UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

VINNICIUS DE MORAIS ROSA

UTILIZAÇÃO DE PELLETS DE MADEIRA EM SUBSTITUIÇÃO AO GÁS NATURAL NA GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA EM GRANDES CIDADES: ESTUDO DE CASO

São Paulo
2018

VINNICIUS DE MORAIS ROSA

UTILIZAÇÃO DE PELLETS DE MADEIRA EM SUBSTITUIÇÃO AO GÁS NATURAL NA GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA EM GRANDES CIDADES: ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada ao Programa de Educação Contínua da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Javier Farago Escobar

São Paulo
2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Rosa, Vinnicius de Morais

Utilização de pellets de madeira em substituição ao gás natural na geração de energia térmica em grandes cidades: estudo de caso; Orientador Javier Farago Escobar – São Paulo, 2018

48 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis Geração Distribuída e Eficiência Energética;) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Pellets de Madeira 2.Gás Natural 3.Viabilidade técnica e econômica I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: ROSA, Vinnicius de Morais.

Título: Utilização de pellets de madeira em substituição ao gás natural na geração de energia térmica em grandes cidades: estudo de caso

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. José Roberto Simões Moreira Instituição: _____

Julgamento:_____ Assinatura: _____

Prof. Dra. Suani Teixeira Coelho Instituição: _____

Julgamento:_____ Assinatura: _____

Prof. Dr. Javier Farago Escobar Instituição: _____

Julgamento:_____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Para minha querida esposa Mirian Pereira Rosa, por todo suporte, incentivo, resiliência para transformar os desafios em sucesso e por ser um pilar essencial em nossa família.

O Homem nada sabe; mas é chamado a tudo conhecer.

"Hermes Trismegistus"

RESUMO

Esta monografia estuda a aplicação de geração térmica de energia com utilização de pellets de madeira e compara seus parametros ao gás natural, exemplificando um estudo básico de engenharia. Apresenta informações sobre a exploração, produção e distribuição das duas fontes energéticas citadas, bem como suas características particulares de conversões e precificação; o funcionamento dos equipamentos utilizados, caldeiras geradoras de água quente e vapor, com detalhes sobre sua construção e parametros técnicos; estudos de viabilidade financeira, exibindo os principais indicadores para constatação da atratividade de utilização para cada fonte.

ABSTRACT

This monograph studies the application of thermal energy generation using wood pellets and compares their parameters to natural gas, exemplifying a basic engineering study. It presents information on the exploration, production and distribution of the two mentioned energy sources, as well as their particular characteristics of conversions and pricing; the operation of the equipment used, boilers generating hot water and steam, with details on its construction and technical parameters; financial feasibility studies, showing the main indicators to verify the attractiveness of use for each source.

Lista de Figuras

Figura 1 - Oferta de energia interna..... 14
Figura 2 – Caldeira Aquatubular.....18
Figura 3 – Caldeira Flamotubular.....19
Figura 4 – Caldeira Geradora de água quente (detalhes técnicos).....20
Figura 5 - Caldeira Geradora de água quente (imagem real).....21
Figura 6 – Caldeira geradora de vapor (detalhes técnicos).....22
Figura 7 - Caldeira Geradora de Vapor(imagem real).....22
Figura 8 – Extração de gás natural Offshore 24
Figura 9 - Extração de gás natural Onshore.....25
Figura 10 – Mapa de gasodutos 27
Figura 11 – Florestas energéticas.....29
Figura 12 – Extração de madeira.....29
Figura 13 – Etapas da produção de pellets.....30
Figura 14 – Comparativo de estocagem de combustíveis sólidos.....33
Figura 15 – Mapa de produção de indústrias brasileiras.....36
Figura 16 – Fluxo de caixa acumulado.....42

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Tabela de demanda de Pellets.....14
Tabela 2 - Tabela comparativa de biocombustíveis.....35
Tabela 3 – Balanço energético lavanderia industrial.....41
Tabela 4 – Produção de água quente.....41
Tabela 5 – Parâmetros e resultados financeiros.....41
Tabela 6 – Balanço energético indústria química.....42
Tabela 7 – Geração de vapor.....42

SUMÁRIO

1. Introdução.....12
1.1. Objetivos.....13
1.1.2. Motivação e justificativas.....13
2. Revisão Bibliográfica.....13
2.1.Cenário Energético Brasileiro.....13
2.2.Pellets de madeira: principais características.....15
2.2.1 Características físico-quimicas.....15
2.2.2 Características mecânicas.....16
2.3. Equipamentos empregados na geração de energia térmica.....17
2.3.1. Caldeira flamotubular.....18
2.3.2. Caldeira aquatubular.....19
2.3.3.Caldeira geradora de água quente.....19
2.3.4.Caldeira geradora de vapor.....21
3. Conceito.....23
3.1. Gás natural 24
3.1.1 Extração.....24
3.1.2 Produção.....25
3.1.3 Distribuição.....26
3.2. Pellets de madeira 27
3.2.1 Extração.....29
3.2.2 Produção.....30
3.2.3 Distribuição.....31
3.3. Potencial de utilização dos pellets de madeira.....32
4. Estudo de caso.....38
4.1. Otimização da estrutura de custos.....38
4.2. Cálculo do custo de transporte.....39
4.3. Fluxo de caixa descontado.....39
4.4. Indicadores Financeiros.....39
4.4.1 Valor presente líquido.....40
4.4.2 Taxa interna de retorno.....40
4.4.3 Payback.....40
4.5. Lavanderia industrial.....41
4.6. Industria química.....42
5. Resultados e discussão.....43
5.1 O mercado mundial de pellets.....43
5.2 A situação dos pellets no Brasil.....44
6. Conclusão.....45

1. Introdução

Segundo o Ministério do Meio ambiente, do volume de emissões de gases de efeito estufa (gás carbônico - CO2), apenas 20% são provenientes de atividades de desmatamento ou de outros usos inadequados do solo. "A grande maioria, 80%, provém da queima de combustíveis fósseis". A crise ambiental é formada por outras crises: a diminuição drástica da biodiversidade, a poluição e a escassez hídrica, a crise socioeconômica devido às relevantes diferenças de renda, entre outras. Mas a crise climática, essa sim, pode abalar toda a estrutura de funcionamento dos atuais processos ocorrentes na biosfera (WWF, 2014). No espaço de 30 de novembro a 11 de dezembro de 2015, em Paris, na França, ocorreu a Conferência das Partes (COP-21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas em Relação à Mudança do Clima (UNFCCC) e a 11ª Reunião das Partes no Protocolo de Quioto (MOP11). (EMBRAPA, 2016). A COP21 procura alcançar um novo acordo internacional em relação ao clima, ajustável a todos os países, com o objetivo de preservar o aquecimento global abaixo dos 2°C. A UNFCCC foi recepcionada durante a Cúpula da Terra do Rio de Janeiro, em 1992, tendo início no dia 21 de março de 1994. Ela foi ratificada por 196 Estados, que compõem as “Partes” para a Convenção (EMBRAPA, 2016). O documento, denominado de Acordo de Paris, foi confirmado pelas 195 partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e pela União Europeia, durante a 21ª Conferência das Partes (COP21). Uma das metas é conservar o aquecimento global “muito inferior a 2ºC”, procurando ainda “esforços para fixar o aumento da temperatura a 1,5 ° C acima dos níveis pré-industriais” (EMBRAPA, 2016). Torna-se imprescindivel a busca por combustiveis alternativos. Uma consideravel diminuição das emissões pode ser alcançada através biocombustíveis neutros em CO2, como os pellets de madeira. Amatéria-prima para pellets de madeira é a serragem, que é seca e compactada para obter melhores propriedades energétcas e de transporte. O uso de pellets de madeira para geração de energia aumentou drasticamente durante a última década e espera-se que no mercado brasileiro , possa crescer substancialmente , com o desenvolvimento de equipamentos dedicados à produção , transformação energética e diminuição de custos de produção e transporte. Isso levará ao uso de novas matérias-primas, que afetará a qualidade do produto, a eficiência energética e os custos para o sistema de produção e o meio ambiente.

Diante disto, o estudo utiliza como base uma possível substituição da queima direta de gás natural para geração de energia térmica, por pellets de madeira, em equipamentos industriais e do setor terciário, nesse caso, uma lavanderia industrial. Serão demonstrados dados reais de instalações, cálculos de demanda energética e financeiros.

1.1.Objetivo

Este estudo tem como objetivo avaliar a substituição de equipamentos de geração térmicaàgás natural por pellets de madeira. Será levado em consideração o atual cenário energético do Brasil e suas projeções futuras de oferta e demanda de gás natural e dos pellets, apresentando um estudo de viabilidade técnica e econômica a fim de viabilizar ou não do ponto de vista comercial e ambiental, comparando as duas fontes de combustível.

1.2. Motivação e justificativas

Devido às mudanças climáticas no Brasil nas últimas décadas, e a alta demanda por energia, algumas alternativas tem maior potencial de crescimento, inclusive por seu apelo ambiental, como é o caso dos pellets. As tarifas de fornecimento de energia elétrica e de gás natural tem aumentado constantemente, abrindo espaço para alternativas que tenham maior estabilidade do ponto de vista econômico. No cenário de serviços e produtos atual, com consumidores cada vez mais exigentes e conscientes, ter um sistema de geração de energia *eco-friendly* pode ser um grande diferencial.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Cenário energético brasileiro

A matriz energética brasileira é uma das mais limpas do planeta, e destaca-se ainda mais por sua diversidade, favorecendo o crescimento de fontes não hídricas e de baixa emissão de CO2, como é o caso da biomassa de madeira plantada, que representa 8% da oferta interna de energia. Nos últimos anos, foi crescente o número

de pesquisas buscando aumentar a eficiência da produção, elevando o EROI acima de 2. O gás natural alcançou o patamar de 12%, embora a média mundial seja de 25%. Com a alta produtividade das reservas brasileiras, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) calcula que a oferta de gás natural deve crescer de 43 milhões de m³/dia para 59 milhões m³/dia até 2026. A figura 1 apresenta um gráfico simplificado da oferta interna de energia no Brasil, por fonte.

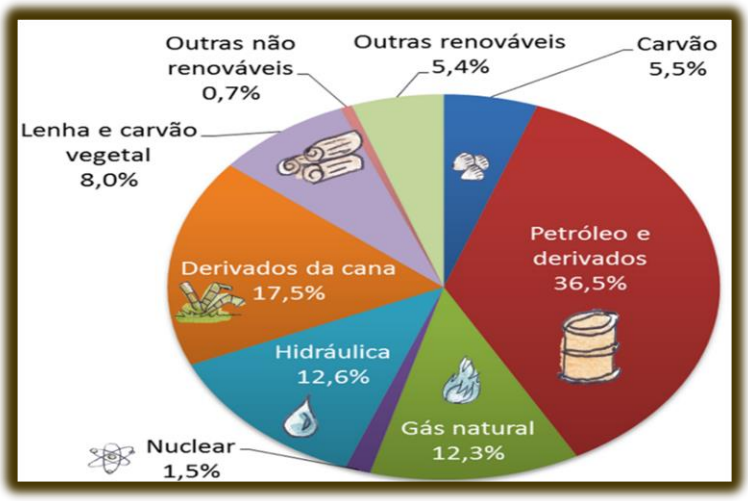


Figura1: - Fonte : BEN 2017

Os pellets podem ser substitutos diretos da lenha em muitas aplicações, incluíndo o uso industrial e em estabelecimentos comerciais como micro-cervejarias, padarias, pizzarias, lavanderias industriais, fábricas de alimentos, entre outros. A tabela 1 exibe dados oficiais da plataforma FAOSTAT sobre a produção e exportação de madeira e seus derivados no Brasil. A taxa de crescimento da demanda de pellets é de aproximadamente 4,4% ao ano, o que demonstra a importância potencial no mercado de energia renovável. Por outro lado, a demanda de pellets também vem aumentando devido à conveniência, facilidade de manuseio e transporte.

Area	Elemento	Item	Ano	Unidade	Valor
Brazil	Produção	Combustível de madeira, não-conífero	2016	m3	102.999.048
			2017	m3	108.420.050
	Produção	Madeira de trituração, redonda e fendida, não conífera	2016	m3	64.013.000
			2017	m3	69.136.000
	Produção	Madeira redonda industrial, não conífera	2016	m3	6.185.000
			2017	m3	6.247.000
	Produção	Maravalha e partículas	2016	m3	11.080.720
			2017	m3	11.788.000
	Produção	Pellets de Madeira	2016	ton	75.000
			2017	ton	135.350
	Exportação	Pellets de Madeira	2016	ton	24.368
			2017	ton	35.760
	Valor para exportação	Pellets de Madeira	2016	1.000US$/ton	4.361
			2017	1.000US$/ton	5.803

Tabela 1 - Fonte: Elaboração própria, com base em (FAOSTAT, 2018)

Em woodpellets Brasil_2014, Escobar, Javier Farago, cita que a oferta interna de energia por “florestas energéticas” pode ser aumentada com a implementação de estudos de engenharia básica direcionados a setores energointensivos, demonstrando viabilidade técnica, econômica e ambiental, disponibilidade e competitividade em relação a outras fontes.

2.2. Pellets de madeira: Principais características

2.2.1 Características físico-quimicas

A necessidade atual de fontes de energia renováveis e caracterizadas como limpas, fez com que os pellets surgissem como uma fonte de energia alternativa, pois possuem grande potencial energético, e proporciona menor impacto ambiental, já que utiliza resíduos industriais e florestais em sua composição. Os materiais e a qualidade dos produtos desenvolvidos para a combustão dos pellets têm capacidade de redução significativa das emissões de CO2, principalmente se comparado com outros combustíveis à base de biomassa. Devido uma das fontes de matéria-prima para a fabricação dos pellets serem os resíduos provenientes da limpeza florestal (resíduos florestais), quando reaproveitado estes materiais, haverá uma contribuição significativa na redução do risco de incêndios florestais. A matéria prima utilizada está relacionada ao teor de cinzas do material e ao Poder Calorífico Inferior (PCI), que são alguns dos principais parâmetros de qualidade de pellets para fins energéticos. Para produzir pellets, todas as espécies de madeiras podem ser utilizadas. Além destas propriedades outro fator importante é o teor de umidade dos materiais, visto que a umidade de madeira geralmente esta abaixo de 12%, e quanto menor o teor de umidade maior é a expectativa de obter alto poder calorífico e consequentemente grande potencial energético. Novos projetos industriais surgiram com o objetivo de plantar, além de Pinus e Eucalyptus, acácia negra (Acacia mearnsi), bambu gigante (Dendrocalamus giganteus), capim-elefante (Pennisetum sp) e bagaço de cana-de-açúcar (Saccharum officinarum). No entanto, nem todas as biomassas agroflorestais são adequadas para a produção de pellets, principalmente devido a elementos minerais responsáveis pela formação de cinzas residuais. A palha de arroz, por exemplo, possui cerca 15% de teor de cinzas, sendo valores acima de 4%

considerados impróprios para combustão devido ao alto teor de sílica, o que pode causar corrosão e desgaste excessivo nos queimadores (DIAS et al., 2012).

As características fisico quimicas encontradas comumente em pellets de madeira produzidos no Brasil são:

- Poder Calorífico Superior: 16,9 – 22,0 MJ//kg (4,04 – 5,26 kcal/kg)
- Teor de Cinzas: Menor que 0,5%
- Teor de voláteis: 81,29%
- Carbono fixo: 18,33%
- PCI: 20,21 MJ/kg
- Conversão termoelétrica: 1,0 MWh = 3600MJ 212 kg de pellets
- Teor de umidade: 6 – 15% (Base Seca)

2.2.2 Características mecânicas

Os pellets se destacam por serem sólidos e de fácil manuseio, além de necessitarem de pouco espaço para armazenamento e possuírem alta densidade energética. A geometria dos pellets proporciona algumas vantagens se comparado a outros materiais, já que suas dimensões permitem maior facilidade no transporte do mesmo, que pode ser embalado em vários tamanhos de embalagens pré-definidas. Outra vantagem, esta relacionada à alimentação de sistemas industriais, sendo esta tanto automática quanto manual como em aquecedores residenciais, já que é um produto de origem natural e sua composição não contém elementos tóxicos. Os pellets de madeira podem ser produzidos a partir de resíduos agroflorestais tais como: maravalhas, aparas, cascas, cavacos, serragem entre outros resíduos lignocelulósicos. Estes materiais são processados a alta temperatura e compactados a elevada pressão, onde serão produzidos na forma de cilindros que varia de 6,0 a 10,0 mm de diâmetro e seu comprimento esta compreendido entre 5 a 30 mm. Osbiocombustíveis considerados de boa qualidade possuem densidade que varia em torno de 600 a 750 kg/m^3.

Os pellets de madeira fabricados seguindo as exigências da norma EN Plus A1 apresentam como principais características:

- Matéria-prima: Serragem, maravalha e resíduos agroflorestais
- Dimensões Diâmetro: 4-10 mm
- Comprimento: 10-40 mm
- Durabilidade: 99,07%
- Finos <3,00mm: 1,05%
- Densidade aparente: 650 – 700 kg/m³
- Densidade unidade: ~1711 kg/m³

2.3. Equipamentos empregados na geração de energia térmica

Os sistemas de vapor são de grande importância industrial em processos que necessitam de uma fonte de energia térmica. Na geração e na utilização do vapor, ocorrem mudanças de fase tanto na vaporização quanto na condensação, o que causa grandes variações de volume, resultando em um elevado coeficiente de transferência térmica, que, somado à alta densidade energética (calor latente), produz elevadas taxas de transferência de calor por unidade de área. Portanto, o vapor tem como suas principais vantagens baixo preço (dependendo do combustível), alta densidade energética e elevada taxa de transferência de energia.

O vapor é gerado em uma caldeira ou em um gerador de vapor pela transferência do calor dos gases quentes para a água. Quando a água absorve quantidade suficiente de calor, muda da fase líquida para a de vapor. A energia para gerar o vapor pode ser obtida da combustão de combustíveis ou da recuperação de calor residual de processo. Na caldeira, a transferência de calor entre os gases quentes e a água é efetuada nas superfícies de troca térmica (geralmente um conjunto de tubos). Após a geração do vapor, o efeito da pressão faz o vapor fluir da caldeira para o sistema de distribuição. Há diferentes aplicações de uso final para o vapor, incluindo aplicações em processos de aquecimento, movimentação mecânica, produção de reações químicas, limpeza, esterilização e geração de energia elétrica. Os equipamentos mais comuns de sistema de uso final de vapor são: trocadores de calor, turbinas, torres de fracionamento e tanques de reação química. Em um trocador de calor, o vapor transfere seu calor latente a um líquido de processo. O vapor é

mantido no trocador de calor por um purgador de vapor até que se condense. Nesse ponto, o purgador deixa passar o condensado para a linha de drenagem de condensado, ou sistema do retorno de condensado. Em uma turbina, o vapor transforma sua energia térmica em trabalho mecânico, para acionar máquinas rotativas, tais como: bombas, compressores ou geradores elétricos. Em torres de fracionamento, o vapor facilita a separação de vários componentes de um líquido. As caldeiras que produzem vapor pela queima de combustíveis podem ser classificadas em dois grandes grupos: caldeiras aquatubulares e caldeiras flamotubulares.

2.3.1. Caldeiras aquatubulares

Nessas caldeiras, a água a ser aquecida passa pelo interior de tubos que, por sua vez, são envolvidos por gases de combustão. Os tubos podem estar organizados em feixes, como nos trocadores de calor – e as caldeiras que os contêm apresentam a forma de um corpo cilíndrico – ou em paredes de água, como nas caldeiras maiores.

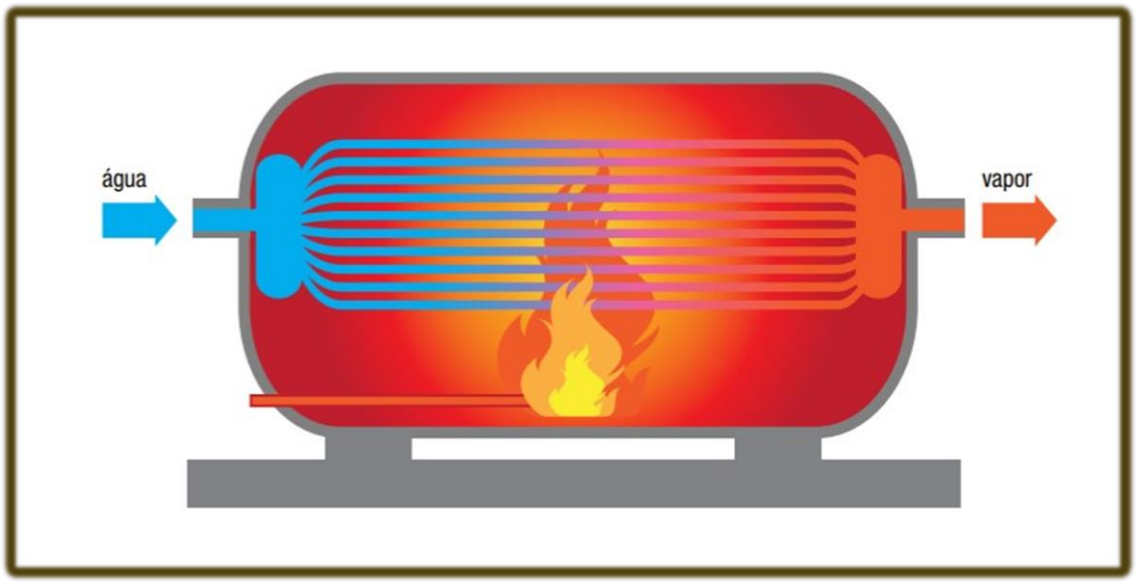


Figura 2 - Fonte: ELEKTRO (2018)

Uma caldeira aquatubular pode custar até 50% mais do que uma caldeira flamotubular de capacidade equivalente.

Ela apresenta, porém, algumas vantagens, como uma maior capacidade de produção de vapor por unidade de área de troca de calor e a possibilidade de utilizar temperatura superior a 450 °C e pressão acima de 60 kgf/cm² .Sua partida é relativamente rápida, em razão do volume reduzido de água que ela contém. A

limpeza dos seus tubos é simples e pode ser feita automaticamente através de sopradores de fuligem.

2.3.2. Caldeiras flamotubulares

Nas caldeiras flamotubulares (ou pirotubulares), os gases quentes da combustão circulam no interior de tubos que atravessam o reservatório de água a ser aquecida para produzir vapor. Esse tipo de caldeira, geralmente de pequeno porte, apresenta baixa eficiência e é utilizada apenas para pressões reduzidas. Ainda é muito utilizada em razão do seu baixo valor de investimento se comparado com as caldeiras aquatubulares, e da facilidade de manutenção. Utiliza qualquer tipo de combustível, líquido, sólido ou gasoso. É muito comum o seu uso com óleo e gás.

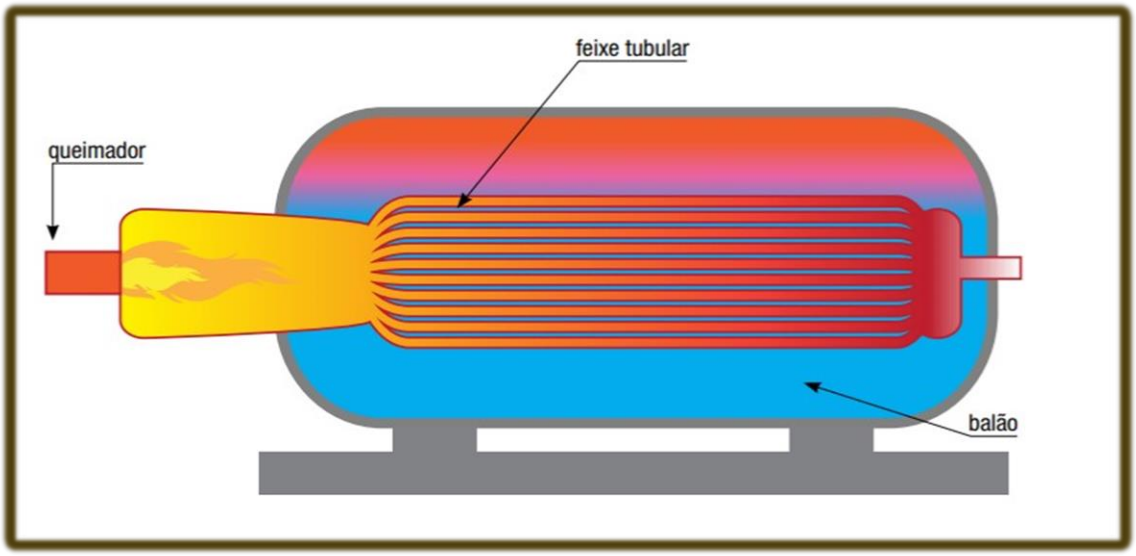


Figura 3 - Fonte: ELEKTRO (2018)

2.3.3. Caldeira geradora de água quente

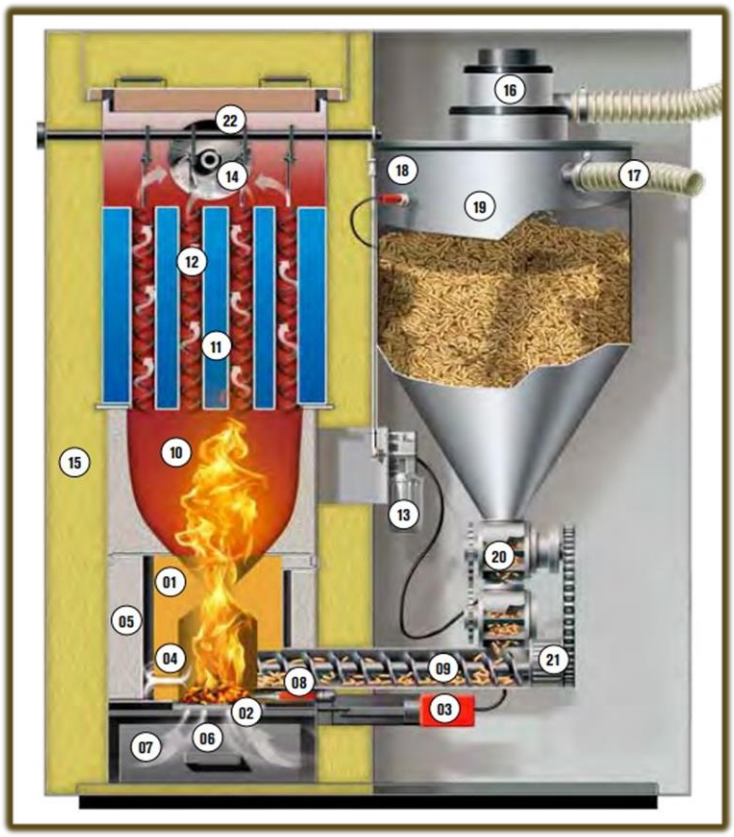
As caldeirasde operação a biomassa são projetadas para aquecer a água em circuitos de aquecimento industrial e/ou água quente de pequeno, médio e grande porte, podendo fornecer potências acima de 300kW.

O rendimento de 91% com operação a pellets e de 86% com operação a lenha é conseguido aplicando o dobro dos feixes tubularesem comparação com uma caldeira a gás e maior controle do ar de combustão. O controle da temperatura de saída é feito com um circuito em malha fechada, responsável por abrir ou fechar a entrada do ar de combustão, de acordo com a leitura de um sensor de temperatura

instalado na saída de agua quente, totalmente automático e controlado por um CLP (controlador lógico programável).A limpeza da caldeira é feita por um atuador linear, e necessita de uma extração de cinzas a cada 1000kg de pellets queimados, que pode variar em função da potência do equipamento.

A sua construção é muito simples, e sua operação e fornecimento de água quente ocorrem à pressão atmosférica.

A figura 5 apresenta uma tipica caldeira de aquecimento de água a biomassa com potência de 40 à 60kw:



01 câmara de combustão
02 atuador linear
03 Motor do atuador
04 Fluxo de ar secundário com canais de entrada
05 painéis de isolamento de alta temperatura
06 ar primário
07 Tomada de ar
08 Auto ignição
09 parafuso de inserção
10 zona de circulação
11 trocadores de calor
12 turbuladores
13 limpeza automática grelhas
14 ventilador de exaustão
15 isolamento
16 turbina de sucção
17 tubo contrapressão
18 indicador de nível
19 tanques de armazenamento de ciclone
20 roda de dupla atuação
21 unidade de acionamento motorizado
22 sensor lambda

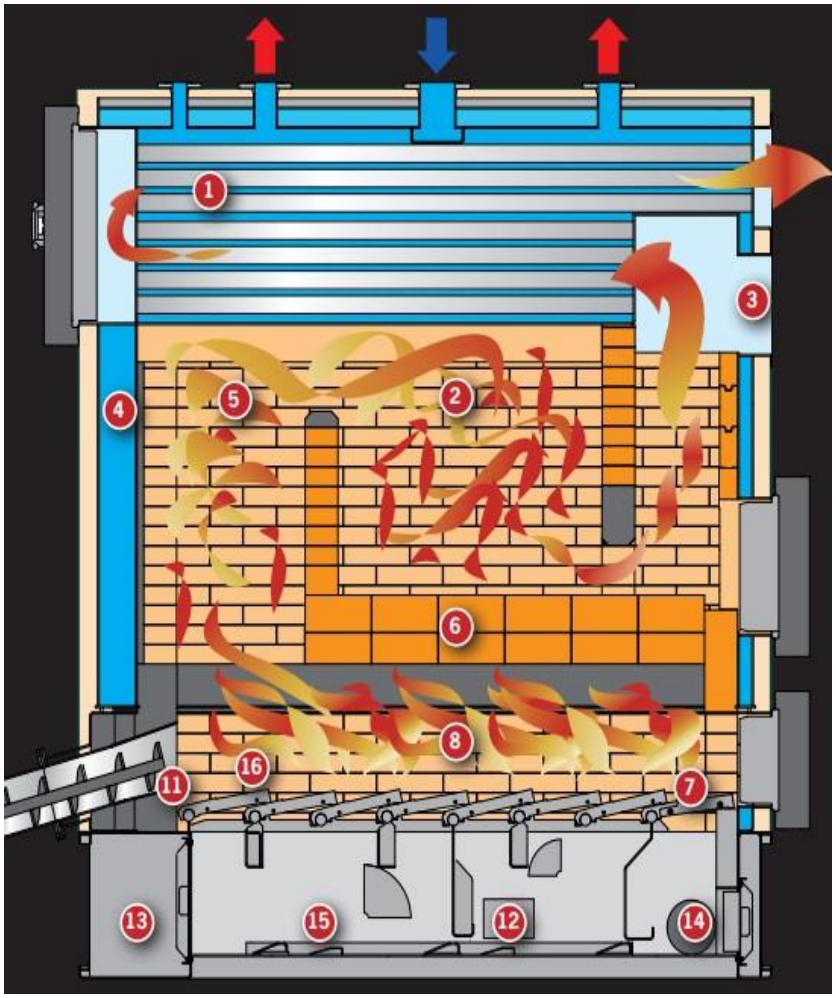
Figura 4 - Fonte: Hargassner (2018)

- Largura: 75 cm
- Profundidade: 122 cm
- Altura:155 cm
- Temp Oper Máx: 95 °C
- Potencia térmica:60 kW
- Potencia útil:8.1/54.2 kW
- Eficiência: 90.2 %
- Consumo (Pellets):2.5/14.1 kg/h
- Capacidade: 100 kg
- Autonomia: 14/71 h
- Boiler: 65 l
- Ø máx.combustível: 10 cm
- Ø Tomada de ar: 6 cm
- Peso total: 320 kg

Figura 5 - Fonte: Hargassner (2018)

2.3.4. Caldeira geradora de vapor

O vapor é gerado em uma caldeira ou em um gerador de vapor pela transferência do calor dos gases quentes para a água. Quando a água absorve quantidade suficiente de calor, muda da fase líquida para a de vapor. A energia para gerar o vapor pode ser obtida da combustão de combustíveis ou da recuperação de calor residual de processo. Na caldeira, a transferência de calor entre os gases quentes e a água é efetuada nas superfícies de troca térmica (geralmente um conjunto de tubos). Após a geração do vapor, o efeito da pressão faz o vapor fluir da caldeira para o sistema de distribuição .A grelha de alimentação opera hidraulicamente ou eletromecanicamente, para combustíveis secos com variado teor de cinzas. Limpeza totalmente automática da unidade de combustão com raspador de cinzas abaixo da grelha e transportador de cinzas. Câmara de combustão revestida com material refratário.



01 Tubos de caldeira
02 Refratário
03 Limpeza do trocador de calor
04 Jaqueta de caldeira refrigerada a água
05 Abastecimento de Ar Secundário
06 Refratário de Radiação
07 Tela Grelha
08 Câmara de combustão
09 Provisões Anti-Burnback
10 Alimentação
11 Grelha móvel> 150 kW
12 Suprimento de Ar Primário
13 Tomada de ar
14 Transporte de cinza
15 Raspador de cinzas
16 Grelha móvel

Figura 6 - Fonte: Hargassner (2018)

- Largura: 4900 cm
- Profundidade: 2580 cm
- Altura:5820 cm
- Potencia térmica: 2120 kW
- Potencia útil: 1950 kW
- Eficiência: 90.2 %
- Pressão Máx: 30 bar
- Autonomia:8760h
- Boiler: 22000 l
- Vazão água: 364 m^3/h
- Peso total: 320 kg

Figura 7 - Fonte: Hargassner (2018)

3. Conceito

A Administração de Informação de Energia dos EUA estima que em 2007 as fontes primárias de energia se consistiam em petróleo (36,0%), carvão mineral (27,4%), gás natural (23,0%), acumulando um total de 86,4% como principais fontes de energia primária no mundo. Outras fontes de energia, em 2006, incluem a energia hidrelétrica (6,3%) e a energia nuclear (8,5%). O consumo de energia mundial foi e está crescendo 2,3% ao ano. Os combustíveis fósseis são recursos não-renováveis, pois levam milhões de anos para se formarem, e as reservas desses combustíveis estão a se esgotar, já que o consumo é maior que a produção. Tanto a produção quanto a utilização de combustíveis fósseis levantam preocupações ambientais e problemas com a saúde. A queima de combustíveis fósseis produz cerca de 21,3 bilhões de toneladas de dióxido de carbono anualmente, e metade dessa produção atinge a atmosfera, já que os processos naturais só conseguem absorver metade dessa quantidade.

Na definição de biomassa para a geração de energia, excluem-se os tradicionais combustíveis fósseis, embora estes também sejam derivados da vida vegetal (carvão mineral) ou mineral (petróleo e gás natural), embora resultados de várias transformações que requerem milhões de anos para acontecerem. A biomassa pode ser considerada um recurso natural renovável, enquanto que os combustíveis fósseis não se renovam a curto prazo. A biomassa é utilizada na produção de energia a partir de processos como a combustão de material orgânico produzida e acumulada em um ecossistema, porém nem toda a produção primária passa a incrementar a biomassa vegetal do ecossistema. Parte dessa energia acumulada é empregada pelo ecossistema para sua própria manutenção. Suas vantagens são: o baixo custo; é renovável; permite o reaproveitamento de resíduos; e é menos poluente que outras formas de energias como aquela obtida a partir de combustíveis fósseis. A queima de biomassa provoca a liberação de dióxido de carbono na atmosfera, mas, como este composto havia sido previamente absorvido pelas plantas que deram origem ao combustível, o balanço de emissões de CO_2 é nulo.

3.1. Gás natural

Assim como os demais combustíveis fósseis como por exemplo o petróleo, o gásnaturaléumamisturadehidrocarbonetosgasososoriundosdadecomposiçãode matéria orgânica ao longo de milhões de anos sendo encontrado principalmente em poços de petróleo ou associados, onde em temperatura ambiente e pressão atmosférica permanece em sua forma gasosa sendo inodoro, incolor e mais leve que oar.Sua composição principal é o Metano CH4, ainda com variações de Etano C2H6, PropanoC3H8, ButanoC4H10, assimcomodehidrocarbonetosmaispesados e também Dióxido de Carbono CO2, Nitrogênio N2 e outras impurezas. Os maiores teores de carbono são encontrados no gás naturalnão-associado.

3.1.1 Extração

Mundialmente a maior reserva provada de gás natural fica na Rússia, com um percentual de 27% do total mundial, seguida pelo Irã com 15% e Qatar com 14% já na América Latina, as maiores reservas estão localizadas na Venezuela com 2,4% e na Bolívia 0,7%. O Brasil possui 0,2% do total das reservas provadas de gás natural no mundo eestá na 39ª posição no ranking mundial. As reservas de gás natural brasileiras estão aproximadamente 77% concentradas no mar, onde denomina-se exploração *offshore*, como ilustrado na figura 9.

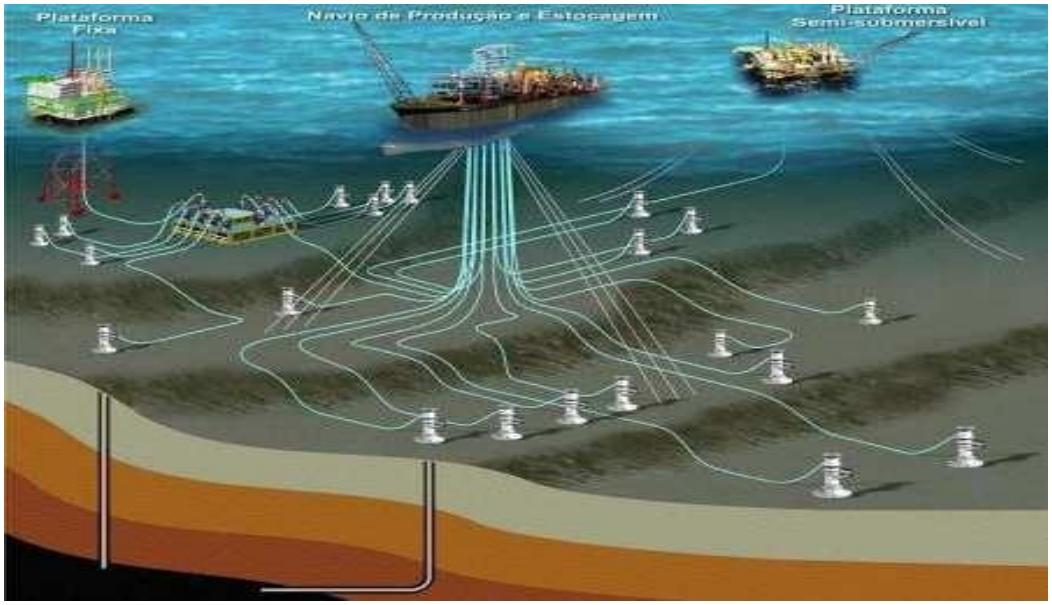


Figura 8 - Fonte: Rosneft (2018)

Essa forma de exploração ocorre em diversos pontos da costa brasileira, no entanto a região Sudeste se sobressai às outras com 67% do contingente, tendo como campos de exploração as Bacias de Campos, Espírito Santo e Santos, onde as mesmas ficam próximas do grande centro de consumo do Brasil, ou seja, a própria região sudeste, em destaque para os estados de São Paulo e Rio de Janeiro.

Atualmente, existem 192 blocos exploratórios *onshore* sob concessão no Brasil, dos quais 75% se encontram na Região Nordeste. O detalhe dos poços onshore podem ser vistos na figura 10. As bacias *onshore* brasileiras, apesar de serem pioneiras na exploração e produção de petróleo e gás natural no país, ainda carecem de estudos geológicos mais aprofundados, que fomentem uma maior atividade de E&P e consequentemente maior aproveitamento dos recursos potenciais.

Tal fato se deve à escassez de rodadas de licitação durante um período de tempo e ao maior interesse na exploração *offshore*, motivado pelo sucesso alcançado na década de 1980 com as descobertas dos campos gigantes da Bacia de Campos e, posteriormente, com as descobertas do pré-sal, em especial na Bacia de Santos.

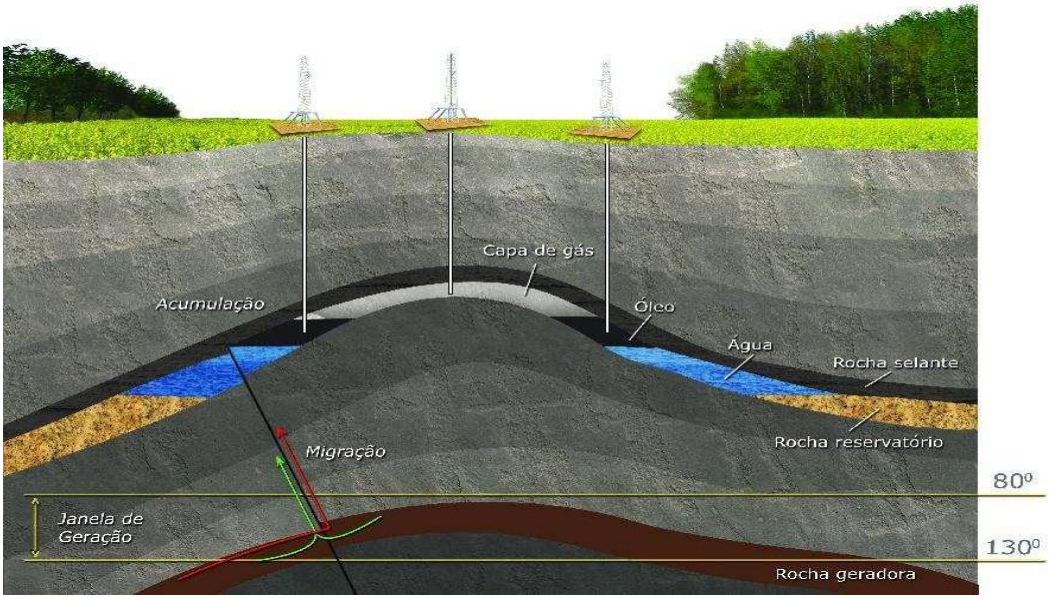


Figura 9 – Fonte: Rosneft (2018)

3.1.2 Produção

Após a exploração, para a produção do gás natural há a necessidade de um tratamento do mesmo, passando-o por equipamentos projetados para retirar a água, os hidrocarbonetos que estiverem em estado líquido e as partículas. Se estiver

contaminado por compostos de Enxofre S, o gás é enviado para unidades de dessulfurização para retirada desse composto. Após essa etapa, uma parte do gás é utilizada no próprio sistema de produção, em processos conhecidos como reinjeção e gás *lift* quando o mesmo é encontrado juntamente com o petróleo do reservatório. O restante do gás é enviado para processamento, sendo a separação de seus componentes em produtos especificados e prontos para utilização.

A produção do gás natural pode ocorrer em regiões distantes dos centros de consumo e, muitas vezes, de difícil acesso, como, por exemplo, a floresta amazônica ou uma plataforma offshore. Em plataformas marítimas, por exemplo, o gás deve ser desidratado antes de ser enviado para terra, para evitar a formação de hidratos, que são compostos sólidos que podem obstruir os gasodutos. Outra situação que pode ocorrer é a reinjeção do gás para armazenamento no reservatório se não houver consumo para o mesmo, como na Amazônia. Atualmente, dez estados da Federação possuem sistemas de produção de gás natural, sendo o Rio de Janeiro o maior deles (COMPET-Programa Nacional da Racionalização do Uso dos derivados do petróleo e do gás natural). A produção diária de gás natural no Brasil no período de 2010à 2017 apresentou um crescimento de 66%, passando de uma média diária de 56,369 milhões de m³ em 2010 para 109,200 milhões de m³ em 2017. O crescimento da produção ocorreu principalmente, devido ao aumento da exploração e produção *off-shore*, com uma elevação de 225% durante esse período. (ANP, 2018).

3.1.3 Distribuição

O sistema de transporte de gás é composto de duas artérias/gasodutos principais sendo o sistema Bolívia-Rio Grande do Sul e o sistema São Paulo/ Rio / Espírito Santo, interligado ao sistema nordeste através do gasoduto Gasene. A região Norte conta com um único gasoduto isolado interligando os campos terrestres de Urucu e Coari a Manaus. (ABEGÀS,2015). Uma das principais vantagens de utilização do gás natural está em sua infra-estrutura, com dutos enterrados em toda rede de entrega final, tornando o fornecimento muito acessível e ágil.

Figura 10 – Fonte: www.geopoliticadopetroleo.wordpress.com.br

3.2. Pellets de madeira

Os pellets são biocombustíveis sólidos que podem ter como matéria-prima os resíduos da indústria agroflorestal, como maravalha de madeira, casca de arroz e o bagaço de cana. Eles são compactados com baixo teor de umidade, em torno de 10%, o que permite uma elevada densidade energética (GARCIA et al., 2016). Os pellets normalmente possuem diâmetro entre 6 a 8 mm, com comprimento variável. Geralmente, a principal forma de utilização da biomassa florestal é através de sua conversão termoquímica ou pela combustão ou queima. Essas são as maneiras mais usuais e simples para aproveitamento da energia primária contida na biomassa florestal. Esse tipo de aproveitamento vem sendo realizado pelos cidadãos em seus lares (aquecimento e cocção), empresas (restaurantes, hotéis, padarias, hospitais, olarias, etc.), agricultura (secagem de grãos, aquecimento na criação de animais, etc.). Também é importante o uso energético da biomassa florestal na produção industrial de carvão vegetal e em muitos outros tipos de indústrias, como a de celulose e papel. Por outro lado, a conversão dessa energia primária em energia elétrica através de pequenas e médias centrais termelétricas também tem tido crescimento

acelerado, principalmente no Brasil. Com as dificuldades hídricas que o País tem enfrentado em épocas recentes, a busca por outras fontes de geração de eletricidade tem sido priorizada, tanto através de fontes eólicas como de energia da biomassa. No caso da biomassa florestal, existem fatores críticos a serem trabalhados, tais como: custos e disponibilidade da biomassa, escala de produção e tecnologias de conversão. A biomassa energética de base florestal pode-se apresentar como lenha, cavacos, pellets, briquetes, resíduos industriais de madeira, resíduos da colheita das florestas plantadas e até mesmo como fragmentos triturados (“hoggedfuel”) da poda de árvores urbanas. Apesar de uso muito popular no Brasil, todo esse processo é movido pela improvisação, pela falta de bons projetos de engenharia, com escassas tentativas de fortalecimento de seus mercados, com grande número de atravessadores na rede produtiva e com diminuta visibilidade em termos de custos, margens de contribuição, resultados e potenciais competitivos comparativos a outros combustíveis de origem fóssil ou mesmo de biomassas (bagaço de cana, palhas de cereais, bambus, etc.). Ao mesmo tempo em que a energia da biomassa tem conseguido enormes avanços em termos de evolução tecnológica e de pesquisas universitárias, ainda existem muitos fatores atrapalhadores que impedem que ela se concretize em opção vital e fundamental para grande parte da indústria. Com exceção de alguns poucos setores da indústria que são grandes usuários da biomassa energética, como o sucroalcooleiro (energia da cana de açúcar), o siderúrgico (carvão vegetal) e os de celulose/papel e painéis de madeira (licor preto, resíduos e florestas energéticas), a maioria do consumo da biomassa para gerar energia ainda é resultante de centenas de milhares de pequenos consumidores domésticos e de empresas industriais, produtores rurais e de serviços de pequenos a médio porte.

A biomassa já representa hoje cerca de 7% da totalidade dos recursos energéticos em uso no País e praticamente 24% do consumo de energia residencial. Existem expectativas positivas para que cresça ainda mais rapidamente, em função do estímulo para as plantações florestais para finalidades energéticas e pelo uso da madeira em novos tipos de negócios (biorrefinarias de biomassa), que podem produzir combustíveis sólidos, líquidos e gasosos a partir de qualquer tipo de biomassa vegetal.

3.2.1 Extração

Considerando os plantios florestais, a principal espécie utilizada para a produção de lenha é o eucalipto, com cerca de 5,63 milhões de hectares, que representou 72,2% das florestas plantadas do Brasil em 2015 (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016). Atualmente, o cultivo do eucalipto abrange regiões além daquelas tradicionais, como o Sul e o Sudeste, o que levanta a necessidade de se obterem informações sobre a produção esperada desses novos plantios, ou seja, estudos relacionados ao material genético, silvicultura e aspectos relacionados a toda sua cadeia produtiva (SANTANA et al., 2008). De acordo com Soares et al. (2006), o eucalipto configura-se como um forte gerador de biomassa por apresentar rápido crescimento e fácil adaptação a diferenciados tipos de solo e clima. A demanda mundial por pellets tem crescido exponencialmente, pois os pellets são menos poluentes que os derivados do petróleo e têm sido utilizados por países que precisam reduzir suas emissões de gases do efeito estufa, para, assim, atender os acordos firmados na Conferência do Clima (COP21), que ocorreu na França, em 2015. No entanto, essa falta de demanda interna contrasta com a excessiva procura por pellets nos países da Europa (Reino Unido, Itália, Alemanha) e Ásia (Japão, China, Coréia), justificando as tendências positivas de crescimento desse mercado internamente. As previsões otimistas do consumo mundial de pellets já refletiram na indústria brasileira, que aumentou em mais de 80% a produção no último ano.

Figura 11 - Fonte: Brasil Pellets (2018)

Figura 12 - Fonte: Brasil Pellets (2018)

Além disso, novas fábricas com grandes capacidades de produção começam a operar no Brasil, como a Tanac (pellets de acácia negra), a Cosan (pellets de bagaço de cana) e a Forespel (pellets de madeira de pinus), todas visando à exportação desses biocombustíveis sólidos densificados. As figuras 12 e 13 ilustram o processo de extração de madeira bruta em uma floresta energética. Se as previsões de consumo de pellets se confirmarem e o Brasil conseguir penetração nesse mercado, nosso País poderá se tornar um dos principais players dessas commodities.

3.2.2. Produção

Os pellets são produzidos a partir de resíduos da indústria madeireira (serragem, maravalha, pó de serra) que passam por processo de secagem (Umidade ideal de 12%), moagem (tamanho de partículas ≈ 3,0 mm) e densificação em matriz peletizadora com abertura de 6 ou 8 mm de diâmetro. A figura 14 ilustra o processo de produção dos pellets.

Figura 13 - Fonte: www.biomassabr.com.br

Devido à condição de alta pressão e temperatura aplicada, a lignina (cimento natural da madeira) torna-se uma cadeia polimérica mais flexível, que se reorganiza e atua como agente de ligação natural entre as partículas, quando resfria. Ao contrário da indústria de celulose e papel, que separa a lignina das fibras (processo de cozimento e deslignifação), na peletização a presença desse polímero é necessária

por dois motivos: (i) funciona como adesivo natural, dando maior resistência mecânica aos pellets; e (ii) contribui com o poder calorífico, uma vez que, individualmente, a lignina tem cerca de 30% mais energia do que na celulose e nas hemiceluloses.

O setor florestal das grandes empresas, sobretudo a produção do eucalipto, é um dos setores mais organizados no que tange a questões ambientais. As empresas que ainda não possuem suas florestas certificadas estão buscando as certificações, principalmente quanto ao manejo florestal e à madeira controlada, ambas pelo Forest StewardshipCouncil (FSC). A grande dificuldade do pequeno e médio produtor não está no plantio, mas sim em colocar o eucalipto no mercado. Neste aspecto, algumas empresas têm adotado a estratégia de expandir sua base florestal via fomento, com estabelecimento de uma parceria, em que o produtor cede a terra e a empresa realiza o plantio do eucalipto, garantindo sua comercialização. Esta é uma forma de os pequenos produtores poderem iniciar a atividade florestal sem a necessidade de investimentos. Neste quesito, chama a atenção o fato de as empresas utilizarem mais seus recursos próprios para a realização de plantios florestais do que recursos de financiamentos. Os principais fatores apontados estão relacionados com questões de legalidade quanto ao registro dos imóveis rurais, que impedem os produtores de acessar financiamentos, bem como as altas taxas de juros praticadas no mercado.

3.2.3 Distribuição

Em decorrência da grande dinamicidade da produção de madeira na região sudeste, não só de eucalipto, mas também de pinus, foi possível o surgimento de empresas especializadas na compra e venda de madeira, atuando como distribuidores. Geralmente estas empresas compram lenha dos pequenos produtores que não possuem mercado definido para comercializar a sua produção e repassam às empresas consumidoras de grande porte. Existem empresas com infraestrutura para a colheita florestal, o que possibilita a compra da madeira em pé na floresta. Sua atuação não se restringe ao comércio de lenha, abrange ainda o comércio de madeira para serraria e resíduos do processo de transformação, que também são destinados à produção de energia. Este cenário tem levado a profissionalização do mercado através de empresas especializadas para a captação, classificação e preparo de

material residual (cascas, cavacos, serragem, maravalha e outros coprodutos da indústria madeireira), com o estabelecimento de contratos para o fornecimento de biomassa, incluindo o fornecimento de picadores para serrarias objetivando a correta preparação do material. Esta especialização do mercado também foi observada em outras regiões como, por exemplo, em Lages - SC, com a instalação de uma usina de cogeração de energia elétrica a partir da biomassa residual da indústria madeireira (SIMIONI; HOEFLICH, 2009; 2010). Os coprodutos são destinados para usos diversos, tais como: cavaco limpo para celulose; cavaco sujo para energia, pó e maravalha para uso na agropecuária, visando à produção de composto orgânico e substrato para floricultura, pellets de madeira para uso energético, dentre outros usos. Segundo informações coletadas na região, este mercado é crescente e promissor, havendo empresas localizadas a mais de 100 quilômetros de distância interessadas nestes coprodutos.

3.3. Potencial de utilização dos pellets de madeira

A demanda crescente de energia em decorrência do aumento populacional e da atividade industrial pode ser suprida, em parte, pela biomassa de origem florestal que se apresenta como potencial alternativa a ser utilizada como fonte de energia limpa, renovável e produtora de empregos (SOARES et al., 2006). De acordo com o autor, a biomassa florestal demonstra características que permitem sua utilização de variadas formas, tais como: carvão, pela queima da madeira; resíduos da exploração e óleos essenciais, alcatrão e ácido pirolenhoso.

Neste mesmo contexto, Simioni e Hoeflich (2009) apresentam uma quantificação de diferentes tipos de resíduos produzidos pela indústria de transformação mecânica com potencial para uso energético e Furtado et al. (2012) descrevem a frequência de uso e a disponibilidade de diferente tipos e biomassa que podem ser utilizadas para a geração de energia, inclusive o aproveitamento de serragem de passivos ambientais.

O uso dos pellets de madeira para gerar energia calórica apresenta diversas vantagens em comparação a outros tipos de combustíveis mais conhecidos, conforme apresentado a seguir:

• a queima de pellets não produz fumaça; ao contrário de outros combustíveis, o balanço do dióxido produzido na queima da biomassa é igual a zero, devido à sua absorção no processo de fotossíntese (DA SILVA et al, 2012);

• os pellets de madeira se enquadram nas recomendações relativas a emissões de HCl (ácido clorídrico) e de PCCD (dibenzeno-dioxinas policloradas), características dos biocombustíveis, cujos teores de cloro devem apresentar limites inferiores a 0,3% (HANSEN, 2010);

• os pellets são considerados produtos muito seguros por não apresentarem os riscos associados ao gás e aos combustíveis líquidos, como vazamentos e até mesmo explosões;

• a geometria regular dos pellets permite a alimentação automática em um sistema industrial (CARASCHI e GARCIA, 2017);

• no tocante ao espaço para armazenamento, como demonstrado na figura 15, quando comparado com outras biomassas, o pellet aparece na quinta posição, apenas ocupando mais espaço que os biocombustíveis líquidos (diesel e biodiesel) e o carvão vegetal (sólido).

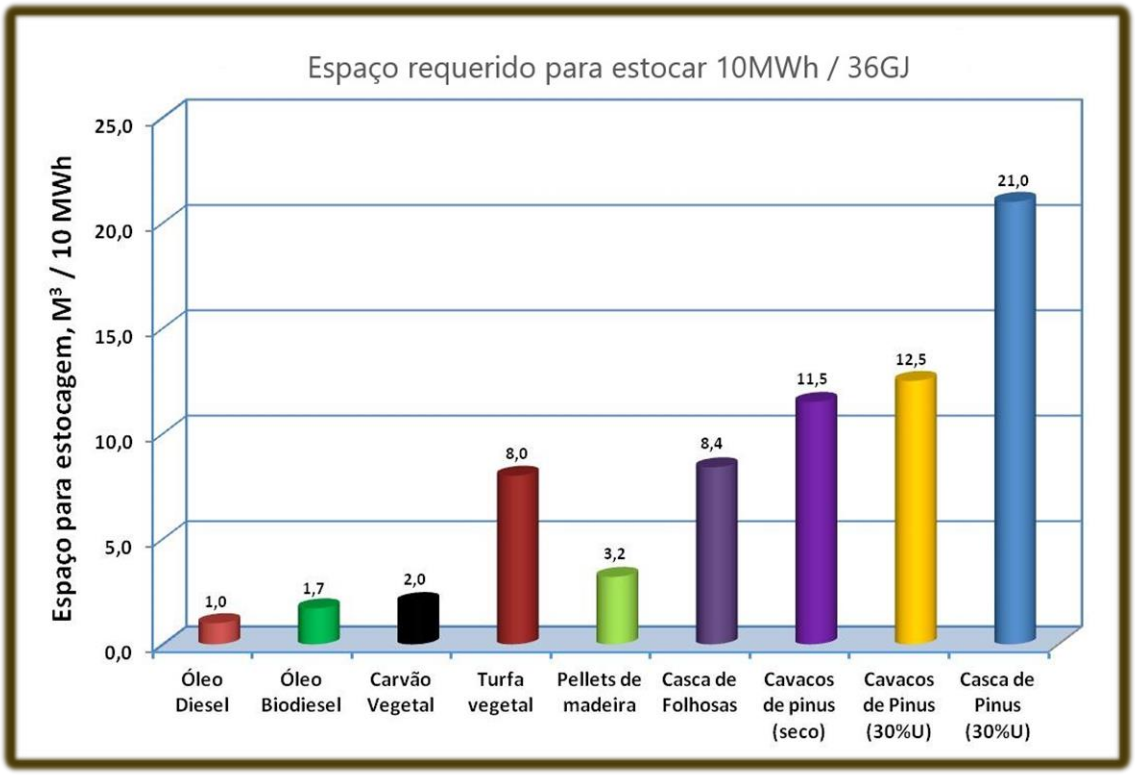


Figura 14 - Fonte: pelletsdemadeira.blogspot.com

•Garantia de disponibilidade assegurada independentemente do tempo e da época do ano (biomassa florestal pode ser caracterizada como isenta de sazonalidades).

A eficiência energética da queima da biomassa sólida está diretamente associada ao sistema de conversão empregado. Segundo a FAO, no uso residencial, a queima direta da madeira converte apenas 5% do potencial energético da biomassa utilizada; os sistemas de forno tradicionais elevam esse valor para 36%; e a produção de carvão vegetal tem eficiência entre 44 e 80%. De acordo com Vidal e Hora (2011), os modernos fornos de pellet entregam 80% de eficiência em usos de geração térmica. Outra vantagem dos pellets, comparados a outros biocombustíveis sólidos, é a ausência de risco fitossanitário, que pode ocorrer com cavacos e outros subprodutos madeireiros que podem ser infestados por insetos perigosos para as florestas, especialmente nematódeos do pinheiro (QUÉNO, 2015 apud WILLUMSEM, 2010).

Embora os pellets sejam mais caros do que a lenha, o investimento no sistema comercial de queima é economicamente viável porque apresenta soluções tecnológicas para a gestão eficiente da energia, com controle digital de temperatura dos fornos, baixa emissão de poluentes e facilidades na movimentação e estocagem do produto. As qualidades bioenergéticas dos pellets proporcionam vantagens na utilização em relação à lenha. Foi o que motivou mais de 300 padarias e pizzarias na cidade de São Paulo a substituírem lenha por esses produtos densificados. Esses estabelecimentos comerciais sofriam com grandes áreas para armazenamento, proliferação de micro-organismos, abastecimento manual dos fornos e problemas com transportes de lenha, devido ao rodízio de placas e proibição do tráfego de caminhões no centro da cidade. (GARCIA, 2017) O Brasil possui 58% de seu território coberto por florestas, totalizando uma área de 495 milhões de hectares. Desta forma, entender a economia baseada no uso do patrimônio natural brasileiro é imprescindível para a promoção do desenvolvimento econômico sustentável.

O Brasil é o principal país produtor de madeira tropical serrada do mundo e é também um dos maiores consumidores destes produtos. Apesar de a exportação de madeira tropical ser uma atividade importante, a maior parte da produção florestal tropical é voltada para o mercado interno.

Em 2015 foram produzidos, na Amazônia Legal, mais de 10 milhões de metros cúbicos de madeira nativa em tora, gerando cerca de R$ 1,7 bilhão no mesmo ano. Considerando este cenário e as projeções futuras de crescimento, fica clara a necessidade de incentivar a realização de estudos voltados para o setor, de forma a contribuir para sua compreensão, fortalecimento e crescimento em bases sustentáveis.

No interior do Paraná, as granjas são aquecidas utilizando a energia térmica que vem dos pellets de madeira, que mantêm a temperatura interna controlada e sem oscilações. Em Jundiaí-SP, um parque aquático, que ficava vazio no inverno, agora cativa seus frequentadores com água na temperatura de 26-28 °C, aquecida com um sistema movido à pellets de madeira. Embora esses cases mostrem o sucesso de algumas aplicações dos pellets, especialistas relatam o lento desenvolvimento do mercado de pellets e mencionam problemas estruturais e culturais como responsáveis: o alto custo da energia elétrica, que encarece o preço do produto final; elevados custos com transportes e pedágios, que inviabilizam a comercialização à longas distâncias; problemas culturais, pois a maior parte dos empresários ainda desconhecem as vantagens do produto. Quéno (2015) destaca que a principal vantagem dos pellets em relação a outros biocombustíveis é a alta densidade energética, que os coloca em um nível comparável ao dos combustíveis fósseis. A elevada densidade energética dos pellets permite que os sistemas de aquecimento obtenham autonomia equivalente à dos sistemas a óleo de fontes de energia fóssil. Como exemplo, tem-se que 1 m³ de óleo combustível pode ser substituído por 3,5 m³ de pellets de madeira e, em se utilizando a madeira em sua forma bruta, com 50% de teor de umidade, seriam necessários 7 m³ (VIDAL e HORA, 2011). O diferencial energético dos pellets em comparação a outros biocombustíveis sólidos, como o cavaco e a serragem em pó, pode ser observado na tabela 2, onde se verifica que a energia específica dos pellets (3,12 MWh/m³) é 5,2 vezes maior que a do cavaco (0,6 MWh/m³) e 4,5 vezes maior que a da serragem em pó (0,7 MWh/m³).

Tipo de Biomassa	Unidades	Cavacos woodchips	Serragem	Pellets Eucalipto	Carvão vegetal Eucalipto	Carvão vegetal espécie Nativa
Teor de umidade	%	45	12	8	5	5
Energia específica	MWh/ton	2	4,4	4,8	8,85	8,64
	MWh/m³	0,6	0,7	3,12	3,33	3,27

Tabela 2 Fonte: Elaboração própria adaptado de (www.florestal.gov.br)

3.4. Desafios

Apesar das ótimas condições edafoclimáticas do país para a implantação de reflorestamentos, problemas como a falta de estruturas dos portos, altos custos logísticos relacionados ao transporte rodoviário e falta de equipamentos com tecnologia apropriada para a produção mais eficiente são os desafios impostos a nossa indústria para viabilizar novos projetos. Além disso, costuma-se confundir aqui no Brasil a “compactação de resíduos” com “produção de pellets”: Compactar resíduos sem critérios, qualquer equipamento faz. Mas, a arte de produzir pellets com padrão de qualidade e de forma mais eficiente, são para poucos. Para isso exige-se conhecimento, competência e equipamentos com tecnologia comprovada na produção de pellets de madeira. Os primeiros estudos e os primeiros passos da indústria de pellets de biomassa no Brasil já foram dados. A demanda crescente do mercado internacional por energia renovável indica quais serão os próximos. O Brasil não pode perder a oportunidade de tornar-se líder na produção e exportação desse biocombustível. Atualmente, a maioria da produção das indústrias brasileiras (aproximadamente 81,4%) estão concentradas na Região Sul, distribuídos pelos estados de Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. E o restante (18,6%) dos pellets brasileiros são produzidos no estado de São Paulo (Região Sudeste). (PORTAL BIOENERGIA, 2017)

Figura 15 - Fonte: Portal Bioenergia (2018)

As perspectivas de consolidação e expansão a indústria de pellets no Brasil inclui questões como: suporte para aumentar a demanda, fortalecer a associação de produtores, estabelecer padrões de qualidade, facilitar a entrada de equipamentos importados com maior eficiência de produção e tecnologia, e principalmente, financiamento governamental específico para o setor de biomassa agroflorestal, semelhante a outras fontes. Com base nessas análises, é possível identificar os elementos mais importantes estabelecendo prioridades de ação, direcionando esforços para superar desafios técnicos, proporcionando oportunidades de crescimento para o mercado de pellets no Brasil. Algumas oportunidades precisam ser melhor utilizadas, para que os pellets possam ocupar uma parte mais significativa de geração de energia térmica no SIN (Sistema Interligado Nacional). A aprovação da Lei 12.305 / 10, estabelecendo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), constitui um instrumento para a redução de resíduos incentivando o desenvolvimento de sistemas de gestão e de negócios destinados a melhorar processos de produção e reutilização de energia de resíduos sólidos. Assim, espera-se maior interesse na reutilização de resíduos biomassa agroflorestal, favorecendo sua transformação em biocombustíveis sólidos compactados como pellets e briquetes. Dentro no mesmo sentido, o acordo global de mudança climática assinado por 195 países na Paris Climate Change Conferência (COP21) sinalizou que haverá uma transição para energia de baixo carbono no século XXI e o uso de biomassa agroflorestal atende aos novos desafios da energia mais limpa, renovável e sustentável (JOHANNSDOTTIR; MCINERNEY, 2016). Contudo, normas, leis e políticas de incentivo aos produtores consumidores de biocombustíveis são necessários, como visto EUA e Suécia. Esses países oferecem subsídios e isenções fiscais para a compra de equipamentos que utilizem pellets de madeira em vez de óleo ou gás. Facilidade de transporte, manuseio de pellets, sistema de empréstimo para queimadores de pellets utilizados por empresas envolvidas no negócio de alimentos, tais como pizzarias e padarias, são exemplos de aspectos positivos para ser fortalecido. Em grandes cidades, como São Paulo, onde os caminhões de entrega têm acesso controlado apenas por algumas horas no início da manhã, a praticidade dos "*pellets fuelled ovens"* forneceu bons negócios para substituir aqueles que usam lenha ou gás. Os custos com logística, que afetam a competitividade das indústrias, é um exemplo de aspectos negativos a serem superados. As empresas sabem que, a

curto prazo, não há solução para esses problemas. Por esta razão, ainda é necessário desenvolver plantas industriais próximas aos portos e às principais cidades consumidoras, para minimizar custos com o transporte. Existem muitos desafios que precisam ser vencidos, como a ausência de padrões regulatórios sobre a qualidade dos pellets, que poderiam ser resolvidos no Brasil com a aceitação de padrões de qualidade na Europa com ISO 17225-2 e 17225-6 (ISO 2014). Alternativamente, como aconteceu com o carvão no estado de São Paulo (SAO PAULO, 2003), o governo poderia definir através de uma Resolução, a qualidade mínima padrões exigidos para pellets agroflorestais para uso em mercado interno. Estas medidas não são definitivas soluções para a falta de padrões de qualidade, mas são propostas de emergência nesta direção.

4. Estudo de caso

O presente estudo consiste em uma revisão da literatura de aula sobre estudos básicos de engenharia, e tem como principal objetivo traçar um panorama sobre a utilização de pellets de madeira para a geração de energia térmica em aplicações industriais e comerciais em substituição ao gás natural, comparando parâmetros técnicos e demonstrando a competitividade financeira da fonte energética.

4.1. Otimização da estrutura de custos

Os custos finais ao consumidor podem ser otimizados por meio de uma melhor utilização da capacidade instalada das fábricas (escala de produção) e ajustes em fatores que contribuam para a redução dos custos operacionais, como é o caso do custo de transporte, que é diretamente impactado pela qualidade da estrutura logística (estradas, ferrovias, hidrovias e portos). A instalação das fábricas em locais próximos à malha logística, reduzindo a distância percorrida até os fornecedores e portos (no caso de exportadores), também contribui para reduzir o custo de transporte. Tendo em vista que o custo de logística é um componente significativo no custo total dos pellets no Brasil, realizou-se, então, uma simulação do desempenho financeiro da referida empresa considerando fixo um dos dados de entrada: a distância entre a

fábrica e o consumidor final de 100km, fator que impacta diretamente o Custo de Transporte. Foram mantidos inalterados os demais parâmetros para os dois casos estudados.

4.2. Cálculo do custo de transporte

A determinação do Custo com Transporte (CT) foi realizada mediante a aplicação de equação matemática, apresentada a seguir, a qual tem como parâmetros a Produção (P), a Distância Percorrida (D) e o Valor do Frete (F):

$$CT = P \times D \times F$$

O consumidor hipotético está situado a uma distância de 100 km do distribuidor. Analogamente, Sander (2011) comenta que o transporte de matéria-prima até a fábrica é oneroso, sendo a distância máxima economicamente viável de 150 km.

4.3. Fluxo de caixa acumulado

O método de Fluxo de Caixa acumulado é reconhecido como o que mais apropriadamente traduz o valor econômico de um empreendimento, seja ele uma empresa ou um negócio integrante de uma estrutura maior, esteja ele em fase operacional ou de projeto. Nesse método o desempenho da empresa é analisado sob o enfoque operacional, sendo que o resultado não operacional (incluindo financeiro) é avaliado à parte. Os fluxos de caixa são valores monetários que representam as entradas e saídas dos recursos em determinada unidade de tempo.

4.4. Indicadores Financeiros

Para avaliar os fluxos e resultados financeiros obtidos no estudo, foram escolhidos os dois métodos chave considerados em aula – Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) – bem como os indicadores Payback simples e descontado. No desenvolvimento dos fluxos de caixa foi considerado um investimento inicial e mais um investimento complementar relacionado à manutenção periódica de equipamentos. No cálculo dos indicadores considerou-se uma taxa de atratividade de 10,00%, comumente utilizada em projetos de energia.

4.4.1 Valor presente líquido

O Valor Presente Líquido (VPL) é um indicador de viabilidade que expressa o valor presente do fluxo de caixa descontado, projetado ao longo da operação do empreendimento (o período considerado no estudo é de 25 anos), incluindo o valor do investimento realizado ou a realizar. A fórmula matemática do VPL, com a qual se determina o valor presente de pagamentos futuros, descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial, tem a seguinte composição:

FCn = Saldo de caixa no ano n; t = Taxa de Desconto e n = duração do projeto.

4.4.2 Taxa interna de retorno

Define-se a Taxa Interna de Retorno (TIR), ou Internal Rate of Return (IRR), como sendo a taxa de desconto que torna o VPL igual à zero (BREALEY et al, 2008). O empreendimento será considerado viável quando a sua taxa interna de retorno for igual ou superior à taxa de desconto equivalente ao custo de oportunidade de igual risco. A TIR (IRR) de um projeto que dure “n” anos pode ser determinada pela seguinte expressão matemática:

FCt = Saldo de caixa o ano t; n = Duração do projeto

4.4.3 Payback

É o espaço de tempo necessário para que as entradas de caixa de um projeto se igualem ao valor investido; representa o tempo de recuperação do capital investido. De acordo com Braga (1998), trata-se de um método que mensura o tempo necessário para que sejam recuperados os recursos investidos em um projeto. No estudo foram calculados Payback Simples, que avalia o tempo necessário para a recuperação do investimento mediante a utilização dos fluxos de caixa do projeto (sem considerar a taxa de desconto) e o denominado Payback Descontado, método pelo qual o tempo

necessário para a recuperação do investimento é determinado com base nos fluxos de caixa descontados do projeto.

4.5. Lavanderia industrial

Balanço Energético					
Máquinas	Cap Maq. (l)	Ciclos por dia	Dias/ano	Eficiência equipamento	Total (l/ano)
12	80	12	365	0,75	3.153.600
Aquecimento médio de 20 para 60°C			ΔT	Total (l/ano)	3.153.600
			40 °C	kcal/ano	126.144.000
				kW/ano	146.679

Tabela 3 Fonte: Elaboração própria, adaptado de material de aula

ENERGIA TÉRMICA - ÁGUA QUENTE	Gás Natural	Biomassa
Capacidade de Geração Térmica (kWt)	30	30
Energia Térmica produzida pela Caldeira (kWh)	210.240	241.776
Consumo anual de Água Quente (kWh)	146.679	146.679
Eficiência do Gerador de Água Quente	85,0%	90,2%
Consumo Anual de Combustível	17.337 m3	30.402 kg
Custo do Combustível (R$/m3) - C/ Impostos	R$3,926641	R$1,23345
Custo anual de geração de água quente	**R$68.076**	**R$37.499**
Custo do kWh Gerado (R$/kWh) - C/ Impostos	**R$0,46412**	**R$0,25566**
CUSTO OPERACIONAL	**Gás Natural**	**Biomassa**
Custo anual de geração de água quente	R$68.076	R$37.499
CUSTO OPERACIONAL TOTAL	**R$68.076**	**R$37.499**
ECONOMIA OPERACIONAL		**R$30.577**
		45%
INVESTIMENTOS	**Custo por kW**	**Biomassa**
Aquisição e Instalação de equipamentos	**R$3.067**	**R$92.010**
PAYBACK SIMPLES (anos)		**3,0**

Tabela 4: Fonte: Elaboração própria, adaptado de material de aula

Parâmetros Financeiros	
Inv. Inicial Adicional (IIo)	-R$ 92.010
Fluxo de Caixa (FLC)	R$ 30.577
Taxa de desconto (r)	10%
Período (anos)	10

Resultado Financeiro	
Payback simples	3,0 anos
Payback Descontado	3,7 anos
VPL	R$ 95.871
TIR	31,0%

Tabela 5 Fonte: Elaboração própria, dados atualizados em 2018

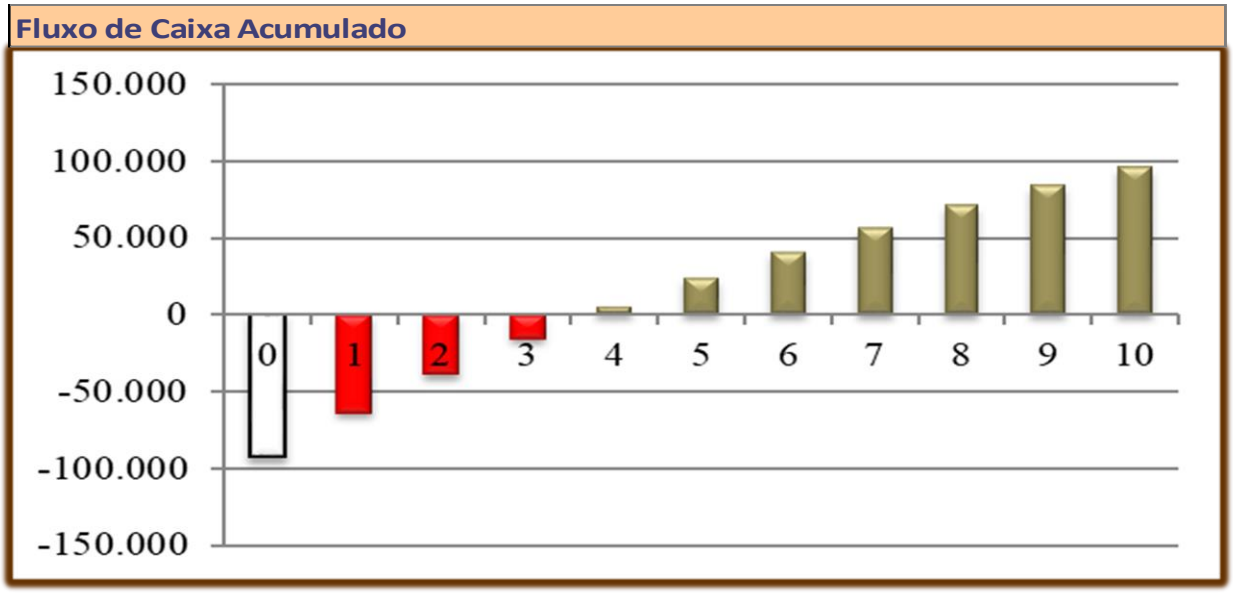


Figura 16- Fonte: Elaboração própria

4.6. Industria química

Balanço Energético			
Gás natural (kW)	10.000	Biomassa (kW)	8.500
Eficiência da caldeira (n)	0,85	Eficiência da caldeira (n)	0,92
Energia Térmica útil (kW)	8.500	Energia Térmica útil (kW)	7.820
Geração de Vapor (kW/kg)	0,708	Geração de Vapor (kW/kg)	0,654
Geração de Vapor (ton/h)	12,0	Geração de Vapor (ton/h)	12,0

Tabela 6 Fonte: Elaboração própria

Geração de Vapor @ 10bar	Biomassa	Gás Natural
Capacidade total	8.500 kW	10.000 kW
Eficiência	90%	85%
Geração de vapor @ 10 bar	12,0 Ton/h	12,0 Ton/h
Geração de vapor anual	**94.480 Ton**	**89.394 Ton**
Geração de energia térmica anual	**67.163 MWh**	**74.460 MWh**
Consumo específico Combustível	144,465 kg/MW	126,263 m³/MW
Consumo anual de combustível	13.649.022 kg	11.287.146 m3
Custo de combustível c/ ICMS	R$ 0,985733 /kg	R$ 1,661518 /m3
Custo anual com Combustível	**R$ 13.454.291,86**	**R$ 18.753.796,22**
Investimento equipamentos e instalação	R$ 34.000.000	R$ 50.000.000
Custo com manutenção	R$ 15 /MWh	R$ 25 /MWh
Custo anual com manutenção	**R$ 1.007.444**	**R$ 1.861.500**
Custo total de geração anual	**R$ 14.461.736**	**R$ 20.615.296**
Custo de implantação	**R$ 48.461.736**	**R$ 70.615.296**
Economia	**R$ 22.153.561**	
	45,7%	
Payback simples	**2 anos**	

Tabela 7 - Fonte: Elaboração própria

5. Resultados e discussão

A comparação geral entre os dois combustíveis estudados resulta em uma grande vantagem para os pellets, pois os valores de conversão demonstram que a razão de proporção encontrada em literatura, que associa de 2,0 a 2,2kg de pellets equivalentes a 1m³ de gás natural, diminui nesse caso para 1,7 kg de pellets por m³ de gás. A tarifação comercial do gás natural implica em uma alta taxa de impostos e variação de preço elevada, enquanto os pellets, devido fatores citados como principalmente a baixa taxa de ocupação das fábricas e ausência de sazonalidade, pode se tornar ainda mais atrativo em uma ocasião de aumento do consumo interno.

A eficiência dos equipamentos queimadores aumenta o aproveitamento do combustível, aumentando o EROI e contribuindo efetivamente para diminuição das emissões de CO2. A maior dificuldade para um empreendimento seria a armazenagem dos pellets, porém o volume em relação à estrutura seria facilmente adaptada, no caso da indústria estudada, cerca de 1 carreta de pellets por dia.

5.1 O mercado mundial de pellets

De acordo com a literatura pesquisada, o consumo mundial de pellets tem aumentado nos últimos anos, fato que determinou significativo crescimento do mercado nas duas últimas décadas. A indústria é responsável pela maior parte do consumo (em torno de 55%), porém o segmento comercial e residencial apresenta forte perspectiva de crescimento nos próximos anos. Para atender à crescente demanda projetada, faz-se necessário que haja, também, proporcional incremento na produção industrial de pellets. Esse cenário cria oportunidade para alguns países africanos e para o Brasil, que se mostram como potenciais provedores da demanda de pellets, principalmente da Europa. Na Europa, a geração de energia com a utilização de pellets é comum, viável economicamente e incentivada por diversas ações que contribuem para impulsionar os negócios do setor; além do que, diversos países possuem normatização própria que estabelece os preceitos e parâmetros para produção de pellets. De acordo com o European Pellet Centre, hoje o pellet de madeira para fins energéticos é a biomassa sólida mais negociada no mundo. A União

Europeia figura como o maior mercado consumidor, tendo o Reino Unido, Dinamarca, Holanda, Suécia, Alemanha e Bélgica como os principais usuários de pellet de madeira da região. Canadá e Estados Unidos se destacam como grandes produtores e exportadores de pellets, abastecendo principalmente os países europeus. Os Estados Unidos dominam o mercado mundial desse biocombustível e sua produção vem crescendo exponencialmente, ano a ano, visando atender, principalmente, à crescente demanda europeia e novos mercados que estão se desenvolvendo, como é o caso do Japão e da Coreia do Sul. Verifica-se, ainda, sinalização de incentivo, em médio prazo, da produção de pellets por parte de países do Sudeste Asiático, bem como a expansão do mercado chinês.

5.2 A situação dos pellets no Brasil

O Brasil se destaca no uso da biomassa florestal em grande escala, porém sua participação no mercado de pellets é incipiente, apesar de o país desfrutar de fatores naturais favoráveis para a produção desse biocombustível. No entanto, as indústrias nacionais não contam com o necessário apoio do governo, falta organização da cadeia da matéria-prima e os produtores se deparam com entraves burocráticos e dificuldades no financiamento de máquinas e equipamentos para as plantas industriais. As fábricas nacionais utilizam, como um todo, apenas 25% da capacidade instalada; as fábricas fazem uso, quase que exclusivamente, de biomassa residual, fato que inviabiliza a produção em escala e impede que sejam desenvolvidos projetos de geração de energia a partir de biocombustíveis, apesar das demandas crescentes de pellets no exterior. Em 2013, o país contava com 14 fábricas, estando 11 em atividade, todas localizadas nas regiões Sul (PR, SC e RS) e Sudeste (MG e SP). Os produtores de pellets do Brasil destacam, dentre os principais problemas que afetam o mercado no país, a falta de uma política nacional de incentivo ao uso dos resíduos agroflorestais para geração de energia e os altos custos do transporte da matéria-prima para a fábrica e desta para o mercado consumidor, seja ele interno ou externo. Além disso, ainda há pouco conhecimento do produto, e do seu potencial energético, por parte da população.

6. Conclusão

Partindo da revisão de literatura realizada e dos resultados obtidos no estudo, pode-se verificar, ainda que de forma superficial, o crescente interesse na utilização do pellet a partir de biomassa florestal como fonte de energia alternativa, bem como o posicionamento e o comportamento dos principais atores do mercado nacional de pellets. Uma redução de aproximadamente 45% no custo operacional utilizando os pellets demonstram que a fonte pode e deve ser considerada na tomada de decisão em um projeto de energia. Fatores como a diminuição nas emissões de CO2 fazem com que os pellets apresentem performance elevada em relação ao gás natural. O Brasil conta com pouco mais de uma dezena de plantas industriais que produzem muito abaixo da capacidade instalada. Essa ociosidade operacional, aliada aos custos fixos da fábrica, traduz-se na elevação do custo da produção dos pellets, dificultando a concorrência com produtos de mercados mais desenvolvidos, como Estados Unidos, Canadá e alguns países da Europa. Nada obstante, o país possui elevado potencial para desenvolvimento de projetos com a utilização da referida fonte energética, necessitando, porém, de maior atenção e apoio por parte dos agentes governamentais e determinação, por parte dos empresários do setor, no sentido de elaborar projetos que demonstrem o potencial e a sustentabilidade da biomassa como fonte de energia limpa e renovável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2018 – Disponível em : https://ben.epe.gov.br/benrelatoriosintese.aspx- Acesso em 05/07/2018

COELHO, S. T. **- Artigo geral tema pellets dra. Suani biomassabr.pdf** disponível em: http://www.biomassabr.com/noticias - acesso em 10 mar 2018

ESCOBAR, J. F. – **woodpellets Brasil_2014.pdf** http://www.iee.usp.br/sites/default/files/ acessado em: 20 jul 2018

ESCOBAR, J. F. - **Situacao da biomassa lignocelulosica.pdf** disponível em: http://www.iee.usp.br/sites/default/files/biblioteca/producao/2013/ArtigosdePeriodicos acessado em: 12 mai 2018

http://www.no.fdsp-cn.com/news/szlh420-1t-h-wood-branches-pelleting-machine-5519039.html - acesso em: 10 jul 2018

BERNI, M. D. **Oportunidades e perspectivas para pellets de madeira**. Coluna Biomassa e Energia Renovável. Revista O Papel**,** v. 20, n. 5, p. 50-51. 2016.

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. O. **Setor de pellets de madeira no Brasil. Revista Ciência da Madeira**, v. 8, n. 1, p. 21-28. 2017.

http://pelletsdemadeira.blogspot.com.br/2016/11/mapa-dos-pellets-de-madeira-2016.html - Acesso em: 20 jul. 2018.

TAVARES, M. A. M. E.; TAVARES, S. R. L. **Perspectivas para a participação do Brasil no mercado internacional de pellets**. Holos, v. 5, n. 31, p. 292-306. 2015.

http://www.inee.org.br/biomassa_sobre.asp?Cat=biomassa

http://www.lippel.com.br/br/pellets-de-biomassa.html

http://www.energiafutura.com.br/diferencas.php

http://www.itapeva.unesp.br/Home/Pos-graduacao/EngenhariaMecanica/garcia_dp_me_guara_prot.pdf

https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/ubctheses/24/items/1.0135651

https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1155&context=open_access_theses

http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-9836/2017/0354-98361700099F.pdf

http://www.mma.gov.br/informma/item/4125-combustiveis-fosseis-sao-maiores-responsaveis-pelo-efeito-estufa - acesso em: 10 mar 2018

https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxwZWxsZXRzZGVtYWRlaXJhMjAxOHxneDoxYzdhM2NkZmQzMDNiOWFj - Acesso em 25 jul. 2018

http://www.fao.org/docrep/012/i1321e/i1321e03.pdf - acesso em 14 de ago 2018

Cresce a produção de pellets no Brasil. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320268403 - Acesso em: 18 jul. 2018.

WEO - World Energy Outlook 2015. OECD/IEA, International Energy Agency, 9 rue de la Fédération 75739 Paris, France