ 7.317,67	R\$ 7.317,67
		Gerente	1	Comercial	8h/18h	R\$ 3.923,00	R\$ 4.707,60	R\$ 4.707,60
		Auxiliar	1	Comercial	8h/18h	R\$ 1.462,00	R\$ 1.754,40	R\$ 1.754,40
	Comercial	Diretor	1	Comercial	8h/18h	R\$ 10.144,00	R\$ 12.172,80	R\$ 12.172,80
		Gerente de Vendas	1	Comercial	8h/18h	R\$ 2.312,37	R\$ 2.774,84	R\$ 2.774,84
		Auxiliar de Vendas	3	Comercial	8h/18h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60
	Logística	Gerente de Logística e Desenvolvimento	1	Comercial	8h/18h	R\$ 5.839,00	R\$ 7.006,80	R\$ 7.006,80
		Auxiliar de Logística e Desenvolvimento	1	Comercial	8h/18h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60
Produção	Qualidade	Diretor	1	Comercial	8h/18h	R\$ 6.098,06	R\$ 7.317,67	R\$ 7.317,67
		Gerente de Qualidade	1	Comercial	8h/18h	R\$ 5.083,00	R\$ 6.099,60	R\$ 6.099,60
		Analista de Qualidade	2	Matutino/ Vespertino	6h/14h	R\$ 3.206,00	R\$ 3.847,20	R\$ 3.847,20
		Analista de Qualidade	2	Vespertino/ Noturno	14h/22h	R\$ 3.206,00	R\$ 3.847,20	R\$ 3.847,20
		Analista de Qualidade	2	Noturno/ Matutino	22h/6h	R\$ 3.206,00	R\$ 3.847,20	R\$ 7.694,40
		Diretor	1	Comercial	8h/18h	R\$ 5.844,00	R\$ 7.012,80	R\$ 7.012,80
		Gerente de Controle	1	Comercial	8h/18h	R\$ 4.015,00	R\$ 4.818,00	R\$ 4.818,00

Planejamento e Controle da Produção	Gerente de Compras	1	Comercial	8h/18h	R\$ 4.015,00	R\$ 4.818,00	R\$ 4.818,00
	Supervisor de Matéria-Prima	1	Matutino/Vespertino	6h/14h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60
	Supervisor de Matéria-Prima	1	Vespertino/Noturno	14h/22h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60
	Supervisor de Matéria-Prima	1	Noturno/Matutino	22h/6h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 3.571,20
	Auxiliar de Controle	1	Matutino/Vespertino	6h/14h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60
	Auxiliar de Controle	1	Vespertino/Noturno	14h/22h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60
	Auxiliar de Controle	1	Noturno/Matutino	22h/6h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 3.571,20
	Operador de Produção (Setor 1000)	10	Matutino/Vespertino	6h/14h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60
	Operador de Produção (Setor 1000)	10	Vespertino/Noturno	14h/22h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60
	Operador de Produção (Setor 1000)	10	Noturno/Matutino	22h/6h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 3.571,20
	Operador de Produção (Setor 2000)	2	Matutino/Vespertino	6h/14h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60
	Operador de Produção (Setor 2000)	2	Vespertino/Noturno	14h/22h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60
	Operador de Produção (Setor 2000)	2	Noturno/Matutino	22h/6h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 3.571,20
	Operador de Produção (Setor 3000)	2	Matutino/Vespertino	6h/14h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60
	Operador de Produção (Setor 3000)	2	Vespertino/Noturno	14h/22h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60
Operador de Produção (Setor 3000)	2	Noturno/Matutino	22h/6h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 3.571,20	

		Operador de Produção (Setor 4000)	8	Matutino/ Vespertino	6h/14h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60
		Operador de Produção (Setor 4000)	8	Vespertino/ Noturno	14h/22h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60
		Operador de Produção (Setor 4000)	8	Noturno/ Matutino	22h/6h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 3.571,20
		Engenheiro Químico	1	Comercial	8h/18h	R\$ 6.983,18	R\$ 8.379,82	R\$ 10.055,78
		Engenheiro de Controle e Automação	1	Comercial	8h/18h	R\$ 6.075,76	R\$ 7.290,91	R\$ 8.749,09
	Planejamento e Controle de Manutenção e Saúde e Segurança no Trabalho	Engenheiro de Segurança do Trabalho	1	Comercial	8h/18h	R\$ 7.872,00	R\$ 9.446,40	R\$ 11.335,68
		Supervisor Industrial	1	Comercial	8h/18h	R\$ 5.643,00	R\$ 6.771,60	R\$ 8.125,92
		Gerente de Manutenção	1	Comercial	8h/18h	R\$ 5.295,00	R\$ 6.354,00	R\$ 7.624,80
		Técnico de Manutenção	2	Matutino/ Vespertino	6h/14h	R\$ 2.809,00	R\$ 3.370,80	R\$ 4.044,96
		Técnico de Manutenção	2	Vespertino/ Noturno	14h/22h	R\$ 2.809,00	R\$ 3.370,80	R\$ 4.044,96
		Técnico de Manutenção	2	Noturno/ Matutino	22h/6h	R\$ 2.809,00	R\$ 3.370,80	R\$ 6.741,60
		Zelador	2	Comercial	08h/18h	R\$ 1.388,00	R\$ 1.665,60	R\$ 1.665,60
	Relações Interiores	Financeiro	Diretor	1	Comercial	8h/18h	R\$ 6.528,00	R\$ 7.833,60
Contador			1	Comercial	8h/18h	R\$ 4.238,00	R\$ 5.085,60	R\$ 5.085,60
Tesoureiro			1	Comercial	8h/18h	R\$ 2.122,00	R\$ 2.546,40	R\$ 2.546,40
Auxiliar Financeiro			1	Comercial	8h/18h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60
Recursos Humanos		Diretor	1	Comercial	8h/18h	R\$ 3.500,00	R\$ 4.200,00	R\$ 4.200,00
		Auxiliar de Recursos Humanos	4	Comercial	8h/18h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60

	Jurídico	Advogado Administrativo	1	Comercial	8h/18h	R\$ 5.445,25	R\$ 6.534,30	R\$ 6.534,30
		Auxiliar Jurídico	2	Comercial	8h/18h	R\$ 1.488,00	R\$ 1.785,60	R\$ 1.785,60

D.4 – FINANCIAMENTO

Mês	Parcela	Juros	Amortização	SD
0	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 33.801.152,52
1	R\$ -	R\$ 84.502,88	R\$ -	R\$ 33.885.655,40
2	R\$ -	R\$ 84.714,14	R\$ -	R\$ 33.970.369,54
3	R\$ -	R\$ 84.925,92	R\$ -	R\$ 34.055.295,46
4	R\$ -	R\$ 85.138,24	R\$ -	R\$ 34.140.433,70
5	R\$ -	R\$ 85.351,08	R\$ -	R\$ 34.225.784,78
6	R\$ -	R\$ 85.564,46	R\$ -	R\$ 34.311.349,25
7	R\$ 232.408,07	R\$ 85.778,37	R\$ 146.629,70	R\$ 34.164.719,55
8	R\$ 232.041,50	R\$ 85.411,80	R\$ 146.629,70	R\$ 34.018.089,85
9	R\$ 231.674,92	R\$ 85.045,22	R\$ 146.629,70	R\$ 33.871.460,15
10	R\$ 231.308,35	R\$ 84.678,65	R\$ 146.629,70	R\$ 33.724.830,45
11	R\$ 230.941,77	R\$ 84.312,08	R\$ 146.629,70	R\$ 33.578.200,76
12	R\$ 230.575,20	R\$ 83.945,50	R\$ 146.629,70	R\$ 33.431.571,06
13	R\$ 230.208,63	R\$ 83.578,93	R\$ 146.629,70	R\$ 33.284.941,36
14	R\$ 229.842,05	R\$ 83.212,35	R\$ 146.629,70	R\$ 33.138.311,66
15	R\$ 229.475,48	R\$ 82.845,78	R\$ 146.629,70	R\$ 32.991.681,97
16	R\$ 229.108,90	R\$ 82.479,20	R\$ 146.629,70	R\$ 32.845.052,27
17	R\$ 228.742,33	R\$ 82.112,63	R\$ 146.629,70	R\$ 32.698.422,57
18	R\$ 228.375,75	R\$ 81.746,06	R\$ 146.629,70	R\$ 32.551.792,87
19	R\$ 228.009,18	R\$ 81.379,48	R\$ 146.629,70	R\$ 32.405.163,18
20	R\$ 227.642,61	R\$ 81.012,91	R\$ 146.629,70	R\$ 32.258.533,48

21	R\$ 227.276,03	R\$ 80.646,33	R\$ 146.629,70	R\$ 32.111.903,78
22	R\$ 226.909,46	R\$ 80.279,76	R\$ 146.629,70	R\$ 31.965.274,08
23	R\$ 226.542,88	R\$ 79.913,19	R\$ 146.629,70	R\$ 31.818.644,39
24	R\$ 226.176,31	R\$ 79.546,61	R\$ 146.629,70	R\$ 31.672.014,69
25	R\$ 225.809,73	R\$ 79.180,04	R\$ 146.629,70	R\$ 31.525.384,99
26	R\$ 225.443,16	R\$ 78.813,46	R\$ 146.629,70	R\$ 31.378.755,29
27	R\$ 225.076,59	R\$ 78.446,89	R\$ 146.629,70	R\$ 31.232.125,60
28	R\$ 224.710,01	R\$ 78.080,31	R\$ 146.629,70	R\$ 31.085.495,90
29	R\$ 224.343,44	R\$ 77.713,74	R\$ 146.629,70	R\$ 30.938.866,20
30	R\$ 223.976,86	R\$ 77.347,17	R\$ 146.629,70	R\$ 30.792.236,50
31	R\$ 223.610,29	R\$ 76.980,59	R\$ 146.629,70	R\$ 30.645.606,80
32	R\$ 223.243,71	R\$ 76.614,02	R\$ 146.629,70	R\$ 30.498.977,11
33	R\$ 222.877,14	R\$ 76.247,44	R\$ 146.629,70	R\$ 30.352.347,41
34	R\$ 222.510,57	R\$ 75.880,87	R\$ 146.629,70	R\$ 30.205.717,71
35	R\$ 222.143,99	R\$ 75.514,29	R\$ 146.629,70	R\$ 30.059.088,01
36	R\$ 221.777,42	R\$ 75.147,72	R\$ 146.629,70	R\$ 29.912.458,32
37	R\$ 221.410,84	R\$ 74.781,15	R\$ 146.629,70	R\$ 29.765.828,62
38	R\$ 221.044,27	R\$ 74.414,57	R\$ 146.629,70	R\$ 29.619.198,92
39	R\$ 220.677,69	R\$ 74.048,00	R\$ 146.629,70	R\$ 29.472.569,22
40	R\$ 220.311,12	R\$ 73.681,42	R\$ 146.629,70	R\$ 29.325.939,53
41	R\$ 219.944,55	R\$ 73.314,85	R\$ 146.629,70	R\$ 29.179.309,83
42	R\$ 219.577,97	R\$ 72.948,27	R\$ 146.629,70	R\$ 29.032.680,13
43	R\$ 219.211,40	R\$ 72.581,70	R\$ 146.629,70	R\$ 28.886.050,43
44	R\$ 218.844,82	R\$ 72.215,13	R\$ 146.629,70	R\$ 28.739.420,74

45	R\$ 218.478,25	R\$ 71.848,55	R\$ 146.629,70	R\$ 28.592.791,04
46	R\$ 218.111,68	R\$ 71.481,98	R\$ 146.629,70	R\$ 28.446.161,34
47	R\$ 217.745,10	R\$ 71.115,40	R\$ 146.629,70	R\$ 28.299.531,64
48	R\$ 217.378,53	R\$ 70.748,83	R\$ 146.629,70	R\$ 28.152.901,94
49	R\$ 217.011,95	R\$ 70.382,25	R\$ 146.629,70	R\$ 28.006.272,25
50	R\$ 216.645,38	R\$ 70.015,68	R\$ 146.629,70	R\$ 27.859.642,55
51	R\$ 216.278,80	R\$ 69.649,11	R\$ 146.629,70	R\$ 27.713.012,85
52	R\$ 215.912,23	R\$ 69.282,53	R\$ 146.629,70	R\$ 27.566.383,15
53	R\$ 215.545,66	R\$ 68.915,96	R\$ 146.629,70	R\$ 27.419.753,46
54	R\$ 215.179,08	R\$ 68.549,38	R\$ 146.629,70	R\$ 27.273.123,76
55	R\$ 214.812,51	R\$ 68.182,81	R\$ 146.629,70	R\$ 27.126.494,06
56	R\$ 214.445,93	R\$ 67.816,24	R\$ 146.629,70	R\$ 26.979.864,36
57	R\$ 214.079,36	R\$ 67.449,66	R\$ 146.629,70	R\$ 26.833.234,67
58	R\$ 213.712,78	R\$ 67.083,09	R\$ 146.629,70	R\$ 26.686.604,97
59	R\$ 213.346,21	R\$ 66.716,51	R\$ 146.629,70	R\$ 26.539.975,27
60	R\$ 212.979,64	R\$ 66.349,94	R\$ 146.629,70	R\$ 26.393.345,57
61	R\$ 212.613,06	R\$ 65.983,36	R\$ 146.629,70	R\$ 26.246.715,88
62	R\$ 212.246,49	R\$ 65.616,79	R\$ 146.629,70	R\$ 26.100.086,18
63	R\$ 211.879,91	R\$ 65.250,22	R\$ 146.629,70	R\$ 25.953.456,48
64	R\$ 211.513,34	R\$ 64.883,64	R\$ 146.629,70	R\$ 25.806.826,78
65	R\$ 211.146,76	R\$ 64.517,07	R\$ 146.629,70	R\$ 25.660.197,09
66	R\$ 210.780,19	R\$ 64.150,49	R\$ 146.629,70	R\$ 25.513.567,39
67	R\$ 210.413,62	R\$ 63.783,92	R\$ 146.629,70	R\$ 25.366.937,69
68	R\$ 210.047,04	R\$ 63.417,34	R\$ 146.629,70	R\$ 25.220.307,99

69	R\$ 209.680,47	R\$ 63.050,77	R\$ 146.629,70	R\$ 25.073.678,29
70	R\$ 209.313,89	R\$ 62.684,20	R\$ 146.629,70	R\$ 24.927.048,60
71	R\$ 208.947,32	R\$ 62.317,62	R\$ 146.629,70	R\$ 24.780.418,90
72	R\$ 208.580,74	R\$ 61.951,05	R\$ 146.629,70	R\$ 24.633.789,20
73	R\$ 208.214,17	R\$ 61.584,47	R\$ 146.629,70	R\$ 24.487.159,50
74	R\$ 207.847,60	R\$ 61.217,90	R\$ 146.629,70	R\$ 24.340.529,81
75	R\$ 207.481,02	R\$ 60.851,32	R\$ 146.629,70	R\$ 24.193.900,11
76	R\$ 207.114,45	R\$ 60.484,75	R\$ 146.629,70	R\$ 24.047.270,41
77	R\$ 206.747,87	R\$ 60.118,18	R\$ 146.629,70	R\$ 23.900.640,71
78	R\$ 206.381,30	R\$ 59.751,60	R\$ 146.629,70	R\$ 23.754.011,02
79	R\$ 206.014,73	R\$ 59.385,03	R\$ 146.629,70	R\$ 23.607.381,32
80	R\$ 205.648,15	R\$ 59.018,45	R\$ 146.629,70	R\$ 23.460.751,62
81	R\$ 205.281,58	R\$ 58.651,88	R\$ 146.629,70	R\$ 23.314.121,92
82	R\$ 204.915,00	R\$ 58.285,30	R\$ 146.629,70	R\$ 23.167.492,23
83	R\$ 204.548,43	R\$ 57.918,73	R\$ 146.629,70	R\$ 23.020.862,53
84	R\$ 204.181,85	R\$ 57.552,16	R\$ 146.629,70	R\$ 22.874.232,83
85	R\$ 203.815,28	R\$ 57.185,58	R\$ 146.629,70	R\$ 22.727.603,13
86	R\$ 203.448,71	R\$ 56.819,01	R\$ 146.629,70	R\$ 22.580.973,43
87	R\$ 203.082,13	R\$ 56.452,43	R\$ 146.629,70	R\$ 22.434.343,74
88	R\$ 202.715,56	R\$ 56.085,86	R\$ 146.629,70	R\$ 22.287.714,04
89	R\$ 202.348,98	R\$ 55.719,29	R\$ 146.629,70	R\$ 22.141.084,34
90	R\$ 201.982,41	R\$ 55.352,71	R\$ 146.629,70	R\$ 21.994.454,64
91	R\$ 201.615,83	R\$ 54.986,14	R\$ 146.629,70	R\$ 21.847.824,95
92	R\$ 201.249,26	R\$ 54.619,56	R\$ 146.629,70	R\$ 21.701.195,25

93	R\$ 200.882,69	R\$ 54.252,99	R\$ 146.629,70	R\$ 21.554.565,55
94	R\$ 200.516,11	R\$ 53.886,41	R\$ 146.629,70	R\$ 21.407.935,85
95	R\$ 200.149,54	R\$ 53.519,84	R\$ 146.629,70	R\$ 21.261.306,16
96	R\$ 199.782,96	R\$ 53.153,27	R\$ 146.629,70	R\$ 21.114.676,46
97	R\$ 199.416,39	R\$ 52.786,69	R\$ 146.629,70	R\$ 20.968.046,76
98	R\$ 199.049,81	R\$ 52.420,12	R\$ 146.629,70	R\$ 20.821.417,06
99	R\$ 198.683,24	R\$ 52.053,54	R\$ 146.629,70	R\$ 20.674.787,37
100	R\$ 198.316,67	R\$ 51.686,97	R\$ 146.629,70	R\$ 20.528.157,67
101	R\$ 197.950,09	R\$ 51.320,39	R\$ 146.629,70	R\$ 20.381.527,97
102	R\$ 197.583,52	R\$ 50.953,82	R\$ 146.629,70	R\$ 20.234.898,27
103	R\$ 197.216,94	R\$ 50.587,25	R\$ 146.629,70	R\$ 20.088.268,58
104	R\$ 196.850,37	R\$ 50.220,67	R\$ 146.629,70	R\$ 19.941.638,88
105	R\$ 196.483,79	R\$ 49.854,10	R\$ 146.629,70	R\$ 19.795.009,18
106	R\$ 196.117,22	R\$ 49.487,52	R\$ 146.629,70	R\$ 19.648.379,48
107	R\$ 195.750,65	R\$ 49.120,95	R\$ 146.629,70	R\$ 19.501.749,78
108	R\$ 195.384,07	R\$ 48.754,37	R\$ 146.629,70	R\$ 19.355.120,09
109	R\$ 195.017,50	R\$ 48.387,80	R\$ 146.629,70	R\$ 19.208.490,39
110	R\$ 194.650,92	R\$ 48.021,23	R\$ 146.629,70	R\$ 19.061.860,69
111	R\$ 194.284,35	R\$ 47.654,65	R\$ 146.629,70	R\$ 18.915.230,99
112	R\$ 193.917,78	R\$ 47.288,08	R\$ 146.629,70	R\$ 18.768.601,30
113	R\$ 193.551,20	R\$ 46.921,50	R\$ 146.629,70	R\$ 18.621.971,60
114	R\$ 193.184,63	R\$ 46.554,93	R\$ 146.629,70	R\$ 18.475.341,90
115	R\$ 192.818,05	R\$ 46.188,35	R\$ 146.629,70	R\$ 18.328.712,20
116	R\$ 192.451,48	R\$ 45.821,78	R\$ 146.629,70	R\$ 18.182.082,51

117	R\$ 192.084,90	R\$ 45.455,21	R\$ 146.629,70	R\$ 18.035.452,81
118	R\$ 191.718,33	R\$ 45.088,63	R\$ 146.629,70	R\$ 17.888.823,11
119	R\$ 191.351,76	R\$ 44.722,06	R\$ 146.629,70	R\$ 17.742.193,41
120	R\$ 190.985,18	R\$ 44.355,48	R\$ 146.629,70	R\$ 17.595.563,72
121	R\$ 190.618,61	R\$ 43.988,91	R\$ 146.629,70	R\$ 17.448.934,02
122	R\$ 190.252,03	R\$ 43.622,34	R\$ 146.629,70	R\$ 17.302.304,32
123	R\$ 189.885,46	R\$ 43.255,76	R\$ 146.629,70	R\$ 17.155.674,62
124	R\$ 189.518,88	R\$ 42.889,19	R\$ 146.629,70	R\$ 17.009.044,93
125	R\$ 189.152,31	R\$ 42.522,61	R\$ 146.629,70	R\$ 16.862.415,23
126	R\$ 188.785,74	R\$ 42.156,04	R\$ 146.629,70	R\$ 16.715.785,53
127	R\$ 188.419,16	R\$ 41.789,46	R\$ 146.629,70	R\$ 16.569.155,83
128	R\$ 188.052,59	R\$ 41.422,89	R\$ 146.629,70	R\$ 16.422.526,13
129	R\$ 187.686,01	R\$ 41.056,32	R\$ 146.629,70	R\$ 16.275.896,44
130	R\$ 187.319,44	R\$ 40.689,74	R\$ 146.629,70	R\$ 16.129.266,74
131	R\$ 186.952,86	R\$ 40.323,17	R\$ 146.629,70	R\$ 15.982.637,04
132	R\$ 186.586,29	R\$ 39.956,59	R\$ 146.629,70	R\$ 15.836.007,34
133	R\$ 186.219,72	R\$ 39.590,02	R\$ 146.629,70	R\$ 15.689.377,65
134	R\$ 185.853,14	R\$ 39.223,44	R\$ 146.629,70	R\$ 15.542.747,95
135	R\$ 185.486,57	R\$ 38.856,87	R\$ 146.629,70	R\$ 15.396.118,25
136	R\$ 185.119,99	R\$ 38.490,30	R\$ 146.629,70	R\$ 15.249.488,55
137	R\$ 184.753,42	R\$ 38.123,72	R\$ 146.629,70	R\$ 15.102.858,86
138	R\$ 184.386,84	R\$ 37.757,15	R\$ 146.629,70	R\$ 14.956.229,16
139	R\$ 184.020,27	R\$ 37.390,57	R\$ 146.629,70	R\$ 14.809.599,46
140	R\$ 183.653,70	R\$ 37.024,00	R\$ 146.629,70	R\$ 14.662.969,76

141	R\$ 183.287,12	R\$ 36.657,42	R\$ 146.629,70	R\$ 14.516.340,07
142	R\$ 182.920,55	R\$ 36.290,85	R\$ 146.629,70	R\$ 14.369.710,37
143	R\$ 182.553,97	R\$ 35.924,28	R\$ 146.629,70	R\$ 14.223.080,67
144	R\$ 182.187,40	R\$ 35.557,70	R\$ 146.629,70	R\$ 14.076.450,97
145	R\$ 181.820,83	R\$ 35.191,13	R\$ 146.629,70	R\$ 13.929.821,27
146	R\$ 181.454,25	R\$ 34.824,55	R\$ 146.629,70	R\$ 13.783.191,58
147	R\$ 181.087,68	R\$ 34.457,98	R\$ 146.629,70	R\$ 13.636.561,88
148	R\$ 180.721,10	R\$ 34.091,40	R\$ 146.629,70	R\$ 13.489.932,18
149	R\$ 180.354,53	R\$ 33.724,83	R\$ 146.629,70	R\$ 13.343.302,48
150	R\$ 179.987,95	R\$ 33.358,26	R\$ 146.629,70	R\$ 13.196.672,79
151	R\$ 179.621,38	R\$ 32.991,68	R\$ 146.629,70	R\$ 13.050.043,09
152	R\$ 179.254,81	R\$ 32.625,11	R\$ 146.629,70	R\$ 12.903.413,39
153	R\$ 178.888,23	R\$ 32.258,53	R\$ 146.629,70	R\$ 12.756.783,69
154	R\$ 178.521,66	R\$ 31.891,96	R\$ 146.629,70	R\$ 12.610.154,00
155	R\$ 178.155,08	R\$ 31.525,38	R\$ 146.629,70	R\$ 12.463.524,30
156	R\$ 177.788,51	R\$ 31.158,81	R\$ 146.629,70	R\$ 12.316.894,60
157	R\$ 177.421,93	R\$ 30.792,24	R\$ 146.629,70	R\$ 12.170.264,90
158	R\$ 177.055,36	R\$ 30.425,66	R\$ 146.629,70	R\$ 12.023.635,21
159	R\$ 176.688,79	R\$ 30.059,09	R\$ 146.629,70	R\$ 11.877.005,51
160	R\$ 176.322,21	R\$ 29.692,51	R\$ 146.629,70	R\$ 11.730.375,81
161	R\$ 175.955,64	R\$ 29.325,94	R\$ 146.629,70	R\$ 11.583.746,11
162	R\$ 175.589,06	R\$ 28.959,37	R\$ 146.629,70	R\$ 11.437.116,42
163	R\$ 175.222,49	R\$ 28.592,79	R\$ 146.629,70	R\$ 11.290.486,72
164	R\$ 174.855,91	R\$ 28.226,22	R\$ 146.629,70	R\$ 11.143.857,02

165	R\$ 174.489,34	R\$ 27.859,64	R\$ 146.629,70	R\$ 10.997.227,32
166	R\$ 174.122,77	R\$ 27.493,07	R\$ 146.629,70	R\$ 10.850.597,62
167	R\$ 173.756,19	R\$ 27.126,49	R\$ 146.629,70	R\$ 10.703.967,93
168	R\$ 173.389,62	R\$ 26.759,92	R\$ 146.629,70	R\$ 10.557.338,23
169	R\$ 173.023,04	R\$ 26.393,35	R\$ 146.629,70	R\$ 10.410.708,53
170	R\$ 172.656,47	R\$ 26.026,77	R\$ 146.629,70	R\$ 10.264.078,83
171	R\$ 172.289,89	R\$ 25.660,20	R\$ 146.629,70	R\$ 10.117.449,14
172	R\$ 171.923,32	R\$ 25.293,62	R\$ 146.629,70	R\$ 9.970.819,44
173	R\$ 171.556,75	R\$ 24.927,05	R\$ 146.629,70	R\$ 9.824.189,74
174	R\$ 171.190,17	R\$ 24.560,47	R\$ 146.629,70	R\$ 9.677.560,04
175	R\$ 170.823,60	R\$ 24.193,90	R\$ 146.629,70	R\$ 9.530.930,35
176	R\$ 170.457,02	R\$ 23.827,33	R\$ 146.629,70	R\$ 9.384.300,65
177	R\$ 170.090,45	R\$ 23.460,75	R\$ 146.629,70	R\$ 9.237.670,95
178	R\$ 169.723,88	R\$ 23.094,18	R\$ 146.629,70	R\$ 9.091.041,25
179	R\$ 169.357,30	R\$ 22.727,60	R\$ 146.629,70	R\$ 8.944.411,56
180	R\$ 168.990,73	R\$ 22.361,03	R\$ 146.629,70	R\$ 8.797.781,86
181	R\$ 168.624,15	R\$ 21.994,45	R\$ 146.629,70	R\$ 8.651.152,16
182	R\$ 168.257,58	R\$ 21.627,88	R\$ 146.629,70	R\$ 8.504.522,46
183	R\$ 167.891,00	R\$ 21.261,31	R\$ 146.629,70	R\$ 8.357.892,76
184	R\$ 167.524,43	R\$ 20.894,73	R\$ 146.629,70	R\$ 8.211.263,07
185	R\$ 167.157,86	R\$ 20.528,16	R\$ 146.629,70	R\$ 8.064.633,37
186	R\$ 166.791,28	R\$ 20.161,58	R\$ 146.629,70	R\$ 7.918.003,67
187	R\$ 166.424,71	R\$ 19.795,01	R\$ 146.629,70	R\$ 7.771.373,97
188	R\$ 166.058,13	R\$ 19.428,43	R\$ 146.629,70	R\$ 7.624.744,28

189	R\$ 165.691,56	R\$ 19.061,86	R\$ 146.629,70	R\$ 7.478.114,58
190	R\$ 165.324,98	R\$ 18.695,29	R\$ 146.629,70	R\$ 7.331.484,88
191	R\$ 164.958,41	R\$ 18.328,71	R\$ 146.629,70	R\$ 7.184.855,18
192	R\$ 164.591,84	R\$ 17.962,14	R\$ 146.629,70	R\$ 7.038.225,49
193	R\$ 164.225,26	R\$ 17.595,56	R\$ 146.629,70	R\$ 6.891.595,79
194	R\$ 163.858,69	R\$ 17.228,99	R\$ 146.629,70	R\$ 6.744.966,09
195	R\$ 163.492,11	R\$ 16.862,42	R\$ 146.629,70	R\$ 6.598.336,39
196	R\$ 163.125,54	R\$ 16.495,84	R\$ 146.629,70	R\$ 6.451.706,70
197	R\$ 162.758,96	R\$ 16.129,27	R\$ 146.629,70	R\$ 6.305.077,00
198	R\$ 162.392,39	R\$ 15.762,69	R\$ 146.629,70	R\$ 6.158.447,30
199	R\$ 162.025,82	R\$ 15.396,12	R\$ 146.629,70	R\$ 6.011.817,60
200	R\$ 161.659,24	R\$ 15.029,54	R\$ 146.629,70	R\$ 5.865.187,91
201	R\$ 161.292,67	R\$ 14.662,97	R\$ 146.629,70	R\$ 5.718.558,21
202	R\$ 160.926,09	R\$ 14.296,40	R\$ 146.629,70	R\$ 5.571.928,51
203	R\$ 160.559,52	R\$ 13.929,82	R\$ 146.629,70	R\$ 5.425.298,81
204	R\$ 160.192,94	R\$ 13.563,25	R\$ 146.629,70	R\$ 5.278.669,11
205	R\$ 159.826,37	R\$ 13.196,67	R\$ 146.629,70	R\$ 5.132.039,42
206	R\$ 159.459,80	R\$ 12.830,10	R\$ 146.629,70	R\$ 4.985.409,72
207	R\$ 159.093,22	R\$ 12.463,52	R\$ 146.629,70	R\$ 4.838.780,02
208	R\$ 158.726,65	R\$ 12.096,95	R\$ 146.629,70	R\$ 4.692.150,32
209	R\$ 158.360,07	R\$ 11.730,38	R\$ 146.629,70	R\$ 4.545.520,63
210	R\$ 157.993,50	R\$ 11.363,80	R\$ 146.629,70	R\$ 4.398.890,93
211	R\$ 157.626,92	R\$ 10.997,23	R\$ 146.629,70	R\$ 4.252.261,23
212	R\$ 157.260,35	R\$ 10.630,65	R\$ 146.629,70	R\$ 4.105.631,53

213	R\$ 156.893,78	R\$ 10.264,08	R\$ 146.629,70	R\$ 3.959.001,84
214	R\$ 156.527,20	R\$ 9.897,50	R\$ 146.629,70	R\$ 3.812.372,14
215	R\$ 156.160,63	R\$ 9.530,93	R\$ 146.629,70	R\$ 3.665.742,44
216	R\$ 155.794,05	R\$ 9.164,36	R\$ 146.629,70	R\$ 3.519.112,74
217	R\$ 155.427,48	R\$ 8.797,78	R\$ 146.629,70	R\$ 3.372.483,05
218	R\$ 155.060,91	R\$ 8.431,21	R\$ 146.629,70	R\$ 3.225.853,35
219	R\$ 154.694,33	R\$ 8.064,63	R\$ 146.629,70	R\$ 3.079.223,65
220	R\$ 154.327,76	R\$ 7.698,06	R\$ 146.629,70	R\$ 2.932.593,95
221	R\$ 153.961,18	R\$ 7.331,48	R\$ 146.629,70	R\$ 2.785.964,25
222	R\$ 153.594,61	R\$ 6.964,91	R\$ 146.629,70	R\$ 2.639.334,56
223	R\$ 153.228,03	R\$ 6.598,34	R\$ 146.629,70	R\$ 2.492.704,86
224	R\$ 152.861,46	R\$ 6.231,76	R\$ 146.629,70	R\$ 2.346.075,16
225	R\$ 152.494,89	R\$ 5.865,19	R\$ 146.629,70	R\$ 2.199.445,46
226	R\$ 152.128,31	R\$ 5.498,61	R\$ 146.629,70	R\$ 2.052.815,77
227	R\$ 151.761,74	R\$ 5.132,04	R\$ 146.629,70	R\$ 1.906.186,07
228	R\$ 151.395,16	R\$ 4.765,47	R\$ 146.629,70	R\$ 1.759.556,37
229	R\$ 151.028,59	R\$ 4.398,89	R\$ 146.629,70	R\$ 1.612.926,67
230	R\$ 150.662,01	R\$ 4.032,32	R\$ 146.629,70	R\$ 1.466.296,98
231	R\$ 150.295,44	R\$ 3.665,74	R\$ 146.629,70	R\$ 1.319.667,28
232	R\$ 149.928,87	R\$ 3.299,17	R\$ 146.629,70	R\$ 1.173.037,58
233	R\$ 149.562,29	R\$ 2.932,59	R\$ 146.629,70	R\$ 1.026.407,88
234	R\$ 149.195,72	R\$ 2.566,02	R\$ 146.629,70	R\$ 879.778,19
235	R\$ 148.829,14	R\$ 2.199,45	R\$ 146.629,70	R\$ 733.148,49
236	R\$ 148.462,57	R\$ 1.832,87	R\$ 146.629,70	R\$ 586.518,79

237	R\$ 148.095,99	R\$ 1.466,30	R\$ 146.629,70	R\$ 439.889,09
238	R\$ 147.729,42	R\$ 1.099,72	R\$ 146.629,70	R\$ 293.259,40
239	R\$ 147.362,85	R\$ 733,15	R\$ 146.629,70	R\$ 146.629,70
240	R\$ 146.996,27	R\$ 366,57	R\$ 146.629,70	R\$ 0,00

D.5 – FLUXO DE CAIXA

Capacidade de produção	60%	70%	80%	90%	95%
Ano	1	2	3	4	5
(+) Receita bruta anual	R\$ 51.973.892,80	R\$ 60.636.208,27	R\$ 69.298.523,74	R\$ 77.960.839,20	R\$ 82.291.996,94
(-) Impostos diretos	-R\$ 15.929.998,14	-R\$ 18.584.997,83	-R\$ 21.239.997,53	-R\$ 23.894.997,22	-R\$ 25.222.497,06
(-) Custos operacionais	-R\$ 45.808.959,27	-R\$ 46.428.559,64	-R\$ 47.048.160,00	-R\$ 47.667.760,37	-R\$ 47.977.560,55
(=) EBITDA	-R\$ 9.765.064,61	-R\$ 4.377.349,20	R\$ 1.010.366,21	R\$ 6.398.081,62	R\$ 9.091.939,32
(-) Depreciação	-R\$ 3.121.255,22	-R\$ 3.121.255,22	-R\$ 3.121.255,22	-R\$ 3.121.255,22	-R\$ 3.121.255,22
(-) Despesa Financeira	-R\$ 1.019.368,35	-R\$ 978.753,23	-R\$ 930.365,43	-R\$ 877.578,74	-R\$ 824.792,05
(=) Lucro Líquido antes dos impostos (LAIR)	-R\$ 13.905.688,19	-R\$ 8.477.357,65	-R\$ 3.041.254,45	R\$ 2.399.247,65	R\$ 5.145.892,05
(-) IRPJ+CSSL+ADIRPJ	-R\$ 4.729.933,98	-R\$ 2.884.301,60	-R\$ 1.036.026,51	-R\$ 813.744,20	-R\$ 1.747.603,30
(=) Lucro Líquido depois dos impostos	-R\$ 18.635.622,17	-R\$ 11.361.659,26	-R\$ 4.077.280,96	R\$ 1.585.503,45	R\$ 3.398.288,75
(-) Amortização Financeiro	-R\$ 879.778,19	-R\$ 1.759.556,37	-R\$ 1.759.556,37	-R\$ 1.759.556,37	-R\$ 1.759.556,37
(=) Fluxo de Caixa	-R\$ 19.515.400,35	-R\$ 13.121.215,63	-R\$ 5.836.837,33	-R\$ 174.052,92	R\$ 1.638.732,38

Capacidade de produção	100%	100%	100%	100%	100%
Ano	6	7	8	9	10
(+) Receita bruta anual	R\$ 86.623.154,67	R\$ 86.623.154,67	R\$ 86.623.154,67	R\$ 86.623.154,67	R\$ 86.623.154,67
(-) Impostos diretos	-R\$ 26.549.996,91	-R\$ 26.549.996,91	-R\$ 26.549.996,91	-R\$ 26.549.996,91	-R\$ 26.549.996,91
(-) Custos operacionais	-R\$ 48.287.360,74	-R\$ 48.287.360,74	-R\$ 48.287.360,74	-R\$ 48.287.360,74	-R\$ 48.287.360,74
(=) EBITDA	R\$ 11.785.797,03	R\$ 11.785.797,03	R\$ 11.785.797,03	R\$ 11.785.797,03	R\$ 11.785.797,03
(-) Depreciação	-R\$ 3.121.255,22	-R\$ 3.121.255,22	-R\$ 3.121.255,22	-R\$ 3.121.255,22	-R\$ 3.121.255,22
(-) Despesa Financeira	-R\$ 772.005,36	-R\$ 719.218,67	-R\$ 666.431,98	-R\$ 613.645,28	-R\$ 560.858,59
(=) Lucro Líquido antes dos impostos (LAIR)	R\$ 7.892.536,45	R\$ 7.945.323,14	R\$ 7.998.109,83	R\$ 8.050.896,52	R\$ 8.103.683,21
(-) IRPJ+CSSL+ADIRPJ	-R\$ 2.681.462,39	-R\$ 2.699.409,87	-R\$ 2.717.357,34	-R\$ 2.735.304,82	-R\$ 2.753.252,29
(=) Lucro Líquido depois dos impostos	R\$ 5.211.074,05	R\$ 5.245.913,27	R\$ 5.280.752,49	R\$ 5.315.591,70	R\$ 5.350.430,92
(-) Amortização Financeiro	-R\$ 1.759.556,37	-R\$ 1.759.556,37	-R\$ 1.759.556,37	-R\$ 1.759.556,37	-R\$ 1.759.556,37
(=) Fluxo de Caixa	R\$ 3.451.517,68	R\$ 3.486.356,90	R\$ 3.521.196,12	R\$ 3.556.035,33	R\$ 3.590.874,55

Capacidade de produção	100%	100%	100%	100%	100%
Ano	11	12	13	14	15
(+) Receita bruta anual	R\$ 86.623.154,67	R\$ 86.623.154,67	R\$ 86.623.154,67	R\$ 86.623.154,67	R\$ 86.623.154,67
(-) Impostos diretos	-R\$ 26.549.996,91	-R\$ 26.549.996,91	-R\$ 26.549.996,91	-R\$ 26.549.996,91	-R\$ 26.549.996,91
(-) Custos operacionais	-R\$ 48.287.360,74	-R\$ 48.287.360,74	-R\$ 48.287.360,74	-R\$ 48.287.360,74	-R\$ 48.287.360,74
(=) EBITDA	R\$ 11.785.797,03	R\$ 11.785.797,03	R\$ 11.785.797,03	R\$ 11.785.797,03	R\$ 11.785.797,03
(-) Depreciação	-R\$ 3.121.255,22	-R\$ 3.121.255,22	-R\$ 3.121.255,22	-R\$ 3.121.255,22	-R\$ 3.121.255,22
(-) Despesa Financeira	-R\$ 560.858,59	-R\$ 508.071,90	-R\$ 455.285,21	-R\$ 402.498,52	-R\$ 349.711,83
(=) Lucro Líquido antes dos impostos (LAIR)	R\$ 8.103.683,21	R\$ 8.156.469,90	R\$ 8.209.256,59	R\$ 8.262.043,28	R\$ 8.314.829,98
(-) IRPJ+CSSL+ADIRPJ	-R\$ 2.753.252,29	-R\$ 2.771.199,77	-R\$ 2.789.147,24	-R\$ 2.807.094,72	-R\$ 2.825.042,19
(=) Lucro Líquido depois dos impostos	R\$ 5.350.430,92	R\$ 5.385.270,14	R\$ 5.420.109,35	R\$ 5.454.948,57	R\$ 5.489.787,78
(-) Amortização Financeiro	-R\$ 1.759.556,37	-R\$ 1.759.556,37	-R\$ 1.759.556,37	-R\$ 1.759.556,37	-R\$ 1.759.556,37
(=) Fluxo de Caixa	R\$ 3.590.874,55	R\$ 3.625.713,76	R\$ 3.660.552,98	R\$ 3.695.392,20	R\$ 3.730.231,41

Capacidade de produção	100%	100%	100%	100%	100%
Ano	16	17	18	19	20
(+) Receita bruta anual	R\$ 86.623.154,67	R\$ 86.623.154,67	R\$ 86.623.154,67	R\$ 86.623.154,67	R\$ 86.623.154,67
(-) Impostos diretos	-R\$ 26.549.996,91	-R\$ 26.549.996,91	-R\$ 26.549.996,91	-R\$ 26.549.996,91	-R\$ 26.549.996,91
(-) Custos operacionais	-R\$ 48.287.360,74	-R\$ 48.287.360,74	-R\$ 48.287.360,74	-R\$ 48.287.360,74	-R\$ 48.287.360,74
(=) EBITDA	R\$ 11.785.797,03	R\$ 11.785.797,03	R\$ 11.785.797,03	R\$ 11.785.797,03	R\$ 11.785.797,03
(-) Depreciação	-R\$ 3.121.255,22	-R\$ 3.121.255,22	-R\$ 3.121.255,22	-R\$ 3.121.255,22	-R\$ 3.121.255,22
(-) Despesa Financeira	-R\$ 296.925,14	-R\$ 244.138,45	-R\$ 191.351,76	-R\$ 134.166,17	-R\$ 81.379,48
(=) Lucro Líquido antes dos impostos (LAIR)	R\$ 8.367.616,67	R\$ 8.420.403,36	R\$ 8.473.190,05	R\$ 8.530.375,63	R\$ 8.583.162,32
(-) IRPJ+CSSL+ADIRPJ	-R\$ 2.842.989,67	-R\$ 2.860.937,14	-R\$ 2.878.884,62	-R\$ 2.898.327,71	-R\$ 2.916.275,19
(=) Lucro Líquido depois dos impostos	R\$ 5.524.627,00	R\$ 5.559.466,22	R\$ 5.594.305,43	R\$ 5.632.047,92	R\$ 5.666.887,13
(-) Amortização Financeiro	-R\$ 1.759.556,37	-R\$ 1.759.556,37	-R\$ 1.759.556,37	-R\$ 1.759.556,37	-R\$ 1.759.556,37
(=) Fluxo de Caixa	R\$ 3.765.070,63	R\$ 3.799.909,84	R\$ 3.834.749,06	R\$ 3.872.491,54	R\$ 3.907.330,76

D.6 – PAYBACK

Ano	(=) Fluxo de Caixa	Valor Presente	Payback
0	-R\$ 14.486.208,22	-R\$ 12.848.078,25	-R\$ 12.848.078,25
1	-R\$ 19.515.400,35	-R\$ 17.308.559,07	-R\$ 36.823.959,43
2	-R\$ 13.121.215,63	-R\$ 11.637.441,80	-R\$ 24.758.657,43
3	-R\$ 5.836.837,33	-R\$ 5.176.795,86	-R\$ 11.013.633,19
4	-R\$ 174.052,92	-R\$ 154.370,66	-R\$ 328.423,58
5	R\$ 1.638.732,38	R\$ 1.453.421,18	R\$ 3.092.153,56
6	R\$ 3.451.517,68	R\$ 3.061.213,02	R\$ 6.512.730,71
7	R\$ 3.486.356,90	R\$ 3.092.112,55	R\$ 6.578.469,45
8	R\$ 3.521.196,12	R\$ 3.123.012,08	R\$ 6.644.208,19
9	R\$ 3.556.035,33	R\$ 3.153.911,60	R\$ 6.709.946,93
10	R\$ 3.590.874,55	R\$ 3.184.811,13	R\$ 6.775.685,68
11	R\$ 3.590.874,55	R\$ 3.184.811,13	R\$ 6.775.685,68
12	R\$ 3.625.713,76	R\$ 3.215.710,66	R\$ 6.841.424,42
13	R\$ 3.660.552,98	R\$ 3.246.610,18	R\$ 6.907.163,16
14	R\$ 3.695.392,20	R\$ 3.277.509,71	R\$ 6.972.901,90
15	R\$ 3.730.231,41	R\$ 3.308.409,23	R\$ 7.038.640,65
16	R\$ 3.765.070,63	R\$ 3.339.308,76	R\$ 7.104.379,39
17	R\$ 3.799.909,84	R\$ 3.370.208,29	R\$ 7.170.118,13
18	R\$ 3.834.749,06	R\$ 3.401.107,81	R\$ 7.235.856,88
19	R\$ 3.872.491,54	R\$ 3.434.582,30	R\$ 7.307.073,85
20	R\$ 3.907.330,76	R\$ 3.465.481,83	R\$ 7.372.812,59