

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

Lucas Alvarez Nogueira

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA NA
IMPLANTAÇÃO DE TERMOELÉTRICA A BASE DE
CASCA DE ARROZ EM CACHOEIRA DO SUL-RS**

**Cachoeira do Sul, RS, Brasil
2019**

Lucas Alvarez Nogueira

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA NA IMPLANTAÇÃO DE
TERMOELÉTRICA A BASE DE CASCA DE ARROZ EM CACHOEIRA
DO SUL-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Elétrica**.

Orientadora: Prof. Dra. Laura Lisiane Callai dos Santos

Cachoeira do Sul, RS, Brasil
2019

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Nogueira, Lucas Alvarez

Análise de viabilidade econômica na implantação de termoelétrica a base de casca de arroz em Cachoeira do Sul-RS / Lucas Alvarez Nogueira - 2019

57 p.; 30 cm

Orientador: Laura Lisiane Callai dos Santos

TCC (graduado) – Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Curso de Engenharia Elétrica, RS, 2019

1. Análise Econômica 2. Biomassa 3. Casca de Arroz 4. Geração 5. I. Ramos, Maicon Jaderson Silveira. II. Análise econômica para geração de energia em Cachoeira do Sul através da biomassa casca de arroz.

© 2019

Todos os direitos autorais reservados a Lucas Alvarez Nogueira. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Rua Dom Pedro II, Nº 606, Térreo, Bairro Gonçalves, Cachoeira do Sul, RS, Brasil, CEP: 96501-242

Fone: (51) 984490867

Endereço Eletrônico: lnavalvarez1311@gmail.com

Lucas Alvarez Nogueira

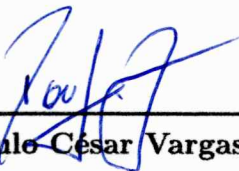
**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA NA IMPLANTAÇÃO DE
TERMOELÉTRICA A BASE DE CASCA DE ARROZ EM CACHOEIRA
DO SUL-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Elétrica.**

Aprovado em 12 de Dezembro de 2019:



Laura Lisiane Callai dos Santos, Dr. (UFSM)
(Presidente/ Orientadora)



Paulo César Vargas Luz, Dr. (UFSM)



Dion Lenon Prediger Feil, Dr. (UFSM)

**Cachoeira do Sul, RS, Brasil
2019**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, à minha família e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha família, por todo apoio e compreensão.

À minha namorada Mayara, pelo amor, ânimo e paciência nos momentos difíceis.

À professora Laura dos Santos e ao professor Maicon Ramos pela orientação e dedicação na realização deste trabalho.

Aos demais professores do curso de Engenharia Elétrica que contribuíram ao longo de minha graduação.

Aos meus colegas pela amizade e companheirismo desenvolvidos ao longo da graduação.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.
José de Alencar”

RESUMO

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA NA IMPLANTAÇÃO DE TERMOELÉTRICA A BASE DE CASCA DE ARROZ EM CACHOEIRA DO SUL-RS

AUTOR: LUCAS ALVAREZ NOGUEIRA
ORIENTADORA: LAURA LISIANE CALLAI DOS SANTOS

O processo industrial e produção do arroz necessita de uma correta gestão dos resíduos gerados pelos mesmos, para seu melhor aproveitamento, destinação apropriada e redução dos impactos ambientais. Na indústria orizícola, o resíduo principal é a casca do arroz, que geralmente possui destino indevido gerado pelo seu não aproveitamento, ocasionando custos aos produtores de arroz. Nesse contexto, ao perceber o potencial de produção de arroz na cidade de Cachoeira do Sul - RS, o presente trabalho propõe a análise de viabilidade econômica na implantação de uma usina termoeletrica com geração de energia a partir da biomassa casca de arroz no município de Cachoeira do Sul. Para tanto, foi elaborado um levantamento da produção de arroz nos engenhos principais da cidade e definida a quantidade de casca de arroz que poderia ser utilizada como combustível na termoeletrica a base de biomassa. Seguente à avaliação da disponibilidade de matéria-prima para o empreendimento, foi realizada a avaliação dos custos necessários para a implementação da termoeletrica e receitas advindas da venda da energia produzida, assim sendo possível obter a análise de viabilidade econômica do projeto. Os valores encontrados nos cálculos dos índices de viabilidade econômica Taxa Mínima de Atratividade, Valor Presente Líquido, Taxa interna de Retorno e *Payback* demonstraram que o aproveitamento da casca de arroz para geração de energia em uma termoeletrica se mostrou viável para o município de Cachoeira do Sul-RS.

Palavras-chave: Análise econômica, Biomassa, Casca de arroz, Geração

ABSTRACT

**ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS IN THE
IMPLEMENTATION OF A RICE HUSK
THERMOELECTRIC PLANT IN CACHOEIRA
DO SUL-RS**

AUTHOR: LUCAS ALVAREZ NOGUEIRA
ADVISOR: LAURA LISIANE CALLAI DOS SANTOS

The industrial process and production of rice requires a correct management of the residues generated by them, for the best use of them, proper disposal and reduction of environmental impacts. In the rice industry, the main residue is the husk of the rice, which usually has undue destination generated by its non-utilization, causing costs to the rice producers. In this context, when perceiving the potential of rice production in the city of Cachoeira do Sul - RS, the present project proposes the economic viability analysis in the implantation of a thermoelectric power plant with the generation of energy from the rice husk biomass in the municipality of Cachoeira do Sul. For the present work, a survey of rice production in the main mills of the city was prepared and the amount of rice husk that could be used as fuel in the biomass-based thermoelectric plant was defined. Following the assessment of the availability of raw material for the project, the costs necessary for the implementation of the thermoelectric plant and the revenues from the sale of the produced energy were evaluated, making it possible to obtain economic viability analysis of the project. The values found in the calculations of the economic viability indexes TMA, NPV, IRR and Payback demonstrated that the use of rice husk for power generation in a thermoelectric plant proved viable for the municipality of Cachoeira do Sul-RS.

Keywords: Economic Analysis, Biomass, Rice Husk, Generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	– Matriz energética mundial.	18
Figura 2.2	– Matriz elétrica mundial.	18
Figura 2.3	– Matriz energética nacional.	20
Figura 2.4	– Matriz elétrica do Brasil em 2017.	20
Figura 2.5	– Oferta total de energia primária de biomassa em 2016.	22
Figura 2.6	– Evolução da quantidade de casca de arroz utilizada no setor energético no RS.	23
Figura 2.7	– Processo de geração - Ciclo Rankine.	25
Figura 2.8	– Diagrama de temperatura versus entropia.	26
Figura 3.1	– Projeção Taxa SELIC.	33
Figura 3.2	– Histórico PLD.	34
Figura 4.1	– Metodologia proposta.	37
Figura 5.1	– VPL para diferentes cenários.	51
Figura 5.2	– TIR para diferentes cenários.	51
Figura 5.3	– Payback para diferentes cenários.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Usinas Termoelétricas a base de casca de arroz no Brasil.	24
Tabela 4.1 – Determinação do potencial de geração.	38
Tabela 4.2 – Determinação do potencial de geração.	39
Tabela 5.1 – Potencial de Geração.	41
Tabela 5.2 – Receita anual da termoelétrica.	42
Tabela 5.3 – Custos de instalação.	43
Tabela 5.4 – Custos operacionais.	44
Tabela 5.5 – Fluxo de caixa.	44
Tabela 5.6 – Índices de viabilidade econômica.	47
Tabela 5.7 – Índices de viabilidade econômica após alteração na produção de arroz.	48
Tabela 5.8 – Índices de viabilidade econômica após alteração nos impostos.	49
Tabela 5.9 – Índices de viabilidade econômica após alteração no preço da energia.	49
Tabela 5.10 – Índices de viabilidade econômica após alteração no rendimento do ciclo termodinâmico.	50
Tabela 5.11 – Índices de viabilidade econômica após alteração do peso considerado para a casca do arroz.	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RCE	Redução certificada de emissão
CER	Certificados de Emissões Reduzidas
MEB	Matriz Energética Brasileira
PCI	Poder Calorífico Inferior
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
NBR	Normas Brasileiras
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
TE	Tarifa de Energia
TUSD	Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
PLD	Preço de Liquidação das Diferenças
ONS	Operador Nacional do Sistema
SIN	Sistema Interligado Nacional
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CMO	Custos Marginais de Operação
TIR	Taxa Interna de Retorno

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 CARACTERIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 OBJETIVOS GERAIS	15
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 MATRIZ ENERGÉTICA E CONTEXTO ATUAL	17
2.1.1 Matriz energética mundial	17
2.1.2 Matriz energética nacional	19
2.1.3 Bioenergia	21
2.1.4 Produção de arroz e geração de energia	22
2.1.5 Transporte da casca de arroz	24
2.1.6 Ciclo termodinâmico	25
2.1.7 Potencial de geração	26
2.2 CONEXÃO DE UNIDADES DA CATEGORIA DE PRODUÇÃO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	27
2.3 DIRETRIZES ESTADUAIS QUANTO A CASCA DE ARROZ	28
2.4 MERCADO DE ENERGIA	29
2.4.1 Mercado regulado	29
2.4.2 Mercado livre	30
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	30
3 ENGENHARIA ECONÔMICA	31
3.1 VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETO	31
3.1.1 Custos de instalação	32
3.1.2 Taxa mínima de atratividade	32
3.1.3 Valor presente líquido	35
3.1.4 Taxa interna de retorno	35
3.1.5 Payback	36
3.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	36
4 METODOLOGIA PROPOSTA	37
4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS DE PRODUÇÃO	38
4.2 DEFINIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	39
4.3 CUSTOS	39
4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	39
4.5 RESULTADOS	40

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	40
5 ESTUDO DE CASO	41
5.1 ENTRADAS	42
5.2 CUSTO DO INVESTIMENTO	42
5.3 CUSTO OPERACIONAL	43
5.4 RESULTADOS E ANÁLISE FINANCEIRA	44
5.5 RESULTADOS DE VIABILIDADE ECONÔMICA	47
5.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	48
6 CONCLUSÃO	53
6.1 TRABALHOS FUTUROS	54
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

O contexto mundial energético indica a grande necessidade de buscar meios alternativos para obter energia e utilizar menos as fontes fósseis, visto que a utilização das mesmas degradam ecossistemas e interferem na qualidade de vida da população devido à emissão de gases nocivos.

Amato (2003) cita quimurgia como uma palavra criada nos anos 70 que tem o significado do total aproveitamento dos subprodutos, o que mostrava a importância e a necessidade de gerar energia a partir dos resíduos industriais utilizando-se dos mais modernos conceitos e tecnologias, protegendo o meio ambiente, ou minimizando seus danos

Uma das fontes alternativas para obtenção de energia é a biomassa, ou seja, matérias orgânicas utilizadas como fonte de energia. A biomassa é uma fonte renovável de energia, capaz de influenciar no desenvolvimento de projetos de energias renováveis e criar uma sociedade ecologicamente consciente.

1.1 CARACTERIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Dentre as matérias orgânicas usadas como fonte de energia se encontra a casca de arroz, resíduo agrícola obtido no Brasil e, em especial, no Rio Grande do Sul, em quantidade considerável para geração de energia elétrica. O aproveitamento da casca de arroz para geração de vapor através da combustão, utilizado como calor de processo na secagem e parbolização do grão, é empregado largamente pelas empresas do setor, consumindo parte da casca gerada no processo de beneficiamento, que pode ser estimado de forma conservativa em até 40% do total do resíduo gerado (AMATO, 2003). O excedente pode ser utilizado na geração de energia.

Para usá-la como parte na geração termoelétrica, deve haver uma análise quanto à viabilidade técnica e econômica do projeto. Por se tratar de uma fonte renovável, a contribuição na redução de emissão de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera lhe gera créditos de carbono, denominados de Redução Certificada de Emissão (RCE), esses créditos são concedidos a cada tonelada de CO₂ que deixa de ser emitida na atmosfera, podendo ser negociados no mercado mundial por meio de Certificados de Emissões Reduzidas (CER). A inserção dos recursos oriundos da comercialização dos créditos de carbono para termoeletricas que usam casca de arroz como combustível influencia positivamente na viabilidade econômica para esse tipo de projeto.

Sendo assim, a utilização da casca de arroz pode contribuir para atender a demanda energética no município de Cachoeira do Sul-RS e/ou comercializar a energia produzida.

A utilização de biomassa como fonte renovável de energia contribui para a redução

de gases poluentes na atmosfera. Na condição de matéria orgânica, a biomassa pode ser utilizada como insumo energético, sendo uma das primeiras fontes de energia utilizada pelo homem (CASTRO; DANTAS, 2008). O potencial energético da biomassa é muito grande e teve grande importância nos primórdios da civilização e, ainda mais recentemente, nos países em vias de desenvolvimento.

Nesse contexto, surge como alternativa a utilização da casca de arroz como matéria-prima para esse tipo de geração de energia, visto que o estado do Rio Grande do Sul é o principal produtor de arroz no âmbito nacional (CONAB, 2018/2019).

A cidade de Cachoeira do sul-RS, ao longo do século XX, devido à sua maior área de abrangência, chegou a possuir cerca de 53 engenhos de beneficiamento de arroz e assim se tornou conhecida como a capital nacional do arroz. Porém, com a emancipação de vários municípios anteriormente pertencentes à Cachoeira do Sul, atualmente a cidade conta com apenas 3 engenhos de efetiva participação nos processos de beneficiamento do grão, sendo o Engenho Treichel o mais expressivo deles, com cerca de 728 mil sacos de 60 Kg de arroz beneficiados por ano.

Nos dias atuais a cidade ainda possui expressiva participação na produção de arroz no estado do Rio Grande do Sul, porém não há usinas de geração de energia que utilizem a casca de arroz como fonte de energia. Desse modo, nesse trabalho é realizado um estudo de caso para avaliar as possibilidades da implantação de uma usina termoelétrica que utilize como base a casca de arroz para produção de energia. São avaliados aspectos econômicos quanto à produção e comercialização da energia produzida, para posterior análise dos índices de viabilidade Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e *Payback*.

1.2 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise de viabilidade econômica para a implantação de uma usina termoelétrica de pequeno porte a base de casca de arroz na cidade de Cachoeira do Sul-RS.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar o levantamento da quantidade e potencial de geração de casca de arroz em Cachoeira do Sul;
- Definir a escala de operação da usina termoelétrica de acordo com a quantidade de arroz disponível;
- Analisar custos de instalação;

- Realizar estudo de viabilidade econômica de projeto considerando TMA, VPL, TIR e *Payback*;
- Analisar possibilidade de comercialização da energia produzida.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho é dividido em 6 capítulos, incluindo esse introdutório.

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico necessário ao conhecimento preliminar para realização do projeto. Nesse capítulo é abordado o contexto mundial e nacional a respeito das matrizes energéticas e elétricas, assim como o ciclo termodinâmico ao qual uma usina termoelétrica a base de casca de arroz está submetida e o potencial de energia gerada pela mesma.

O capítulo 3 trata de definições relacionadas à engenharia econômica necessárias à elaboração da análise de viabilidade econômica na implantação da termoelétrica a base de casca de arroz na cidade de Cachoeira do Sul. Para essa análise são fundamentais o cálculo e avaliação de índices de viabilidade econômica, que para esse projeto foram definidos como essenciais os seguintes: TMA, TIR, VPL e *Payback*, indicativo de tempo de retorno do capital investido.

No capítulo 4 é apresentada a metodologia proposta para o desenvolvimento do trabalho. Essa metodologia é composta inicialmente pelo levantamento dos dados referentes à produção municipal de arroz e definição dos equipamentos compatíveis para compor a termoelétrica. Com isso é possível estimar os gastos necessários para a implementação do projeto e analisar se o mesmo é viável economicamente.

O estudo de caso da análise econômica da termoelétrica em Cachoeira do Sul é apresentado no capítulo 5. Com o auxílio do software *Excel* é possível elaborar uma planilha que realize os cálculos dos parâmetros necessários para a determinação dos índices de viabilidade econômica. Além disso, é apresentada uma análise de sensibilidade das variáveis que terão maior impacto em relação a viabilidade econômica

Por fim, o último capítulo apresenta os resultados obtidos para cada índice de viabilidade econômica calculado, indicando se o projeto é economicamente viável ou não. Além disso, nesse capítulo são expostas as sugestões para trabalhos futuros relacionados ao tema e que possam aprofundar conhecimentos a respeito de geração de energia através de termoelétricas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Um dos segmentos que mais tem recebido destaque e relevância no que tange à sustentabilidade é a questão energética mundial. Cabe destacar que o termo energia não refere-se apenas a energia elétrica, mas sim todas as demais formas de energia utilizadas, para qualquer finalidade. O crescimento da demanda energética não pode ser dissociado de preocupações ambientais, tendo em vista que toda essa energia precisou ser extraída e transformada a partir de recursos naturais. Assim, para acompanhar ritmos de crescimento como esses é essencial que exista uma preocupação com a capacidade de renovação dos recursos. Nesse sentido, os países devem se preparar com a construção de matrizes energéticas adequadas às necessidades e aos recursos disponíveis. (DUPONT; GRASSI; ROMITTI, 2015)

2.1 MATRIZ ENERGÉTICA E CONTEXTO ATUAL

No atual cenário energético mundial, a questão que mais tem recebido atenção quanto à sustentabilidade são as fontes usadas para obter energia. A energia é indispensável para o desenvolvimento da sociedade, que é um dos objetivos principais de todos os países.

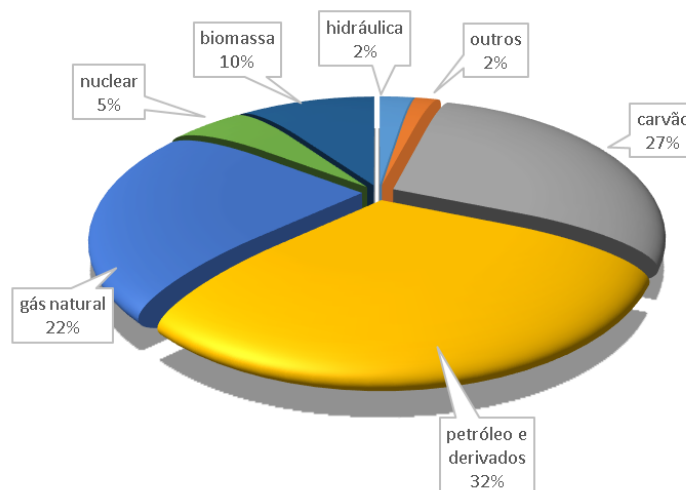
O planeta atualmente depende, para seu devido funcionamento, do fornecimento de matrizes energéticas que são o carvão, o petróleo, as fontes hídricas, entre outros. Petróleo e carvão são considerados combustíveis fósseis, já as fontes hídricas são consideradas fontes renováveis, sendo encontradas em quantidade limitada e mais concentrada em apenas alguns países. As fontes de energia renováveis já possuem a capacidade de contribuir consideravelmente para o fornecimento de energia da população, porém, as fontes fósseis ainda são os principais meios de obtenção de energia mundial. Os subtópicos a seguir ilustram a situação atual no Brasil e no mundo e potenciais evoluções quanto à questão energética.

2.1.1 Matriz energética mundial

O mundo utiliza majoritariamente no seu suprimento energético, as fontes energéticas primárias não renováveis, em particular, os combustíveis fósseis: petróleo, carvão mineral e gás natural. Estes combustíveis são grandes emissores de CO₂, um dos gases relacionados com o efeito estufa, causador de elevação da temperatura do planeta e de mudanças climáticas (FILHO, 2009). Fontes renováveis como solar, eólica e geotérmica, por exemplo, juntas correspondem a cerca de apenas 2% da matriz energética mundial,

assinaladas como "outros" na figura 2.1.

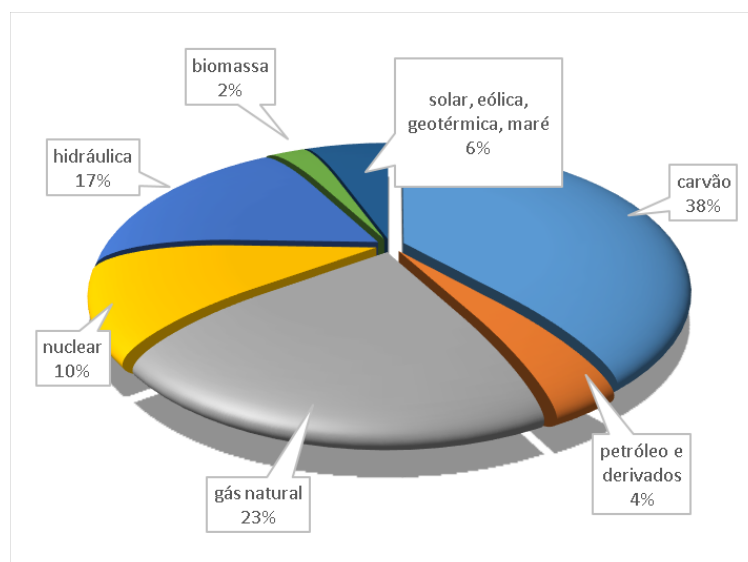
Figura 2.1 – Matriz energética mundial.



Fonte: Adaptado pelo autor de EPE (2018).

Somando à participação da energia hidráulica e da biomassa, as renováveis totalizam 14% da matriz energética mundial (EPE, 2018). Quando se trata do conjunto de fontes de energia responsável apenas para a geração de energia elétrica, esse conjunto é denominado matriz elétrica, como demonstra a figura 2.2.

Figura 2.2 – Matriz elétrica mundial.



Fonte: Adaptado pelo autor de EPE (2018).

Conforme EPE (2018), a matriz elétrica mundial é baseada principalmente em combustíveis fósseis como carvão e gás natural. Diferencialmente, na matriz elétrica

brasileira a principal participação energética atualmente são as fontes hídricas. O tópico seguinte expõem o cenário atual da questão energética nacional.

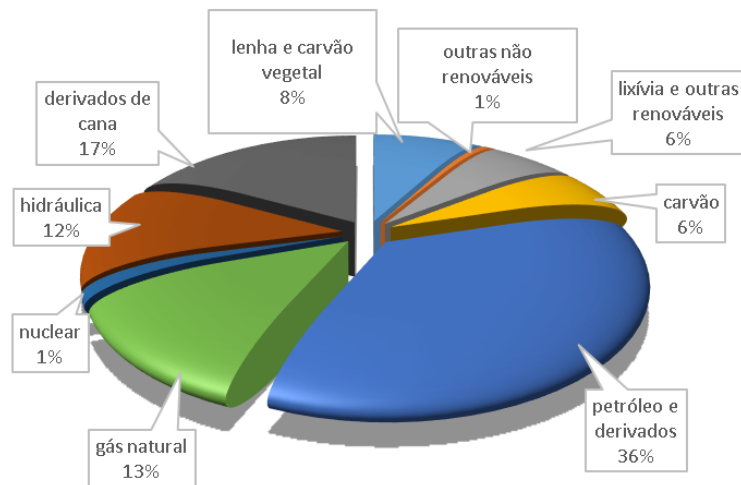
2.1.2 Matriz energética nacional

Com relação ao Brasil, entre as décadas de 20 e 30, com o aumento do uso de automóveis, o país começou a importar petróleo e seus derivados. A crise do petróleo nos anos 70 estimulou investimentos em novas tecnologias para o uso de recursos naturais renováveis, como também políticas públicas foram criadas, como no caso do Proálcool em 1975. A implantação do Proálcool proporcionou mudanças significativas na matriz energética brasileira. A produção de biodiesel, a importação e descoberta de maiores jazidas de gás natural também foram fatores que provocaram alterações na Matriz Energética Brasileira (MEB) (RODRIGUES, 2009).

Além dos programas nacionais para o incentivo do uso de fontes renováveis, outras políticas públicas, mais atuais, também visam à diversidade da matriz energética brasileira, como é o caso do projeto de lei 3.529/2012, que visa à diversificação da matriz energética do Brasil, considerando a política nacional de geração de energia elétrica a partir da biomassa. Com a sanção desta lei, é incentivada a geração de energia elétrica a partir da biomassa e a maior participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira (ABRAF, 2013). O Brasil apresenta considerável condição natural, o que reflete em uma matriz energética mais limpa quando comparado a outros países de mesmo porte econômico.

Atualmente a matriz energética brasileira, conforme mostra a figura 2.3, distingue-se quando comparada a mundial. No território brasileiro, apesar do consumo de energia de fontes não renováveis ser maior do que o de renováveis, são usadas mais fontes renováveis que no resto do mundo. Somando carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras renováveis, nossas renováveis totalizam 42,9%, quase metade da nossa matriz energética (EPE, 2018).

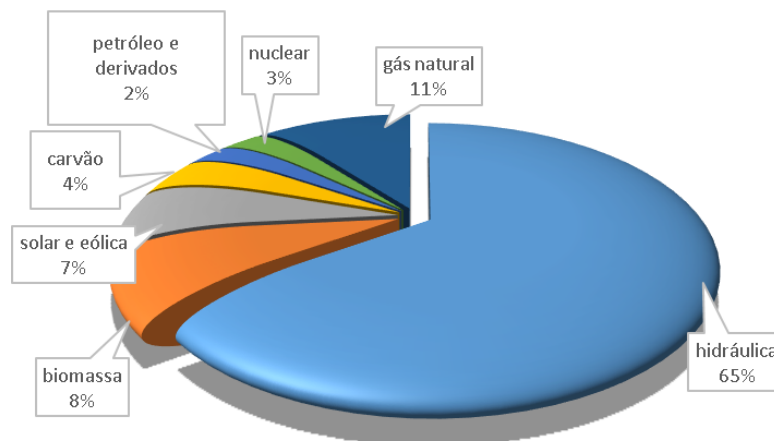
Figura 2.3 – Matriz energética nacional.



Fonte: Adaptado pelo autor de EPE (2018).

Quando se trata de matriz energética voltada para a energia elétrica apenas, o Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, figura 2.4, com destaque para a fonte hídrica que responde por 65,2% da oferta interna (EPE, 2018). Como pode se observar na figura 2.4, a fonte de energia obtida através de matéria orgânica (biomassa) representa 8,2% (EPE, 2018).

Figura 2.4 – Matriz elétrica do Brasil em 2017.



Fonte: Adaptado pelo autor de EPE (2018).

Dentre as fontes de energia renováveis se encontra a biomassa, que se tornou um combustível atraente para geração de eletricidade devido ao seu potencial de redução nas

emissões de CO₂ e por ser conveniente na produção de energia em média e pequena escala (JENKINS B.; MILER, 1998). Werther et al. (2000) aponta que materiais de biomassa com alto potencial energético incluem:

- Resíduos agrícolas como: palha, bagaço de cana, casca de café, casca de arroz, entre outros;
- Resíduos da floresta tais como lascas de madeira, serragem e casca.

Segundo Nonhebel (2007), as biomassas mais significativas com relação a energia são aquelas obtidas de culturas energéticas e resíduos agrícolas. Essas se originam de material vegetal gerados no sistema de produção de outros produtos.

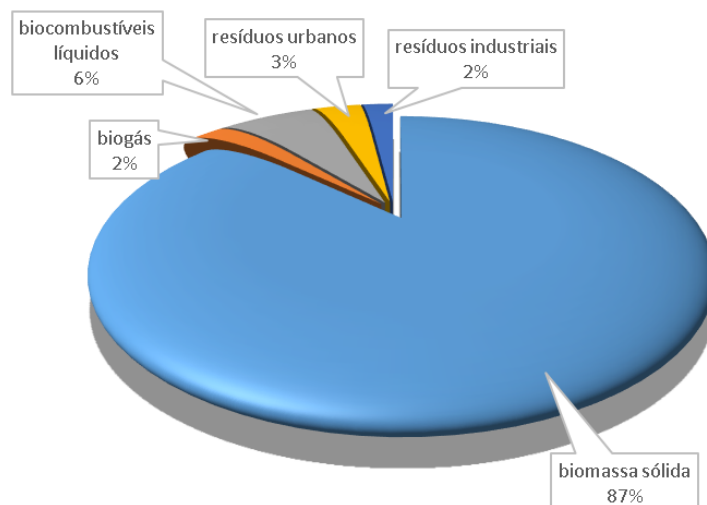
A geração de eletricidade que utiliza a combustão direta da biomassa em caldeiras como fonte de calor é uma alternativa mais proveitosa desse tipo de biocombustível, utilizando o Ciclo Rankine orgânico como um ciclo termodinâmico para realizar a conversão de energia térmica em energia elétrica. Uma das potenciais matérias que podem ser utilizadas como combustível das caldeiras é a casca de arroz.

2.1.3 Bioenergia

A bioenergia constitui atualmente um importante segmento das denominadas energias renováveis, fração cada vez mais representativa entre as matrizes energéticas de vários países do mundo. No Brasil, a pesquisa sobre bioenergia tem se desenvolvido consideravelmente, e seu uso, apontado como exemplo a ser seguido na evolução tecnológica energética da sociedade contemporânea (LEMOS ELIANA G. M., 2012).

Segundo dados da Associação Mundial de Bioenergia WBA (2018), em 2016 o fornecimento total de energia primária de biomassa foi de 56,5 EJ. A biomassa sólida respondeu por 87% deste valor, seguido dos biocombustíveis líquidos com 6%, resíduos com 5% e do biogás com 2%. Estes resultados são mostrados na figura 2.5.

Figura 2.5 – Oferta total de energia primária de biomassa em 2016



Fonte: Adaptado pelo autor de (WBA, 2018).

A Biomassa, destinada ao aproveitamento energético, é uma fonte primária de energia, não fóssil, que consiste em matéria orgânica de origem animal ou vegetal. A biomassa contém energia armazenada sob a forma de energia química. Em relação a sua origem, as biomassas para fins energéticos podem ser classificadas nas categorias de biomassa energética florestal, com seus produtos, subprodutos ou resíduos, biomassa energética da agropecuária, com as culturas agroenergéticas, resíduos e subprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal (EPE, 2018).

2.1.4 Produção de arroz e geração de energia

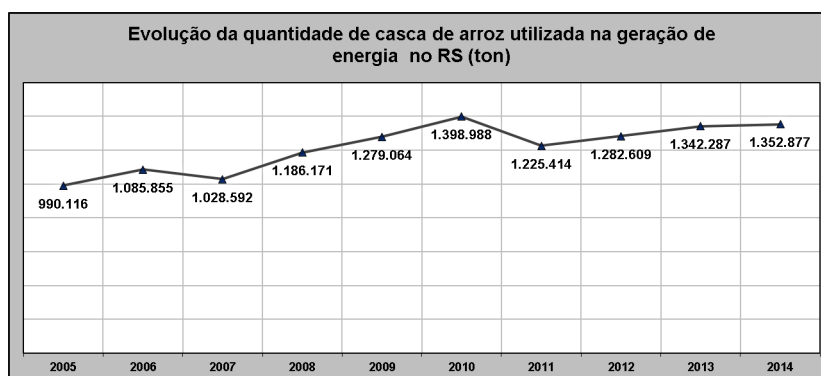
Considerando o subgrupo dos resíduos agrícolas, no qual está inserido a casca do arroz, percebe-se o potencial que este resíduo possui para ser utilizado como combustível na geração de bioenergia no Rio Grande do Sul devido à alta produção de arroz no estado.

O arroz é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como o principal alimento de mais da metade da população mundial. Somente na Ásia, de 60 a 70% do consumo calórico de mais de 2 bilhões de pessoas é proveniente do arroz e seus subprodutos (FAO, 2004).

A produção mundial estimada do grão é mais de 777 milhões de toneladas, sendo 11,2 milhões de toneladas produzidas no Brasil, sendo assim é a terceira cultura com mais área cultivada por ano (USDA/FAS, 2019). Quanto ao Rio Grande do Sul, é atualmente o maior estado produtor de arroz, responsável por 68% da produção nacional (CONAB, 2018/2019). Isso se deve ao fato de que o estado do Rio Grande do Sul possui condições climáticas e geográficas que propiciam o cultivo e comercialização do arroz.

Nesse contexto, surge a oportunidade de utilização da casca do arroz para gerar eletricidade, conforme apresentado na figura 2.6 (CAPELETTO; MOURA, 2014).

Figura 2.6 – Evolução da quantidade de casca de arroz utilizada no setor energético no RS.



Fonte: Balanço Energético do Rio Grande do Sul 2015 - ano base 2014.

É possível notar na figura 2.6 que ao longo dos últimos anos o estado do Rio Grande do Sul têm utilizado progressivamente a casca de arroz para a finalidade de gerar energia. Gerar energia através da queima da casca de arroz é uma alternativa possível de ser praticada do ponto de vista tecnológico e econômico, além de ser ecologicamente correto, visto que a tecnologia para a conversão é disponível e a matéria prima é abundante no Brasil. Conforme ANEEL (2017), existem 13 usinas termoelétricas em operação no Brasil baseadas na biomassa casca de arroz, sendo a maioria das usinas provenientes de iniciativas privadas. Na tabela 2.1 são apresentadas as termoelétricas em operação.

Tabela 2.1 – Usinas Termoelétricas a base de casca de arroz no Brasil.

USINA TERMOELÉTRICA	POTÊNCIA (kW)	MUNICÍPIO
Itaqui	4200	Itaqui (RS)
Urbano Sinop	1200	Sinop (MT)
Urbano São Gabriel	2220	São Gabriel (RS)
CAAL	3825	Alegrete (RS)
SAV	4900	Alegrete (RS)
São Borja	12500	São Borja (RS)
Rical	2288	Vilhena (RO)
Camil	4000	Camaquã (RS)
Kiarroz	1200	Morro da Fumaça (SC)
PCT SLC Alimentos	5800	Capão do Leão (RS)
Engenho Coradini	1200	Dom Pedrito (RS)
AREVALE	2000	Roseira (SP)
São Sepé	8000	São Sepé (RS)

Fonte: ANEEL.

De acordo com a tabela 2.1, é possível observar que a maioria das termoelétricas a base de casca de arroz estão localizadas na região sul do país, sendo que usinas dessa natureza geram um total de 53.333 kW, o que representa 0,37% do total da produção energética nacional.

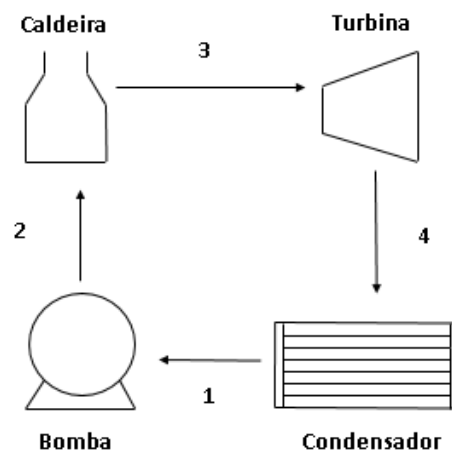
2.1.5 Transporte da casca de arroz

Para o uso da casca de arroz em usinas termelétricas, deve-se analisar a questão logística de transporte da matéria-prima e a localização da planta de energia. A casca de arroz corresponde a 30% da massa do grão de arroz completo (COELHO et al., 2012). Segundo ROCHA e CORTEZ (2003), realizar a conversão da casca próximo ao local onde ocorre o beneficiamento do grão do arroz é indispensável, pois o transporte de sua casca representa uma etapa crítica, visto que devido a sua baixa densidade, cerca de 1,6g por cm^3 , o volume se torna elevado. Sendo assim, o transporte da carga a longas distâncias não é vantajoso economicamente, visto que o ciclo termodinâmico com que usinas termoelétricas operam necessita de grandes volumes de casca de arroz.

2.1.6 Ciclo termodinâmico

Segundo Paro (2011), quase a totalidade de centrais de geração ou cogeração termelétrica no Brasil operam através do ciclo de Rankine, representado na figura 2.7. Para usinas que utilizam casca de arroz como combustível isso não é diferente. Este ciclo é considerado o modelo ideal para a representação de uma unidade motora simples. Trata-se de um ciclo de potência que utiliza a queima de um combustível em uma caldeira como fonte de energia (WYLEN; SONNTAG; BORGNAKKE, 2006).

Figura 2.7 – Processo de geração - Ciclo Rankine.



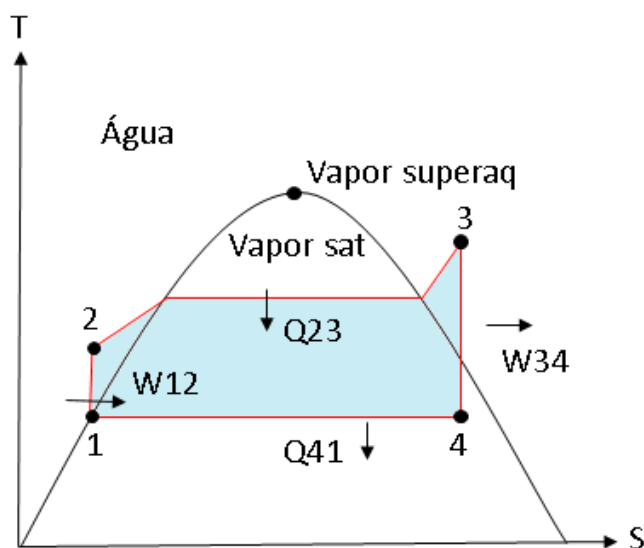
Fonte: Adaptado de VAN WYLEN; SONNTAG; BORGNAKKE(2006)

O ciclo de Rankine compreende, basicamente, 4 processos:

- 1-2) Processo de compressão adiabático, na bomba;
- 2-3) Transferência de calor a pressão constante, na caldeira;
- 3-4) Expansão adiabática, na turbina;
- 4-1) Transferência de calor a pressão constante, no condensador.

Na figura 2.7 foram descritos cada processo do Ciclo de Rankine. Junior (2007) descreveu o ciclo Rankine como o aproveitamento da energia de combustão a qual gera vapor que alimenta uma turbina onde o vapor é expandido gerando energia mecânica, que é convertida em energia elétrica através de um gerador. A figura 2.8 apresenta o diagrama de temperatura versus entropia do Ciclo de Rankine.

Figura 2.8 – Diagrama de temperatura versus entropia.



Fonte: VAN WYLEN; SONNTAG; BORGNAKKE(2006)

Através da análise da figura 2.8 e considerando a casca de arroz como combustível, Pretz (2001) afirma que o ciclo de Rankine consiste em uma caldeira queimando casca de arroz e produzindo vapor superaquecido, conforme apresentado na figura 2.8, o qual fornece energia para o sistema gerador (Q_{23}). O vapor entrega energia na forma de trabalho na turbina (W_{34}) e deixa a turbina em pressão baixa, sendo encaminhado para ao condensador, onde o excesso de energia é removido da corrente (Q_{41}). Após o condensador, é encaminhado para o tanque principal, junto com a água de reposição para compensar as perdas. A mistura do tanque então é bombeada até a caldeira principal (W_{12}), fechando o ciclo térmico. O ciclo termodinâmico descrito transformará a energia produzida através da queima da casca do arroz em energia cinética, que por sua vez movimentará a turbina e acionará o gerador, gerando assim energia elétrica. Portanto, o rendimento de tal ciclo é essencial para a determinação do potencial de geração da usina.

2.1.7 Potencial de geração

De acordo com a CONAB (2018/2019), a produção orizícola no Brasil expressa, em toneladas, a quantidade de arroz em casca produzido. Sendo assim, é necessário considerar apenas a casca como resíduo agrícola aproveitável que, nesse caso, representa 30% do peso total do arroz com casca (COELHO; MONTEIRO; KARNIOL, 2012). O Poder Calorífico Inferior (PCI) da casca é de 3384 kcal/kg (COELHO, 2002) e a conversão de kcal/kg para kWh/kg é dada pela divisão por 860. Portanto, o cálculo do potencial a

partir da casca de arroz é realizado pela equação 2.1.

$$Potencial(MW) = \frac{(tArroz.0,3).PCI.(kcal/kg).n}{860.h} \quad (2.1)$$

Em que:

- PCI = Poder Calorífico Inferior;
- tArroz = Quantidade de Arroz produzido em toneladas;
- h = horas em operação por ano;
- n = rendimento do ciclo a vapor.

Considera-se n=15% (sistemas de baixo rendimento termodinâmico, caldeira 20 bar e turbina de condensador atmosférico), n=20% (gaseificador e motor) e n= 30% (ciclos a vapor de médio porte). Considerando o rendimento do ciclo termodinâmico em 15%, uma usina que recebe 200 mil toneladas de arroz bruto por ano possui cerca de 4,26 MW de potência para geração de energia elétrica, sendo assim denominada unidade de produção.

2.2 CONEXÃO DE UNIDADES DA CATEGORIA DE PRODUÇÃO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Conforme a ANEEL (2008), a categoria de produção de energia é composta por centrais geradoras de energia e pelos agentes importadores de energia. Algumas disposições gerais quanto à conexão de centrais geradoras de energia no sistema de distribuição são destacadas pelo Módulo 3 dos Precedimentos de Distribuição de energia elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) .

As instalações de conexão devem ser projetadas obedecendo normas tanto de procedimentos específicos do sistema de distribuição da concessionária, quanto às Normas Brasileiras (NBR) aprovadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Portanto, é necessário a apresentação de um memorial descritivo relacionando toda a documentação, normas e padrões técnicos utilizados (ANEEL, 2008).

No que se refere ao projeto de redes e linhas de conexão das centrais geradoras, devem ser considerados a capacidade de transporte dessas linhas. Sendo que o traçado que será necessário percorrer é feito com base em critérios técnicos e econômicos, respeitando regulamentações de órgãos ambientais federais, estaduais e municipais. Além disso, os cálculos elétricos devem ser feitos de acordo com as determinações da concessionária para dimensionamento de condutores, isolamento, proteção contra sobretensões, aterramento e demais questões de segurança (ANEEL, 2008).

Com relação ao projeto de subestações para conexão de termelétricas geradoras de energia, devem ser apresentadas características técnicas do projeto, arranjo das barras

e observadas normas específicas quanto à segurança. Quanto às unidades transformadoras de potência, a ligação dos enrolamentos e o deslocamento angular devem estar de acordo com o determinado pela concessionária. Por fim, no projeto da subestação deve ser considerada a potência de curto-circuito no ponto de conexão e informações quanto ao sistema de aterramento e proteção, informadas pela concessionária (ANEEL, 2008).

2.3 DIRETRIZES ESTADUAIS QUANTO A CASCA DE ARROZ

A economia do Rio Grande do Sul é amplamente baseada em atividades agrícolas, entre elas, a produção de arroz, que após seu processamento e beneficiamento origina grandes quantidades de resíduos sólidos como a casca de arroz.

A casca de arroz, quando mal gerenciada, pode impactar o meio ambiente e a saúde da população. Assim, ações estratégicas de gestão de resíduos agrícolas são planejadas frente ao cenário atual de crescente uso de recursos naturais e de tecnologias mais limpas para gerar energia. No estado do Rio Grande do Sul, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) adota alguns procedimentos visando o licenciamento de atividades que geram resíduos como casca de arroz e cinzas. Tais procedimentos incluem as seguintes possibilidades para aproveitamento dos resíduos:

- Armazenamento temporário para posterior destinação final;
- Utilização de casca de arroz no próprio processo industrial, como combustível em equipamentos de queima (fornalhas ou caldeiras).
- Destinação da casca de arroz ou as cinzas para unidades licenciadas de terceiros.
- A instalação de um aterro próprio para disposição final de resíduos de casca de arroz e/ou cinzas
- Instalação de uma unidade de compostagem para o resíduo casca de arroz, transformando os resíduos orgânicos em adubo para incorporação em solo agrícola.
- Criação de novas tecnologias para a utilização dos resíduos.

Dentro de cada possibilidade de destino para a casca de arroz listada acima, existem diretrizes específicas para cada uma. A seguir estão as diretrizes especificadas pela FEPAM para a utilização da casca de arroz como combustível para equipamentos de queima, o qual é assunto deste trabalho:

- Os equipamentos e operações passíveis de provocarem emissões de material particulado deverão ser providos de sistema de ventilação local exaustora e equipamento de controle eficiente, de modo a evitar emissões visíveis para a atmosfera;

- A empresa deverá atender a todos os requisitos da Portaria SSMA N° 03/88, que estabelece exigências ao controle das emissões atmosféricas, para as atividades que processam ou manuseiam grãos.
- Os dutos de saída (chaminés) de todos os sistemas de controle ambiental (filtros de mangas, lavadores e outros equipamentos), deverão atender à Norma da ABNT-NBR 10.701.
- Deverá ser apresentado um Plano de destinação final das cinzas resultantes da queima da casca de arroz, podendo, a critério da FEPAM, ser exigido licenciamento específico.

Com as diretrizes cumpridas corretamente de acordo com a FEPAM, é possível o desenvolvimento de projetos de geração de energia utilizando como base a casca do arroz. A energia gerada pelo projeto de usina termoelétrica em estudo deverá ser comercializada, sendo esse comércio realizado no mercado de energia.

2.4 MERCADO DE ENERGIA

No atual modelo do sistema brasileiro de energia, a comercialização se dá de acordo com a função de cada um dos agentes participantes do mercado. Existem agentes de geração, distribuição/transmissão e agentes de comercialização.

A comercialização de energia pode ocorrer em dois ambientes, mercado cativo/regulado e mercado livre, sendo que os agentes responsáveis por geração podem escolher em qual mercado atuar, podendo atuar nos dois.

Já os responsáveis pela distribuição da energia também são responsáveis pelo transporte. Consumidores residenciais, por exemplo, não possuem outra alternativa senão serem conectados às distribuidoras e conseqüentemente fazerem parte do mercado cativo e assim, estarem sujeitos a tarifas e procedimentos exigidos pela distribuidora de sua região.

2.4.1 Mercado regulado

O mercado regulado é o ambiente onde as distribuidoras compram energia em contratos de longo prazo através de leilões promovidos pelo governo. Desse modo, os geradores vendem energia elétrica às distribuidoras, que são responsáveis por atender aos consumidores cativos (residenciais, por exemplo) vinculados à distribuidora de sua região.

2.4.2 Mercado livre

No mercado de comercialização de energia, os geradores negociam preços e quantidades em curto prazo diretamente com seus consumidores. Consumidores com consumo de 3MW ou mais e atendidos por 69 kV tem a opção de escolha do modo que vão contratar sua energia. Todavia, consumidores com carga igual ou superior a 2.500 kW também podem participar do mercado livre, desde que comprem energia vinda de fontes alternativas, como biomassa.

Quando o consumidor participa do mercado regulado, deve pagar duas tarifas básicas à distribuidora: a Tarifa de Energia (TE), devido ao consumo de energia elétrica, e a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), as duas são estabelecidas pela ANEEL e reajustadas a cada ano. Porém, quando o consumidor faz parte do mercado livre, continua pagando a TUSD para a distribuidora, mas o valor relacionado ao consumo da energia passa a ser pago diretamente ao gerador.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Apesar da predominância de uso dos recursos não-renováveis para a geração de energia elétrica no mundo, o Brasil demonstra cada vez mais sua conscientização ambiental, visto que em sua matriz elétrica a participação de fontes renováveis de energia é maioria quando comparada à participação de fontes fósseis.

Dentre fontes renováveis, a biomassa possui significativa participação na matriz elétrica brasileira, sendo responsável por aproximadamente 8% da produção de energia elétrica no país. No segmento das biomassas, a casca de arroz é uma das matérias-primas com maior potencial energético devido ao seu poder calorífico inferior de aproximadamente 3384 kcal/kg, proporcionando, principalmente ao sul do país, a utilização desse resíduo para geração de energia, visto que a produção de arroz nessa região gera alta quantidade de casca de arroz.

Sendo assim, a energia gerada pode ser comercializada no mercado de energia. O ambiente de comércio pode ser regulado, onde concessionárias compram energia dos geradores por intermédio do governo, ou no ambiente livre, onde as relações de compra e venda são firmadas entre agentes geradores diretamente com consumidores. A venda da energia produzida compõem a receita gerada para o projeto da usina termoeletrica em estudo, sendo dessa forma o principal componente de arrecadação financeira do empreendimento e essencial para a análise de engenharia econômica do projeto.

3 ENGENHARIA ECONÔMICA

Para a implementação de um projeto, se faz necessário examinar os investimentos e benefícios econômicos possíveis para tal empreendimento. O estudo da engenharia econômica possibilita a avaliação de aspectos econômicos relacionados a tais investimentos em projetos de engenharia. Através dos métodos de análise que a engenharia econômica proporciona, decisões podem ser tomadas a fim de reduzir custos e ampliar resultados desejados pelos investidores.

Para realizar avaliação econômica de um projeto de termoeletrica é necessário obter o levantamento do custo de instalação, dos custos operacionais e das receitas, que compõem o fluxo de caixa. A partir do fluxo de caixa, podem ser avaliados os indicadores de TMA, VPL, TIR e *Payback*; os quais são importantes ferramentas para avaliação da viabilidade de um projeto (ROSS, WESTERFIELD, JORDAN, 2013). Tais indicadores são ferramentas fundamentais da engenharia econômica para a avaliação da viabilidade de um projeto e devido a isso é necessário o cálculo dos valores desses indicadores para o estudo atual.

3.1 VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETO

Com o objetivo de produzir a avaliação econômica da instalação de uma usina termelétrica, é preciso realizar uma investigação de custos que compreendem o fluxo de caixa. O fluxo de caixa de uma empresa representa então a movimentação de entrada e saída de dinheiro, com previsão de ocorrência em um determinado tempo (VIEIRA, 2016). Com base nisso, podem ser observados valores indicadores de TMA, VPL, TIR e *Payback*, os quais são importantes ferramentas para avaliação da viabilidade de um projeto (ROSS et al., 2013).

De acordo com Silva (2016), a análise de viabilidade econômica integra o conjunto de atividades desenvolvidas pela engenharia econômica. Desta forma, a análise de viabilidade econômica permite definir, através de projeções e métodos, o potencial retorno do projeto em estudo o qual será investido, auxiliando na tomada de decisão quanto à continuidade ou não do projeto (GAIA, 2015).

Sendo assim, este capítulo abordará os indicadores responsáveis pela análise da viabilidade econômica da implantação de uma usina termoeletrica a base de casca de arroz.

3.1.1 Custos de instalação

Conforme Mayer et al. (2009), devem ser estudados os custos dos seguintes itens para a instalação de uma central geradora termoelétrica:

- Terreno;
- Construção civil: instalações necessárias para a instalação da termoelétrica, que compreende o prédio para o gerador e a base para instalação da caldeira;
- Máquinas e equipamentos: engloba os valores referentes aquisição da caldeira, turbina, gerador, painéis de controle e materiais eletromecânicos utilizados na montagem e interligação entre os equipamentos;
- Montagem: recursos para serviços de montagem e instalação dos equipamentos;
- Seguros referentes às garantias contra um eventual prejuízo durante a instalação da termoelétrica;
- Transporte dos equipamentos do local de fabricação até o local de montagem e instalação;
- Imprevistos: reserva de recursos financeiros para eventuais despesas não programadas durante a fase de projeto;

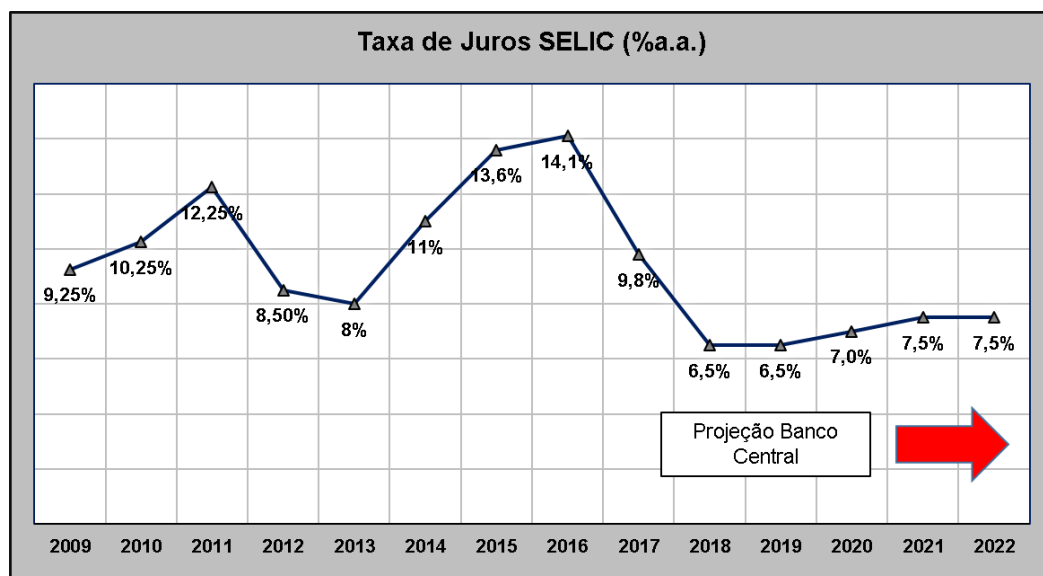
A análise operacional de uma usina termoelétrica também compreende custos considerados fixos, como: valores referentes aos pagamentos dos operadores, à manutenção dos equipamentos, à legalização do empreendimento e à sua depreciação ao longo do tempo. Além disso, existem custos variáveis que englobam valores gastos com o tratamento de água da caldeira, com a demanda suplementar de reserva, necessária para assegurar o fornecimento de energia elétrica caso haja problemas na termoelétrica, e com gastos devido ao consumo de eletricidade da rede quando houver necessidade. Além da determinação dos custos de instalação da usina, é necessária a determinação da taxa mínima de atratividade do projeto, visto que são fatores influenciadores na análise econômica da termoelétrica.

3.1.2 Taxa mínima de atratividade

A TMA consiste na taxa de desconto mínima que torna o investimento atrativo ao investidor. É definida previamente aos métodos de cálculo de viabilidade e retorno estipulado pela empresa (ETGES; SOUZA, 2016). Para a determinação da Taxa Mínima

de Atratividade, são considerados fatores como tempo de investimento, fatores de risco e a principal taxa de juros do mercado, denominada Taxa SELIC (Sistema Especial de Liquidação e Custódia), pois é a taxa que influencia o restante de taxas de juros do país, como as de empréstimos, aplicações financeiras e demais investimentos. Na figura 3.1 está apresentada a projeção da taxa SELIC pelos próximos três anos, de acordo com o relatório de mercado disponibilizado pelo Banco Central.

Figura 3.1 – Projeção Taxa SELIC.



Fonte: Adaptado de Banco Central.

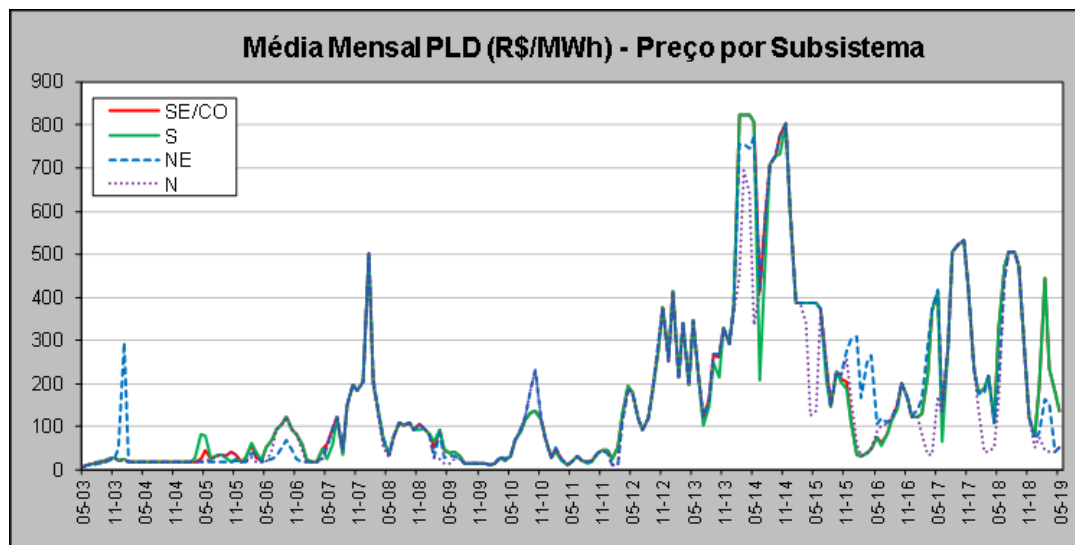
A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) contempla três elementos: custo de oportunidade, risco do negócio e a liquidez do negócio (GAIA, 2015). O custo de oportunidade considera o retorno que o investimento teria caso fosse aplicado em outros fundos, como a poupança. O fator de risco tem como objetivo compensar o risco de o investimento não trazer o retorno esperado, assim, quanto maior for o risco do investimento, maior será a remuneração visada. Também é acrescentada à TMA uma taxa de liquidez, pois uma vez investido certo valor de capital, dificilmente será possível resgatar esse valor em curto prazo.

As conclusões sobre a atratividade do negócio podem ser tomadas através da comparação entre a TMA e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Quando a TIR supera a TMA, a rentabilidade do projeto é superior ao referencial tido pelo investidor. Caso contrário, a rentabilidade é inferior ao referencial e, portanto, o projeto não é atrativo. Quando as duas se igualam, há indiferença entre uma ou outra opção, cabendo ao investidor decidir baseado em outras variáveis (PEREIRA; COSTA; COSTA, 2012). A partir desse contexto, a TMA é utilizada também como base para o cálculo, por exemplo, do Valor Presente Líquido (VPL).

Outro fator a ser considerado na análise econômica do projeto estudado neste

trabalho é o Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), utilizado na valoração do preço de energia no mercado livre. A formação do preço da energia comercializada é feita através de dados avaliados pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) na otimização da operação do Sistema Interligado Nacional (SIN). De acordo com dados da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), a figura 3.2 ilustra o valor do PLD a partir do ano de 2003 até maio de 2019 de acordo com cada submercado.

Figura 3.2 – Histórico PLD.



Fonte: Dados compilados pelo autor.

O modelo de valoração é baseado na avaliação do cenário meteorológico de precipitações, preços de combustíveis, demanda de energia, entrada de novos empreendimentos de geração e disponibilidade de equipamentos de geração e transmissão, que definem os níveis de geração hidráulica e térmica. O Custos Marginais de Operação (CMO) é resultado dessa análise para o período em questão, para cada patamar de carga e para cada submercado.

O cálculo do PLD se referencia na utilização de modelos computacionais NEWAVE e DECOMP, os quais produzem como resultado o CMO de cada submercado, respectivamente em base mensal e semanal. Como o PLD é o indicador em que se baseia o preço da energia em operações de comercialização no mercado livre, há uma variação do PLD ao longo do tempo frente às variações climáticas. Essa relação entre fatores meteorológicos e preços caracteriza ao indicador oscilações em diferentes períodos do ano. Essas oscilações influenciam na valoração do preço da energia e assim provocam alterações no VPL, índice que também será analisado.

3.1.3 Valor presente líquido

O VPL é calculado através do somatório das entradas do fluxo de caixa menos o investimento inicial, descontado de uma TMA (GAIA, 2015). Nesse contexto, pode-se afirmar que o VPL tem como objetivo calcular o efeito de possíveis eventos futuros em uma alternativa de investimento (ETGES; SOUZA, 2016).

Na análise do VPL, caso o valor presente seja positivo significa que o projeto é viável, pois a redução do custo ou o retorno é maior do que o valor do investimento. Quando comparados vários investimentos através deste método, o mais adequado será aquele que apresentar o maior resultado positivo para o VPL.

O VPL de uma proposta de investimento é obtido pela Equação 3.1, onde FC_0 é o investimento inicial do projeto, FC_t é o fluxo de caixa no período de tempo avaliado (t), n é o número de períodos analisados e i é a taxa mínima de atratividade. Como FC_0 é o investimento inicial do projeto, é subtraído no cálculo de valor presente líquido.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - FC_0 \quad (3.1)$$

Quando um investimento possuir VPL positivo deverá ser aceito, ao passo que deverá ser rejeitado no momento em que possuir VPL negativo. A partir do momento que um investimento possui VPL nulo, significa que seu fluxo de caixa retorna justamente a taxa mínima de atratividade determinada para o projeto. Contudo, para o seguimento do estudo de viabilidade econômica, é necessário também o cálculo da TIR.

3.1.4 Taxa interna de retorno

A TIR é um índice responsável por indicar a aceitabilidade de um investimento. É definida como a taxa (K) que anula o VPL do fluxo de caixa de projetos de investimento, ou seja, é a taxa calculada para o investimento, em um determinado período de tempo, que zera as entradas menos as saídas do fluxo de caixa (LIZOTE, 2014). O cálculo da TIR se fundamenta na equação 3.2.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+K)^t} - FC_0 \quad (3.2)$$

Portanto, a TIR é utilizada para definição de aceitação de um projeto, sendo analisados os critérios a seguir:

- TIR maior que Taxa mínima de atratividade, o projeto é viável.
- TIR for menor que Taxa mínima de atratividade, o projeto é inviável.

Para a conclusão da análise de viabilidade econômica, o último índice analisado é o *payback*, o qual indicará o tempo de retorno do valor investido no projeto.

3.1.5 Payback

Segundo o método do VPL, um longo tempo pode se passar antes que se chegue a conclusão de que uma decisão foi correta. Com o método de *Payback*, sabe-se em menos tempo se a avaliação dos fluxos de caixa do gestor foi conveniente.

Há dois modos para obtenção do tempo de retorno do investimento, o primeiro modo, denominado *Payback* simples, não considera a taxa de juros. Já o segundo modo, o *Payback* descontado, é mais adequado na implementação de projetos maiores, pois considera a taxa de juros, portanto minimiza os riscos em uma projeção longa de desenvolvimento do projeto.

O método de *Payback* descontado, ou Tempo de Recuperação do Capital Investido, determina o tempo necessário para que o investimento retorne um resultado econômico positivo descontado pela TMA definida (ETGES; SOUZA, 2016). Assim, o *Payback* indicará o número de períodos que zera o valor presente líquido do investimento, determinando o tempo em que o capital investido estará recuperado. A partir da equação 3.3, para a obtenção de número de períodos de recuperação do investimento, é notório que o valor do pagamento periódico (Pmt) deve ser maior que o valor presente multiplicado pela taxa i para que exista solução.

$$n = \frac{\log \frac{P_{mt}}{P_{mt} - V_p i}}{\log(1 + i)} \quad (3.3)$$

3.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

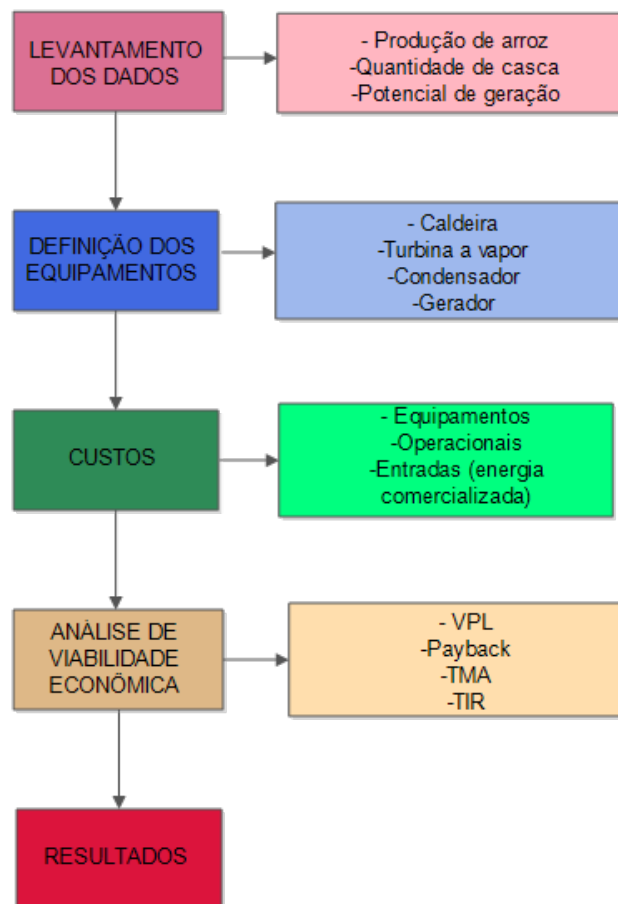
O estudo de viabilidade econômica do projeto de uma termoeétrica a base de casca de arroz necessita que sejam analisados alguns índices de viabilidade econômica. O presente trabalho abordará o cálculo de TMA, VPL, TIR e *Payback*.

Para que o cálculo dos índices necessários seja possível, é essencial que seja realizado um levantamento dos custos gerados para a implantação da termoeétrica e as receitas geradas pela mesma, pois assim será executável a elaboração do fluxo de caixa da termoeétrica, fundamental para o cálculo dos índices de viabilidade econômica.

4 METODOLOGIA PROPOSTA

O presente trabalho tem como objetivo realizar o estudo de viabilidade econômica da implantação de uma termoelétrica a base de casca de arroz no município de Cachoeira do Sul. Para tal estudo, de acordo com a metodologia proposta na figura 4.1 é necessário realizar um levantamento da quantidade de casca de arroz disponível para a termoelétrica, pois assim é determinado o potencial de geração de energia do empreendimento e a definição dos custos necessários para a implementação do projeto. Com o conhecimento dos custos e receitas geradas pela termoelétrica, é elaborado o fluxo de caixa em que será baseado o cálculo dos índices de viabilidade econômica TMA, VPL, TIR e *Payback*, determinando-se assim os resultados.

Figura 4.1 – Metodologia proposta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado pela figura 4.1, a metodologia proposta está dividida em 4 etapas, sendo a primeira delas o levantamento dos dados de produção de arroz.

4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS DE PRODUÇÃO

Para avaliar a possibilidade de implantação de uma usina termoelétrica à base de casca de arroz é realizado o levantamento de produção de casca durante determinado período de tempo com o objetivo de estimar quanto pode ser destinado à termoelétrica e assim determinar sua potência de operação. Para essa estimativa, é descontado a utilização da casca de arroz em outros processos e feita a avaliação da quantidade de energia que será possível gerar, considerando o poder calorífico inferior da casca, a eficiência dos equipamentos e o tempo de operação da termoelétrica. O ciclo termodinâmico utilizado no processo de geração de energia será o Ciclo de Rankine, que pode ser compreendido por: queima do resíduo, geração de vapor, geração de trabalho na turbina pelo vapor e acionamento do gerador de eletricidade.

O potencial que a usina termoelétrica gerará energeticamente obedecerá a metodologia proposta na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Determinação do potencial de geração.

Potencial de Geração
Produção de arroz (t)
Quantidade de casca (t)
Rendimento do Ciclo
Horas de operação no ano
Potencial de Geração (MW)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Primeiramente deverá ser informado o valor de produção de arroz anual correspondente ao município para que seja calculada a quantidade que essa produção possuirá de casca utilizável à usina. Após, será definido o rendimento do ciclo termodinâmico no qual a usina operará, que em termoelétricas desse tipo é o Ciclo de Rankine. Por fim, deverá ser definido o tempo em que a usina estará em funcionamento durante o ano para que, então, seja calculado o potencial de geração do empreendimento. A partir dos dados da tabela 4.1 são obtidos os resultados da tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Determinação do potencial de geração.

Potência gerada (MW)
Horas trabalhadas
Energia total gerada (MWh/ano)
Energia consumida (MWh/ano)
Energia vendida (MWh/ano)
Valor do MW/h
Receita anual

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com posse dos dados do potencial de geração da termoeletrica e horas de operação da mesma, é calculada a energia total gerada, sendo que, parte dessa energia gerada será consumida pela própria termoeletrica, conforme está apresentado na tabela 4.2. O excedente gerado será comercializado de acordo com os valores do leilão realizado pela CCEE no ano de 2018, gerando assim a receita da usina.

4.2 DEFINIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Para a realização da definição dos equipamentos que compõem a termoeletrica, conforme a figura 4.1, primeiramente será necessária a análise para definir a caldeira, o gerador, a turbina, o condensador, entre outros equipamentos necessários para os sistemas geração de energia, proteção e comandos da termoeletrica.

4.3 CUSTOS

A terceira etapa da metodologia proposta na figura 4.1 é a definição dos custos, os quais podem ser divididos em custos de instalação e custos operacionais. Tais custos estão apresentados no item 3.1.1.

4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A quarta etapa da metodologia proposta, figura 4.1, é a análise de viabilidade econômica da termoeletrica, a qual abordará os principais índices de viabilidade econômica analisados nesse tipo de projeto, os quais são: TMA, TIR, VPL e *Payback*. Os cálculos dos índices de viabilidade econômica serão realizados em uma planilha genérica através do software Excel, para que seja possível a elaboração e análise dos fluxos de caixa e

assim determinar os resultados de viabilidade econômica do projeto e o tempo de retorno do investimento. Essa planilha poderá ser usada para análise de viabilidade de outros projetos que utilizem os mesmos parâmetros de entrada, pois a partir do valor fornecido para cada parâmetro os cálculos dos índices econômicos são realizados automaticamente, indicando se o investimento é viável ou não economicamente.

4.5 RESULTADOS

A última etapa indicada na figura 4.1 são os resultados. Nessa seção o estudo será finalizado com a apresentação dos resultados encontrados nos cálculos dos índices de viabilidade econômica do projeto da termoelétrica a base de casca de arroz no município de Cachoeira do Sul.

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A metodologia que será aplicada para a elaboração do estudo de viabilidade econômica obedecerá uma sequência de etapas em que a etapa posterior possui relação de dependência com a etapa anterior.

Os resultados obtidos da análise de viabilidade econômica são baseados na interpretação dos índices de viabilidade econômica, calculados a partir do fluxo de caixa do projeto no período estipulado. O fluxo de caixa considera as receitas e as despesas do projeto, que por sua vez possuem relação direta com o potencial de geração da termoelétrica.

A partir da metodologia proposta apresentada na figura 4.1, é realizado um estudo de caso para análise de viabilidade econômica da implantação de uma termoelétrica a base de casca de arroz na cidade de Cachoeira do Sul-RS.

5 ESTUDO DE CASO

A cidade de Cachoeira do Sul, que durante o século XX já possuiu inúmeros engenhos de arroz quando o município era um dos maiores do estado do Rio Grande do Sul, atualmente conta com apenas 3 engenhos principais, responsáveis pelo recebimento da maior parcela do arroz produzido na cidade.

Com base na análise da figura 4.1, a primeira etapa do estudo de caso base consiste no levantamento dos dados. Para a aquisição desses dados foi realizado o contato com dois dos três engenhos de maior expressão no cenário municipal de Cachoeira do Sul. A tabela 5.1 expõem os dados de matéria-prima disponível e o potencial de geração da usina.

Tabela 5.1 – Potencial de Geração.

Potencial de Geração	
Produção de Arroz (t):	51680
Quantidade de Casca (t):	15504
Rendimento do Ciclo:	0,15
Horas de Operação (h):	8300
Potencial de Geração (MW):	1,10

Fonte: Elaborado pelo autor.

O primeiro contato foi realizado com o Engenho Treichel, principal engenho da cidade, onde a quantidade de arroz recebida foi em torno de 43680 toneladas por ano. Após, realizou-se contato com o Engenho Moraes, terceiro maior engenho de Cachoeira do Sul, onde cerca de 8 mil toneladas de arroz são recebidas por ano. Desse modo, a quantidade de arroz considerada no presente estudo de caso foi em torno de 51680 toneladas por ano. A partir do conhecimento da quantidade de arroz recebida nos engenhos, consegue-se determinar a quantidade de casca de arroz gerada, através da equação 2.1, obtendo-se desse modo uma quantidade de aproximadamente 15504 toneladas de casca de arroz, a qual será utilizada para geração de energia elétrica. Considerando um rendimento de 15% para o ciclo termodinâmico e 8300 horas de operação por ano, de acordo com os autores apresentados na revisão bibliográfica, obteve-se uma potência de geração de 1,1 MW, conforme apresenta a tabela 5.1.

5.1 ENTRADAS

A receita obtida através da implantação de uma termoeétrica a base de casca de arroz provém da comercialização de energia elétrica com as distribuidoras de energia no mercado de energia, conforme a seção 2.4.

A comercialização de energia elétrica é feita através de leilões realizados pela CCEE, por competência da ANEEL, com o intuito de regular o mercado. Para esse trabalho, o preço considerado por MWh foi de R\$450,00, de acordo com o leilão realizado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica em 2018 (CCEE, 2019), conforme indica a a figura 3.2.

De acordo com a tabela 5.2, para a determinação do potencial de geração são considerados quantidade de casca de arroz disponível, rendimento do ciclo termodinâmico e horas de operação da usina.

Tabela 5.2 – Receita anual da termoeétrica.

Potência gerada (MW):	1,1
Horas trabalhadas (h):	8300
Energia total gerada (MWh/ano):	9150,96
Energia consumida (MWh/ano):	1142,04
Energia vendida (MWh/ano):	8008,92
Valor MWh (leilão 2018):	R\$ 450,00
Receita anual:	R\$ 3.604.016,28

Fonte: Elaborado pelo autor.

A energia gerada é originada a partir do potencial de geração e horas de operação da usina termoeétrica, ao passo que dessa energia gerada, cerca de 12,48% é consumida na própria usina, para o restante ser comercializada ao preço de cerca de R\$/MWh 450,00, totalizando cerca de R\$ 3.604.016,28 de receita anual gerada para o empreendimento.

5.2 CUSTO DO INVESTIMENTO

De acordo com a figura 4.1, após as definições de potencial de geração da termoeétrica, é necessário abordar os valores dos investimentos necessários para a instalação da central termoeétrica na cidade de Cachoeira do Sul. Foi obtido sucesso somente no contato realizado com a empresa A1 Engenharia e, de acordo com orçamento preliminar fornecido pela empresa, o investimento é baseado em três aspectos, conforme indica a tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Custos de instalação.

Investimento	Custo
- Alimentação de combustível	
- Caldeira	R\$ 3.500.000,00
- Interligações de vapor	
- Geração de energia	R\$ 3.000.000,00
- Conexão na rede elétrica	
- Construção civil	R\$ 700.000,00
- Custo total	R\$ 7.200.000,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

O primeiro item aborda custos quanto à alimentação de combustível, que no caso da termoeétrica em estudo é a casca de arroz, bem como os custos relacionados à aquisição da caldeira onde será gerado o vapor e os custos das interligações do vapor.

Os custos necessários relacionados aos equipamentos de geração de energia e suas instalações, assim como a conexão da termoeétrica com a rede elétrica são indicados no segundo item, totalizando cerca de 3 milhões de reais.

Com relação aos custos com construção civil, incluindo as instalações necessárias para a implantação da termoeétrica em Cachoeira do Sul, além do barracão e das bases para instalação da caldeira, seria necessário cerca de 700 mil reais.

Dessa forma, para a implantação de uma termoeétrica no município de Cachoeira do Sul seria necessário um investimento na ordem de R\$ 7.200.000,00

5.3 CUSTO OPERACIONAL

Para a operação da termoeétrica estudada, será necessário gastar certo valor mensalmente. Esse valor será denominado de custo operacional, sendo que, este custo operacional será formado pelos custos fixos e custos variáveis associados à operação da termoeétrica, conforme apresentado na tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Custos operacionais.

Custo Fixo	R\$ 252.336,35
Seguros	R\$ 24.056,06
Custo de mão-de-obra anual	R\$ 108.000,00
Custo com manutenção anual	R\$ 120.280,29
Custo variável	R\$ 24.929,00
Custo com tratamento de água	R\$ 24.929,00
Total	R\$ 277.265,35

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como a termoeletrica em questão possui pequeno porte, três trabalhadores por turno seriam suficientes para operá-la corretamente. Para esse projeto, serão considerados como custos fixos os custos relativos à manutenção, mão-de-obra e seguros referentes ao funcionamento anual da termoeletrica, além do salário dos funcionários, incluindo seus encargos, no valor de R\$ 3000,00 mensais. Para a definição dos custos variáveis, foram considerados gastos referentes ao tratamento de água necessário.

5.4 RESULTADOS E ANÁLISE FINANCEIRA

Para a conclusão da metodologia proposta na figura 4.1, a seguir é apresentada a planilha demonstrativa de fluxo de caixa para a termoeletrica a base de casca de arroz. Nessa tabela são apresentados detalhadamente os itens descritos até esta seção para um cenário principal de 20 anos de análise do projeto.

Tabela 5.5 – Fluxo de caixa.

Períodos	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3
Investimento(R\$):	7.200.000,00			
Vendas(R\$):		3.604.016,285	3.604.016,285	3.604.016,285
(-) Custos variáveis(R\$):		24.929,00	24.929,00	24.929,00
(-) Custos fixos(R\$):		252.336,35	252.336,35	252.336,35
(-) Depreciação(R\$):	324.000,00	324.000,00	324.000,00	324.000,00
(=) Lucro bruto(R\$):	-7.524.000,00	3.002.750,935	3.002.750,935	3.002.750,935
(-) Impostos(R\$):		840.770,2617	840.770,2617	840.770,2617
(=) Lucro líquido(R\$):	-7.524.000,00	2.161.980,673	2.161.980,673	2.161.980,673

Períodos	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7
Investimento(R\$):				
Vendas(R\$):	3.604.016,285	3.604.016,285	3.604.016,285	3.604.016,285
(-) Custos variáveis(R\$):	24.929,00	24.929,00	24.929,00	24.929,00
(-) Custos fixos(R\$):	252.336,35	252.336,35	252.336,35	252.336,35
(-) Depreciação(R\$):	324.000,00	324.000,00	324.000,00	324.000,00
(=) Lucro bruto(R\$):	3.002.750,935	3.002.750,935	3.002.750,935	3.002.750,935
(-) Impostos(R\$):	840.770,2617	840.770,2617	840.770,2617	840.770,2617
(=) Lucro líquido(R\$):	2.161.980,673	2.161.980,673	2.161.980,673	2.161.980,673

Períodos	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11
Investimento(R\$):				
Vendas(R\$):	3.604.016,285	3.604.016,285	3.604.016,285	3.604.016,285
(-) Custos variáveis(R\$):	24.929,00	24.929,00	24.929,00	24.929,00
(-) Custos fixos(R\$):	252.336,35	252.336,35	252.336,35	252.336,35
(-) Depreciação(R\$):	324.000,00	324.000,00	324.000,00	324.000,00
(=) Lucro bruto(R\$):	3.002.750,935	3.002.750,935	3.002.750,935	3.002.750,935
(-) Impostos(R\$):	840.770,2617	840.770,2617	840.770,2617	840.770,2617
(=) Lucro líquido(R\$):	2.161.980,673	2.161.980,673	2.161.980,673	2.161.980,673

Períodos	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15
Investimento(R\$):				
Vendas(R\$):	3.604.016,285	3.604.016,285	3.604.016,285	3.604.016,285
(-) Custos variáveis(R\$):	24.929,00	24.929,00	24.929,00	24.929,00
(-) Custos fixos(R\$):	252.336,35	252.336,35	252.336,35	252.336,35
(-) Depreciação(R\$):	324.000,00	324.000,00	324.000,00	324.000,00
(=) Lucro bruto(R\$):	3.002.750,935	3.002.750,935	3.002.750,935	3.002.750,935
(-) Impostos(R\$):	840.770,2617	840.770,2617	840.770,2617	840.770,2617
(=) Lucro líquido(R\$):	2.161.980,673	2.161.980,673	2.161.980,673	2.161.980,673

Períodos	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19
Investimento(R\$):				
Vendas(R\$):	3.604.016,285	3.604.016,285	3.604.016,285	3.604.016,285
(-) Custos variáveis(R\$):	24.929,00	24.929,00	24.929,00	24.929,00
(-) Custos fixos(R\$):	252.336,35	252.336,35	252.336,35	252.336,35
(-) Depreciação(R\$):	324.000,00	324.000,00	324.000,00	324.000,00
(=) Lucro bruto(R\$):	3.002.750,935	3.002.750,935	3.002.750,935	3.002.750,935
(-) Impostos(R\$):	840.770,2617	840.770,2617	840.770,2617	840.770,2617
(=) Lucro líquido(R\$):	2.161.980,673	2.161.980,673	2.161.980,673	2.161.980,673

Períodos	Ano 20
Investimento(R\$):	
Vendas(R\$):	3.604.016,285
(-) Custos variáveis(R\$):	24.929,00
(-) Custos fixos(R\$):	252.336,35
(-) Depreciação(R\$):	324.000,00
(=) Lucro bruto(R\$):	3.002.750,935
(-) Impostos(R\$):	840.770,2617
(=) Lucro líquido(R\$):	2.161.980,673

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 5.5 expõem os valores alcançados para o fluxo de caixa do investimento, utilizados na obtenção de valores que serão utilizados para informar a eficiência econômica da termoelétrica.

O item investimento é referente aos custos de investimento citados na seção 5.2 que engloba valores econômicos correspondentes a alimentação de combustível, caldeira, interligações de vapor, geração de energia, conexão com a rede elétrica e construção civil da termoelétrica.

Após, em "Vendas" é referenciado o valor correspondente à comercialização da energia gerada descontada da energia consumida pela própria termoelétrica, no valor de R\$ 450,00 /MWh. O valor das vendas de energia descontado dos custos fixos, dos custos variáveis e da depreciação, origina o lucro bruto do projeto.

Os custos fixos englobam, de acordo com a tabela 5.4, gastos relacionados aos seguros, mão-de-obra e manutenção necessária, enquanto que os custos variáveis relacionam os custos para que seja realizado o processo de tratamento de água.

A depreciação é determinada conforme a resolução normativa da ANEEL, N° 731, de 23 de agosto de 2016, a qual define a metodologia de cálculo da depreciação acumulada das usinas de geração hidrelétrica e termoelétrica de energia. Sendo assim, foi

determinado que a depreciação é 4,5% do custo do investimento. O imposto de renda juntamente com a contribuição sobre o lucro líquido aplicada sobre o lucro anual foi de cerca de 28%.

5.5 RESULTADOS DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A determinação de viabilidade econômica de um empreendimento é realizada com base na determinação e concordância, segundo critérios de avaliação, dos índices de viabilidade econômica, que no presente trabalho foram definidos TMA, VPL, TIR e Payback. Para determinação dos índices de viabilidade econômica citados foi utilizado o software Microsoft Office Excel 2016, onde foi obtida a tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Índices de viabilidade econômica.

TMA:	10%
VPL(R\$):	10.882.160,22
TIR:	29%
Payback descontado:	4,5 Anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para os cálculos dos principais índices de viabilidade econômica de um investimento, neste estudo de caso foi considerado um fluxo de caixa de 20 períodos, sendo cada período equivalente há um ano com 365 dias.

O VPL foi calculado com base nos ganhos econômicos do item 5.5, dos custos do item 5.2 e dos custos do item 5.3. O cálculo do VPL, como apresentado na seção 3.1.3 é representado pela soma dos fluxos de caixa, descontado do valor investido inicialmente.

A TMA foi determinada com base na análise da projeção da taxa SELIC, sendo 10% o valor considerado para a TMA. Aplicando a equação 3.1 para obtenção do VPL, observa-se que o valor encontrado é maior que zero, logo, com base nesse índice de viabilidade econômica, o projeto é viável economicamente.

A partir do cálculo do VPL, obteve-se uma TIR de 29% para o cenário principal cujo tempo de previsão é de 20 anos. Desse modo, pode-se observar que o investimento é caracterizado como viável economicamente pois o valor da TIR é superior ao valor da TMA.

O cálculo do tempo em que o capital investido terá seu retorno foi realizado utilizando valores obtidos no VPL. Para o cenário de 20 anos, foi calculado um tempo de retorno de aproximadamente 4 anos e meio.

5.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A partir do estudo de caso apresentado para a cidade de Cachoeira do Sul, pode-se observar que cada fator considerado nas tabelas de potencial de geração, receita da termoelétrica e custos de instalação implicam em alterações na tabela de fluxo de caixa e conseqüentemente ocorrem modificações no resultado dos índices de viabilidade econômica expressos na tabela 5.6, fato que pode alterar a condição de viabilidade econômica do projeto.

Com a finalidade de observar como a análise de viabilidade se comportaria para diferentes cenários, a seguir é realizada uma análise de sensibilidade econômica considerando cinco diferentes cenários, onde em cada cenário é alterado algum parâmetro que foi considerado no estudo de caso com o intuito de observar o impacto gerado na análise de viabilidade econômica de cada cenário.

Primeiramente no cenário 1 foi realizada a variação da produção de arroz para 75.680 toneladas, cerca de 24.000 toneladas de arroz a mais, fato que proporcionaria maior quantidade de matéria-prima a ser utilizada na usina. A tabela 5.7 apresenta os resultados para esse caso.

Tabela 5.7 – Índices de viabilidade econômica após alteração na produção de arroz.

TMA:	10%
VPL(R\$):	21.141.498,94
TIR:	45%
Payback descontado:	2,66 Anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme observado na tabela 5.7, o valor do VPL obteve um crescimento e chegou ao valor de R\$ 21.141.498,04. De mesmo modo, a TIR também obteve crescimento chegando ao valor de 45%, aumentando a diferença para a TMA. Com o crescimento do VPL e TIR, o empreendimento se tornou mais viável economicamente e o retorno do investimento ficou em cerca de 2,66 anos.

Supondo no cenário 2 uma redução dos impostos a serem pagos pela usina termoelétrica de 28% para 18% sobre o lucro bruto do empreendimento, é apresentada a tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Índices de viabilidade econômica após alteração nos impostos.

TMA:	10%
VPL(R\$):	13.438.571,36
TIR:	33%
Payback descontado:	3,83 Anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a tabela 5.8, o VPL cresceu, em relação ao estudo de caso efetuado, para R\$ 13.438.571,36 e a TIR para 33%, resultando em 3,83 anos necessários para a recuperação do valor investido.

No cenário 3 foi estimado uma redução no valor do MWh de energia de R\$ 450,00 para R\$ 250,00. A tabela 5.9 apresenta os índices de viabilidade econômica após alteração do valor da energia comercializada.

Tabela 5.9 – Índices de viabilidade econômica após alteração no preço da energia.

TMA:	10%
VPL(R\$):	1.063.593,09
TIR:	12%
Payback descontado:	14,38 Anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Percebe-se pela análise da tabela 5.9 que essa variação ocasionou uma queda significativa do VPL e da TIR, que passaram a ser de R\$ 1.063.593,09 e 12%, respectivamente. Devido à redução nos valores dos índices de viabilidade econômica para esse cenário, consequentemente o tempo de retorno do investimento aumentou, ficando em torno de 14,38 anos.

Para o cenário 4 foi considerada uma redução no rendimento do ciclo termodinâmico no qual opera a usina termoelétrica. O rendimento considerado nesse cenário foi de 10%, conforme indica a tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Índices de viabilidade econômica após alteração no rendimento do ciclo termodinâmico.

TMA:	10%
VPL(R\$):	3.518.234,87
TIR:	16%
Payback descontado:	9,1 Anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Através da tabela 5.10 é possível observar, quando comparados ao estudo de caso, uma redução significativa do VPL para R\$ 3.518.234,87 e da TIR para 16%, resultando em um *Payback* de aproximadamente 9 anos.

Por fim, no cenário 5 o peso da casca do arroz é considerado 25% do peso total do grão, valor menor que o utilizado no estudo de caso, onde era determinado o peso da casca como sendo 30% do peso do grão de arroz. A tabela 5.11 expõem os valores dos índices de viabilidade após a alteração relatada anteriormente.

Tabela 5.11 – Índices de viabilidade econômica após alteração do peso considerado para a casca do arroz.

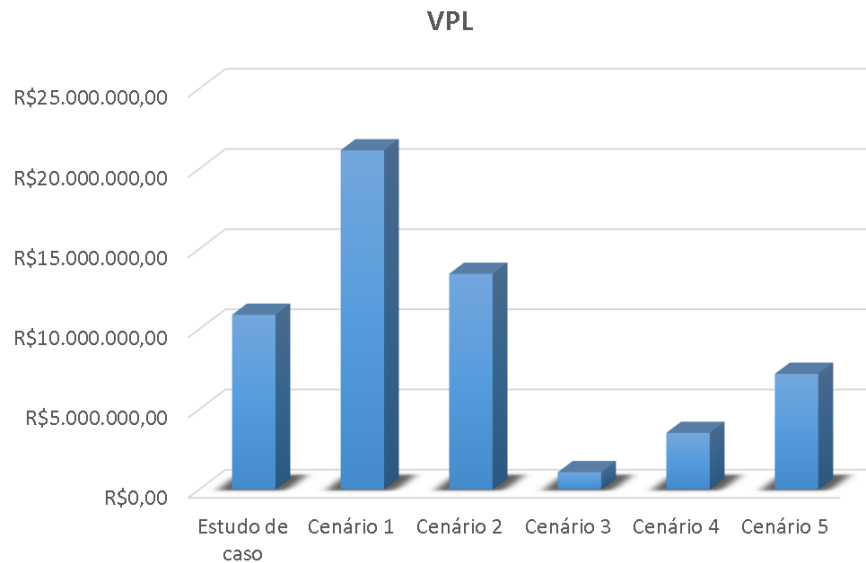
TMA:	10%
VPL(R\$):	7.200.197,55
TIR:	23%
Payback descontado:	6 Anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme a tabela 5.11, é notória novamente a redução que os índices VPL e TIR atingiram. O VPL atingiu o valor de R\$ 7.200.197,55 e a TIR o valor de 23%, valores menores que os calculados no estudo de caso, sendo necessário 6 anos para recuperação do investimento.

A figura 5.1 apresenta a comparação do VPL para os cenários analisados no presente trabalho.

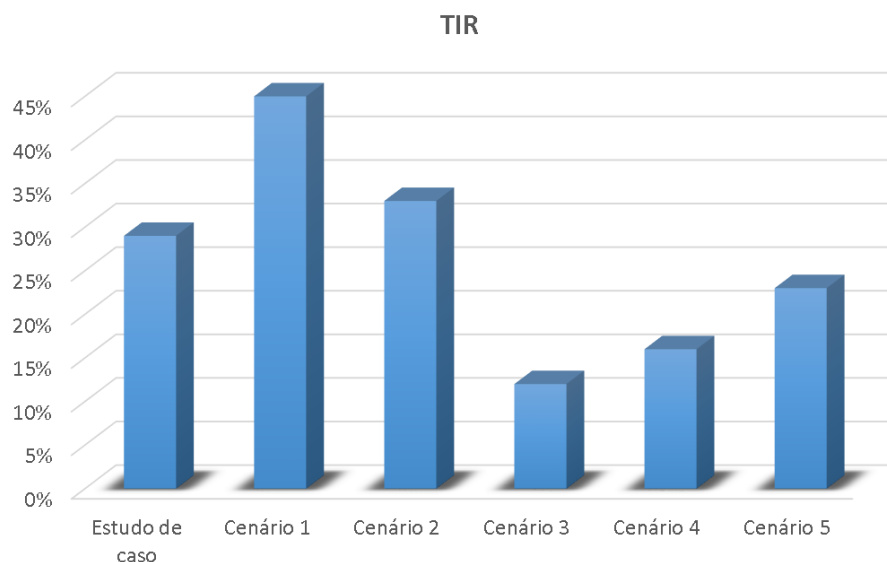
Figura 5.1 – VPL para diferentes cenários.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise da figura 5.1 permite que seja notado no cenário 1 a melhor opção considerando o índice VPL, enquanto que o pior caso para VPL se encontra no cenário 3. Para a análise do cenário ideal para a TIR, considera-se a figura 5.2.

Figura 5.2 – TIR para diferentes cenários.

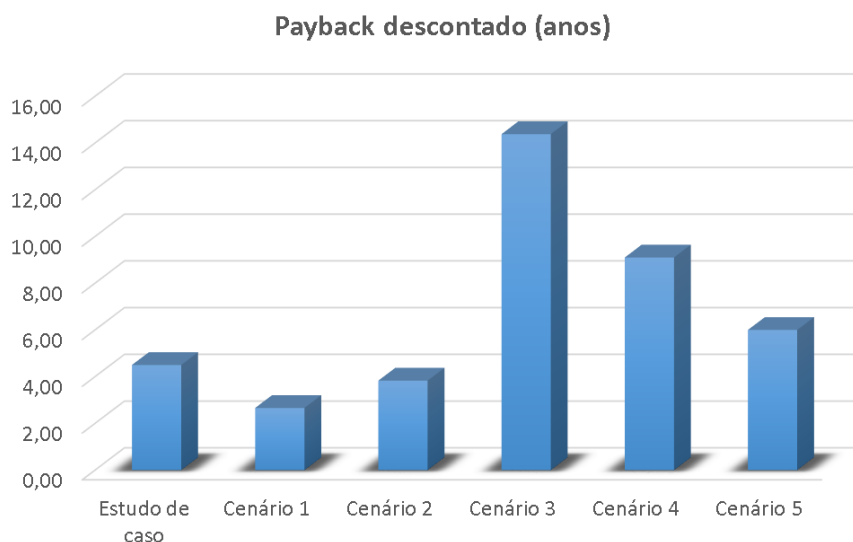


Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme análise da figura 5.2, semelhantemente a do índice do VPL, o cenário com a taxa interna de retorno mais atrativa é a do cenário 1, enquanto que a menos interessante seria a TIR do cenário 3.

Por fim, foram observados o tempo em que o investimento seria recuperado em cada um dos cenários, como ilustra a figura 5.3.

Figura 5.3 – Payback para diferentes cenários.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a figura 5.3, o cenário em que o capital investido traria retorno em menor tempo seria no cenário 1, ao passo que no cenário 3 seria onde mais tempo seria necessário para recuperar o investimento.

Portanto, através da análise de sensibilidade aplicada para os diferentes cenários, verificou-se a alteração dos resultados apurados para os índices de viabilidade considerados e assim, a variação da viabilidade econômica do projeto para cada cenário. Esse fato se deve à mudança aplicada nos parâmetros de entrada da planilha no *Excel*, sendo eles os valores de produção de arroz, impostos sobre lucro bruto, preço de energia, redução no rendimento do ciclo termodinâmico e a variação do peso considerado da casca de arroz para os cenários 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente.

Com base na análise dos índices de viabilidade econômica encontrados para os diferentes cenários analisados, pode-se perceber que o cenário 3 possui a menor viabilidade econômica dentre os cenários analisados. Já no cenário 1 foi verificada a maior viabilidade econômica, pois seus índices de viabilidade apresentaram maiores resultados e o tempo de recuperação de investimento foi o mais curto.

6 CONCLUSÃO

A elevada produção de arroz no estado do Rio Grande do Sul, especialmente no município de Cachoeira do Sul, e seu conseqüente volume de casca, motivam estudos de viabilidade do uso desse resíduo, visto que esse tipo de biomassa pode ser prejudicial ao meio ambiente se for lhe dado o destino inadequado. A geração de energia em termoelétricas baseadas em casca de arroz causa impactos notoriamente positivos ambientalmente devido ao destino adequado desse resíduo agrícola, reduzindo assim a emissão de gases nocivos à atmosfera e comprovando uma relação entre o sistema de geração de energia em termoelétricas a base de casca de arroz com a redução de impactos ambientais.

O presente trabalho propôs uma avaliação de viabilidade econômica na implantação de uma termoelétrica que usa a casca de arroz como combustível para a geração de energia. Para tal estudo foram realizadas considerações a respeito do ciclo termodinâmico de transformação de energia, características técnicas dos equipamentos e propriedades e físico-químicas da casca de arroz. Após todas as informações necessárias, foi realizado o estudo de engenharia econômica, considerando os índices de viabilidade econômica de projeto TMA, VPL, TIR e *Payback*.

Para a implantação da termoelétrica a base de casca de arroz em Cachoeira do Sul, com um investimento inicial de R\$ 7.200.000,00, o projeto se mostrou viável economicamente perante a análise do resultado do conjunto de indicadores de viabilidade econômica presentes neste trabalho. A partir do resultado encontrado para o VPL, verificou-se a atratividade causada pelo indicador, visto que o valor obtido foi positivo. Outro indicador estudado, a TIR, semelhantemente ao VPL, demonstrou percentual viável ao investimento, pois é maior quando comparada à TMA, fator de referência necessário ao estudo de viabilidade econômica do projeto. Por fim, o tempo necessário de recuperação do investimento se demonstrou viável, sendo em torno de 4 anos e meio.

O presente estudo de caso demonstra que a usina termoelétrica a base de casca de arroz possui bons resultados de viabilidade econômica, além de ser uma fonte renovável de geração de energia, com baixo impacto ambiental. Além disso, a implantação de uma usina termoelétrica baseada em casca de arroz auxilia no gerenciamento correto desse resíduo, evitando que o mesmo seja descartado de forma incorreta no meio-ambiente.

Cabe salientar a relevância da análise de sensibilidade realizada, pois se percebe que com o aumento da quantidade disponível de casca de arroz (cenário 1) e a redução dos impostos incidentes sobre o lucro do empreendimento (cenário 2), os índices de viabilidade seriam mais atrativos ao investidor e o tempo de recuperação de capital seria menor, quando comparado ao estudo de caso.

Por outro lado, quando reduzido o preço da venda de energia (cenário 3), o rendimento do ciclo termodinâmico de operação (cenário 4) e o peso considerado da casca do arroz (cenário 5), os índices de viabilidade econômica também se reduziriam e tornariam

o investimento menos viável.

O resultado deste trabalho demonstra a ampla dependência do estudo de viabilidade econômica para investimentos requeridos na implantação de uma termoelétrica baseada em biomassa casca de arroz. Tal fato indica a necessidade de buscar informações cada vez mais específicas de custos e ganhos com a finalidade de realizar um estudo de viabilidade econômica mais preciso.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos a serem desenvolvidos futuramente, é aconselhável um estudo das possibilidades de sistemas de tratamento e reuso das água necessárias para a operação de uma usina termoelétrica a base de casca de arroz. Da mesma maneira, sugere-se a análise do impacto de incentivos fiscais por parte de órgãos governamentais na viabilidade econômica de projetos de termoelétricas. Uma estreita relação entre engenheiros e órgãos estatais como secretarias de agricultura pode contribuir para o crescimento do cenário arrozeiro no Rio Grande do Sul, possibilitando assim a criação de políticas de estímulo ao aproveitamento energético da casca de arroz em termoelétricas.

REFERÊNCIAS

- ABRAF, A. E. **Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas**. 2013.
- AMATO, G. W. Casca: Agregando valor ao arroz. **IRGA**, Porto Alegre, n. 50810, 2003.
- ANEEL. **Informações gerenciais**. 2017. <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14854008/Boletim+de+Informa%C3%A7%C3%B5es+Gerenciais+1%C2%BA+trimestre+de+2017/798691d2-990b-3b36-1833-c3e8c9861c21>>. Acessado em: 21/04/2019.
- ANEEL, M. 3 (prodist). **Acesso ao Sistema de Distribuição, Brasil**, 2008.
- CAPELETTO, G. J.; MOURA, G. d. Balanço energético do rio grande do sul 2014: ano base 2013. **Porto Alegre: Grupo CEEE/Secretaria de Infra-Estrutura e Logística do Rio Grande do Sul**, 2014.
- CASTRO, N. J. de; DANTAS, G. de A. Bioenergia no brasil e na europa: uma análise comparativa. 2008.
- CCEE. **Preço Médio da CCEE**. 2019. <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/precos/precos_medios?_afLoop=1034569859402118&_adf.ctrl-state=193q3n646c_1#!%40%40%3F_afLoop%3D1034569859402118%26_adf.ctrl-state%3D193q3n646c_5>. Acessado em: 21/04/2019.
- COELHO, S.; MONTEIRO, M.; KARNIOL, M. Atlas de bioenergia do brasil: Projeto fortalecimento institucional do cenbio - centro nacional de referência em biomassa. **Universidade de São Paulo**, 2012.
- COELHO, S. T. **Panorama do potencial de biomassa no Brasil**. [S.l.]: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2002.
- COELHO, S. T. et al. Atlas de bioenergia do brasil. **São Paulo: CENBIO, 66p**, 2012.
- CONAB. **Perspectivas para a agropecuária**. 2018/2019. <<https://www.conab.gov.br/images/arquivos/outros/Perspectivas-para-a-agropecuaria-2018-19.pdf>>. Acessado em: 21/04/2019.
- DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. Energias renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, p. 70–81, 2015.
- EPE. **Balanço Energético Nacional 2018. Ano base 2017**. 2018. <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf>. Acessado em: 21/04/2019.

- ETGES, A. P. B. D. S.; SOUZA, J. S. D. Estruturação de uma metodologia para análise do risco financeiro envolvido em empreendimentos imobiliários. **Revista Espacios**, v. 37, n. 9, p. 22–37, 2016.
- FAO. **International year of rice**. 2004. <<http://www.fao.org/rice2004/en/rice-us.htm>>. Acessado em: 21/04/2019.
- FILHO, A. V. O brasil no contexto energético mundial. **São Paulo: NAIPPE, USP**, 2009.
- GAIA, R. R. et al. Adoção do sistema de franquia no setor alimentício: um estudo de viabilidade econômica financeira. In: **XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais XXXV ENEGEP**. Fortaleza, Brasil: [s.n.], 2015.
- JENKINS B., B. L. L. M. J. T. R.; MILER, T. R. Combustion properties of biomass. **Fuel Processing Technology**, Elsevier, v. 54, n. 1-3, p. 17–46, 1998.
- JUNIOR, C. T. G. L. **Análise Termodinâmica Comparativa entre um Ciclo Rankine Tradicional e um Inovador Utilizando Gases Residuais do Processo Siderúrgico como Combustível**. Dissertação (Mestrado) — Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, 2007.
- LEMONS ELIANA G. M., S. N. R. **Bioenergia: desenvolvimento, pesquisa e inovação**. 1. ed. [S.l.]: Editora UNESP, 2012. ISBN 9788579832567.
- LIZOTE, S. A. et al. Análise de investimentos: um estudo aplicado em uma empresa do ramo alimentício. In: **XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Anais XI SEGET**. [S.l.: s.n.], 2014.
- MAYER, F. D. et al. Aproveitamento da casca de arroz em uma micro central termoelétrica avaliação dos impactos econômicos e ambientais para o setor arrozeiro do rio grande do sul. Universidade Federal de Santa Maria, 2009.
- NONHEBEL, S. Energy from agricultural residues and consequences for land requirements for food production. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 94, n. 2, p. 586–592, 2007.
- PARO, A. d. C. **Uma metodologia para gestão da eficiência energética de centrais de cogeração a biomassa: aplicação ao bagaço de cana**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2011.
- PEREIRA, A.; COSTA, L.; COSTA, L. Análise de investimento. **Curitiba: E IESDE**, 2012.
- PRETZ, R. **Potencial bioenergético do setor arrozeiro do rio Grande do Sul: uma abordagem termelétrica**. Tese (Doutorado) — Tese de Doutorado, PRO-MEC/UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2001.
- ROCHA, J.; CORTEZ, L. Aspectos teóricos e práticos do processo de pirólise de biomassa. **Energia na Indústria do açúcar e álcool**, 2003.

- RODRIGUES, T. O. Efeitos da torrefação no condicionamento de biomassa para fins energéticos. 2009.
- ROSS, S. A. et al. **Fundamentos de administração financeira**. [S.l.]: AMGH Editora, 2013.
- SILVA, T. G. d. Análise de viabilidade econômica de um projeto rodoviário. 2016.
- USDA/FAS. **Global Grain Supply and Use to Expand**. 2019. <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>>. Acessado em: 21/04/2019.
- VIEIRA, M. D. G. C. E. S. et al. Avaliação de retorno de investimentos de uma empresa de materiais de construção por meio da análise de sensibilidade. In: **XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais XXXVI ENEGEP**. João Pessoa, Brasil: [s.n.], 2016.
- WBA. **WBA Global Bioenergy Statistics 2018**. 2018. <https://worldbioenergy.org/uploads/181017%20WBA%20GBS%202018_Summary_hq.pdf>. Acessado em: 21/04/2019.
- WERTHER, J. et al. Combustion of agricultural residues. **Progress in energy and combustion science**, Elsevier, v. 26, n. 1, p. 1–27, 2000.
- WYLEN, G. J. V.; SONNTAG, R. E.; BORGNAKKE, C. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. [S.l.]: Edgard Blucher, 2006.