

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Rosiane Cristina da Silva
Taís Aparecida Rufino da Rocha

**ENERGIA RENOVÁVEL: Uso da Cogeração Baseada em
Biomassa da Casca de Arroz como Elemento Alternativo
para a Indústria Manufatureira Brasileira**

Taubaté – SP

2017

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Rosiane Cristina da Silva
Taís Aparecida Rufino da Rocha

**ENERGIA RENOVÁVEL: Uso da Cogeração Baseada em
Biomassa da Casca de Arroz como Elemento Alternativo
para a Indústria Manufatureira Brasileira**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Título de Bacharel em Engenharia
Mecânica do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof^a Maria Regina Hidalgo de Oliveira
Lindgren

Co-orientador: Prof. Paulo Cesar Corrêa Lindgren

Taubaté – SP

2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / Unitau - Biblioteca das Engenharias**

R672e	<p>Rocha, Taís Aparecida Rufino da Energia renovável: uso da cogeração baseada em biomassa da casca de arroz como elemento alternativo para a indústria manufatureira brasileira. / Taís Aparecida Rufino da Rocha, Rosiane Cristina da Silva. - 2017.</p> <p>41f. : il; 30 cm.</p> <p>Monografia (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2017 Orientador: Profa. Ma. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren. Coorientador: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.</p> <p>1. Cogeração. 2. Energias alternativas. Energia renovável. 4. Arroz. I. Título.</p>
-------	--

**ROSIANE CRISTINA DA SILVA
TAÍS APARECIDA RUFINO DA ROCHA**

**ENERGIA RENOVÁVEL: Uso da Cogeração Baseada em Biomassa da Casca de
Arroz como Elemento Alternativo para a Indústria Manufatureira Brasileira.**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Mecânica do Departamento
de Engenharia Mecânica da Universidade
de Taubaté.

Data: 19/10/2017

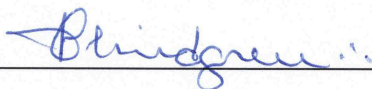
Resultado: 10,0

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Ma. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren

Universidade de Taubaté

Assinatura



Prof. Me Paulo Cesar Corrêa Lindgren

Universidade de Taubaté

Assinatura



AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus que nos deu a oportunidade de chegarmos onde chegamos, sempre cuidando de cada uma de nós.

Agradecemos aos nossos pais que sempre acreditaram em nós, nos deram força para continuar e nos moldaram para nos tornarmos quem somos hoje.

Agradecemos aos nossos familiares e amigos que compreenderam tantas vezes nossa ausência, sempre torcendo por nós, tornando nossa vida mais leve, mais suave.

Agradecemos aos nossos queridos professores, em especial à nossa orientadora, professora Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren e ao nosso co-orientador, professor Paulo Cesar Corrêa Lindgren.

RESUMO

O presente trabalho tem como foco principal o estudo de energias renováveis sob a ótica da cogeração, a fim de propiciar uma alternativa viável à indústria manufatureira brasileira. Fundamentando este trabalho, verifica-se que hoje há uma necessidade, mundial e crescente, em se buscar fontes alternativas de energia, como o Brasil, que apresenta uma diversidade de fontes energéticas pouco aproveitadas. Dentre as várias fontes estudadas, o uso da biomassa como fonte de energia surge com uma “engatinhante”, porém crescente alternativa para utilização, visando suprir as necessidades energéticas industriais, pois se trata de uma energia renovável que não apresenta índices significativos de poluição atmosférica, além de não danificar equipamentos industriais como caldeiras, fornos, etc.

Palavras-chave: Cogeração, Energias Alternativas, Energia Renovável, Arroz.

ABSTRACT

The present work has as main focus the study of renewable energies from the perspective of cogeneration, in order to provide a viable alternative to the Brazilian manufacturing industry. Based on this work, it is verified that today there is a worldwide and growing need to look for alternative sources of energy, such as Brazil, which presents a diversity of energy sources that are underutilized. Among the various sources studied, the use of biomass as a source of energy appears with a "crawler", but a growing alternative to use, aiming to meet the industrial energy needs, since it is a renewable energy that does not present significant indices of atmospheric pollution, besides not damaging industrial equipment such as boilers, ovens, etc.

Keywords: Cogeneration, Alternative Energy, Renewable Energy, Rice.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Oferta interna de energia (OIE)	24
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processos de conversão energética da casca de arroz	22
Figura 2 - Oferta Interna de Energia no Brasil 2015 (%)	25
Figura 3 - Sistema de cogeração “ <i>bottoming</i> ”	27
Figura 4 - Sistema de cogeração “ <i>topping</i> ”	28
Figura 5 - Central de ciclo combinado	30
Figura 6 – Gráfico da Produção Média Diária de Casca de Arroz e Rejeito....	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quadro da Produção Média Diária de Casca de Arroz e Rejeito..... 35

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Cálculo do potencial de geração de energia da casca de arroz.....	36
Equação 2 - Cálculo para energia vendida.....	37
Equação 3 - Cálculo para potência elétrica instalada.....	37
Equação 4 - Cálculo para o valor máximo de energia elétrica instalada.....	37
Equação 5 - Razão entre calor e energia elétrica produzida.....	37
Equação 6 - Cálculo para rendimento elétrico.....	37
Equação 7 - Cálculo para rendimento calorífico.....	37

LISTA DE SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CH₄ – Representação química do Metano

CO₂ – Representação química do Dióxido de Carbono

EUA – Estados Unidos da América

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MME – Ministério de Minas e Energia

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OIE - Oferta interna de energia

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PCI – Poder Calorífico Inferior

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia

SEM – Secretaria de Energia e Mineração

UHE - Usina Hidrelétrica de Energia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos.....	15
1.2	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	15
1.3	RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....	15
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	ENERGIAS RENOVÁVEIS: HISTÓRICO E CONCEITO.....	17
2.1.1	Energia Eólica.....	17
2.1.2	PCHs – Pequenas Centrais Hidrelétricas.....	18
2.1.3	Biomassa.....	19
2.2	USO DA BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL.....	20
2.2.1	Casca de Arroz.....	21
2.2.1.1	Processos Físicos.....	22
2.2.1.2	Processos Termoquímicos.....	22
2.2.1.3	Processos Biológicos.....	23
2.3	INDÚSTRIA MANUFATUREIRA E O USO DE ENERGIAS.....	23
2.3.1	A Matriz Energética Brasileira.....	24
2.4	COGERAÇÃO: PRINCÍPIOS E FATOS HISTÓRICOS.....	25
2.4.1	Ciclos Bottoming e Topping.....	27
2.4.2	Tecnologias para Aproveitamento Energético.....	28
2.4.3	Equipamentos.....	30
2.4.3.1	Turbinas a gás.....	30
2.4.3.2	Turbinas a vapor.....	31
2.4.3.3	Caldeira de Recuperação.....	31
2.4.3.4	Condensador.....	31
2.5	A PARTICIPAÇÃO DA COGERAÇÃO NAS FONTES DE ENERGIA INDUSTRIAL.....	32
3	METODOLOGIA	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento acelerado da população, o constante desenvolvimento tecnológico e o crescimento da economia mundial, é notável o consumo exagerado dos recursos naturais, com uma elevação na quantidade de rejeitos nocivos ao meio ambiente. Diante desse cenário há um crescimento na demanda por alimentos, produtos indispensáveis à existência humana e principalmente energia. Surge assim a necessidade de novos investimentos e pesquisas voltadas para o setor energético a fim de alimentar o considerável crescimento humano. Nem sempre a produção de energia visa o lado ambiental já que atualmente ainda é evidente que o principal contribuinte para o efeito estufa é o CO₂ liberado na atmosfera devido à queima de combustíveis fósseis.

O aumento dos custos que envolvem a energia, a redução das emissões de gases do efeito estufa, a escassez do petróleo e a consciência de se buscar um ambiente mais saudável são questões a serem consideradas na busca por uma matriz energética que utiliza recursos renováveis. A geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis tem se mostrado importante e eficiente na matriz energética brasileira e se tornará notável em nível global nas próximas décadas, devido à preocupação com as questões ambientais e o aquecimento global, juntamente com a ideia sobre a promoção do desenvolvimento envolvendo processos sustentáveis que vêm estimulando pesquisas e estudos de desenvolvimento tecnológico.

No Brasil e no mundo a biomassa tem despertado interesse e já é considerada como uma das principais alternativas para a melhoria nos setores energéticos e para a diminuição na utilização de recursos não renováveis.

Nos dias atuais, a biomassa é avaliada como uma das fontes para a produção de energia com maior potencial de crescimento para os próximos anos (MME, 2009). No Brasil o destaque é a biomassa da cana-de-açúcar, mas neste trabalho será abordada a biomassa gerada a partir da casca de arroz, tendo como objetivo apresentar o conceito de cogeração e o uso de energias renováveis a fim de

propiciar uma alternativa viável à indústria no Brasil, que apresenta uma diversidade de fontes energéticas pouco aproveitadas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo a fim de conhecer as fontes alternativas de energia disponíveis no Brasil, com foco nos sistemas de cogeração a partir da utilização da biomassa de casca de arroz como fonte de produção de energia.

1.1.2 Objetivos Específicos

Por meio da pesquisa literária, reunir dados atuais sobre a contribuição da cogeração para a produção de energia limpa, com foco no uso da biomassa de casca arroz.

Realizar análises termodinâmicas dos sistemas propostos, verificando o processo, a viabilidade e os custos envolvidos.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho, apesar de oferecer uma visão geral sobre as energias alternativas disponíveis, tem como principal função apresentar um estudo da cogeração para a produção de energia a partir do uso da biomassa utilizando-se casca de arroz, não abordando o uso de outras matérias-primas.

1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Em busca de melhorias nos sistemas energéticos existentes, a procura e desenvolvimento de novas fontes de produção de energia tem sido cada dia mais importantes, com o objetivo de minimizar as emissões de gases de efeito estufa, gerados em grandes quantidades pela utilização de combustíveis fósseis, além disso, com o objetivo de se tornar uma alternativa viável para atendimento a demanda da população pelo consumo de energia.

Muitos estudos têm buscado formas de garantir à humanidade a disponibilidade de energia. As fontes de energia renováveis são as melhores alternativas disponíveis para o desenvolvimento sustentável e equilíbrio da natureza, já que estas podem ser consideradas de extrema importância.

No Brasil existe um enorme potencial a ser explorado, as reservas no país formam um dos maiores aglomerados de riquezas ambientais do planeta, e apesar de todas as outras fontes disponíveis, a biomassa tem se destacado por ser uma alternativa economicamente viável. A utilização da biomassa para a geração de energia é uma das bases para a adoção de um modelo energético sustentável, que prioriza a diversificação das fontes, a descentralização da geração de energia, a preservação ambiental e o atendimento à população.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo que no capítulo um encontra-se a Introdução, Objetivos, Delimitação e Relevância do estudo realizado.

No segundo capítulo, denominado de Revisão Bibliográfica, é retratado num contexto geral quais são as fontes de energias alternativas disponíveis com foco principal na biomassa gerada a partir da casca de arroz, a matriz energética brasileira, o uso de energias renováveis na indústria, a importância e tecnologias da cogeração de energia.

No capítulo três tem-se a Metodologia aplicada para o desenvolvimento deste trabalho.

No quarto e quinto capítulos são abordados: Resultados e Discussão e Conclusão do trabalho, respectivamente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS: HISTÓRICO E CONCEITO

Devido à crise do petróleo na década de 1970, a busca para a substituição desse produto se tornou evidente e vem sofrendo grandes modificações com o decorrer dos anos. No Brasil os estudos para a substituição do petróleo giram em torno de fontes substitutivas como o álcool, xisto, metanol, etc (KRUMMENAUER, 2009).

O PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia) compra a energia gerada a partir de fontes limpas como as provenientes de centrais eólicas, biomassa e PCHs - Pequenas Centrais Hidrelétricas (KRUMMENAUER, 2009).

2.1.1 Energia Eólica

O aproveitamento da energia gerada a partir do vento foi desenvolvido há séculos atrás, para este aproveitamento a energia cinética contida nos ventos é convertida em energia mecânica rotacional nas pás de uma turbina, assim realizando trabalho mecânico ou conversão em energia elétrica (MELO, 2012).

O uso do vento para fins elétricos data do final do século XIX na Dinamarca e nos EUA, com a utilização de máquinas que geravam eletricidade a partir do vento, conhecidos como aerogeradores. A eletricidade começa a ser utilizada para fins comerciais no final do século XIX. Com a crise do petróleo de 1973 os EUA começam então, a apoiar a pesquisa e o desenvolvimento da energia eólica (TOLMASQUIM, 2016).

Entre os anos de 1980 a 1990 os EUA já possuem instalações e nesse mesmo período a Europa começa a investir em energia eólica devido aos altos custos da energia elétrica, buscando a redução da dependência energética e por políticas de incentivo ao uso de recursos endógenos. No final da década de 1990 o mercado de energia eólica se diversificou pelo mundo, surgiram então fabricantes e instalações na Ásia e de maneira mais “engatinhante”, na América Latina e África (TOLMASQUIM, 2016).

Em 2010 a produção de energia eólica já é considerada uma energia renovável de maior relevância, sendo a principal contribuinte para a redução de emissões de gases de efeito estufa (TOLMASQUIM, 2016).

A energia eólica é a que desperta o maior interesse entre as energias renováveis existentes devido ao seu estágio elevado de maturidade internacional e pela facilidade e agilidade de instalação. A potência proveniente dos ventos é convertida em potência mecânica devido o movimento dos chamados cata-ventos ou moinhos. O conjunto denominado aerogerador é composto por uma turbina eólica que é acoplada a um gerador por meio de um eixo. Quando o eixo entra em movimento, ocorre então a transformação eletromecânica de energia, além disso, o vento deve possuir velocidade, frequência e continuidade (KRUMMENAUER, 2009).

2.1.2 PCHs – Pequenas Centrais Hidrelétricas

Segundo a Resolução ANEEL n° 394, de 4 de dezembro de 1998, consideram-se PCHs - Pequenas Centrais Hidrelétricas, os empreendimentos hidrelétricos com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, com área total de reservatório igual ou inferior a 3,0 km², destinados à produção independente, autoprodução ou produção independente autônoma (KRUMMENAUER, 2009).

Geralmente uma PCH opera com um fio d'água, ou seja, o reservatório não permite a regularização do fluxo d'água, fazendo com que em ocasiões de estiagem a vazão disponível seja menor que o necessário, dessa forma forçando as turbinas a trabalharem abaixo da sua capacidade, porém, há situações que as vazões são maiores quando comparadas a vazão correspondente a capacidade de operação dos equipamentos, permitindo que ocorra a passagem da água pelo vertedouro, que tem a função de controlar o nível da água no reservatório. Devido a essas questões, o custo da energia produzida em uma PCH é maior do que em uma UHE (Usina Hidrelétrica de Energia), já que o reservatório é operado para minimizar a ociosidade dos equipamentos e os desperdícios de água (KRUMMENAUER, 2009).

Mesmo com o descrito acima, as PCH's são consideradas instalações que resultam em menores impactos ao meio ambiente, essas pequenas hidrelétricas são

utilizadas em rios de médio e pequeno porte que possuem desníveis no decorrer do seu leito, o que contribui de maneira significativa para a geração de potência hidráulica para a movimentação das turbinas (KRUMMENAUER, 2009).

A hidroeletricidade é considerada uma tecnologia madura e altamente eficiente, mas ainda existem possibilidades de desenvolvimento tecnológico, e principalmente estudos e busca por tecnologias que minimizem a degradação ambiental no que diz respeito as suas instalações e funcionamento (TOLMASQUIM, 2016).

2.1.3 Biomassa

A biomassa é considerada uma das opções mais interessantes, devido o baixo custo e os resultados favoráveis que vem apresentando em estudos.

O uso da biomassa como fonte de energia surgiu nos primórdios da humanidade, o biogás, por exemplo, já é conhecido há muito tempo, mas o desenvolvimento dos processos para obtenção é algo relativamente recente. Somente a partir de 1976 os estudos relativos ao seu uso e aproveitamento foram intensificados (KRUMMENAUER, 2009).

A biomassa pode ser obtida de vegetais não-lenhosos, de vegetais lenhosos, como é o caso da madeira e seus resíduos, e também de resíduos orgânicos como os resíduos agrícolas, urbanos e industriais, além disso, também se obtém biomassa a partir dos biofluidos, como os óleos vegetais, como por exemplo, a mamona e a soja (CORTEZ, et.al, 2008).

O uso da biomassa para fins energéticos é classificado em três categorias: florestal, agrícola e rejeitos urbanos, onde, na biomassa energética agrícola, estão incluídas as culturas agroenergéticas e os resíduos e subprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal. O potencial energético de cada tipo depende da matéria-prima e da tecnologia utilizada no processo. A transformação da biomassa é feita por meio de processos termoquímicos, bioquímicos e físico-químicos e para cada cenário deve ser observado a viabilidade técnica e econômica

de cada tipo de biomassa e da tecnologia aplicada visando a otimização dos resultados (CARDOSO, 2012).

2.2 USO DA BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL

No Brasil, assim como no resto do mundo, a utilização da biomassa como fonte renovável de energia, dá-se através do uso de restos de madeira, bagaço de cana, lenha, carvão vegetal, dejetos de animais, casca do arroz, álcool e outras fontes primárias de energia, tornando-se um negócio rentável para a sociedade, gerando emprego e renda, o que contribui para o aumento da economia (CARDOSO, 2012).

Pode-se dizer que desde a metade do século XX o cenário está em transformação, e a população começou a perceber o uso abusivo de energia e o consumo descontrolado dos recursos, fazendo com que se pensasse em questões como o aquecimento global e a degradação do meio ambiente (CARDOSO, 2012).

No final do século XX, houve mudança no cenário de produção de energia com a implantação de legislações ambientais. A preocupação com o meio ambiente para as gerações futuras tornou-se um tópico de destaque em qualquer projeto de geração de energia (CARDOSO, 2012).

Devido aos fatores acerca da preservação ambiental se faz necessário a busca de alternativas energéticas sustentáveis visando atender a demanda crescente de energia no Brasil e no mundo. Muitas alternativas surgiram como a energia solar, a energia eólica, a energia atômica e a energia proveniente das biomassas. Todas as alternativas possuem vantagens e limitações que devem ser estudadas e analisadas, verificando-se a melhor relação custo-benefício para cada aplicação (CARDOSO, 2012).

A principal fonte de energia renovável no Brasil proveniente da biomassa é a de cana-de-açúcar, que é destaque no aumento da perspectiva de negociação de projetos para a comercialização de créditos de carbono. Esses créditos são certificados de redução de emissões de poluentes, que fazem parte do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (da sigla MDL), um documento do Protocolo de Kyoto,

que tem o objetivo de auxiliar na redução de gases poluentes. Em relação à efetivação da cogeração para esse tipo de biomassa ainda existe ausência de políticas que auxiliem o sistema de comercialização de excedentes energéticos, em consequência disso, falta garantia para efetivação de um sistema estável e de longo prazo, que garanta às empresas o retorno dos investimentos exigidos para a adequação desse novo quadro energético (FRASSON, et.al, 2009).

2.2.1 Casca de Arroz

O arroz é uma gramínea anual que normalmente cresce até cerca de 1,0 a 1,8 metros de altura. A principal espécie de arroz é a *oryza sativa*, mas no total tem-se cerca de 23 espécies do gênero. A palha de arroz (0,38 tonelada para cada tonelada de arroz colhido) é o resíduo que fica no campo após a colheita, a casca (cerca de 22% do peso total do arroz com casca) é o resíduo gerado após o processamento industrial do grão (CARDOSO, 2012).

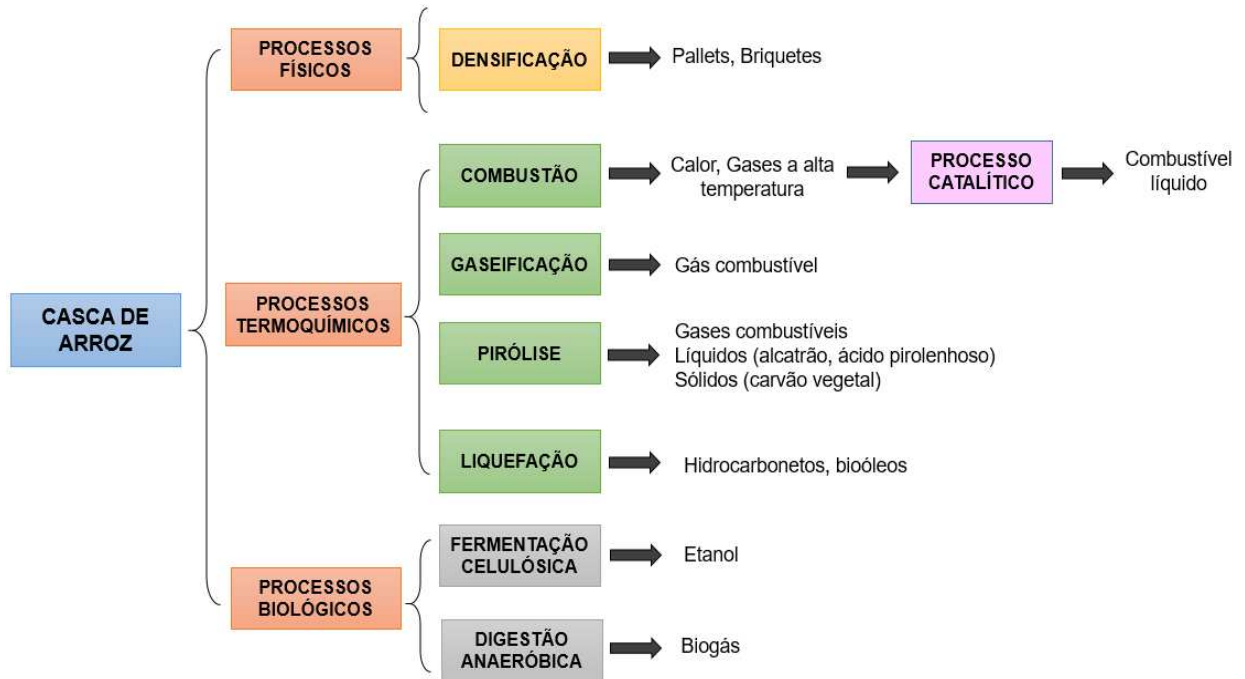
A produção de energia gerada a partir da casca de arroz é uma boa alternativa levando em consideração o fator tecnológico, econômico e ecológico, pois já existe a tecnologia necessária para a conversão, a matéria-prima é abundante em algumas regiões do país e, além disso, o CO₂ gerado durante o processo retorna para o ciclo de carbono da biosfera terrestre (FOLETTTO, 2005).

Segundo Zuquinal (2016), a casca de arroz também pode ser utilizada na obtenção do silício, que é muito utilizado na produção de componentes eletrônicos, na produção de concreto, ração animal, dentre outros.

O descarte inadequado da casca de arroz pode contribuir para a degradação ambiental, se for descartado no solo a céu aberto, a casca demorará cerca de cinco anos para se decompor, gerando uma grande quantidade de metano, um dos gases causadores do efeito estufa (CARDOSO, 2012).

Pode-se observar na Figura 1 as diversas formas de aproveitamento energético para a casca de arroz e os respectivos produtos obtidos a partir das tecnologias utilizadas, dentre os processos mencionados abaixo, os mais utilizados são a combustão e a densificação (MAYER, HOFFMANN e RUPPENTHAL, 2006).

Figura 1: Processo de Conversão energética da casca de arroz



Fonte: Mayer, Hoffmann e Ruppenthal (2006), adaptado pelas autoras

2.2.1.1 Processos Físicos

A Briquetagem é o processo de fabricação de briquete, produto de alto teor calórico, obtido pela compactação dos resíduos de madeira e cascas vegetais, provenientes do desdobramento da tora. O produto obtido por esse processo é considerado uma lenha ou carvão ecológico de alta qualidade, devido ao fato de que no processo de briquetagem ocorre a destruição da elasticidade natural das fibras do mesmo. Essa destruição pode ser realizada em alta pressão e/ou alta temperatura. O processo provoca a plastificação da lignina, que atua como elemento aglomerante das partículas dos resíduos de madeira (ZAGO, *et.al*, 2010).

2.2.1.2 Processos Termoquímicos

Dentre os processos citados na Figura 1, destaca-se a Combustão que segundo Mayer, Hoffmann e Ruppenthal (2006), ocorre de maneira controlada e pode ser utilizada na secagem do grão por meio da utilização de gases quentes e na produção de vapor que posteriormente pode ser empregado na produção de arroz parborizado. O calor gerado no processo de beneficiamento do arroz pode ser obtido

a partir de diferentes tipos de equipamentos, possibilitando a geração simultânea com a eletricidade, por exemplo: gerador de vapor, motor Stirling, fornalhas, etc.

A geração de eletricidade através da combustão da casca de arroz resumidamente ocorre a partir da queima do resíduo, que gera o calor necessário para o aquecimento da caldeira, dessa forma a caldeira aquecida produz o vapor necessário para acionamento da turbina, que deve estar associada a um gerador, então por fim obtém-se energia elétrica (ZUQUINAL, 2016).

2.2.1.3 Processos Biológicos

São processos que utilizam enzimas e microrganismos que metabolizam materiais orgânicos complexos, utilizados na produção de metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e etanol (MAYER, HOFFMANN e RUPPENTHAL, 2006).

2.3 INDÚSTRIA MANUFATUREIRA E O USO DE ENERGIAS

São definidas como indústrias manufatureiras as indústrias que tratam da transformação de matérias-primas em produtos acabados, para serem distribuídos aos consumidores finais, [...] a manufatura é o setor que mais demanda e oferta insumos, ou seja, é o que realiza mais trocas complexas com os demais. Além disso, como na manufatura as economias de escala se fazem mais presentes, o crescimento da demanda, impactando positivamente o crescimento do produto, tem o efeito de aumentar os ganhos de produtividade do setor manufatureiro, disseminando esses ganhos de eficiência para toda a economia (LAMONICA, 2013).

Como exemplo pode-se citar a Apple, fabricante de produtos eletrônicos, que terá sua própria usina de energia renovável na Califórnia, EUA. Nesse investimento, a Apple firmou um contrato com a First Solar para comprar, a partir do final de 2016, quase a metade da energia produzida pela Califórnia Flats, uma fazenda de energia solar. Segundo os termos do acordo, a Apple irá pagar US\$ 848 milhões pela eletricidade ao longo de 25 anos, recebendo a produção total da fazenda ao final da vigência do acordo. Esse é um dos maiores contratos comerciais de energia limpa firmados até o momento. Em 2015, 11 empresas compraram 3,23 GW em projetos,

ou o equivalente a cinco usinas termelétricas, e muito mais que os 1,18 GW registrados no ano anterior (SEM, 2016).

2.3.1 A Matriz Energética Brasileira

No Brasil a produção de energia limpa ainda vem engatinhando, mas mesmo assim o país ainda aparece em vantagem quando comparado com outros países mais desenvolvidos, isso devido ao fato do Brasil possuir uma matriz energética mais renovável, como pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1: Oferta interna de energia (OIE).

ESPECIFICAÇÃO	mil tep		15/14 %	Estrutura %	
	2014	2015		2014	2015
NÃO-RENOVÁVEL	185.070	175.957	-4,9	60,6	58,8
PETRÓLEO E DERIVADOS	120.327	111.626	-7,2	39,4	37,3
GÁS NATURAL	41.373	40.971	-1,0	13,5	13,7
CARVÃO MINERAL E DERIVADOS	17.521	17.675	0,9	5,7	5,9
URÂNIO (U308) E DERIVADOS	4.036	3.855	-4,5	1,3	1,3
OUTRAS NÃO-RENOVÁVEIS(*)	1.814	1.830	0,9	0,6	0,6
RENOVÁVEL	120.446	123.255	2,3	39,4	41,2
HIDRÁULICA E ELETRICIDADE	35.019	33.897	-3,2	11,5	11,3
LENHA E CARVÃO VEGETAL	24.936	24.519	-1,7	8,2	8,2
DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	48.128	50.648	5,2	15,8	16,9
OUTRAS RENOVÁVEIS	12.363	14.191	14,8	4,0	4,7
TOTAL	305.516	299.211	-2,1	100,0	100,0
<i>dos quais fósseis</i>	<i>181.034</i>	<i>172.101</i>	<i>-4,9</i>	<i>59,3</i>	<i>57,5</i>

(*) Gás industrial de alto forno, aciaria, coquearia, enxofre e de refinaria

Fonte: MME (2006)

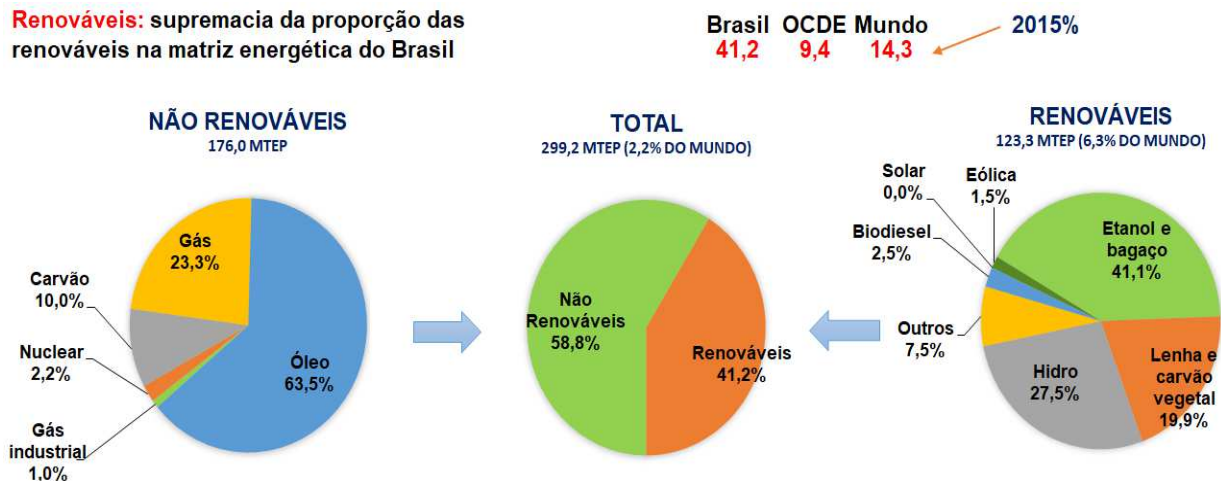
A oferta hidráulica, a exemplo de anos anteriores, manteve taxa negativa de 3,2% (-5,6% em 2014), em razão da continuidade do baixo regime de chuvas. No agregado “Lenha e Carvão Vegetal”, com recuo de 1,7%, a produção de ferro-gusa, com -4,1%, teve a maior contribuição relativa. Neste contexto, as fontes renováveis passaram a uma participação de 41,2% na demanda total de energia de 2015 (OIE), ante os 39,4%, verificados em 2014 (MME, 2016, p.4).

A Figura 2 ilustra a estrutura da OIE de 2015.

Observa-se, no gráfico central, as vantagens comparativas da participação de 41,2% das fontes renováveis na matriz energética

brasileira, contra apenas 9,4%, nos países da OCDE (na maioria ricos), e de 14,2%, na média mundial. No gráfico de renováveis, o etanol e o bagaço de cana detêm a maior participação, de 41,1%. (MME, 2016, p.4).

Figura 2. Oferta Interna de Energia no Brasil 2015 (%)



Fonte: MME (2006) – Adaptado pelas autoras

2.4 COGERAÇÃO: PRINCÍPIOS E FATOS HISTÓRICOS

A cogeração é um processo de produção de energia, definida em inglês como *CHP (combined heat and power)*, a cogeração é definida como a geração simultânea e combinada de energia térmica e elétrica ou ainda pode ser mecânica, tem como vantagem principal o maior usufruto da energia, é aplicável no setor industrial e terciário (BRASIL, 2005).

Em plantas termelétricas comuns a eficiência global na produção de energia elétrica ou mecânica atinge valores entre 34% a 50%, pois os processos que estão presentes nesses tipos de plantas perdem muito calor para a atmosfera ou através de torres de resfriamento. A eficiência global pode ser entendida como a razão entre a energia útil produzida e a energia suprimida no combustível (SILVEIRA, 1994).

Em comparação, nas plantas de cogeração, calor e potência elétrica ou mecânica são produzidas pela queima de um único combustível, acontece nos processos a recuperação de parte do calor rejeitado. Assim a eficiência global desse

processo atinge valores de 50% a 90%, dependendo da tecnologia utilizada (SILVEIRA, 1994).

A cogeração apresenta diversos fatores que contribuem para a sustentabilidade e a preservação ambiental, além disso, possuem alguns aspectos que vem atraindo empresas, como a redução de custos. Outro ponto importante é a auto-produção de energia e a confiabilidade, obtida de equipamentos confiáveis e de combustíveis que não estão sujeitos a interrupções que, em algumas regiões, ocorrem no fornecimento de energia. Para a avaliação da eficiência desse processo é necessário a utilização dos fundamentos da Termodinâmica, que é entendida como a ciência que estuda as relações entre o calor trocado e o trabalho realizado em determinado processo que relaciona a presença de um corpo ou sistema e um meio exterior, a partir desses fundamentos é possível quantificar e verificar a qualidade da energia gerada no processo, além disso, é possível explicar a eficiência de todos os sistemas que envolvem transformações energéticas (SANTOS e NOVO, 2008).

Na Europa, segundo o item 4 do artigo 7 do Decreto-lei 538/99, entende-se por cogeração de energia elétrica a atividade em que o cogrador forneça a rede anualmente, menos de 60% da energia elétrica produzida pela instalação de cogeração.

Os primeiros sistemas de cogeração conhecidos surgiram em meados de 1870, realizados por máquinas a vapor de eixo alternativo acopladas a geradores elétricos, a finalidade principal dessas instalações era o aquecimento de ambientes. Na Europa, nas décadas de 1920 e 1930, houve um desenvolvimento dos sistemas de cogeração também para essa finalidade. Nos Estados Unidos esses sistemas foram desenvolvidos para fins de produção de energia elétrica, alguns pequenos e médios consumidores de energia passaram a possuir geração própria, utilizando centrais de cogeração. Na década de 1940 a cogeração era responsável por 50% da energia elétrica produzida no país, mas com o desenvolvimento de novas tecnologias e novos conceitos outros sistemas para a geração de energia elétrica surgiram. Houve então a instalação de hidrelétricas e termelétricas, nucleares, movidas a carvão, gás natural ou a óleo combustível, que passaram a fornecer energia barata e em grande quantidade, assim no início da década de 1970 a

cogeração passa a representar apenas 3% da eletricidade gerada nos Estados Unidos (SANTOS e NOVO, 2008).

2.4.1 Ciclos *Bottoming* e *Topping*.

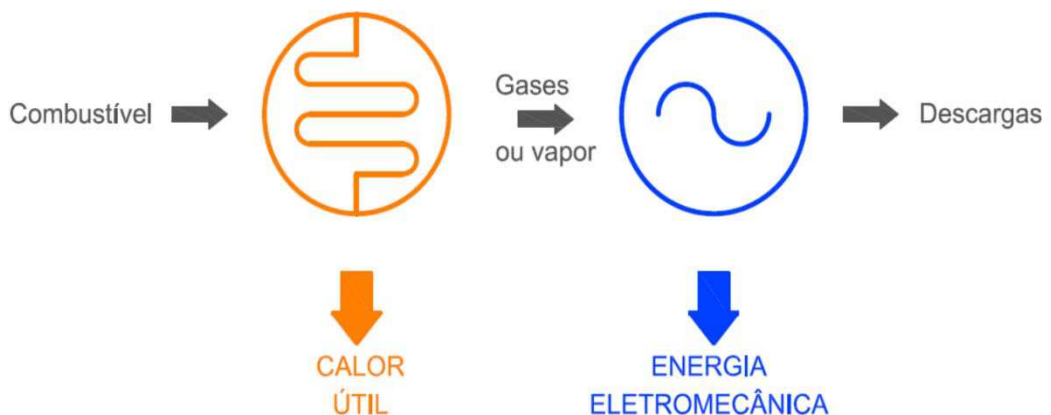
As tecnologias de cogeração são agrupadas em dois grupos de acordo com a ordem relativa de geração de calor e potência: Ciclos *Bottoming* e Ciclos *Topping*.

Conforme Figura 3, no sistema do tipo Ciclo *Bottoming* (a jusante) a geração de energia elétrica ou mecânica é realizada depois da produção de energia térmica. Esse processo recupera o calor residual, que geralmente é rejeitado e descarregado na atmosfera, para a geração de vapor ou energia elétrica ou mecânica (SILVEIRA, 1994).

As tecnologias utilizadas nesse ciclo são mais adequadas para as instalações industriais onde há grandes quantidades de fluxos residuais disponíveis em níveis de temperatura superiores a 350 °C, exemplo de instalações que se enquadram nesse tipo de instalações são indústrias químicas, metalúrgicas, de vidro, etc (SILVEIRA, 1994).

Para esse ciclo de cogeração são utilizadas turbinas a vapor e a gás.

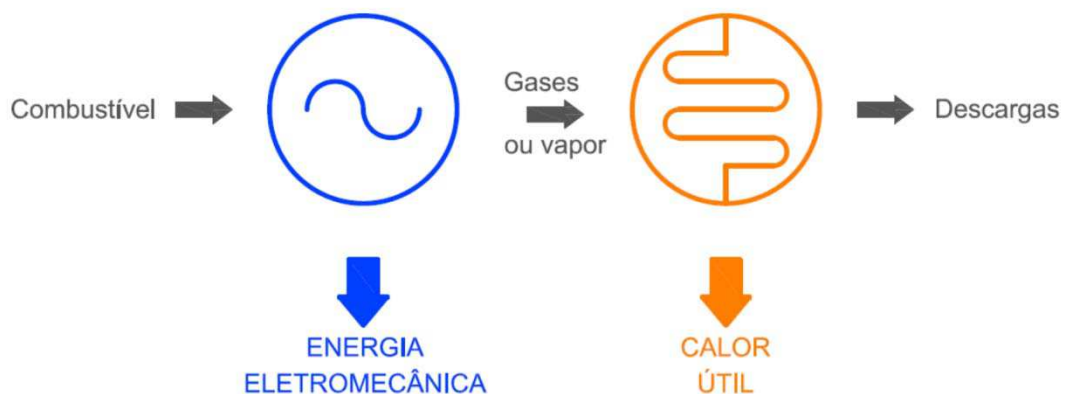
Figura 3. Sistema de cogeração “*bottoming*”



Fonte: Barja (2006)

Por outro lado, quando o calor rejeitado pelo sistema de geração de potência é empregado para responder aos requisitos de energia térmica do processo, a geração de energia elétrica ou mecânica antecede a produção de energia térmica, o sistema é do tipo Ciclo *Topping* (a montante), conforme representado na Figura 4, onde a utilização do combustível está relacionada com a geração de energia. O calor fornecido geralmente está na condição de vapor, podendo também ser fornecido como água ou ar quente ou frio. Para esse ciclo de cogeração são utilizadas turbinas a vapor e a gás e motores de combustão interna (ciclo diesel ou ciclo Otto) (SILVEIRA, 1994).

Figura 4. Sistema de cogeração “topping”



Fonte: Barja (2006)

2.4.2 Tecnologias para Aproveitamento Energético

Segundo Santos (2013), geralmente as unidades de cogeração mais simples, são constituídas de caldeira e turbina a vapor, onde é utilizado o ciclo termodinâmico de *Rankine*. Nesse tipo de sistema o combustível é submetido à queima em uma caldeira e o vapor produzido é direcionado a uma turbina a vapor, que liga o gerador elétrico, esse vapor atende a solicitação de energia térmica. A vantagem desse processo é a alternativa de se usar diversos combustíveis, como a lenha, o gás, o carvão, cascas de arroz, óleo combustível, bagaço de cana, resíduos orgânicos, etc.

Um sistema mais eficiente é composto por turbina ou motor a gás integrado a uma caldeira de recuperação. Nesse tipo de sistema o combustível é introduzido

para a queima na câmara de combustão de uma turbina ou nos cilindros de um motor a pistão, que tem a função de acionar o gerador. Os gases gerados e rejeitados pelas máquinas são então direcionados a caldeira de recuperação, que faz uso do calor sensível (SANTOS, 2013).

No ciclo *Rankine*, da perspectiva do fluido de trabalho, ocorrem quatro processos: ganho de calor ao passar pela caldeira, expansão isentrópica (a entropia do sistema permanece constante) através da turbina, rejeição de calor através do condensador e compressão isentrópica através da bomba (SANTOS, 2013).

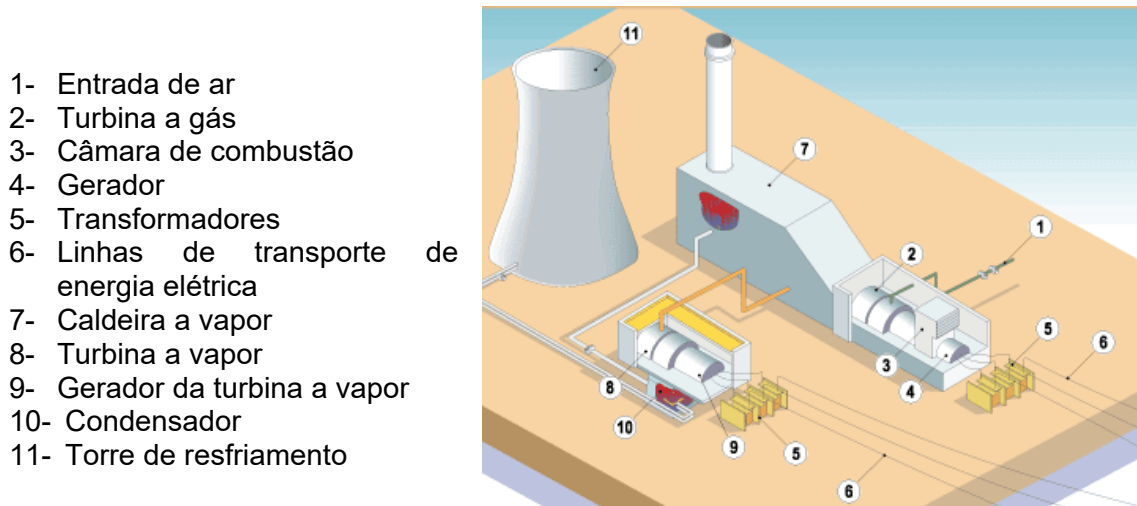
Ainda segundo Santos (2013) o ciclo *Brayton* é um sistema de potência com turbina a gás, normalmente é composto por quatro elementos básicos, um compressor, um trocador de calor (onde o fluido recebe calor), uma turbina e um segundo trocador de calor (onde ocorre a rejeição de calor). O fluido de trabalho é o ar. Nesse sistema o ar em condição ambiente passa pelo compressor, onde ocorre compressão adiabática e isentrópica com aumento de temperatura e entalpia. O ar comprimido é direcionado a câmara de combustão entre o compressor e a turbina, onde se mistura ao combustível, possibilitando queima e aquecimento, à pressão constante. Ao sair da câmara de combustão, os gases, com elevada pressão e temperatura se expandem conforme passam pela turbina sem variação de entropia. A produção de energia mecânica ocorre devido ao trabalho que o fluido exerce sobre as palhetas, com a redução da pressão e da temperatura. De forma a finalizar o ciclo, a última etapa consiste em um ciclo termodinâmico aberto, onde o ar passa pelo trocador de calor de rejeição e não retorna para o compressor, o que representa a transferência de calor do fluido para o ambiente.

De acordo com o mostrado na Figura 5, o ciclo combinado consiste na junção dos ciclos *Brayton* e *Rankine*, de forma a aumentar a eficiência do conjunto, usam-se turbinas a gás e a vapor associadas em uma única planta, ambas gerando energia elétrica a partir da queima do mesmo combustível (SANTOS, 2013).

Ao invés de se ter uma caldeira para entregar calor ao fluido de trabalho do ciclo *Rankine*, se tem um regenerador, ou caldeira de recuperação, que tem a função de extrair calor proveniente do ar de exaustão da turbina do ciclo *Brayton* e

entregá-lo ao fluido de trabalho do ciclo *Rankine*. Nesse processo o ciclo *Brayton* é nomeado como ciclo superior e o ciclo *Rankine* como inferior (SANTOS, 2013).

Figura 5. Central de ciclo combinado



Fonte: UNESA Asociación Española de la Industria Eléctrica.

2.4.3 Equipamentos

A seguir estão listados os principais equipamentos que fazem parte dos sistemas de cogeração de energia, quais sejam: turbinas a gás, turbinas a vapor, caldeira de recuperação e condensador.

2.4.3.1 Turbinas a gás

São equipamentos térmicos que transformam a energia provinda da combustão em energia mecânica, essa energia é utilizada para acionamento de um gerador elétrico, ou de um compressor ou outra máquina que exija um acionador. É composto por três componentes principais: compressor de ar, câmara de combustão e turbina propriamente dita. Esses três equipamentos formam o ciclo termodinâmico a gás, conhecido como ciclo *Brayton* (BRASIL, 2005). Nesse equipamento acontece a expansão do fluido de trabalho e a extração de trabalho, gerando um volume de controle e balanços de massa e energia (SANTOS, 2013).

2.4.3.2 Turbinas a vapor

Geralmente são aplicadas em sistemas de cogeração *bottoming* ou em ciclo combinado (*Brayton / Rankine*). Seu funcionamento é parecido com o funcionamento da turbina a gás, porém nesse caso, o vapor superaquecido entra na turbina já com a energia que requerida para o acionamento dos rotores. O vapor pode ser removido do sistema com temperatura e pressão, podendo ser empregado no processo, ou no estado conhecido como "exausto", até se tornar líquido (água) no condensador. Sua principal vantagem, em comparação com a turbina a gás, é a baixa manutenção, já que o fluido de trabalho está limpo e em temperatura um pouco mais baixa, além disso, se este for sempre seco e o equipamento passar por manutenções preventivas e preditivas, aumenta-se a vida útil do equipamento (BRASIL, 2005).

2.4.3.3 Caldeira de Recuperação

Sua principal função é aproveitar o calor da turbina a gás, para a produção de vapor. Os gases quentes são direcionados da descarga do acionador para a caldeira, entre esses dois equipamentos é necessária a instalação de uma válvula divertere, um atalho para uma chaminé (de *by pass*). Os gases quentes passam pela caldeira, passando pelas serpentinas para a evaporação da água, o vapor então vai para o "tubulão" superior do qual é retirado para passar novamente por serpentinas internas, fazendo com que o vapor se torne seco e superaquecido, e enfim é destinado para uso. A caldeira de recuperação é conhecida por fazer a transferência do calor principalmente por meio da convecção (BRASIL, 2005).

2.4.3.4 Condensador

Nesse equipamento ocorre a rejeição do calor do fluido de trabalho proveniente da turbina na forma de vapor, ou mistura (vapor e líquido saturado) para outro fluido conhecido como fluido de arrefecimento. Este é considerado um ciclo fechado, nessa etapa todo o vapor é transformado em líquido saturado e é bombeado novamente a caldeira (SANTOS, 2013).

2.5 A PARTICIPAÇÃO DA COGERAÇÃO NAS FONTES DE ENERGIA INDUSTRIAL

Existem muitos processos que demandam calor a algum nível de temperatura, seja em aplicações industriais ou comerciais. Por esse motivo a aplicação da cogeração merece ser estudada, onde a relação eletricidade/calor, a intensidade do uso e o nível de temperatura definirão a tecnologia a ser utilizada (BARJA, 2006).

Os processos de cogeração podem ser aplicados em diferentes setores de atividades:

No setor industrial, a cogeração é utilizada para a geração de calor em processos e produção de vapor (indústrias químicas, petroquímicas, farmacêuticas, etc). Ainda no mesmo setor essa tecnologia pode ser utilizada para a geração de energia térmica na forma de vapor (indústria de vidro, de alimentos, cerâmica, etc).

Além disso, é utilizada no setor terciário, comércio e serviços para aplicações em ar-condicionado central, aquecimento de água, e energia elétrica (shoppings, centros comerciais, hotéis, hospitais, etc) (BRASIL, 2005).

A viabilidade para sistemas de cogeração deve focar em sua fase analítica o entendimento e a mensuração de rendimento dos equipamentos e matérias-primas utilizados na planta em questão. É necessário que haja uma convergência entre disponibilidade de matéria-prima (especialmente o combustível a ser utilizado) e a planta de forma a otimizar a estrutura para obtê-la diminuindo investimentos e, desta maneira, o tempo de retorno sobre eles. Os equipamentos planejados para atender à produção de energia devem adequar-se a uma planta industrial calculada em função do potencial de demanda energética que se espera obter - tanto as formas de energia deslocadas para os próprios processos industriais internos quanto à energia que se espera poder repassar às linhas de distribuição mensurada em função do gasto interno e da demanda existente no cenário energético regional e nacional (Cogeração USP, 2013, p. 18).

3 METODOLOGIA

Esse trabalho tem como principal objetivo proporcionar informações acerca das tecnologias disponíveis para a obtenção de energia a partir da cogeração, ressaltando a biomassa oriunda da casca de arroz. Do ponto de vista dos objetivos apresentados, esse trabalho se enquadra em pesquisa exploratória e no que se refere aos procedimentos técnicos utilizados para o desenvolvimento, este também se enquadra em pesquisa bibliográfica.

As pesquisas exploratórias buscam uma abordagem do fenômeno pelo levantamento de informações que proporcionam ao pesquisador a busca pelo conhecimento de determinado assunto (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

Para Gil (2002), as pesquisas exploratórias proporcionam maior familiaridade com o problema, tornando-o mais claro e objetivo, permitindo a construção de hipóteses e o aprimoramento de ideias. Nesse caso o planejamento é mais flexível, o que permite várias considerações em relação ao fato que está sendo estudado, além disso, a pesquisa envolve levantamento bibliográfico, exemplos que auxiliam a compreensão e textos que retratem experiências práticas do problema em estudo.

De acordo com a abordagem técnica o trabalho foi realizado a partir da pesquisa bibliográfica, que depende da análise de materiais já publicados, como trabalhos acadêmicos, livros, revistas, artigos e materiais disponíveis na Internet.

Para Severino (2007), a pesquisa bibliográfica se realiza a partir do registro disponível de materiais como, teses, livros, artigos, etc. Utiliza-se de dados teóricos já trabalhados por outros pesquisadores. O pesquisador trabalha a partir do auxílio dos autores de estudos anteriores registrados.

A primeira fase da pesquisa foi realizada com a identificação das principais literaturas publicadas sobre o estudo, onde foram identificadas as fontes clássicas com os autores dos principais trabalhos relacionados à Biomassa como fonte geradora de energia, também foi realizada uma busca sobre o assunto na Internet, acessando sites acadêmicos e de instituições relacionadas a assuntos sobre

Cogeração e Energias Renováveis, fazendo-se uso de publicações como livros, teses, dissertações, artigos e textos.

Os artigos foram extraídos de anais de congressos relacionados ao tema, de revistas acadêmicas e bases de trabalhos acadêmicos de universidades de renome. Autores como Hoffmann, Foletto, Cortez e Tolmasquin têm contribuído de forma significativa para o avanço de tecnologias voltadas à produção de energias renováveis e o uso da biomassa como matéria-prima.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram coletados e processados os dados de uma produção média de arroz de um determinado produtor da região do Vale do Paraíba, abrangendo o período de abril/2016 a março/2017. Pode-se observar no Quadro 1 e na Figura 6 o total de sua produção, foi determinado, a partir desses resultados, a quantidade de matéria-prima (rejeito e casca). Foram identificados aspectos regulamentares importantes para o caso, originando os respectivos cálculos.

Conforme dito por Cardoso (2012), a palha de arroz corresponde a 0,38 tonelada para cada tonelada de arroz produzido, que é o resíduo que fica no campo após a colheita e a casca representa 22% do peso total do arroz, esse resíduo é gerado após o processamento industrial do grão.

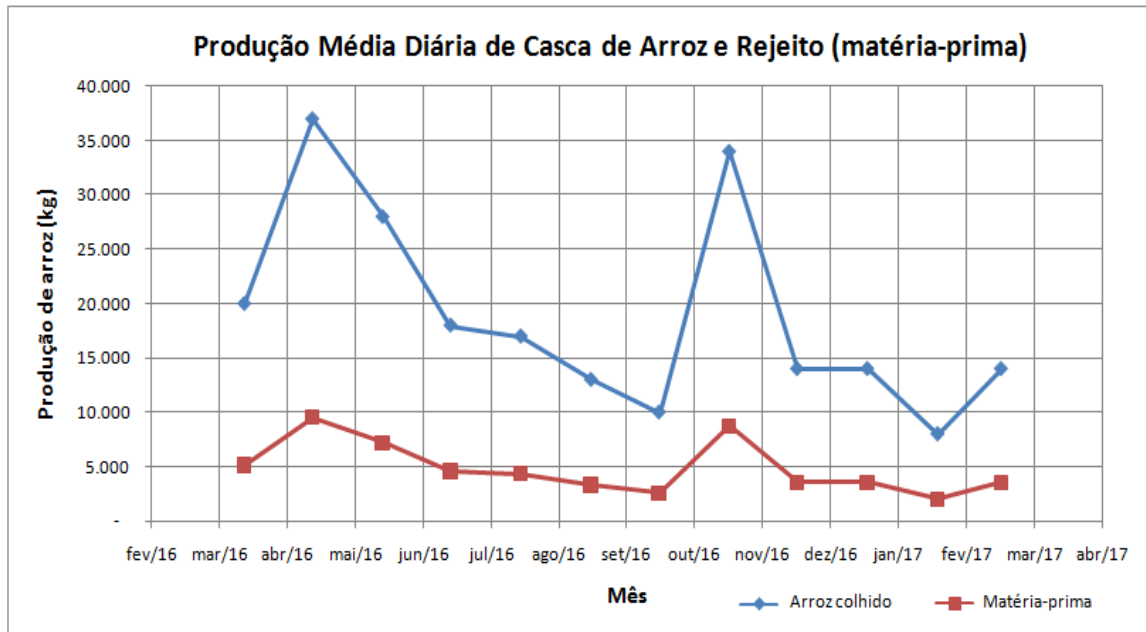
Foram considerados para a elaboração do Quadro 1 abaixo os percentuais acima citados.

Quadro 1: Quadro da Produção Média Diária de Casca de Arroz e Rejeito

Produção Média Diária de Casca de Arroz e Rejeito				
Mês	Arroz Colhido (kg)	3,8% resíduo após colheita (kg)	22% resíduo após o processamento (kg)	TOTAL de matéria-prima (kg)
abr/16	20.000	760	4.400	5.160
mai/16	37.000	1.406	8.140	9.546
jun/16	28.000	1.064	6.160	7.224
jul/16	18.000	684	3.960	4.644
ago/16	17.000	646	3.740	4.386
set/16	13.000	494	2.860	3.354
out/16	10.000	380	2.200	2.580
nov/16	34.000	1.292	7.480	8.772
dez/16	14.000	532	3.080	3.612
jan/17	14.000	532	3.080	3.612
fev/17	8.000	304	1.760	2.064
mar/17	14.000	532	3.080	3.612
TOTAL	227.000	8.626	49.940	58.566

Fonte: Elaborado pelas autoras

Figura 6: Gráfico da Produção Média Diária de Casca de Arroz e Rejeito (matéria-prima).



Fonte: Elaborado pelas autoras

Para a estimativa do potencial de geração de energia a partir da casca de arroz é necessário a utilização da Equação 1:

$$E(MW/ano) = \frac{[(t \text{ arroz} * 0,22038) * PCI \frac{kcal}{kg} * 0,15]}{(860 * 8.322)} \quad (1)$$

Onde 22,038% representa o total de resíduo aproveitável do peso total do arroz com casca. O Poder Calorífico Inferior (PCI) da casca é 3.384,09 kcal / kg e para a conversão para kWh/kg é necessário dividir a equação por 860. Considerando que o sistema opere o ano inteiro e que ocorra em 95% das horas anuais, é utilizado o valor de 8.322 horas de operação / ano (CENBIO, 2008).

Pontos considerados importantes:

- A energia vendida à rede tem de ser inferior a 60% da produção elétrica para que possa ser considerada cogeração (Decreto-lei 538/99 – conforme Continente Europeu).
- A energia elétrica vendida à rede ao longo de um ano não poderá ser superior, conforme demonstrado na Equação 2:

$$E_{er} = \left(4,5 * \frac{E + T}{E + 0,5 * T} - 4,5 \right) * E \quad (2)$$

E – Energia elétrica total (TEP)

T –Valor do vapor total (TEP)

A componente energética ligada à produção de calor deve ser assegurada: a capacidade de produção de vapor por potência do sistema a instalar é medida em kg/MW.

Conforme a Equação 3, a razão entre as necessidades de vapor do sistema e a capacidade de produção de vapor do sistema de cogeração resulta no valor da potência elétrica instalada que vai garantir a produção de calor desejada.

$$P_{elétrica_instalada} = \frac{Necessidades_vapor_sistema}{Capacidade_produção_vapor_sistema} = MW \quad (3)$$

O valor máximo de energia elétrica instalada deverá ser conforme a Equação 4:

$$E_{er} + E_{consumo} = TEP \quad (4)$$

Na Equação 5, tem-se a razão entre o calor e a energia elétrica produzida:

$$\frac{Energia_calorífica_produzida}{Energia_elétrica_produzida} = \% \quad (5)$$

Calcula-se o rendimento elétrico e o rendimento calorífico do sistema através das Equações 6 e 7, respectivamente:

(6)

$$\eta_{elétrico} = \frac{Energia_elétrica_produzida}{Consumo} = \%$$

$$\eta_{calorífico} = \frac{Energia_calorífica_produzida}{Consumo} = \% \quad (7)$$

5 CONCLUSÃO

A biomassa da casca de arroz é uma alternativa tecnicamente viável, suportada pelo retorno financeiro na produção de energia elétrica e dos temas relacionados ao meio ambiente, visto que o rejeito, anteriormente descartado, torna-se matéria-prima direta para a geração de energia.

Devido às propriedades da casca de arroz e biomassas como um todo, esta poderá ser uma excelente forma de produzir energia em pequena escala e de forma descentralizada. O emprego de centrais de cogeração provoca uma diminuição das perdas em cerca de 50%, estando diretamente relacionado com o aproveitamento da energia térmica.

Além disso, a partir dos dados apresentados foi possível realizar um estudo da utilização da casca de arroz para a geração de energia, conclui-se que com os valores encontrados, esse tipo de processo torna-se viável financeiramente e ecologicamente.

Não há descarte da casca, já que esta é totalmente utilizada dentro do processo, tanto como matéria-prima como as cinzas que podem ser utilizadas na produção de materiais semicondutores, ou seja, 100% de aproveitamento.

REFERÊNCIAS

BARJA, Gabriel de Jesus Azevedo. **A Cogeração e sua Inserção ao Sistema Elétrico**. 2006. 171f. Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânicas, UnB, Brasília.

BRASIL, Newton Paterman. **Notas de aula de Cogeração do Curso de Engenharia de Equipamentos**. 2005. 35f.

CARDOSO, Bruno Monteiro. **Uso da biomassa como alternativa energética**. 2012. 112f. Projeto de Graduação em Engenharia Elétrica, UFRJ, Rio de Janeiro.

CENBIO. **Atlas de Bioenergia do Brasil**. 2008. Convênio 007/2005 – MME. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/gbio/?q=livro/atlas-de-biomassa>. Acesso em: 13 setembro 2017.

Cogeração. Piracicaba, 2013. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz. 25f.

CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silvio; GOMEZ, Edgardo Álvares. **Biomassa para Energia**. São Paulo: Unicamp, 2008.

DECRETO-LEI 538/99, de 13 de dezembro. Disponível em: <https://dre.tretas.org/dre/108554/decreto-lei-538-99-de-13-de-dezembro#anexos>. Acesso em: 06 agosto 2017.

DIAS, Alexandre dos Santos. PDIS - **Biomassa e Cogeração**. Apostila. 23f. Disponível em: https://paginas.fe.up.pt/~ee02035/Biomassa_e_Cogeracao.pdf. Acesso em: 13 setembro de 2017.

FOLETTO, Edson Luiz; HOFFMANN, Ronaldo; HOFFMANN, Rejane Scopel; PORTUGAL, Utinguassú Lima; JAHN, Sergio Luiz. **Aplicabilidades das cinzas da casca de arroz**. Química Nova, Santa Maria, v.28, n.6, p. 1055-1060, ago 2005.

FRASSON, José Adriano; FRASSON, Adriana Cristina; OLIVEIRA, Carlos Eduardo de; CATANEO, Angelo. **A utilização da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar como fonte alternativa de energia elétrica**. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2009. 12f. São Carlos.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de Pesquisa**. 2009. 120f. Editora da UFRGS, Porto Alegre.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

KRUMMENAUER, Leandro. **Fontes alternativas e renováveis para geração de energia elétrica**. 2009. 76 f. Projeto de Graduação em Engenharia Elétrica, UFRGS, Porto Alegre.

LAMONICA, Marcos Tostes; FEIJÓ, Carmem Aparecida. **Indústria de transformação e crescimento: uma interpretação para desempenho da economia brasileira nos anos 1990 e 2000**. Revista Economia e Tecnologia, Niterói, v.9, n.1, p.20-40, jan/mar 2013.

MAYER, Flávio Dias; HOFFMANN, Ronaldo; RUPPENTHAL, Janis E. **Gestão energética, econômica e ambiental do resíduo casca de arroz em pequenas e médias agroindústrias de arroz**. 2006. 11 f. XIII SIMPEP, Bauru.

MELO, Marcelo Silva de Matos. **Energia eólica: aspectos técnicos e econômicos**. 2012. 154 f. Tese (mestrado em Planejamento Energético) – Programa de Planejamento Energético, COPPE UFRJ, Rio de Janeiro.

MME. 2016. **Resenha Energética Brasileira: Exercício de 2015**. Disponível em: www.mme.gov.br/...Resenha+Energética+Brasileira...2015.../66e011ce-f34b-419e-ad. Acesso em: 07 maio 2017.

SANTOS, Fernando Butierres; NOVO, Luciana Morgani Alves. **Fundamentos teóricos relacionados à cogeração e o exemplo da central de cogeração Infoglobo**. 2008. 189 f. Projeto de Graduação em Engenharia Elétrica – UFRJ, Rio de Janeiro.

SANTOS, Jerônimo Tavares. **Análise de um ciclo combinado Brayton / Rankine com dois regeneradores em paralelo**. 2013. 26 f. Projeto de Graduação em Engenharia Mecânica – UFRGS, Porto Alegre.

SEM. 2016. **Apple terá sua própria usina de energia renovável**. Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/2016/09/apple-tera-sua-propria-usina-de-energia-renovavel/>. Acesso em: 23 abril 2017.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2007.

TOLMASQUIN, Maurício Tiomno. **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

UNESA Asociación Española de la Industria Eléctrica. **Centrais de Ciclo Combinado**. Disponível em: <http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1343-central-ciclo-combinado>. Acesso em: 01 outubro 2017.

ZAGO, Elio Sandro; FROEHLICH, Anderson Gheller; PELEGRINI, Pedro Henrique; SIFUENTES, Marcos Aurélio. **O processo de briquetagem como alternativa de sustentabilidade para as indústrias madeireiras do município de Aripuanã-MT.** Revista Technoeng, 2ª edição v.1, p. 22-34, jul/dez 2010.

ZUQUINAL, Robson. **Utilização da casca de arroz na produção de energia para uma indústria de beneficiamento de arroz sul catarinense.** 2016. 32 f. Trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia de Energia. UFSC, Araranguá.