



**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção**

**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**

---

**Dissertação de Mestrado**

**Flávio Dias Mayer**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2009**

**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**

---

por

**Flávio Dias Mayer**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Qualidade e Produtividade, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do Título de

**Mestre em Engenharia de Produção**

Orientador: **Prof. Dr. Ronaldo Hoffmann**

**PPGEP**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2009**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de  
Mestrado

**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**

elaborada por  
**Flávio Dias Mayer**

como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia de Produção**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Dr. Ronaldo Hoffmann**  
**PPGEP - UFSM**  
(Presidente/Orientador)

---

**Dr. Sérgio Luiz Jahn**  
**PPGEP - UFSM**

---

**Dr. Ademar Michels**  
**DEM- UFSM**

**Santa Maria, 23 de março de 2009.**

À minha família, pela dedicação  
e compreensão, meu  
muito obrigado.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Frederico Mayer e Sandra de Fátima Dias Mayer, e à minha irmã, Silvia Dias Mayer, por todo o incentivo nessa longa caminhada.

Aos amigos Ronaldo Hoffmann, pela orientação e companheirismo, e Rejane S. Hoffmann, pelo auxílio em diversas atividades acadêmicas que realizei.

Às empresas Doeler Alimentos Ltda. e PTZ Bioenergy Fontes Alternativas de Energia pelas informações e auxílios prestados, essenciais para a realização desse trabalho.

Aos colegas e amigos Seimur T. Serafini, Roger Gallon, Guilherme Cremonese e Carlo Castellanelli pela amizade e auxílio em diversos trabalhos desenvolvidos ao longo desse curso de mestrado.

Os homens fazem a sua própria história, mas não a fazem como querem, não a fazem sob circunstâncias de sua escolha e sim sob aquelas com que se defrontam diretamente, legadas e transmitidas pelo passado. (MARX, K. O 18 Brumário de Louis Bonaparte. Página 1)

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

# 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

Autor: Flávio Dias Mayer

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Hoffmann

Data e Local de Defesa: 23 de março de 2009, Santa Maria, RS

A produção de casca de arroz no Rio Grande do Sul, estado responsável por mais da metade da produção desse cereal no país, conduz a necessidade de uma adequada gestão ambiental, tendo em vista os impactos gerados por esse resíduo no meio ambiente, sejam eles locais ou globais, como os do efeito estufa. Assim, a utilização racional desse recurso energético em pequenas centrais termoeletricas pode garantir a adequação ambiental da empresa, preenchendo os requisitos necessários à produção sustentável, ao mesmo tempo em que pode proporcionar certa atratividade financeira aos investimentos necessários a esse fim. O desenvolvimento da tecnologia denominada MCT permitiu que os pequenos potenciais termoeletricos existentes, decorrentes da produção descentralizada de casca, fossem atendidos de forma satisfatória, porém carecendo de uma análise econômico-ambiental. Dessa forma, este estudo objetivou o levantamento de dados de produção e beneficiamento de arroz no Estado de forma a permitir a avaliação da disponibilidade de casca, de maneira a subsidiar uma conseqüente análise do potencial termoeletrico existente no Rio Grande do Sul. Com vistas a contemplar as unidades desprovidas dessa avaliação econômico-ambiental, deu-se seguimento a análise financeira de investimentos em MCT's, para potências menores que 800 kW, incluindo-se os impactos econômicos da comercialização dos créditos de carbono (CC). Através de indicadores como TIR, *payback*, VPL e custo de geração, em associação aos impactos de qualidade ambiental efetivados pela comercialização dos CC, foi possível comprovar que para as escalas inferiores a 400 kW não há viabilidade econômica, a menos que essas usufruam de incentivos fiscais, ainda que temporários, como diminuição da taxa de juros do financiamento e/ou aumento do valor pago pela energia elétrica excedente comercializável, como demonstrado na análise de sensibilidade realizada. Também foi avaliado o funcionamento e os resultados obtidos pela MCT instalada no município de São Pedro do Sul, comprovando as dificuldades encontradas na geração termoeletrica à biomassa em pequena escala, passíveis de alteração se priorizados por programas de incentivo ao uso de biomassa na geração descentralizada de energia elétrica.

**Palavras chave:** Casca de arroz, geração termoeletrica, gestão de resíduos, impacto ambiental, análise econômica.

**ABSTRACT**  
**Master Dissertation**  
**Post-Graduation Course in Production Engineering**  
**Federal University of Santa Maria, RS, Brazil**

**APROVEITAMENTO DA CASCA DE ARROZ EM UMA  
MICRO CENTRAL TERMOELÉTRICA – AVALIAÇÃO DOS  
IMPACTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

Author: Flávio Dias Mayer  
Advisor: Dr. Ronaldo Hoffmann  
Date and Place: March, 23<sup>th</sup>, 2009, Santa Maria, RS, Brazil

The rice husk production in Rio Grande do Sul, state responsible for more than half of this cereal's country production, leads to the need of an appropriate environmental management in view the impacts produced by this residue in the environment, whether they be local or global, like greenhouse effect impacts. Therefore, a rational utilization of this energetic resource in small thermal power plants may guarantee the environmental adequation of the company, filling the requirements needed to sustainable production, at the same time in which may provide financial attractiveness to necessary investments to this objective. The development of the technology known as MCT allowed existent small thermoelectrical potentials, originated from the decentralized husk production, to be attended in a satisfactory way, but needing an environmental and economical analysis. For that reason, this study had as objective the gathering of rice production and beneficiation data on the State which can provide the evaluation of the rice husk availableness and furthermore to grant a thermal electrical potential analysis current on Rio Grande do Sul. Intending to award the units which do not have this economic and environmental analysis, it has been continued the financial analysis of the MCT's investments, to power plants bellow 800 kW, including the economic impacts of the carbon credits (CC) trade. Through indicators as IRR, payback, NPV and generation cost, associated to the impacts of the environmental quality caused by the CC trade, it has been possible to prove that, for scales smaller than 400 kW, there is no economic feasibility, unless they receive tributary incentives, whether for a short period, as a diminish of the finance interest rate and/or the raise of the exceeding tradable energy selling price, as shown on the sensitivity analysis made. It has been also evaluated the operation and obtained results of the MCT installed on the city of São Pedro do Sul, which demonstrate the difficulties found in the small scale thermoelectrical biomass generation. These difficulties can be modified if they would be set as priority, by programs of incentive, the use of biomass on decentralized electric energy generation.

**Keywords:** Rice husk, thermoelectric generation, residue management, environmental impact, economic analysis

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Geração mundial de energia elétrica a partir de fontes fósseis.....	26
Figura 2 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica (2004) .....	27
Figura 3 - Estrutura da geração de energia elétrica no Brasil (2007). .....	28
Figura 4 - Processos de Conversão Energética da Casca de Arroz. ....	37
Figura 5 – Localização das principais centrais termoelétricas a biomassa do Rio Grande do Sul.....	43
Figura 6 - Conjunto turbo-gerador de uma MCT (vista frontal). ....	44
Figura 7 - MCT instalada na empresa Doeler Alimentos Ltda. ....	45
Figura 8 - Fator de emissão de CO <sub>2</sub> por kilowatt-hora produzido a partir de fontes fósseis. ....	47
Figura 9 – Custos de investimento e retorno de CER esperados para projetos de MDL. ....	49
Figura 10 - Distribuição dos engenhos em faixas de potência para o grupo “A”. .....	61
Figura 11 - Distribuição dos engenhos em faixas de potência para o grupo “B”. .....	62
Figura 12 - Distribuição dos engenhos em faixas de potência para o grupo “C”. .....	63
Figura 13 - Análise de sensibilidade para a termoelétrica de 300 kW .....	78
Figura 14 - Viabilidade econômica de uma MCT de 300 kW para taxas de juros variando de 1,25% a 9,25%.....	79
Figura 15 – Fluxograma do processo de beneficiamento de arroz.....	82
Figura 16 – Motor a vapor de pistão recíproco (locomóvel).....	89
Figura 17 - Processo termoquímico da biomassa e produtos .....	112
Figura 18 - Sistema de gaseificação para geração de potência.....	114
Figura 19 - Sistema de gaseificação para geração de calor.....	115

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação do conteúdo energético entre diferentes fitomassas e combustíveis fósseis .....	32
Tabela 2 – Produção e uso da casca de arroz no Rio Grande do Sul (1986). ....	35
Tabela 3 – Rendimento elétrico e fator de utilização para termoelétricas a casca de arroz.....	40
Tabela 4 – Principais termoelétricas a biomassa instaladas no RS .....	42
Tabela 5 - Principais indicadores de emissão de CO <sub>2</sub> para o Brasil, Países e Regiões Selecionados (2002).....	46
Tabela 6 – Quantidade mensal e anual de arroz beneficiado e casca de arroz disponível no Rio Grande do Sul (2006), em toneladas.....	58
Tabela 7 – Distribuição dos engenhos em função da faixa de potência .....	60
Tabela 8 – Investimentos necessários para diferentes escalas de MCT's (em R\$) .....	65
Tabela 9 – Valores do investimento em equipamentos (R\$) e dos impostos incidentes (%). .....	65
Tabela 10 – Valores para o investimento específico das centrais termoelétricas (em R\$/kW).....	66
Tabela 11– Valores de investimento específico para várias tecnologias de geração (em R\$/kW).....	66
Tabela 12 - Consumo de biomassa pelas MCT's .....	67
Tabela 13 – Consumo de energia elétrica pelo engenho e excedente de energia comercializável (MWh).....	68
Tabela 14 – Emissões de gases de efeito estufa evitadas pelos projetos (em tCO <sub>2</sub> eq).....	69
Tabela 15 - Receitas geradas anualmente pelos projetos (em R\$). .....	70
Tabela 16 – Valores anuais dos custos fixos e variáveis (em R\$). .....	72
Tabela 17 - Resultados para a termoelétrica de 300 kW. ....	73
Tabela 18 – Fluxo de caixa para a termoelétrica de 300 kW. ....	75
Tabela 19 – Indicadores de viabilidade econômica para as faixas de potência de 300, 400, 500, 700 e 800 kW.....	76

Tabela 20 - Regime operacional do engenho (2005). .....	84
Tabela 21 – Produção de arroz e casca de arroz pela Doeler Alimentos Ltda...85	85
Tabela 22 – Valores de leitura de demanda (kW) e consumo de energia elétrica (MWh) da empresa Doeler Alimentos Ltda. (2005).....	86
Tabela 23 – Valores das faturas de consumo e demanda de energia elétrica (2005).....	87
Tabela 24 – Características do vapor na admissão da turbina .....	91
Tabela 25 – Resultados obtidos e esperados para os equipamentos. ....	91
Tabela 26 – Consumo de energia elétrica (MWh) e valores das tarifas (R\$) para os anos de 2005, 2006 e 2007.....	92
Tabela 27 – Consumo específico de eletricidade para os anos de 2005, 2006 e 2007 (em kWh/saco).....	92
Tabela 28 – Poder de efeito estufa para diversos gases. ....	119
Tabela 29 - Fatores de emissão para sistemas de geração a diesel (em kg CO <sub>2</sub> e/kWh*) para três níveis diferentes de fatores de carga** .....	121
Tabela 30 – Engenhos beneficiadores e quantidade de arroz beneficiado, em sacos de 50 kg (2006) .....	134
Tabela 31 – Fator de emissão para o SIN (tCO <sub>2</sub> /MWh). ....	142
Tabela 32 – Tarifas de classe residencial .....	147

## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social;  
CC – Crédito de Carbono;  
CER – Créditos por Redução de Emissões (em inglês);  
COFINS – Contribuição para Financiamento da Seguridade Social;  
COP – Conferência das Partes, no âmbito da UNFCCC (em inglês);  
FU – Fator de Utilização;  
GEE – Gás(es) de Efeito Estufa;  
ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços;  
ISSQN – Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza;  
MCT – Micro Central Termoelétrica;  
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo;  
PCI – Poder Calorífico Inferior;  
PCS – Poder Calorífico Superior;  
PDEE – Plano Decenal de Expansão de energia Elétrica;  
PEE – Poder de Efeito Estufa;  
PIB – Produto Interno Bruto;  
PIS – Contribuição para o Programa de Integração Social;  
RGR – Reserva Global de Reversão;  
SIN – Sistema Interligado Nacional;  
TFSEE – Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica;  
TIR – Taxa Interna de Retorno;  
TJLP – Taxa de Juros de Longo Prazo;  
TMA – Taxa Mínima Atrativa;  
UNFCCC – Convenção quadro das Nações Unidas sobre Mudança Global do Clima (em inglês);  
VPL – Valor Presente Líquido;

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	17
1.1.1 <i>Objetivos específicos</i> .....	18
1.2 JUSTIFICATIVA .....	18
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>24</b>
2.1 PANORAMA DO SETOR ELÉTRICO DO BRASIL .....	24
2.2 A MATRIZ DA ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRA .....	25
2.3 A GERAÇÃO TERMOELÉTRICA DESCENTRALIZADA.....	29
2.4 A CASCA DE ARROZ COMO FONTE DE ENERGIA .....	31
2.5 PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DA CASCA DE ARROZ NO RIO GRANDE DO SUL.....	34
2.6 O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA CASCA DE ARROZ.....	36
2.6.1 <i>O aproveitamento termoeletrico da casca de arroz</i> .....	41
2.7 MICRO CENTRAL TERMOELÉTRICA .....	42
2.8 O SETOR ELÉTRICO E O PROTOCOLO DE QUIOTO .....	45
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>51</b>
3.1 ASPECTOS TÉCNICOS .....	52
3.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA .....	53
3.3 IMPACTOS AMBIENTAIS .....	55
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>57</b>
4.1 APROVEITAMENTO TERMOELÉTRICO DA CASCA DE ARROZ NO RIO GRANDE DO SUL....	57
4.1.1 <i>Disponibilidade de casca de arroz no Rio Grande do Sul</i> .....	58
4.1.2 <i>Potencial termoeletrico da casca de arroz no Rio Grande do Sul</i> .....	59
4.1.3 <i>Viabilidade econômica para MCT's</i> .....	64
4.1.3.1 Investimentos.....	64
4.1.3.2 Análise Operacional.....	67
4.1.3.2.1 Consumo de biomassa .....	67
4.1.3.2.2 Energia elétrica gerada .....	68
4.1.3.2.3 Redução na emissão de gases de efeito estufa.....	68
4.1.3.2.4 Receitas .....	70
4.1.3.2.5 Custos Operacionais.....	71
4.1.3.2.6 Financiamento.....	72
4.1.3.3 Resultados da Análise Financeira .....	73
4.1.3.4 Análise de Sensibilidade.....	77
4.2 ESTUDO DE CASO DA MCT DA DOELER ALIMENTOS LTDA. ....	80
4.2.1 <i>Processo produtivo da Doeler Alimentos Ltda.</i> .....	81
4.2.2 <i>Oferta de biomassa na empresa</i> .....	84
4.2.3 <i>Demanda de energia elétrica</i> .....	86
4.2.4 <i>Autoprodução de energia elétrica</i> .....	89
4.3 IMPACTOS AMBIENTAIS .....	94
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>99</b>
5.1 SETOR ARROZEIRO DO RIO GRANDE DO SUL .....	100
5.2 MCT DA DOELER ALIMENTOS LTDA. ....	102

	14
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	103
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>110</b>
<b>APÊNDICE A – TECNOLOGIAS PARA O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA CASCA DE</b>	
<b>ARROZ NA OBTENÇÃO DE ENERGÉTICOS DE MAIOR DENSIDADE .....</b>	<b>111</b>
<i>A.1 Processos Físicos.....</i>	<i>111</i>
<i>A.2 Processos Termo-químicos .....</i>	<i>111</i>
A.2.1 Pirólise .....	112
A.2.2 Liquefação direta.....	113
A.2.3 Gaseificação.....	113
<b>ANEXOS .....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO A – TOTAL AGREGADO DAS EMISSÕES ANTROPOGÊNICAS DE CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O,</b>	
<b>HFCs, PFCs e SF<sub>6</sub>, INCLUINDO EMISSÕES/RETIRADAS A PARTIR DO USO DA TERRA,</b>	
<b>MUDANÇA NO USO DA TERRA E FLORESTAMENTO.....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXO B – PODER DE EFEITO ESTUFA PARA DIFERENTES GASES PARA DIFERENTES</b>	
<b>GASES.....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO C – METODOLOGIAS PARA O CÁLCULO DE EMISSÕES EVITADAS .....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXO D - ENGENHOS BENEFICIADORES DE ARROZ DO RIO GRANDE DO SUL .....</b>	<b>134</b>
<b>ANEXO E – FATORES DE EMISSÃO PARA O SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN) ...</b>	<b>142</b>
<b>ANEXO F – ESTRUTURA TARIFÁRIA.....</b>	<b>143</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As atuais considerações a respeito da sustentabilidade, iniciadas concretamente em 1972 com a realização da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano, despertam o compromisso com a minimização dos impactos das atividades humanas no ambiente e fazem surgir as iniciativas de se conciliarem as necessidades de desenvolvimento econômico com a capacidade de assimilação, por parte do meio ambiente, das agressões antropogênicas.

O beneficiamento do arroz, assim como todo processo agroindustrial, apresenta impactos ambientais resultantes das técnicas produtivas empregadas e que, se não forem adequadamente corrigidos ou aperfeiçoadas, podem resultar em severas agressões ao meio ambiente.

O arroz é um dos principais alimentos consumidos no Brasil, servindo de base para a dieta da maioria da população. Seu consumo é em média de 31 kg por habitante por ano (IBGE, 2007), tornando a cadeia produtiva do arroz de extrema importância para a economia nacional, especialmente para o Rio Grande do Sul, estado responsável por mais da metade da produção do país<sup>1</sup>.

No Rio Grande do Sul existem 266 engenhos de arroz, responsáveis pelo beneficiamento de aproximadamente 4,5 milhões de toneladas, sendo que as 20 maiores indústrias desse tipo no estado beneficiam mais de 60% do arroz consumido no país (ANUÁRIO DO ARROZ, 2006).

Dentre os poluentes gerados pelos engenhos beneficiadores, a casca de arroz é o de maior importância, quer seja pela quantidade gerada, aliada a baixa densidade, ou pela dificuldade em sua decomposição no meio ambiente, constituindo-se em sério problema para as empresas do setor, tendo em vista as obrigações exigidas pela legislação vigente.

Portanto, o aproveitamento total desses recursos agroindustriais auxilia na solução dos problemas ambientais, podendo ainda, gerar renda extra através da sua utilização direta, melhorando os aspectos de qualidade e produtividade da gestão dos recursos naturais.

---

<sup>1</sup> A produção nacional de arroz em 2007 foi de 11,3 milhões de toneladas e a do Rio Grande do Sul, 6,4 milhões de toneladas (CONAB, 2008).

Geralmente, como destino primário a ser considerado para a casca de arroz, está a compostagem, reduzindo sua carga orgânica. Este método é empregado, de forma indireta, pela maioria dos produtores de arroz, já que boa parte da casca gerada é depositada no solo como única forma de disposição desse resíduo.

Um problema deste tratamento é o tempo que a casca de arroz leva para se decompor, estimado em cinco anos. Outro é o grande volume de metano ( $\text{CH}_4$ ) emanado, sendo esse um gás relacionado ao efeito estufa. Além disso, a casca apresenta baixa massa específica, em torno de  $130 \text{ kg/m}^3$ , resultando num grande volume desse material.

Outro destino dado à casca de arroz é a queima não controlada a céu aberto, emitindo grande quantidade de fumaça, com liberação de monóxido e dióxido de carbono ( $\text{CO}$  e  $\text{CO}_2$ , respectivamente) e de material particulado, afetando as comunidades vizinhas.

Diversos procedimentos com melhores resultados quanto ao manejo da casca de arroz exigem investimento considerável em equipamentos ou meios produtivos com certo grau tecnológico, quando se objetiva a obtenção de produtos energéticos (combustível em processos de conversão energética).

O uso da casca de arroz na fabricação de briquetes e em processos de combustão para geração de calor, e até mesmo energia elétrica, entre outros, são exemplos de valoração econômica e energética desse resíduo.

O aproveitamento da casca de arroz para geração de vapor através da combustão, utilizado como calor de processo na secagem e parboilização 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, 2007). O restante, atualmente descartado, pode ser utilizado como fonte primária de geração de energia elétrica através de um ciclo a vapor (ciclo Rankine).

A geração termoelétrica com casca de arroz vem sendo utilizada por vários engenhos, a maioria deles de grande porte, com potências instaladas não inferiores a 2,0 MW, configurando-se em uma lacuna no que tange a geração termoelétrica para a pequena escala, sabendo-se que a maior parte dos engenhos de arroz existentes no Rio Grande do Sul comporta somente uma potência instalada inferior a 1,0 MW.

Com o objetivo de atender a demanda energética dos engenhos de arroz situados nesta faixa de potência, foi desenvolvido o conceito de Micro Central Termoelétrica (MCT), que se constitui num conjunto modular de equipamentos para geração de energia elétrica a partir de qualquer tipo de biomassa.

Assim, para demonstrar essa tecnologia, foi instalada uma MCT na arrozeira Doeler Alimentos, em São Pedro do Sul, com potência instalada de 280 kW, adequada à produção de casca e atendendo a demanda de energia elétrica da empresa.

Com base no exposto, uma avaliação ampla dos aspectos que envolvem esse empreendimento constitui-se em um importante incentivo a utilização desse resíduo por parte das empresas agroindustriais, não somente do setor arrozeiro.

Uma análise detalhada das características técnico-econômicas da geração de energia elétrica descentralizada pode elucidar os aspectos favoráveis e aqueles que necessitam ser contornados quando se emprega a casca de arroz como combustível em centrais termoelétricas de baixa potência instalada, como é o caso da MCT da Doeler Alimentos Ltda..

## **1.1 Objetivo Geral**

Este estudo tem como objetivo a avaliação dos impactos econômicos decorrentes do aproveitamento da casca de arroz em micro centrais termoelétricas de diferentes escalas, que abrangem os potenciais existentes no estado do Rio Grande do Sul, baseando-se na premissa da escolha tecnológica adequada às características de processo demandadas pelas empresas do setor.

Em decorrência desse aproveitamento, foi também avaliada a minoração dos impactos ambientais resultantes do fim da disposição inadequada desse material residual no solo, de forma que as empresas envolvidas cumpram a legislação vigente, garantindo a conservação do meio ambiente, além de permitir o ajustamento das mesmas com os mecanismos propostos pelo Protocolo de Quioto, com vistas à obtenção de créditos por redução de emissões.

Ainda, pretende-se apresentar os resultados preliminares obtidos a partir do estudo de uma MCT instalada na Arrozeira Doeler Alimentos, município de São Pedro do Sul, estado do Rio Grande do Sul.

### 1.1.1 Objetivos específicos

As etapas propostas abrangem os seguintes itens:

- Avaliar do funcionamento e das características técnicas da geração termoelétrica em pequena escala;
- Realizar uma projeção do potencial de aproveitamento de casca de arroz para o setor arrozeiro do estado do Rio Grande do Sul;
- Analisar de viabilidade econômica para o investimento em MCT's de diferentes escalas, de modo a contemplar a demanda existente no estado;
- Analisar de sensibilidade para projetos que utilizam biomassa residual como combustível;
- Analisar criteriosa dos aspectos envolvidos no funcionamento de uma unidade descentralizada de geração de energia térmica e elétrica na empresa Doeler Alimentos Ltda., em São Pedro do Sul, com ênfase na redução dos impactos ambientais, alcançados através da correta disposição dos resíduos e da mitigação da emissão de gases de efeito estufa (GEE);

## 1.2 Justificativa

Atualmente, a totalidade dos países, e em maior grau os países desenvolvidos, passa por uma grave crise relacionada ao caso dos combustíveis fósseis, que sustentam suas economias: a diminuição das reservas de petróleo, a flutuação dos preços no mercado internacional e o agravamento do efeito estufa. Os dois primeiros fatores devem-se ao crescimento constante do consumo do petróleo, com diminuição das reservas totais, aliado ao fato de as principais reservas desse combustível encontrarem-se em regiões pouco favoráveis ao ponto de vista hegemônico ocidental. Já o terceiro é resultado da utilização dos combustíveis fósseis como principal componente da matriz energética mundial, liberando desde meados do século XVIII, grandes quantidades de gases com capacidade de

retenção da radiação infravermelha proveniente do sol, intensificando o chamado efeito estufa.

Essa situação se deve aos avanços tecnológicos obtidos a partir da Revolução Industrial, que garantiram à espécie humana um elevado grau de conforto, especialmente nos países de maior PIB per capita, viabilizados pelo emprego maciço de combustíveis até então abundantes e de alta densidade energética: carvão mineral, petróleo e, mais recentemente, o gás natural.

Esses combustíveis eram alternativos à biomassa, que se tornava insuficiente na medida em que sua utilização aumentava, visto que, nesse período, iniciou-se o emprego de máquinas térmicas que, pela primeira vez na história, eram capazes de transformar o calor desprendido na queima da lenha ou do carvão em trabalho mecânico.

Entretanto, o desenvolvimento propiciado pelos combustíveis fósseis vem acarretando transformações no meio ambiente, de forma que, nos últimos anos, tornou-se urgente a alteração da atual matriz energética mundial, com necessidade de substituição desses combustíveis por outros renováveis, tendo em vista a intensificação da degradação ambiental, como o agravamento do aquecimento global.

Segundo Carta' (1993) "o problema criado pelo uso extensivo desses combustíveis (fósseis) e os problemas ambientais têm a mesma origem: o aumento entrópico inadequado dos sistemas termodinâmicos naturais".

A geração de entropia ou o aumento da desordem de um sistema conduz a indisponibilidade de energia útil nesse sistema, rompendo o ciclo constante que mantém os seres vivos, tendo em vista que um recurso natural se mantém vivo somente se receber energia do ambiente externo, processando-a de modo a sustentar sua estrutura orgânica.

Dessa maneira, os recursos que mais aceleram a taxa de mudança de entropia devem ter maiores custos aos usuários (JOWSEY, 2007) (FRANGOPOULOS, 1997), devido aos subseqüentes impactos ambientais causados por essa forma de poluição e que, se não forem pagos por esses usuários, recairão sobre a sociedade como um todo.

Essa concepção parece contrariar a idéia da necessidade de fornecimento de energia confiável e a custos compatíveis, visto que boa parte da população mundial carece de recursos econômicos e, conseqüentemente, de energéticos.

Daí vem a importância da biomassa: ao mesmo tempo em que substitui qualquer um dos derivados das fontes fósseis, apresenta maior potencial para sua obtenção justamente nas regiões economicamente menos desenvolvidas do mundo.

O emprego maciço da biomassa, em substituição aos combustíveis fósseis, satisfaz todos os requisitos do desenvolvimento sustentável, através do aumento do padrão de vida e do bem estar humano, concomitante à preservação ambiental e ao crescimento econômico.

As questões ambientais tornam cada vez mais urgentes alterações nos elementos que compõe a matriz energética mundial, especialmente naqueles que promovem o efeito estufa.

Conforme os dados publicados pela *International Energy Agency* (IEA, 2006), no ano de 2004, das 26.583,6 milhões de toneladas (Mt) de CO<sub>2</sub> emitidas pela queima de combustível, 9.573,1 Mt ou 36%, foram provenientes da utilização de combustíveis fósseis na geração de energia elétrica e/ou calor, sendo que o carvão mineral foi o principal responsável por essas emissões (74%).

Tudo isso demonstra a necessidade de substituição dos combustíveis fósseis atualmente utilizados na geração de eletricidade (carvão mineral, petróleo e gás natural) por combustíveis alternativos, economicamente viáveis e que apresentem balanço neutro de CO<sub>2</sub>.

Um dos aspectos mais importantes da biomassa é a capacidade que ela apresenta na substituição de qualquer produto derivado dos combustíveis fósseis, sejam eles químicos ou energéticos.

A redução da emissão de poluentes a partir do emprego da biomassa na geração de energia elétrica é a característica chave da viabilização de seu uso, através da obtenção de um tipo de energia altamente nobre e com baixo impacto ambiental frente às fontes não renováveis, porém, ainda sem contabilização econômica dessas vantagens.

No caso dos combustíveis fósseis, não se pode avaliar somente a análise econômica na tomada de decisão de um investimento, sabendo-se que esses combustíveis são altamente poluentes e não renováveis. Deve-se também avaliar sua disponibilidade em longo prazo e quantificar financeiramente os impactos provocados pela emissão de poluentes, internalizando estes custos no projeto em questão.

Deste modo, verifica-se a viabilidade econômica das fontes alternativas de energia, contrariando a idéia de que estas, só serão exequíveis quando da incapacidade da utilização da energia fóssil, seja pelo preço, escassez ou questões ambientais.

É preciso mudar o paradigma de petróleo-carvão-gás para fontes renováveis e sustentáveis, apagando o mito de que não há desenvolvimento em ambiente tropical. Certamente nenhuma fonte de energia será capaz de, sozinha, suprir a demanda e atender os requisitos ambientais, mas o uso complementar, a integração de fontes e uma política de longo prazo para as fontes renováveis trarão grande alívio à pressão ambiental existente sobre o planeta Terra.

A aparente desvantagem da produção dispersa da casca de arroz traduz-se em importantes benefícios provenientes do aproveitamento de forma distribuída dessa biomassa, por exemplo, a maior utilização de mão-de-obra na construção e operação das unidades.

Em países com dimensão continental como o nosso, é racional que a obtenção de energia seja de forma distribuída, descentralizando o desenvolvimento nas diferentes regiões ao mesmo tempo em que favorece uma melhor distribuição populacional no território brasileiro.

A casca de arroz, assim como qualquer biomassa, é gerada de forma descentralizada, acarretando dificuldades no gerenciamento desse resíduo devido aos custos envolvidos para tanto. Por isso, o que se observa na maioria dos casos, é um descarte prejudicial desse resíduo ao meio ambiente, tendo em vista, entre outros aspectos, o grande período de tempo para decomposição desse material. Estima-se que foram produzidas, somente no estado do Rio Grande do Sul, aproximadamente um milhão de toneladas de casca de arroz, no ano de 2006.

Ainda, a baixa densidade da casca de arroz afeta diretamente seu transporte e disposição devido ao grande volume gerado, de forma que esse resíduo constitui-se, além de problema ambiental, em um dispêndio de recursos pelas empresas do setor.

A partir disso, surge a necessidade de um adequado gerenciamento desse resíduo de forma a assegurar a sustentabilidade da empresa através de uma correta gestão ambiental.

Dessa forma, o uso de resíduos agroindustriais na geração termoelétrica contribui na solução dessas questões ambientais, podendo assegurar retorno

financeiro considerável, contribuindo para a competitividade da empresa pela redução dos custos com insumos energéticos (calor e eletricidade).

Assim, sabendo-se que o maior número dos potenciais geradores de energia elétrica é de pequena escala (<1,0 MW), faz-se necessário uma avaliação precisa das características inerentes à geração de eletricidade a partir de uma Micro Central Termoelétrica.

Os aspectos técnicos e as vantagens operacionais que a MCT confere podem assegurar a correta adequação dessas empresas com suas responsabilidades ambientais, desde que atinjam-se condições econômicas favoráveis para investimentos no setor, justificando um estudo com objetivo de estimar-se a viabilidade econômica destes empreendimentos.

Além dos já citados ganhos ambientais advindos da geração termoelétrica com casca de arroz, evidencia-se que a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, ocasionados por projetos desse tipo, pode ser decisiva no que diz respeito à eficiência econômica das centrais termoelétricas de pequeno porte, tendo em vista a possibilidade de comercialização dos Créditos por Redução de Emissões (CER).

Para tanto, a quantificação das emissões evitadas por um projeto de geração de energia renovável e limpa deve ser conduzido e avaliado na sua influência no desempenho econômico das pequenas centrais termoelétricas.

Assim, a avaliação da extensão dos diversos parâmetros que compõem o cálculo de viabilidade é necessária para determinar o nível de dependência dos indicadores econômicos considerados, além de poder avaliar-se a competitividade do empreendimento termelétrico no mercado, composto pelos grandes geradores de energia, quer sejam hidrelétricas ou termoelétricas convencionais.

Desse modo, no que diz respeito a projetos que contemplam a geração distribuída, a decisão de sua implantação deve considerar diversos fatores que precisam ser avaliados de maneira sistêmica, dentre eles:

- Flexibilidade e a confiabilidade da operação;
- Disponibilidade e preço do combustível;
- Prazos de instalação e construção;
- Condições de financiamento;

Quando se comparam investimentos em projetos termelétricos, assumem-se certas premissas com tendência a sempre favorecer a geração em grandes centrais, o que se evidencia pelas falsas afirmações de que uma grande central apresenta o

custo de instalação por kW menor e/ou que, em caso de falha, deve sempre existir energia disponível no sistema para suprir a demanda da unidade descentralizada.

Portanto, uma correta discussão deve ser realizada a fim de garantir uma análise real das vantagens e desvantagens da geração descentralizada que utiliza, nesse caso, resíduo de beneficiamento de arroz como combustível.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Panorama do setor elétrico do Brasil

Ao longo do século XX, os sistemas elétricos mudaram sua concepção original, tornando-se cada vez mais centralizados, especialmente no que concerne a geração, com o incremento das capacidades unitárias das centrais e a estruturação dos sistemas de transmissão a longa distância (Mayer, 2007).

Até recentemente, grandes centrais de produção de eletricidade justificavam-se pelo caráter determinante do fator de escala sobre os custos de geração, a inexistência de maiores restrições com relação aos impactos ambientais e em função do modelo de organização empresarial que imperou no setor durante décadas.

A partir de 1970, o setor elétrico entrou em nova fase em vários países. A elevação dos custos de geração elétrica segundo tecnologias convencionais, por questões tecnológicas e ambientais, e o processo recessivo nos países industrializados associados aos sucessivos choques do petróleo, aceleraram as reformas institucionais do setor.

Estas reformas, de caráter eminentemente descentralizador, levaram à definição de um maior espaço para a produção elétrica em pequena escala, a produção independente das concessionárias, o uso mais intensivo de fontes energéticas renováveis, a autoprodução energética e a geração distribuída, sendo a cogeração como uma via tecnológica de destaque nesse contexto.

As principais características desse novo padrão de expansão do setor elétrico podem ser identificadas nas pressões sociais para a minimização dos impactos ambientais, na necessidade de uso mais racional dos insumos energéticos e na desconstituição do Estado, nas últimas décadas, em seu papel de investidor em infra-estrutura.

As transformações estruturais do setor elétrico brasileiro começaram no início da década de 1990 (Rosillo-Calle, 2005). O Estado brasileiro, assim como em outros governos neoliberais mundo afora, afastou-se da atividade de gerenciador do setor

elétrico nacional, fato este que levou à desregulamentação do setor, resultando na crise do “apagão” em 2001.

Deste modo, na carência de energia elétrica observada nesta situação, as empresas que dispunham de alguma fonte energética, tal como a biomassa residual, passaram a utilizá-la como combustível em processos de geração térmica de eletricidade, favorecendo o aumento da participação da biomassa na geração de energia elétrica.

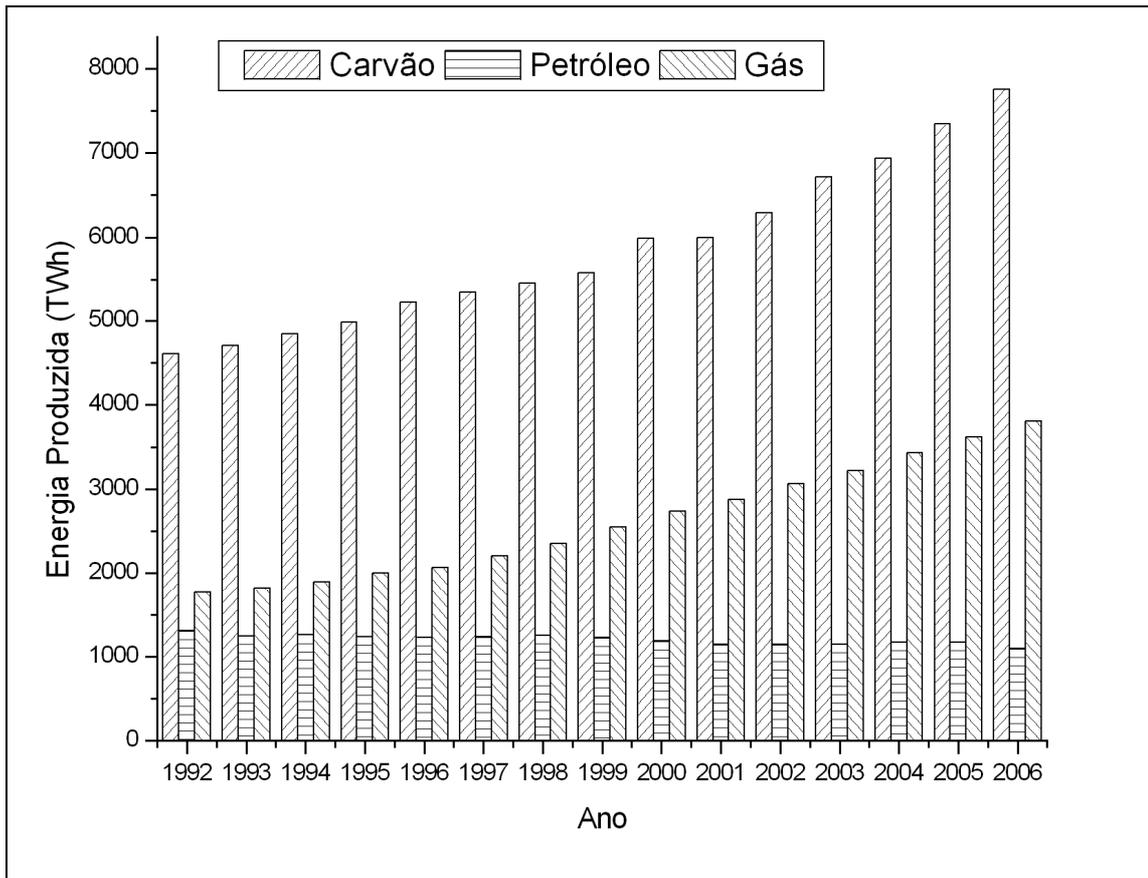
## **2.2 A matriz da energia elétrica brasileira**

Mesmo após o aparente consenso mundial em relação às mudanças climáticas, observa-se uma ampliação do total de energia elétrica gerada a partir de fontes fósseis (Figura 1), ou seja, um aumento da quantidade de CO<sub>2</sub> equivalente emitido pelo setor, o que é paradoxal.

O consumo de derivados do petróleo para geração de eletricidade tem diminuído ao longo dos anos devido ao aumento do preço internacional desses energéticos e pelo fato de apresentarem um uso mais nobre, como nos setores de transporte e petroquímica.

O gás natural tem tido uma participação crescente no setor energético por apresentar uma queima mais limpa, com menor emissão de particulados e compostos de enxofre e nitrogênio, e por permitir seu uso em ciclo combinado (Lora, 2003), proporcionando maior eficiência no seu aproveitamento para geração de energia elétrica.

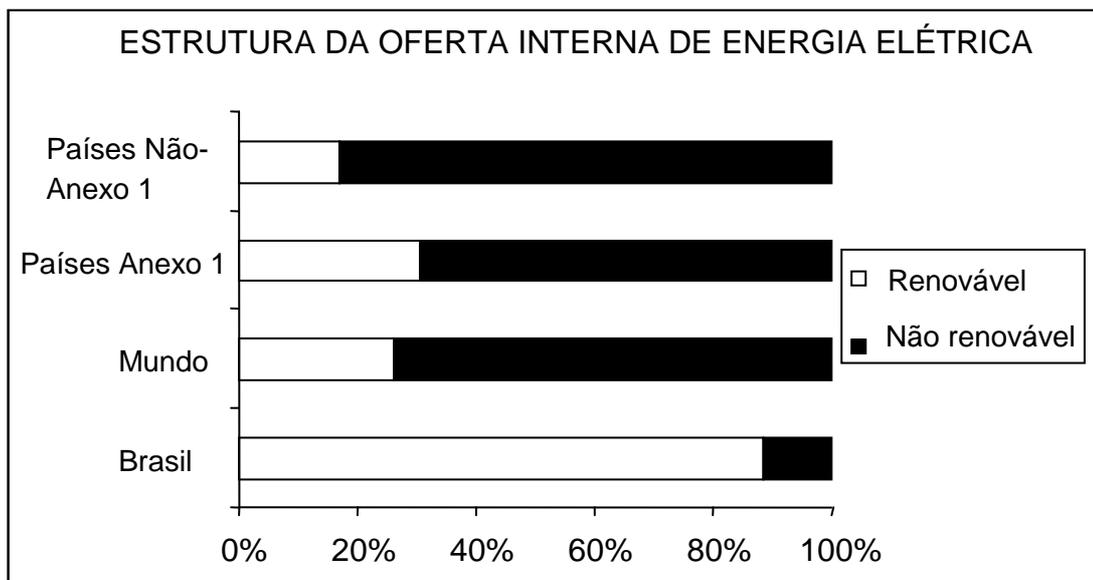
Já o carvão, por ser barato e abundante, tem sido o combustível mais utilizado na geração termoelétrica, a despeito dos problemas ambientais decorrentes da sua utilização, como a liberação de grandes quantidades de enxofre e material particulado, que têm sido minimizados pela utilização de sistemas mais eficientes de abatimento de poluentes.



**Figura 1 – Geração mundial de energia elétrica a partir de fontes fósseis.**

Fonte: IEA (2008)

Assim, a geração de energia elétrica no mundo é predominantemente não-renovável, o que fica evidenciado pela Figura 2. Os países Não-Anexo I (países em desenvolvimento) possuem 83% da eletricidade gerada por fontes não-renováveis. Valor um pouco menor (69%) é apresentado pelos países do Anexo I (países desenvolvidos), signatários do Protocolo de Quioto. O Brasil possui sua estrutura da oferta interna de energia elétrica com grande participação de fontes renováveis, como hidráulica e biomassa (Figura 3). A produção de eletricidade por termoeletricas convencionais é bastante reduzida e destina-se basicamente a complementação de carga ou geração em sistemas isolados, principalmente na região Amazônica (Coelho, 2000).



**Figura 2 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica (2004)**

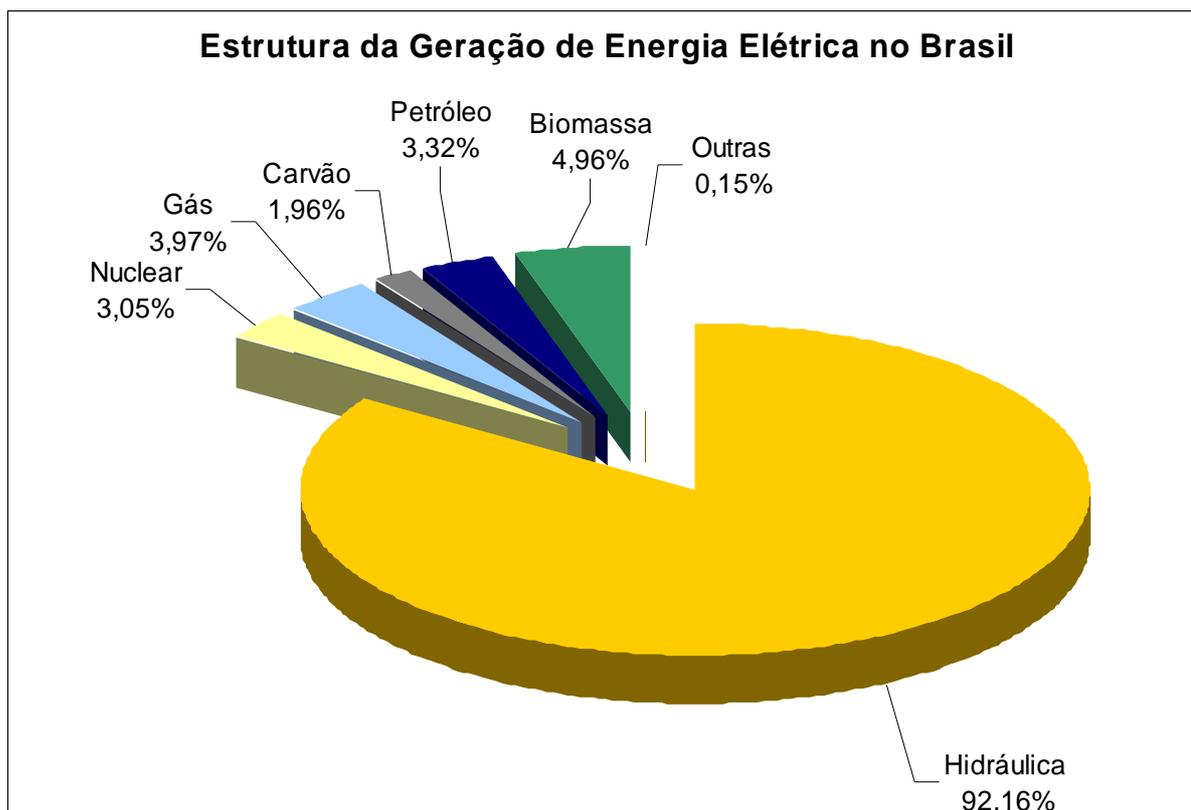
Fonte: IEA (2006).

Na medida em que os grandes potenciais hidrelétricos escasseiam ou tornam-se econômica e ambientalmente inviáveis, a necessidade de expansão da capacidade de geração de energia, no caso do Brasil, conduz ao aproveitamento termelétrico de recursos existentes e de custo até então impraticável, o que acontece com o carvão mineral, o gás natural e a biomassa residual, entre outros.

Vemos no Brasil, a partir da crise de energia elétrica de 2001, um aumento considerável da geração de eletricidade a partir de fontes fósseis, principalmente o gás natural.

O carvão mineral, relegado a segundo plano por questões ambientais, volta a ter papel de destaque na geração de eletricidade com a previsão de instalação até 2015 de 5 mil MW, somente no Rio Grande do Sul (CRM, 2007).

Apesar de o Brasil apresentar grande disponibilidade de fontes alternativas e ser chamado de “Arábia Saudita das energias renováveis”, muito pouca “bioeletricidade” vem sendo gerada, comparando-se com o potencial existente.



**Figura 3 - Estrutura da geração de energia elétrica no Brasil (2007).**

Fonte: BEN (2008).

O Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica (PDEE): 2006-2015 (MME, 2006), mostra que o consumo de energia demandado do setor elétrico brasileiro aumentará 5,1% ao ano, considerando o cenário de referência, onde o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) estimado ficará entre 4,0 e 4,5% ao ano. Isto demandará grandes investimentos no setor elétrico, devendo objetivar a segurança de suprimento, eficiência econômica e compatibilidade ambiental.

Ainda, segundo esse Plano, projeta-se que em 2015 a geração de eletricidade a partir da biomassa responderá por 7% da capacidade instalada das usinas termoeletricas ou 1% do total da capacidade do sistema elétrico brasileiro, em um planejamento que, como não poderia ser diferente, privilegia a geração hidrelétrica (73% do total em 2015).

As alternativas para atender esta crescente demanda de energia elétrica podem vir do gerenciamento do consumo através da conservação de energia e da expansão da oferta, promovida por centrais para produção para a rede (geração centralizada) e pela autoprodução de eletricidade (geração distribuída).

### 2.3 A geração termoelétrica descentralizada

Os escassos recursos financeiros do Estado brasileiro conduzem à introdução de novos conceitos quanto à utilização e produção de energia. Nesse contexto, a autoprodução de energia de forma descentralizada insere-se de forma adequada, atendendo eficientemente à demanda de consumidores de médio e grande porte, principalmente quando se faz uso simultâneo e seqüencial de calor associado ao da eletricidade, o que se designa por cogeração.

Segundo Lora (2006), a geração distribuída confere diversas vantagens àqueles que optam por esse tipo de geração, como:

- O aproveitamento de combustíveis com baixo custo ou custo negativo, como é o caso da biomassa residual, que muitas vezes onera o produtor devido ao transporte e/ou disposição;
- Flexibilidade na operação, ajustando-se ao processo produtivo;
- Grande confiabilidade, entre 90 e 95%, apresentando poucos períodos de paradas no funcionamento;
- Associa-se facilmente ao processo produtivo da empresa, beneficiando-se de equipamentos já utilizados, como a caldeira, por exemplo.

Além dessas considerações, observa-se que a descentralização é o modo mais correto de obtenção de energia elétrica, pois, se o consumo é descentralizado, é racional que a geração também o seja.

Ainda, quando da implantação de uma grande central geradora de energia elétrica, costuma-se avaliar o investimento somente através do custo de instalação, em US\$/kW, sendo que o correto seria incluir o custo do combustível utilizado e o custo de implantação de novas linhas de transmissão e distribuição necessárias, além das externalidades dos impactos sócio-ambientais.

Ayres (2006) cita que o custo de instalação de uma central termoelétrica varia entre \$500-1500/kW, atingindo \$1.800-2.800/kW quando considerados esses outros custos, e, dessa forma, favorecendo investimentos na geração descentralizada de energia elétrica que, num primeiro momento, aparentavam serem mais custosas.

Bergamasco (2007) avalia que somente alguns segmentos da economia têm capacidade de autoprodução de energia de forma competitiva, e que parte significativa dos consumidores sempre dependerá da geração centralizada, tornando assim, esse tipo de geração apenas uma atividade complementar do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Portanto, a busca por fontes alternativas de geração deve basear-se no contexto regional que a autoprodução de eletricidade se insere, minimizando os riscos provenientes da utilização de combustíveis com cotação flutuante no mercado internacional, como é o caso do óleo diesel, utilizado por empresas para geração de eletricidade no horário de “ponta” ou que se encontram em regiões isoladas do SIN.

Ainda, com o aumento das tarifas de energia elétrica, observa-se que as empresas que dispõem de biomassa residual e que têm interesse na geração termoelétrica têm optado atualmente pela utilização da turbina a vapor na geração de energia elétrica. Diversos empreendimentos desse tipo foram instalados no estado do Rio Grande do Sul ou estão em fase de projeto ou construção.

Pretz (2001) relata que, ao contrário das termoelétricas à biomassa existentes, 80% dos potenciais projetos no Rio Grande do Sul, encontram-se na faixa entre 300 e 600 kW elétricos, além de estarem situados na metade sul, que possui demanda reprimida de energia, incrementando significativamente o interesse em se viabilizar tais empreendimentos de geração termoelétrica (HOFFMANN, 2001).

Nestes casos, com geração própria, a empresa não necessitará diminuir o ritmo da produção e poderá, eventualmente, comercializar o excedente. Caso contrário, ela poderá se obrigar a reduzir a produção, reduzir investimentos em tecnologia e, até mesmo, a diminuição do quadro de funcionários, o que agravaria o problema social no país.

Não obstante, a maioria das empresas opta por estabelecer contratos do tipo horo-sazonal com as concessionárias de energia elétrica, em que a empresa paga uma tarifa menor no chamado posto tarifário “fora de ponta”, ficando, porém, economicamente impossibilitada de consumir energia da rede no posto tarifário “ponta” (entre 18 e 21 horas), devido ao alto valor da tarifa nesse horário.

No caso do Rio Grande do Sul, conforme Hoffmann (1999) há grande coincidência na distribuição geográfica entre a produção de resíduos de biomassa (casca de arroz e serragem) passível de emprego para autoprodução, e a demanda

reprimida de eletricidade, possivelmente causada ou determinada pelo baixo índice de industrialização e agregação de valor.

Além disso, existe por parte das concessionárias, interesse na compra da energia elétrica excedente nas regiões de demanda reprimida, principalmente nos meses em que as lavouras de arroz necessitam ser irrigadas, ou seja, quando ocorre um incremento substancial na demanda de energia nessas regiões.

Atualmente, na estratégia para incentivar a maior participação de fontes alternativas na matriz elétrica, o governo brasileiro adotou mecanismos incentivadores, como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, regulamentado pelo Decreto nº. 5.025, de 30 de março de 2004, que visa promover a instalação de 3.300 MW de potência, até 30 de dezembro de 2008, sendo 1.423 MW de usinas eólicas, 1.192 MW de pequenas centrais hidrelétricas e 685 MW de biomassa, oriunda da cana-de-açúcar e resíduos de madeira, não havendo aproveitamento de casca de arroz em nenhum dos empreendimentos habilitados pelo programa.

## **2.4 A casca de arroz como fonte de energia**

Devido a sua renovabilidade e a outros fatores como baixo custo e grande disponibilidade, a biomassa responde por boa parte da matriz energética dos países em desenvolvimento, variando desde 90% em países como Uganda, Ruanda e Tanzânia, a 45% na Índia, 30% na China e no Brasil e de 10% a 15% no México e na África do Sul (ROSILLO-CALLE, 2005).

Em geral, existem três categorias de biomassa, precisamente a fitomassa: lenhosa, não-lenhosa e os resíduos animais. A partir dessas três classes surgem sete tipos de biomassa (WEREKO-BROBBY, 1996):

- *Florestas, matas e florestamento (lenhoso)*: compreende a produção de madeira e lenha, celulose, carvão e etc;
- *Plantações agroindustriais (lenhoso)*: produção de chá, café, borracha, óleos, ceras e outras matérias-primas;
- *Árvores, além de florestas e matas (lenhoso)*: Árvores que crescem em parques, bosques, zonas urbanas ou de fazendas;

- *Produção agrícola (não-lenhoso)*: Cultivos específicos para alimentos, ração animal, fibras ou produção de energéticos;
- *Resíduos agrícolas (não-lenhoso/resíduo)*: Inclui resíduos de cultivos e plantações produzidos no campo. Inclui palha, folhas e caules;
- *Resíduos de processo (não-lenhoso)*: Compreende os resíduos resultantes do processamento ou conversão agroindustrial dos cultivos (incluindo o cultivo de árvores), como serragem, cavaco, bagaço de cana-de-açúcar, casca de nozes, casca de arroz, etc;
- *Resíduos animais (resíduos)*: Resíduos de criação intensiva e extensiva de animais;

A fitomassa, que é a biomassa de origem vegetal e objeto de análise deste estudo, apresenta poder calorífico menor que o dos combustíveis fósseis (Tabela 1), à exceção dos óleos e gorduras, devido a sua baixa densidade energética, ocasionada pela presença de água ou de outros compostos inertes como as cinzas. Pode-se atribuir a estes um Poder Calorífico Inferior entre 16 e 21 MJ/kg (LORA, 2003).

**Tabela 1 – Comparação do conteúdo energético entre diferentes fitomassas e combustíveis fósseis**

<b>Fitomassa</b>	<b>Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)</b>
Batata	14,2-15,9
Girassol	18,0-19,3
Pinheiro	20,0
Bagaço de cana	17,3
Casca de arroz	16,1
Petróleo	38,5
Carvão Mineral (Antracito)	30,2
Gás natural	38,4

Fonte: Compilação do autor

Além disso, por ser produzida de forma descentralizada, o aproveitamento da biomassa deve ser feito em potências inferiores àquelas que utilizam combustíveis fósseis.

Essa condição torna necessário grande quantidade de terras produtivas a fim de suprir a demanda por energéticos, pressionando o meio ambiente e, se não forem adotadas práticas adequadas, pode ocorrer um agravamento dos impactos

ambientais, como erosão, esgotamento do solo e recursos hídricos, além do uso intensivo de pesticidas e fertilizantes químicos.

Ainda, a elevação dos preços do petróleo no mercado internacional e os pesados subsídios agrícolas por parte dos países desenvolvidos tornaram competitivos os biocombustíveis, induzindo a substituição e/ou direcionamento de culturas alimentícias por matérias-primas para produção destes energéticos.

Nos Estados Unidos, “o uso da terra para o cultivo de milho usado na alimentação da voraz máquina do etanol causa redução na área dedicada a outras safras” (Runge, 2007), elevando o preço dos alimentos no mercado internacional.

Por outro lado, quando se utilizam resíduos, esse tipo de efeito negativo do uso irracional da biomassa não ocorre, pois não competem com a produção de alimentos, sendo, em muitos casos, subprodutos do processo do seu beneficiamento.

Devido a isso, dentro do setor industrial, os que mais utilizam a biomassa para geração de energia elétrica são as indústrias de açúcar e álcool, papel e celulose e alimentos.

Nesse contexto situam-se os engenhos de arroz, cujo resíduo de processo, a casca de arroz, apresenta-se como um bom combustível, com um poder calorífico maior que outras biomassas (bagaço de cana, lenha, etc), pois apresenta baixo teor de umidade, em torno de 12%. Isso é resultante do fato de o arroz passar por um processo de secagem antes de ser armazenado, e ter sua umidade controlada durante todo o período de armazenagem nos silos.

Entretanto, algumas características da casca exigem adaptações nos sistemas de combustão, como o grande teor de sílica (18 a 20%) (CIENTEC, 1986), o que a torna muito abrasiva, além das dificuldades acarretadas pelo seu ponto de fusão, que é baixo (aproximadamente 550°C).

A utilização da casca de arroz no mesmo local em que ela é gerada elimina a principal desvantagem apresentada pelos recursos da biomassa, que é a baixa densidade energética, evidenciada pelo seu menor Poder Calorífico.

Este manejo elimina custos com transporte de combustíveis e processos de adensamento energético, pelo qual muitos resíduos agroindustriais são submetidos para viabilizar seu uso em locais que não o de sua origem.

Pela avaliação do setor agroindustrial, pode-se inferir que as desvantagens do emprego da biomassa como energético não inviabilizam sua utilização na

geração termoelétrica, tendo sido superadas de forma satisfatória, pelo menos quando avaliada a escala superior a 1.000 kW.

## **2.5 Produção e utilização da casca de arroz no Rio Grande do Sul**

A casca de arroz tem por característica ser produzida de forma dispersa no território do Rio Grande do Sul. Além disso, por apresentar baixa densidade, seu aproveitamento na geração termoelétrica tende a ocorrer em unidades de pequena potência.

Para a estimativa da quantidade de casca de arroz produzida no estado e disponível para utilização na geração termoelétrica, devem-se tomar certos cuidados.

Não se pode partir de dados agrícolas de colheita de arroz, disponibilizado por diversas fontes (CONAB, Ministério da Agricultura, IBGE, Secretaria Estadual da Agricultura, etc.), e simplesmente multiplica-los pela fração que a casca representa na massa total do grão.

Deve-se excluir do total de arroz cultivado nas lavouras gaúchas aquele percentual referente ao arroz que é produzido para fins de semente e aquele alusivo ao arroz que é exportado ainda em casca para beneficiamento em outras regiões.

Conforme Amato (2008), não há dados confiáveis com relação a esses valores, optando-se assim, por eliminar essas variáveis através da utilização de dados de beneficiamento de arroz pelos engenhos instalados no estado. No Anexo B são apresentados os valores referentes às quantidades de arroz beneficiado, no ano de 2006, pelos 266 engenhos existentes no Rio Grande do Sul.

Ainda que esse procedimento diminua as incertezas quanto às estimativas de casca existente, salienta-se que ainda restam dúvidas quanto à quantidade de arroz que é importado já descascado para ser industrializado no RS e à quantidade de casca de arroz consumida nos engenhos e/ou em outras indústrias.

No ano de 2006 o Brasil consumiu aproximadamente 12,55 milhões de toneladas de arroz (CONAB Id., 2008), sendo que desse total, 93,4% foram cultivadas em território nacional.

Aproximadamente 95% do arroz importado pelo Brasil é classificado como sendo “beneficiado”, que engloba os tipos parboilizado e não parboilizado (SECEX,

2009). Assim, observa-se que a parcela de arroz em casca importado é pequena comparada com o total de arroz beneficiado no país, considerando-a desprezível para as estimativas de casca de arroz residual no Brasil e no Rio Grande do Sul.

Dessa forma, para efeito de cálculo, a fração correspondente ao arroz importado sem casca deve ser diminuída dos valores considerados no cálculo do total de casca de arroz disponível.

Além disso, tendo em vista a difícil contabilização da casca consumida no RS, deve-se estabelecer para esse resíduo um percentual de sua utilização pelos engenhos na geração de calor de processo e/ou eletricidade e por indústrias que fazem uso da casca em substituição a outros combustíveis de maior custo (lenha, óleo combustível, etc.).

Em estudo conduzido pela CIENTEC (1986), verificou-se, naquele período, que aproximadamente 40% da casca produzida pelos engenhos amostrados era destinada à secagem do arroz na safra, à geração de vapor, à produção de força motriz e à outras empresas (Tabela 2).

**Tabela 2 – Produção e uso da casca de arroz no Rio Grande do Sul (1986).**

Item	Quantidade (t)	Valor percentual (%)
Casca de produzida no RS	571.000	100,00
Destinada à secagem do grão (na safra)	87.000	15,20
Destinada à geração de vapor	80.000	14,00
Utilizada por indústria de cimento	40.000	7,00
Destinada a gerar força motriz	24.000	4,20
Excedente de casca	340.000	59,60

Fonte: CIENTEC (1986)

Esse estudo da CIENTEC é o único levantamento minucioso para as estimativas de produção e consumo de casca de arroz pelos engenhos do estado.

Apesar da defasagem de tempo apresentada, nota-se uma razoável proximidade com a situação atual, tendo em vista observações realizadas em empresas do setor arrozeiro, tais como:

- Todos os engenhos dispõem de sistema para secagem do grão, fazendo uso de casca de arroz ou lenha. Quando é feito o uso da

casca de arroz, o consumo na secagem varia de 15 a 20% da produção anual desse resíduo;

- Nos engenhos em que há parboilização do arroz, estima-se um consumo de vapor entre 25 a 30% da casca produzida anualmente.

Cabe ressaltar que dos 266 engenhos cadastrados pelo IRGA no ano de 2006, 154 engenhos são classificados como engenhos beneficiadores com parboilização, conforme pesquisa realizada no cadastro *on-line* do site da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM, 2009).

## **2.6 O aproveitamento energético da casca de arroz**

Segundo Hoffmann (1999), a baixa densidade energética indica a necessidade de transformação da biomassa em um vetor energético de maior densidade (eletricidade, combustível líquido ou gasoso, sólidos processados, etc.).

Esses processos de transformação ou conversão energética da biomassa podem ser divididos em três grupos: processos físicos, termoquímicos e biológicos, apresentados na Figura 4.

Em resumo, esses processos são processos primários, pois convertem a biomassa em combustíveis ou matérias-primas a serem utilizadas para obtenção de produtos finais, como o uso de combustíveis líquidos em motores para obtenção de energia mecânica ou o uso de briquetes na queima para obtenção de calor.

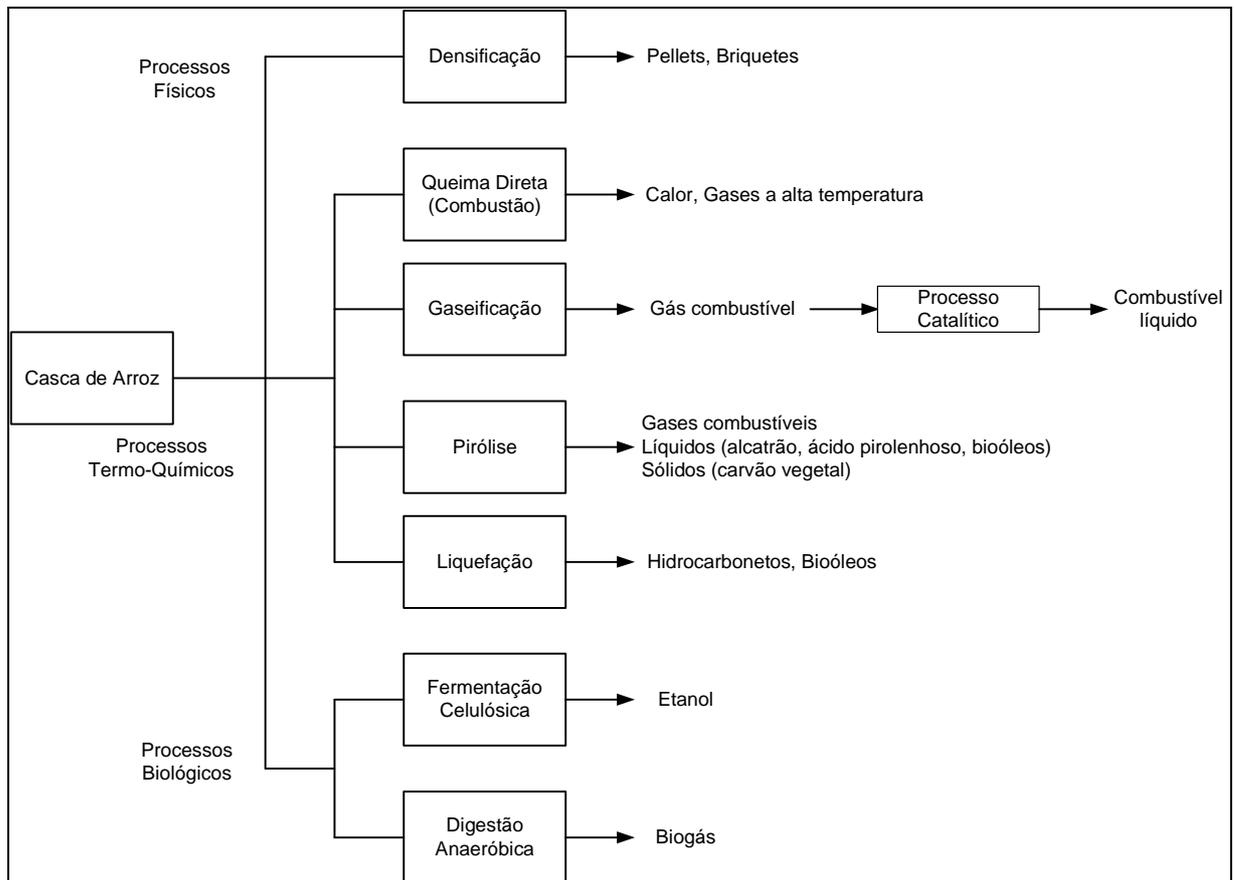
Cabe ressaltar que a pirólise, a gaseificação e a liquefação direta (Apêndice A) foram primeiramente desenvolvidas ou aplicadas para conversão do carvão mineral em combustíveis líquidos ou gasosos, principalmente incentivadas durante as duas grandes guerras do século XX. O alto custo envolvido nesses três métodos e a dificuldade de operação eram justificados pela necessidade de obtenção de combustíveis alternativos quando da escassez do petróleo e seus derivados.

Após a crise do petróleo na década de 70, a procura por combustíveis alternativos fez ressurgir o interesse nesses processos de conversão, até então em

desuso, agora com o objetivo de conversão da biomassa em energéticos de mais fácil utilização.

Porém, a rota mais simples para a utilização da casca de arroz continua sendo a combustão direta dessa biomassa para produção de calor. Esse método perde as vantagens dos processos de conversão, como a redução de umidade, aumento do poder calorífico e a melhoria na facilidade no seu manejo.

O calor gerado na queima controlada da casca de arroz pode ser utilizado diretamente na secagem do arroz, através da passagem dos gases quentes emanados em um secador ou na produção de vapor para posterior utilização na secagem e parboilização<sup>2</sup> do grão.



**Figura 4 - Processos de Conversão Energética da Casca de Arroz.**

Fonte: Compilação do autor

<sup>2</sup> Parboilização consiste no aquecimento do arroz até certa temperatura, fazendo com que alguns nutrientes presentes na casca se descolem e sejam retidos no grão, não sendo retirados quando do polimento do arroz.

Além desta utilização, o vapor pode ser empregado na geração de eletricidade, com tecnologia padrão de geração termoelétrica, resumida da seguinte forma: queima ou combustão do resíduo, geração de vapor, aproveitamento do vapor e geração de eletricidade (Hoffmann, 1999).

O calor de processo empregado em um engenho de arroz pode ser obtido a partir de diferentes equipamentos, o que possibilita a geração simultânea com a eletricidade (cogeração), podendo ser obtida a partir de equipamentos como motores e turbinas a vapor, motor stirling, entre outros.

Atualmente, a transformação de calor em eletricidade só é técnica e economicamente viável através do uso do vapor em equipamentos cujo funcionamento obedece ao ciclo Rankine: máquina térmica ou turbina a vapor.

O motor a vapor mais difundido no Rio Grande do Sul foi o locomóvel ou motor de pistão recíproco, constituindo-se em uma forma estacionária das antigas locomotivas a vapor.

Segundo Nodari (1997), o baixo investimento e a facilidade de instalação, operação e manutenção recomendam a sua utilização, apesar do baixo rendimento térmico global, em situações onde o combustível é disponível a custo próximo de zero, como é o caso da casca de arroz.

Assim, a casca de arroz foi muito utilizada na geração de energia mecânica a partir do locomóvel (acionamento de máquinas, bombeamento de água, etc) e na geração de energia elétrica. Esses equipamentos eram fornecidos para a faixa de potência situada entre 50 e 300 cv (30 e 220 kW), podendo, conforme a necessidade, ser instalada mais de uma unidade.

Ainda conforme Nodari (1997), a expansão das linhas de transmissão e o preço ofertado pela energia elétrica por parte das concessionárias, fizeram com que este equipamento se tornasse economicamente inviável, caindo em desuso e terminando por se extinguir com o fechamento da única fabricante desse tipo de equipamento no país, a empresa Mernak, em Cachoeira do Sul, estado do Rio Grande do Sul.

Hoffmann (1999) e Pretz (2001) relataram que dentre as tecnologias atuais para conversão da biomassa (casca de arroz) em eletricidade, a que apresenta a melhor viabilidade técnica e econômica é a turbina a vapor, devido a diversos fatores, dentre eles:

- Tecnologia de domínio nacional;
- Equipamento de simplicidade e flexibilidade operacional;
- Confiabilidade;
- Apresenta rendimento superior às outras máquinas térmicas;

Para a faixa de potência considerada nesse estudo (<1.000 kW), poucos dados são apresentados com relação à eficiência de conversão energética dos sistemas pela literatura pertinente ao assunto.

Coelho (2000) apresenta uma eficiência de 15 a 18% para ciclos a vapor de pequeno porte. Segundo Lora (2003), a eficiência líquida para sistemas de geração de eletricidade utilizando-se turbina a vapor é de 16%, para uma faixa de potência entre 1.000 e 2.000 kW.

Na cogeração a partir de um sistema de ciclo a vapor com turbina de contrapressão em potências inferiores a 5,0 MW, a eficiência elétrica do sistema varia de 8,4 até 10,4% (ROSILLO-CALLE, 2005). Matsumura (2005) cita que, para uma central termoelétrica de 500 kW, a eficiência média alcançada situar-se-ia próxima de 7,0%.

Deve-se ressaltar que nenhum desses autores apresenta dados de eficiência para faixas específicas menores que 1.000 kW - a exceção de um, pelo fato de não haver, até então, no mercado, equipamentos disponíveis que atendessem a demanda de pequenos potenciais termelétricos.

O que se observa, então, é que há falta de dados confiáveis que contemplem a geração termoelétrica em pequenas potências, especialmente no que se refere ao rendimento para os processos.

Isso resulta do fato de que existe uma gama imensa de conformações que podem ser empregadas na geração termoelétrica, de acordo com a necessidade inerente a cada unidade de geração.

Para esses sistemas termodinâmicos, a variação na pressão e na temperatura do vapor empregado nas turbinas influencia de forma determinante na eficiência desse equipamento.

Quanto maior a pressão e a temperatura empregadas, maior será o rendimento. Porém, isso exige que todos os equipamentos envolvidos devam suportar condições de trabalho mais severas e, portanto, necessitam ser construídos a partir de materiais mais resistentes, tornando-os mais caros.

Assim, o rendimento elétrico depende de diversos fatores como a escala de geração considerada, existência ou não de cogeração, do tipo de turbina empregada, etc, acarretando certa dificuldade em uma análise mais ampla para o Rio Grande do Sul.

Para faixas de potência maiores que 2.000 kW, costumam-se empregar turbinas de condensação plena ou turbina de condensação com extração (quando há necessidade de vapor para processo, principalmente na parboilização), por apresentarem maior rendimento elétrico, apesar do maior investimento necessário.

Em um acompanhamento preliminar de dois engenhos de arroz que fazem uso da casca na geração termoelétrica, foi possível estimar o rendimento elétrico desses sistemas, bem como do fator de utilização (F.U.) apresentado.

A Tabela 3 resume os valores obtidos para as centrais termoelétricas analisadas, ambas fazendo uso de turbinas de condensação.

**Tabela 3 – Rendimento elétrico e fator de utilização para termoelétricas a casca de arroz.**

Localização	Ano de comissionamento	Potência Instalada (kW)	Rendimento elétrico (%)	Fator de Utilização (F.U.)
Itaqui	2001	4.200	14,35	0,54
São Gabriel	1998	2.000	14,77	0,61

Fonte: Dados amostrados (2007).

Dessa forma, quando se pretende implantar uma unidade de geração termoelétrica de pequena escala, devem-se considerar quais os requisitos mínimos que essa unidade necessita atender, seja na produção de vapor para processo e/ou na geração de eletricidade.

Para engenhos de arroz de pequeno e médio porte, não há consumo de vapor para parboilização, havendo somente, em alguns casos, o uso da energia térmica do vapor na secagem do grão.

Dessa forma, a casca excedente pode ser totalmente utilizada pela MCT, em um funcionamento simultâneo com o engenho, de forma que a casca que é gerada no setor de descasque seja direcionada para a alimentação da caldeira.

Em um estudo sobre uma MCT de 300 kW, Mayer *et al* (2008) demonstram que para um sistema com rendimento de 10%, a energia elétrica gerada a partir do

consumo de toda a casca de arroz produzida é maior que a demanda do engenho, resultando num superávit energético.

As conclusões obtidas por Hoffmann (1999) a respeito de uma central termoelétrica de 300 kW, indicaram que o maior retorno financeiro foi aquele obtido quando a geração de eletricidade segue o regime operacional do engenho.

Assim, a empresa deve optar, preferencialmente, por gerar estritamente a energia que consome ou investir em equipamentos de potência maior que a necessária, havendo possibilidade de comercialização do excedente de energia elétrica gerado, eliminando, por completo, o problema de destinação da casca de arroz.

Considerando-se essa última hipótese, pode-se afirmar que o único excedente de casca ocorreria quando a MCT não estivesse em funcionamento, por motivo de problemas técnicos ou interrupções para manutenção preventiva.

### 2.6.1 O aproveitamento termoelétrico da casca de arroz

O Rio Grande do Sul conta atualmente com diversas centrais termoelétricas que operam com biomassa residual (Tabela 4). Quase todas essas empresas utilizam a turbina a vapor como dispositivo para obtenção de força motriz para acionamento do gerador. Apenas uma faz uso de motor a vapor (locomóvel).

Deve-se ressaltar que a grande maioria dos potenciais atualmente aproveitados situa-se em potência superior a 1.000 kW.

Através da Figura 5 pode-se observar que as centrais termoelétricas existentes encontram-se principalmente na metade sul do estado, devido a essa ser a principal região de cultivo e beneficiamento de arroz, além de sediar empresas do setor agroflorestal.

Outro ponto fundamental quando avaliada a geração termoelétrica com a casca de arroz é seu fator de utilização, tendo em vista que esses resíduos são produzidos durante onze meses, em média, por ano, período bem superior comparado com aquele das usinas de cana-de-açúcar (seis meses).

**Tabela 4 – Principais termoeletricas a biomassa instaladas no RS**

Termoeletricas	Cidade	Biomassa	Potência (kW)	Tecnologia
CAAL <sup>1</sup>	Alegrete	Casca de arroz	3.825	Turbina a vapor
Camil Alimentos	Itaqui	Casca de arroz	4.200	Turbina a vapor
Camil Alimentos <sup>2</sup>	Camaquã	Casca de arroz	4.000	Turbina a vapor
Celulose Cambará	Cambará do Sul	Serragem e casca de arroz	8.000	Turbina a vapor
Coopercana	Porto Xavier	Bagaço de cana	800	Turbina a vapor
Coradini Alimentos	Bagé	Casca de arroz	410	Turbina a vapor
CORISCAL	Cachoeira do Sul	Casca de arroz	300	Locomóvel
Doeler Alimentos	São Pedro do Sul	Casca de arroz	300	Turbina a vapor
Dom Pedrito <sup>2</sup>	Dom Pedrito	Casca de arroz	13.500	Turbina a vapor
FORJASUL	Encruzilhada do Sul	Serragem	1.800	Turbina a vapor
GEEA Alegrete <sup>1</sup>	Alegrete	Casca de arroz	5.000	Turbina a vapor
JOSAPAR S.A. <sup>2</sup>	Pelotas	Casca de arroz	8.000	Turbina a vapor
JOSAPAR S.A. <sup>2</sup>	Itaqui	Casca de arroz	6.000	Turbina a vapor
MADDEM	Mostardas	Serragem	1.200	Turbina a vapor
Piratini Energia	Piratini	Serragem	10.000	Turbina a vapor
São Borja <sup>1</sup>	São Borja	Casca de arroz	12.300	Turbina a vapor
TANAC	Montenegro	Serragem	1.000	Turbina a vapor
Urbano	São Gabriel	Casca de arroz	2.000	Turbina a vapor

<sup>1</sup> Empreendimentos em construção.

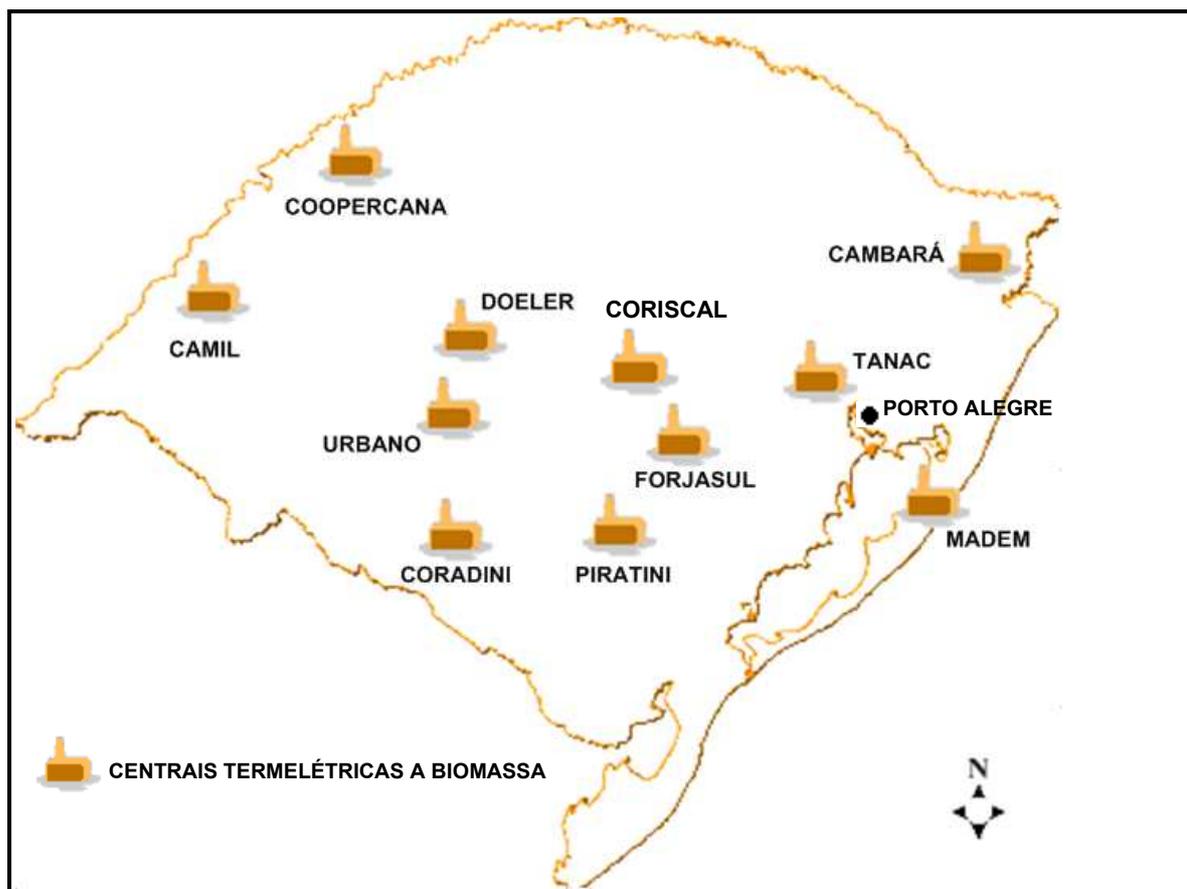
<sup>2</sup> Empreendimentos outorgados (ANEEL, 2009).

Fonte: Compilação do autor

Este fato contribui para o elevado fator de utilização das termoeletricas que utilizam a casca de arroz, propiciando que, para uma mesma quantidade de energia gerada ao longo do ano, a potência instalada seja menor, e por conseqüência, um menor investimento para tanto.

## 2.7 Micro Central Termoeletrica

Tendo em vista as especificidades dos engenhos beneficiadores no Rio Grande do sul, caracterizado por muitas unidades de pequeno e médio porte, o aproveitamento da biomassa para a geração termoeletrica só pode ser realizado por equipamentos de pequena escala.



**Figura 5 – Localização das principais centrais termoelétricas a biomassa do Rio Grande do Sul.**

Fonte: Compilação do autor

Com o objetivo de atender a demanda energética desses engenhos de arroz situados na faixa de potência em questão – inferiores a 1.000 kW, foi desenvolvida a concepção de MCT, pela empresa PTZ Bioenergy Fontes Alternativas de Energia Indústria Comércio e Serviços Ltda..

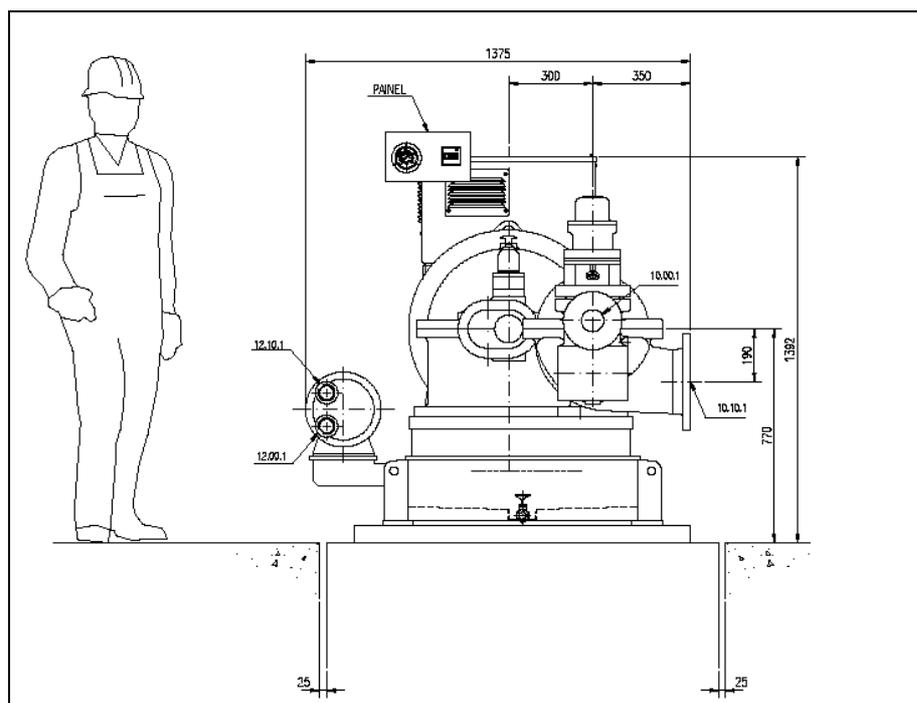
Uma MCT consiste em acoplar previamente todos os principais equipamentos da central termoelétrica: caldeira, turbina, redutor, gerador e painel do gerador. Dessa forma, a complexidade e os custos associados ao transporte são compensados pela redução de gastos com a obra e pela considerável otimização do tempo de implantação do projeto (PTZ, 2007).

Adotando esse novo conceito, obtém-se um sistema de co-geração compacto, de baixo custo e de alta confiabilidade, para ser aplicado em agroindústrias, madeireiras, empresas de exploração florestal, setor sucroalcooleiro

e demais atividades que envolvam a produção de biomassa, como resíduos de suas principais atividades.

Compreende o conceito de MCT o uso de caldeiras já alocadas nas instalações dos potenciais clientes, agregando-se nesse caso somente o turbo-gerador e respectivo painel, com o propósito de geração total ou parcial de energia demandada pela unidade ou comunidade, sendo que estas podem ou não estarem conectadas a redes de distribuição de energia elétrica de concessionárias ou outras, em qualquer classe de tensão ou freqüência de suprimento.

O sistema modular em questão apresenta a vantagem de que o chassi que suporta o conjunto turbo-gerador também serve como reservatório de óleo lubrificante (Figura 6).



**Figura 6 - Conjunto turbo-gerador de uma MCT (vista frontal).**

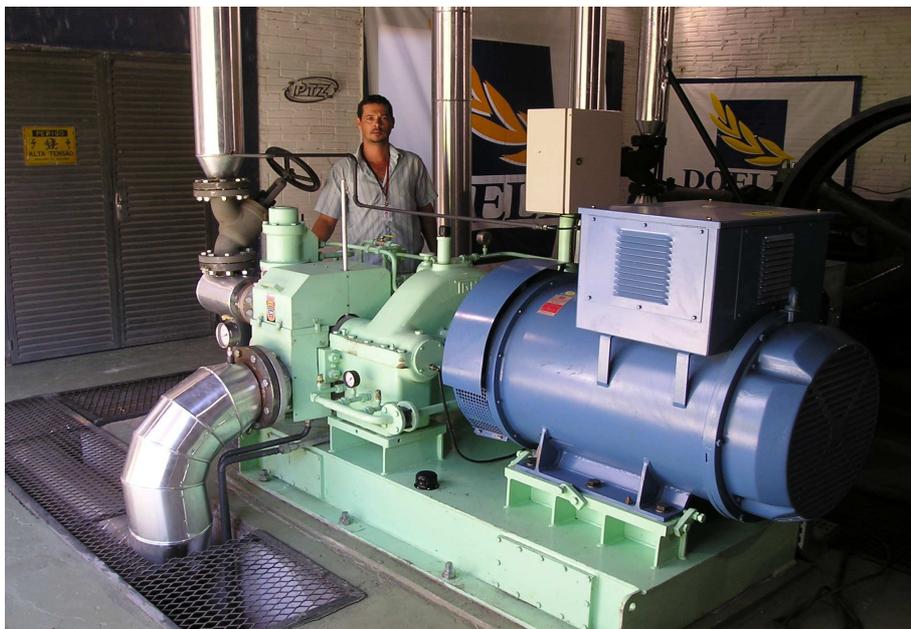
Fonte: TGM (2005)

A primeira MCT instalada no Brasil empregando esse conceito modular, foi inaugurada em dezembro de 2005, em São Pedro do Sul, município pólo regional de produção e beneficiamento de arroz no Rio Grande do Sul (Figura 7). O conjunto

turbogerador em questão tem potência nominal de 280 kW, e foi instalado em uma agroindústria de beneficiamento de arroz.

Esse projeto resultou da cooperação entre a Universidade Federal de Santa Maria, através do Comitê de Energia e Sustentabilidade, a Doeler Alimentos Ltda, de São Pedro do Sul e a PTZ Bioenergy, para implantar uma unidade de geração termoelétrica que operasse a partir de resíduos (casca de arroz), no município de São Pedro do Sul, Estado do Rio Grande do Sul.

O investimento na MCT foi custeado pelo CNPq, através do projeto N° 401260/2004-6. A contrapartida da Doeler Alimentos Ltda. foi através do custeio das despesas com a reforma das instalações.



**Figura 7 - MCT instalada na empresa Doeler Alimentos Ltda.**

## **2.8 O setor elétrico e o Protocolo de Quioto**

A explicação de que as emissões antropogênicas de dióxido de carbono e outros gases são as responsáveis pela elevação da temperatura média do planeta ainda não é consenso na comunidade científica internacional.

Entretanto, a adoção de medidas de controle em face de uma situação com potenciais conseqüências ao planeta, tem como fundamento o “Princípio de Precaução”:

Quando uma atividade representa ameaças de danos ao meio ambiente ou à saúde humana, medidas de precaução devem ser tomadas, mesmo se algumas relações de causa e efeito não forem plenamente estabelecidas cientificamente. (SEHN, 2008).

Dessa forma, com o objetivo de enfrentar o desafio do aquecimento global, foi criada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, em inglês), sendo que esta adotou, em 1997, o chamado Protocolo de Quioto, que visa um processo de estabilização das emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa) por parte dos países desenvolvidos, limitando essas em 5,2% abaixo das registradas em 1990. O prazo para essa redução será até chamado “período de comprometimento”, que compreende o período entre 2008 e 2012, conforme firmado no protocolo.

A Tabela 5 apresenta os principais indicadores de emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para diferentes países.

**Tabela 5 - Principais indicadores de emissão de CO<sub>2</sub> para o Brasil, Países e Regiões Selecionados (2002)**

Indicador	Brasil	EUA	Japão	América Latina	Mundo
t CO <sub>2</sub> /hab	1,77	19,66	9,47	1,98	3,89
t CO <sub>2</sub> /tep <sup>a</sup> OIE	1,62	2,47	2,33	1,9	2,36
t CO <sub>2</sub> /mil US\$ de PIB <sup>b</sup>	0,27	0,6	0,4	0,3	0,6
t CO <sub>2</sub> /km <sup>2</sup> de superfície	36,3	614,9	3.197,8	46,0	119,3

Fonte: BEN (2006)

<sup>a</sup> tonelada equivalente de petróleo (tep). <sup>b</sup> US\$ em valores correntes de 1995

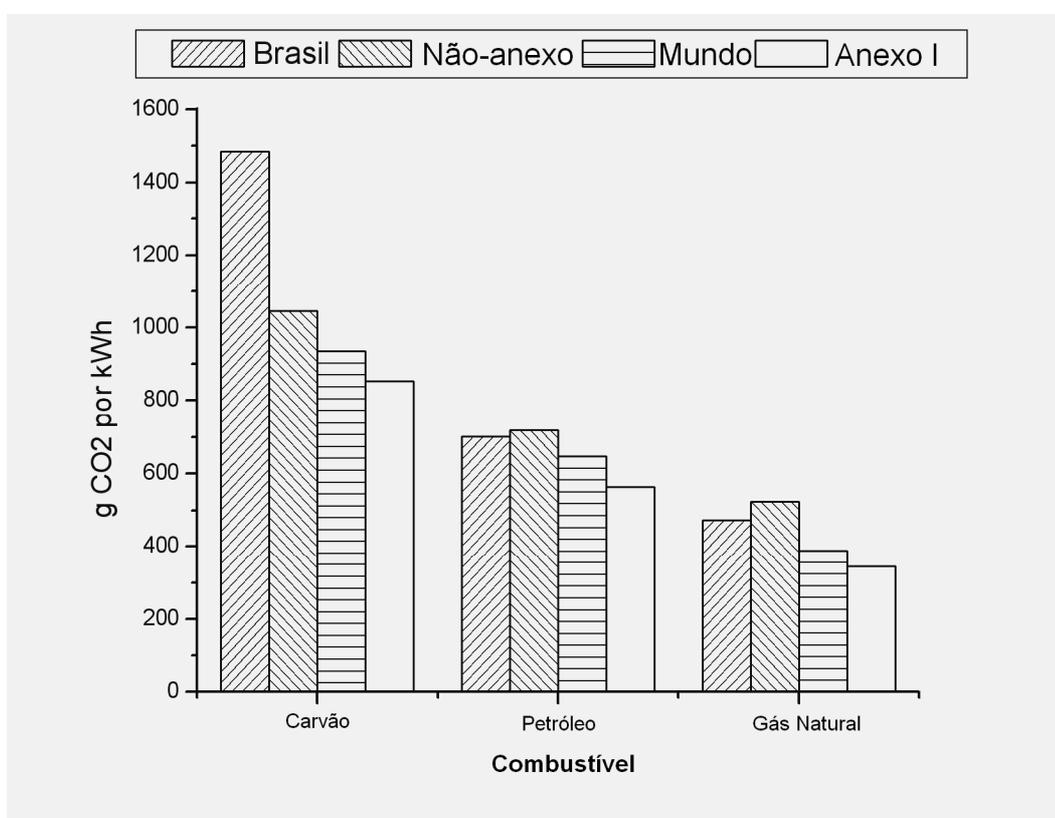
Assim, a necessidade de redução de emissões de GEE obriga os diferentes países a buscarem soluções dentro de seu contexto interno, seja nos setores de transporte, energia elétrica, aquecimento residencial, etc.

No caso dos países do Anexo I<sup>3</sup> (Anexo A), o alto grau de efficientização alcançado nos sistemas de geração de energia elétrica (Figura 8) e o esgotamento

<sup>3</sup> Grupo formado pelos países desenvolvidos integrantes da OCDE e pelos países do antigo bloco soviético ou de “economias de transição”.

de fontes alternativas tradicionais fizeram com que esses países atingissem um limite do total de emissões de GEE, não obedecendo às metas acordadas no Protocolo.

Desse modo, esses países, através dos mecanismos comerciais estabelecidos no Protocolo, passaram a adquirir Créditos de Redução de Emissões (CER's), provenientes da quantificação das emissões de GEE evitadas por outros países.



**Figura 8 - Fator de emissão de CO<sub>2</sub> por kilowatt-hora produzido a partir de fontes fósseis.**

Fonte: IEA (2008).

Para alcançar tal objetivo, o Protocolo de Quioto dispõe de mecanismos comerciais ou de flexibilização, para facilitar que os países desenvolvidos cumpram suas metas de corte nas emissões. Esses mecanismos são: Mercado de carbono (*Emission Trade*), Implementação Conjunta (*Joint Implementation*) e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL (*Clean Development Mechanism - CDM*).

O MDL permite que os países desenvolvidos financiem projetos de redução ou comprem os volumes de redução resultantes de iniciativas implementadas nos países em desenvolvimento não-industrializados, como é o caso do Brasil.

Esse mecanismo tem dois objetivos: diminuir o custo global de redução de emissões de gases lançados na atmosfera e que produzem o efeito estufa e, ao mesmo tempo, apoiar iniciativas que promovam o crescimento sustentável em países em desenvolvimento.

Esses objetivos simultâneos refletem a necessidade de ação coordenada entre países desenvolvidos (chamados “Anexo 1”) e em desenvolvimento (chamados “Não-anexo 1”), que, apesar de posicionamentos distintos, dividem o objetivo comum de reduzir o acúmulo de GEE.

O princípio básico do MDL é simples. Ele permite que países chamados “Anexo I” invistam nos países “Não-Anexo I”, em oportunidades de redução de emissões de GEE de baixo custo e que esses países recebam créditos pela redução obtida nas emissões. Aqueles países podem, então, aplicar esses créditos nas metas fixadas para 2008-2012, reduzindo assim os cortes que teriam de ser feitos nas próprias emissões.

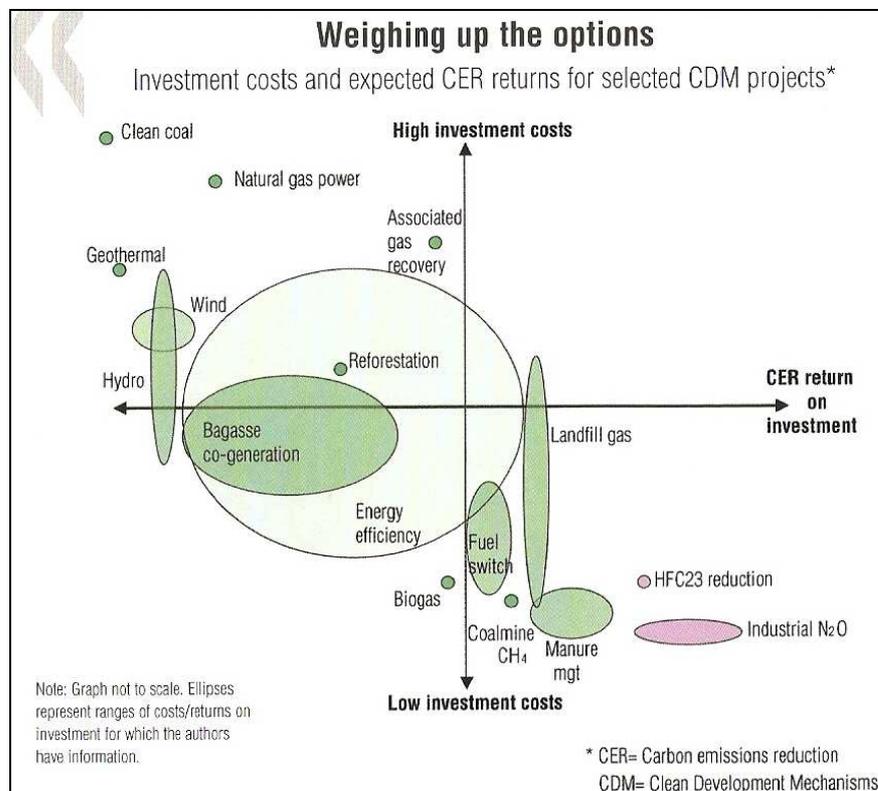
Atualmente, existem diversas tecnologias ou ações de gerenciamento que permitem mitigar emissões de gases de efeito estufa. Devido a essa diversidade, os custos envolvidos e o retorno que os recursos provenientes da comercialização dos créditos de carbono têm no investimento são os mais distintos. (Figura 9). Pode-se estimar que a situação relativa a casca de arroz assemelha-se a cogeração com o bagaço de cana-de-açúcar.

Além do mais, são vários os gases de efeito estufa de origem antropogênica, sendo que cada um possui o que se chama de “poder de efeito estufa” (PEE) (Anexo B), contribuindo para a heterogeneidade observada com relação ao retorno de créditos de carbono. Um exemplo é a captura de óxido nitroso ( $N_2O$ ), proveniente da produção de ácido nítrico, cujo PEE é 310 vezes maior que o do dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Esta ação exige baixo investimento específico e garante grande redução de GEE, e por consequência, grande volume de créditos de carbono.

Como muitas das oportunidades de redução de emissões são mais baratas e disponíveis em países em desenvolvimento, isso aumenta a eficiência econômica para alcançar as metas iniciais de redução de emissões de GEE. Dessa forma, a contribuição das emissões de GEE para as mudanças climáticas é a mesma,

independentemente de onde elas ocorram, ou seja, o impacto no meio ambiente global é o mesmo.

Ao mesmo tempo em que essa característica permitiu maior flexibilidade para os países, também tem levado a que os investimentos em projetos de MDL direcionem-se aos países que apresentam maior potencial de redução de emissões, estruturas institucionais capacitadas e fluxo de recebimento de capital externo, conforme citado por Haites (2004), e a focar-se em projetos que se revelam mais atrativos sob uma análise custo-benefício.



**Figura 9 – Custos de investimento e retorno de CER esperados para projetos de MDL.**

Fonte: OECD OBSERVER (2007)

Se esse mecanismo de redução é mais barato para os países desenvolvidos, os países em desenvolvimento também se beneficiam, não apenas com o aumento do fluxo de investimentos mas, também, com a exigência de que os investimentos

compensem as emissões de GEE ao mesmo tempo em que promovam os objetivos de desenvolvimento sustentável.

Assim, o MDL permite o envolvimento dos países Não-Anexo I num período em que outras prioridades limitam os recursos para atividades de redução de emissões de GEE, e encoraja-os a fazê-lo ao sinalizar com a perspectiva de que a prioridade ao desenvolvimento será incorporada como parte da solução.

Mais genericamente, o objetivo do MDL de promover iniciativas para o desenvolvimento destes países reconhece que apenas por meio do crescimento econômico em longo prazo será possível a participação de todos os países na proteção ao clima. O MDL serve como ferramenta auxiliar para que projetos de geração de energia que possam promover reduções de impactos ambientais se tornem realizáveis, como é o caso da geração termoelétrica a partir do resíduo casca de arroz.

Com a iminente finalização do prazo para o cumprimento das metas estabelecidas, ou seja, com a finalização do Protocolo de Quioto, será realizada uma nova Conferência das Partes (COP, em inglês).

A 15ª Conferência das Partes (COP 15) ocorrerá em dezembro de 2009, na cidade de Copenhague, na Dinamarca, quando será firmado um novo acordo que sucederá o atual, que poderá ou não manter os mecanismos e funcionalidades estabelecidos no Protocolo de Quioto.

### 3. METODOLOGIA

As atividades realizadas nesse estudo podem ser divididas em duas principais etapas: a simulação de projetos em diferentes escalas para o setor arrozeiro do estado do Rio Grande do Sul e o estudo de caso da MCT instalada em São Pedro do Sul.

Na primeira etapa, foi realizado um levantamento sobre a quantidade de casca de arroz produzida no estado e que não apresenta nenhum tipo de utilização. A partir disso, efetuou-se uma projeção do uso da casca de arroz para o cenário da geração termoelétrica no estado do Rio Grande do Sul.

A quantificação de biomassa residual possível de ser utilizada na geração termoelétrica foi realizada a partir das considerações estabelecidas no item 2.5, aplicadas aos valores de arroz beneficiado no Rio Grande do Sul, apresentados no Anexo C, além do percentual que a casca representa na massa total do grão.

O levantamento de dados referentes à quantidade de resíduos pode fornecer informações quanto a possibilidade de aproveitamento desses na obtenção de energia elétrica e quanto ao potencial termoelétrico existente.

Para o cenário obtido, foi elaborado um estudo de viabilidade econômica para cinco MCT's que atendem os prováveis potenciais termelétricos de pequena escala desprovidos de análise técnico-econômica, de acordo com equipamentos existentes no mercado brasileiro.

Na seqüência, realizou-se uma coleta de dados na empresa Doeler Alimentos Ltda. através de pesquisa de campo, que segundo Lakatos (2008), classifica-se como sendo do tipo exploratória, a partir de estudo exploratório-descritivo combinados, com a finalidade de traçar um panorama dessa indústria, no que concerne seu regime operacional, objetivando avaliar o consumo de energia e a produção de casca de arroz, combustível para a MCT.

Tendo em vista os diferentes fatores relacionados à geração termoelétrica para essas potências, foi realizada uma análise de sensibilidade para fornecer subsídios a uma avaliação detalhada dos elementos que influenciaram na viabilidade de tais empreendimentos.

Ainda, foi efetuado um levantamento de informações que permitiram avaliar qual a influência da MCT sobre o impacto ambiental da atividade de beneficiamento de arroz, tendo em vista a mudança no destino final da casca de arroz.

### **3.1 Aspectos Técnicos**

Os aspectos técnicos compreendem todos os elementos de avaliação, referentes ao funcionamento e operação do engenho de beneficiamento de arroz e da MCT, que subsidiaram a avaliação de viabilidade econômica e dos aspectos ambientais das atividades envolvidas.

O levantamento do consumo de energia elétrica foi realizado através da análise das faturas de compra de eletricidade fornecidas pela empresa Doeler Alimentos Ltda., onde estão discriminados o consumo mensal (em kWh) e a demanda contratada (em kW) no posto tarifário “ponta” e “fora de ponta”, bem como suas respectivas tarifas, além do ICMS incidente.

Além dos valores de consumo, as faturas também apresentam os valores do dispêndio de recursos com a compra de energia, fornecido em Reais (R\$).

A coleta de dados a respeito do beneficiamento de arroz foi realizada através de visitas à empresa, permitindo se estimar a quantidade de casca de arroz produzida e assim, a quantidade de energia que pôde ser gerada pela termoelétrica.

Ainda, foi realizado o levantamento do regime operacional do engenho, ou seja, do número de horas trabalhadas por dia e do número de dias de operação por ano.

A melhor alternativa de funcionamento da MCT é aquela simultânea a do engenho, havendo indicação do Fator de Utilização (FU), facilitando o cálculo da energia elétrica gerada.

Para o caso de São Pedro do Sul, não foi possível se obter precisão para os valores de produção de energia, tendo em vista a falta de dispositivos de medição e armazenamento de dados.

Assim, o procedimento adotado para se estimar a energia gerada foi a avaliação das faturas de energia elétrica da empresa. Tendo em vista que, a partir do funcionamento da MCT, espera-se uma redução da energia adquirida da

concessionária distribuidora, a comparação entre as faturas do período anterior à instalação da central termoelétrica (2005) e posterior (2006 e 2007) fornece, de forma precisa, a energia realmente produzida pela termoelétrica e aproveitada pelo engenheiro. Esse procedimento permitiu a quantificação do total de energia economizado pela implantação da MCT, além do referente valor financeiro.

As informações técnicas dos equipamentos, como condições operacionais, potência, consumo de vapor, entre outros, foram obtidas de registros escritos e, quando não disponíveis, a partir de experimentos durante a operação da MCT de 300kW instalada na empresa Doeler Alimentos Ltda..

### **3.2 Análise de Viabilidade Econômica**

Os projetos de geração de energia elétrica em pequena escala, a despeito das vantagens ambientais que apresentam, exigem um estudo detalhado das variáveis econômicas inerentes, tendo em vista que empreendimentos similares a este são de interesse, principalmente, da iniciativa privada.

No estudo de viabilidade econômica das diferentes escalas de termoelétricas, considerou-se, também, o ingresso de recursos provenientes da hipótese de comercialização da energia elétrica excedente gerada e de créditos de carbono, este último calculado conforme descrito no item 3.3.

Para essas MCT's, os valores do investimento foram obtidos junto à PTZ Bioenergy Fontes Alternativas de Energia, visto que essa empresa detém a patente de produção e comercialização dos equipamentos considerados. Os valores de investimento abrange os seguintes itens:

- Estudos preliminares para avaliação do potencial de produção de biomassa, bem como o levantamento de todas as características operacionais do engenheiro que afetam o projeto da central termoelétrica;
- Terreno;
- Construção civil: instalações necessárias para a instalação da termoelétrica, que compreende o prédio para o turbogerador e a base para instalação da caldeira;

- Máquinas e equipamentos: engloba os valores referentes a aquisição da caldeira, turbogerador, 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;

As estimativas de custos fixos e variáveis foram tomadas como sendo aquelas obtidas a partir de valores práticos fornecidos pela empresa PTZ Bioenergy, considerando-se a proporcionalidade da escala de geração.

Os indicadores econômicos adotados para exprimir a eficiência econômica a partir dos elementos descritos são a Taxa Interna de Retorno (TIR), o tempo de retorno do capital (*payback*) e o Valor Presente Líquido (VPL).

Como referência, considerou-se que a Taxa Mínima Atrativa (TMA) é igual a Taxa de Juro de Longo Prazo (TJLP), igual a 6,25%, praticada no ano de 2008.

A utilização conjunta desses três indicadores permite uma análise apurada da rentabilidade do investimento, eliminando em parte os problemas decorrentes das limitações que cada um deles apresenta se considerados individualmente.

Além desses três índices, o custo de geração serve como indicador comparativo do resultado obtido para as MCT's com os valores atualmente praticados no mercado de energia elétrica brasileiro. Esse valor é calculado pela seguinte expressão, conforme LORA (2003):

$$C_{ger} = \left( \frac{I.(FRC + F_{O\&M})}{8.760.P.FU} + \frac{C_{comb}}{3,6.\eta_{planta}} \right) \cdot 1000 \quad (1)$$

Onde:

$C_{ger}$  - Custo de geração (R\$ / MWh<sub>el</sub>);

$I$  - Investimento total na MCT (R\$);

$FRC$  - Fator de Recuperação de Capital (função da taxa de desconto e do período de pagamento);

$F_{O\&M}$  - Fração do investimento que corresponde aos custos anuais de operação e manutenção, incluindo o combustível;

$P$  - Potência instalada (kW<sub>el</sub>);

$FU$  - Fator de Utilização;

$C_{comb}$  - Custo com a compra do combustível (R\$/GJ);

$\eta_{MCT}$  - Rendimento da MCT;

Os cálculos de avaliação econômica foram executados com o auxílio de planilhas baseadas nos modelos apresentados por Woiler (1996), Pretz (1997), Hoffmann (1999) e Motta (2002).

As planilhas foram construídas no software Excel 2003, permitindo a alteração das principais variáveis a fim de que fosse possível realizar a análise de sensibilidade para os investimentos.

Os parâmetros que tiveram sua influência avaliada pela análise de sensibilidade foram escolhidos após um estudo criterioso de sua importância na viabilização econômica das centrais termoelétricas, de forma que foi possível estabelecer um cenário realista que favorecesse economicamente o aproveitamento da casca de arroz na geração em pequena escala.

### 3.3 Impactos ambientais

A minimização dos impactos ambientais do processo de beneficiamento de arroz é o ponto de destaque no despertar de interesse pela escolha da instalação de pequenas centrais termoelétricas no RS.

Dessa forma, a avaliação dos elementos que compõe esse ponto específico partiu da consideração de que os rejeitos de biomassa da indústria não mais seriam depositados no solo, eliminando esse procedimento inadequado do ponto de vista

ambiental, além de resultar no término do transporte de grandes quantidades desse material.

Afora isso, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa advinda da instalação das MCT's foi realizada através da quantificação da casca de arroz que deixou de ser depositada no solo e, por consequência, da mitigação da emissão de metano (CH<sub>4</sub>) pela decomposição dessa matéria orgânica.

Ainda, a substituição da eletricidade consumida da rede, gerada em parte a partir da queima de combustíveis fósseis, resultou na redução da emissão de gases de efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), devido à autoprodução de eletricidade.

Tanto a mitigação da emissão de metano quanto a substituição da eletricidade da rede são avaliadas a partir da análise do período pré-instalação da termoelétrica, constituindo-se na chamada *linha de base* (baseline) (UNFCCC, 2007).

A redução de emissão de gases de efeito estufa provém da diferença entre o cenário pós-instalação da termoelétrica, em que diminuem as emissões de metano e dióxido de carbono, e a linha de base.

A quantificação dessa redução na emissão de dióxido de carbono e metano foi realizada através das seguintes metodologias, fornecidas pela UNFCCC (2007):

- Metodologia I. D – *Grid connected renewable electricity generation*;
- Metodologia III. E – *Avoidance of methane production from biomass decay through controlled combustion*.

Essas metodologias são de uso para projetos que visam a redução de gases de efeito estufa e estão detalhadas em sua metodologia de aplicação no Anexo C.

Os valores de redução da emissão de gases de efeito estufa pelo término do transporte da casca de arroz não foram considerados na análise ambiental, tendo em vista a dificuldade em se estabelecer os parâmetros de distância percorrida, bem como dos valores de consumo específico de diesel (litros / quilômetro percorrido), resultando em uma quantificação de emissões mais conservativa.

No caso da Doeler Alimentos Ltda., será apenas indicado o consumo de diesel de forma a ilustrar o problema, mas sem alteração nos valores de emissão dos gases de efeito estufa.

## 4. RESULTADOS

Tendo em vista que este estudo compõe-se de duas partes principais, optou-se por dividir o item Resultados e Discussão da mesma forma. Por primeiro, a exposição da avaliação de simulação de diferentes escalas de geração para pequenas potências no Rio Grande do Sul e, na seqüência, a análise de caso da MCT instalada na empresa Doeler Alimentos Ltda.

### 4.1 Aproveitamento termelétrico da casca de arroz no Rio Grande do Sul

A avaliação do processo produtivo de um engenho de arroz, no que tange a expectativa de autoprodução de eletricidade, engloba duas questões importantes: o consumo de energia elétrica e a quantidade dessa energia que pode ser gerada. Esses dois elementos, primordiais para esse estudo, apresentam o mesmo ponto de partida que é o montante de arroz beneficiado pelo engenho.

É esse valor que indica qual a demanda energética (térmica e elétrica) do engenho e também, evidencia a produção de biomassa residual que servirá como combustível do sistema de geração termelétrico.

Assim, o levantamento dos dados referentes a essa questão deu início ao estudo apresentado e permitiram que os resultados obtidos fossem transpostos ao potencial termelétrico da casca de arroz do estado do Rio Grande do Sul.

Com este objetivo, foi realizada uma avaliação técnico-econômica para micro centrais termoelétricas que contemplem o setor arroseiro do estado, sabendo-se que o potencial para aproveitamento energético desse resíduo agroindustrial ocorre em pequena escala.

#### 4.1.1 Disponibilidade de casca de arroz no Rio Grande do Sul

Com base na argumentação apresentada no item 3.1, foi considerado nesse estudo que a quantidade de casca passível de utilização em termoelétricas equivale ao valor de casca produzida pelo beneficiamento de 53% do total de arroz processado no estado, considerando que 40% da casca é consumida com algum outro fim e aproximadamente 7 % do arroz beneficiado é importado sem a casca.

Conforme os dados disponibilizados pelo IRGA (Anexo D), o estado contava no ano de 2006, com 266 engenhos beneficiadores de arroz, distribuídos em 87 municípios, responsáveis pelo beneficiamento de pouco mais de 90 milhões de sacos (50 kg cada) ou 4,5 milhões de toneladas de arroz em casca.

A Tabela 6 apresenta os valores de arroz beneficiado no estado e as quantidades de casca de arroz produzida, consumida e disponível para o ano de 2006. Ressalta-se que a casca de arroz total produzida considera a quantidade de arroz sem casca que ingressa no estado (aproximadamente 7%) e a casca de arroz consumida (40% do total), resultando na disponibilidade mensal e anual de resíduos de biomassa.

**Tabela 6 – Quantidade mensal e anual de arroz beneficiado e casca de arroz disponível no Rio Grande do Sul (2006), em toneladas.**

Mês	Arroz Beneficiado	Casca de arroz produzida	Casca de arroz consumida	Casca de arroz disponível
Janeiro	272.019	55.894	22.358	33.537
Fevereiro	288.839	59.351	23.740	35.610
Março	422.712	86.859	34.744	52.115
Abril	405.487	83.319	33.328	49.992
Maiο	458.892	94.293	37.717	56.576
Junho	433.627	89.102	35.641	53.461
Julho	370.107	76.050	30.420	45.630
Agosto	364.193	74.834	29.934	44.901
Setembro	388.416	79.812	31.925	47.887
Outubro	427.682	87.880	35.152	52.728
Novembro	361.011	74.181	29.672	44.508
Dezembro	309.293	63.554	25.421	38.132
<b>Total anual</b>	<b>4.502.276</b>	<b>925.128</b>	<b>370.051</b>	<b>555.077</b>

Fonte: Valores calculados a partir de dados do IRGA (2008)

#### 4.1.2 Potencial termelétrico da casca de arroz no Rio Grande do Sul

O cálculo do potencial termoelétrico principia pela quantificação de biomassa residual disponível nas indústrias, podendo-se então, através do rendimento elétrico para a escala considerada e do regime operacional adotado, estimar-se a potência instalada teórica para os engenhos existentes e por conseqüência, para todo o estado.

Conforme a Tabela 3, apresentada no item 2.6, observa-se que o rendimento de centrais termoelétricas com potências iguais ou superiores a 2.000 kW situa-se próximo a 15%, sendo utilizado como valor base para o estudo que se está conduzindo.

Tendo em vista a dificuldade em obter dados confiáveis para o espectro de engenhos existentes no Rio Grande do Sul, cujo maior número de unidades situa-se em um potencial abaixo de 1.000 kW, optou-se por um valor mais conservativo para o rendimento elétrico de tais sistemas - igual a 10%, visto que a turbina a vapor empregada nesses casos é do tipo “contrapressão”, de menor rendimento.

Esse tipo de turbina não permite cogeração, tornando a operação da central termoelétrica exclusiva para geração de eletricidade. Além disso, essas turbinas apresentam-se técnica e economicamente inviáveis para faixas de potência inferiores a 100 kW, de modo que os engenhos que se enquadram nesse ponto ficam desprovidos de uma tecnologia verdadeiramente funcional.

Tendo em conta esses fatores, foi possível realizar um levantamento do potencial a ser instalado em cada engenho de beneficiamento a partir dos dados apresentados no Anexo D.

Devido ao grande número de engenhos analisados, optou-se por apresentar uma distribuição do número de engenhos para cada um dos três grupos de potência analisado:

- **“A”** - Menor que 100 kW: potencial existente em pequenos engenhos, caracterizados pela pequena quantidade de arroz beneficiado, com impossibilidade técnica e econômica para o aproveitamento termelétrico dos resíduos produzidos;
- **“B”** - Entre 100 e 800 kW: Nesta faixa concentram-se os engenhos de porte médio, com razoável quantidade de arroz beneficiado e, por

conseqüência, de casca de arroz. Apesar de atendidas as necessidades tecnológicas para a geração termoelétrica, não existem estudos detalhados quanto à viabilidade econômica para essa faixa de potência;

- “C” - Maiores que 800 kW: Agrupa os engenhos beneficiadores de grande porte, que em alguns casos, aproveitam a casca de arroz na geração termoelétrica. Os equipamentos empregados sofrem em menor grau a “economia de escala”, tendo garantida sua viabilidade econômica;

A Tabela 7 resume os dados obtidos para a avaliação conforme o grupo de potência. Foi utilizado no cálculo um F.U. igual a 0,60, representando a operação de uma central termoelétrica por aproximadamente 5.300 horas por ano. Esse valor foi escolhido tendo em vista a análise da operação das centrais descritas na Tabela 6 e por representar um regime operacional adequado para o espectro de engenhos analisados.

**Tabela 7 – Distribuição dos engenhos em função da faixa de potência**

<b>Faixa de potência</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Total</b>
Número de engenhos	185	68	13	<b>266</b>
% do número total	69,55%	25,56%	4,89%	<b>100,00%</b>
Rendimento Elétrico (%)	10,0	10,0	15,0	-
Potencial possível de ser instalada(kW)	3.575,95	16.823,93	25.462,30	<b>45.862,17</b>
% da potência instalada	7,80	36,70	55,50	<b>100,0</b>
Energia total gerada (MWh)	19.799,66	87.422,10	133.829,83	<b>241.051,59</b>
% da energia total	8,21%	36,27%	55,52%	<b>100,00</b>

A partir da Tabela 7 observa-se que apesar de na faixa de potência “A” encontrar-se quase 70% dos engenhos gaúchos, essa parcela responde pela menor parte da potência que pode ser instalada e da energia possível de ser gerada.

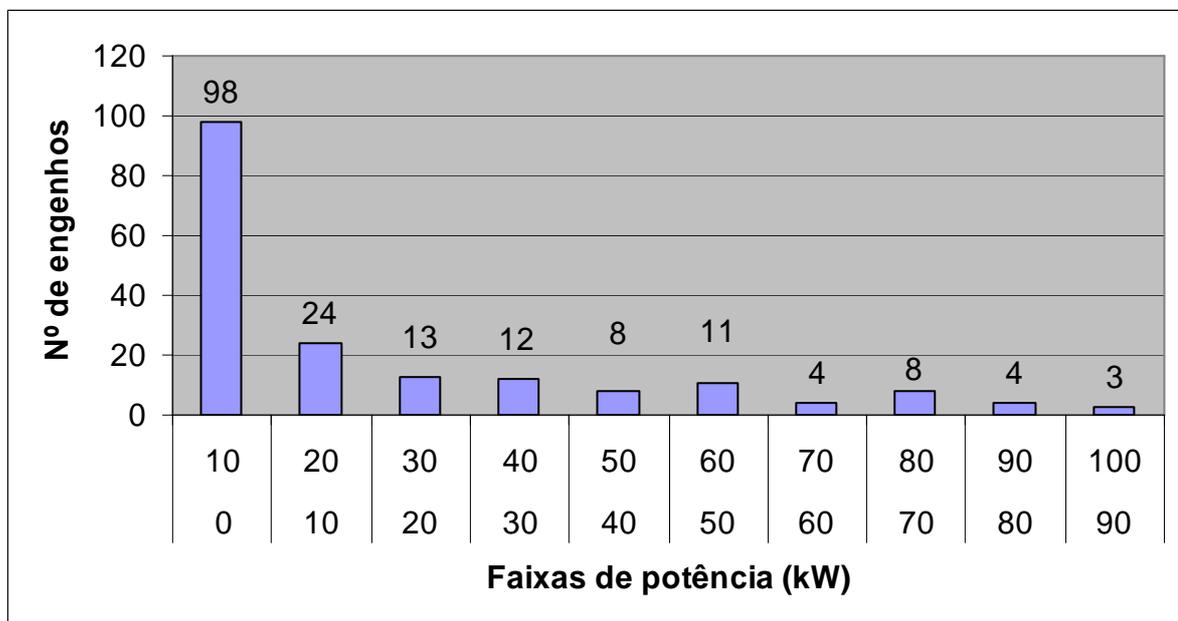
Já a faixa “C” caracteriza-se pelos grandes engenhos de arroz que, mesmo não atingindo 5,0% do número total de agroindústrias, é responsável por mais da

metade dos 241 mil MWh que podem ser obtidos a partir do uso da casca de arroz como combustível.

Como citado anteriormente, os engenhos enquadrados na faixa “B” (68 unidades) têm uma decisão crítica no que diz respeito ao aproveitamento da casca de arroz, por não haver estudos específicos de viabilidade econômica para os casos encontrados.

Cada um desses três grupos apresenta uma distribuição própria conforme a faixa de potência alcançada pelas termoelétricas. As figuras 10, 11 e 12 apresentam essa distribuição conforme as faixas específicas de potência para os grupos analisados.

Os valores apresentados na Tabela 7 evidenciam que o excedente de casca de arroz, se utilizado na geração termoelétrica, poderia responder por 1,0% da capacidade instalada (4.954 GWh) ou 4,3% da energia elétrica consumida pelo setor doméstico (5.991 MWh) do estado do Rio Grande do Sul, de acordo com dados disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2009).



**Figura 10 - Distribuição dos engenhos em faixas de potência para o grupo “A”.**

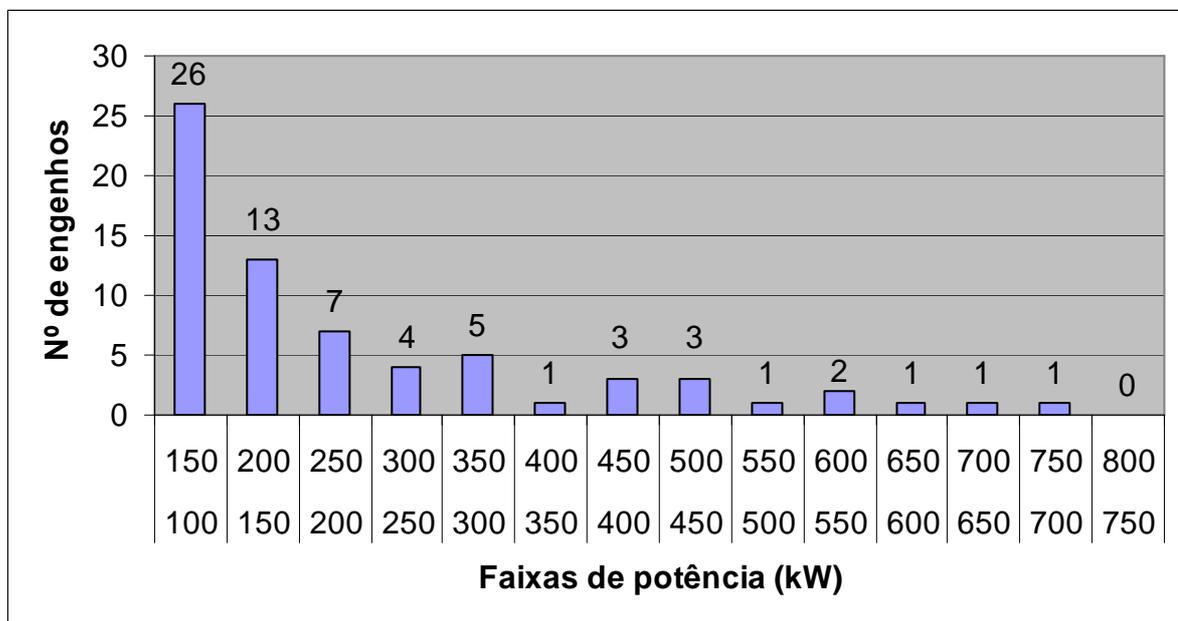
Conforme a Figura 10 observa-se que 98 engenhos enquadram-se na faixa compreendida entre zero e 10 kW, perfazendo mais de 36% do total de engenhos do

estado, o que pode ser explicado pela baixa quantidade de arroz processado e pelo baixo rendimento do sistema.

A viabilização técnica para os 185 engenhos que compõem a faixa A poderia ocorrer através de um manejo adequado dos resíduos produzidos em cada unidade, de forma que fossem utilizados em uma central termoelétrica de maior porte, que abrangesse vários engenhos produtores situados a uma distância próxima.

Tal conformação parece não ser possível, pois, segundo Pretz (2001) as empresas do setor arroseiro apresentam objetivos conflitantes, em função de que, para que isto ocorresse, concorrentes em um mercado tão competitivo deveriam ser parceiros de um mesmo empreendimento.

Para o grupo "B" (Figura 11), a distribuição dos engenhos nas faixas de 300 a 750 kW apresenta-se bastante homogênea. Os 50 engenhos com potências entre 100 e 300 kW (19 % do total do estado) são plenamente atendidos por um sistema de geração de 300 kW, visto que esses equipamentos ajustam-se razoavelmente a essa necessidade, à custa de uma diminuição no rendimento dos equipamentos.



**Figura 11 - Distribuição dos engenhos em faixas de potência para o grupo "B".**

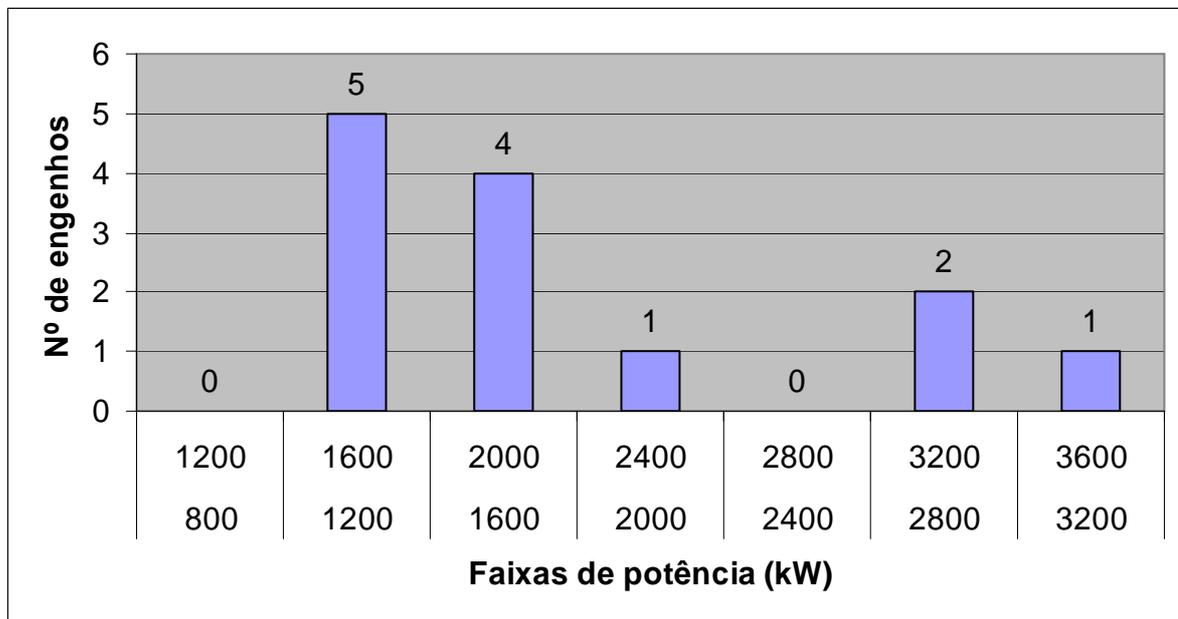
É esse o grupo o de maior interesse na análise do setor arroseiro do Rio Grande do Sul, visto que dos 68 engenhos inseridos nesse grupo, apenas três

fazem uso da casca de arroz na geração de eletricidade, apesar da existência de viabilidade técnica para tanto.

Uma análise das condições operacionais e de viabilidade econômica contribuiriam para elucidar a falta de investimentos nesse setor, de maneira a apontar suas causas, ao mesmo tempo em que permitiria a visualização de condições que favoreceriam tais investimentos.

Os 13 engenhos classificados dentro da faixa “C” (Figura 12) compõem o segmento em que se verifica a maior ocorrência de investimentos na instalação de centrais termoelétricas, conforme verificado na Tabela 7.

Os valores de potência unitária instalada para os engenhos do grupo “C” apresentam-se menores do que aqueles investimentos que estão sendo realizados, conforme apresentados na Tabela 3. Isto pode ser explicado pelo fato de que os engenhos dessa escala não “exportam” o excedente de casca a outras empresas e/ou que fazem uso da extração de vapor na turbina quando necessário, incrementando a potência instalada.



**Figura 12 - Distribuição dos engenhos em faixas de potência para o grupo “C”.**

#### 4.1.3 Viabilidade econômica para MCT's

Tendo em vista o potencial existente para a geração termoelétrica em potências entre 100 e 800 kW (faixa "B"), foi analisada a viabilidade econômica para escalas de potência que satisfazem essa condição.

Como descrito no item 3.2, a análise de viabilidade econômica foi conduzida a partir de alguns pressupostos em relação a autoprodução e comercialização do excedente de energia elétrica, bem como a opção por comercialização de créditos de carbono. Outros pontos estabelecidos para a simulação foram descritos em cada subitem da presente análise.

Assim, optou-se pela simulação da viabilidade econômica de MCT's para as potências instaladas de 300, 400, 500, 700 e 800 kW.

##### 4.1.3.1 Investimentos

Os investimentos necessários para a instalação de centrais termoelétricas das dimensões propostas apresentam algumas particularidades, pois todos os equipamentos empregados são de origem nacional, além do que, têm sua instalação facilitada pela concepção da MCT, com sensível redução de tempo e custos.

Além disso, boa parte dos engenhos que constituem o chamado grupo "B" dispõe de um sistema gerador de vapor para os processos de secagem e/ou parboilização do arroz, evitando os custos para aquisição de tais equipamentos (caldeira), desde que atendidas as condições de produção de vapor necessário para o acionamento da turbina.

Apesar disso, optou-se por considerar nesse estudo o investimento no sistema de geração de vapor para ilustrar em detalhes a viabilidade dos empreendimentos termelétricos analisados.

A Tabela 8 apresenta os valores referentes aos investimentos necessários para a instalação das MCT's, condizentes com uma situação real que seria encontrada no mercado.

**Tabela 8 – Investimentos necessários para diferentes escalas de MCT's (em R\$)**

<b>Faixa de potência (kW)</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>700</b>	<b>800</b>
Estudos preliminares	22.288,72	23.022,37	24.740,45	35.113,26	35.377,79
Terrenos, etc.	-	-	-	-	-
Construção civil	225.348,00	272.670,00	324.500,00	380.837,00	441.681,00
Máquinas & equipamentos	1.114.436,24	1.151.118,55	1.237.022,34	1.755.662,94	1.768.889,36
Montagem	213.928,00	148.765,00	166.183,00	201.951,00	290.827,04
Seguros	2.228,87	2.302,24	2.474,04	3.511,33	3.537,78
Transporte dos equipamentos	2.139,28	1.487,65	1.661,83	2.019,51	2.908,27
Total parcial	1.580.369,12	1.599.365,81	1.756.581,66	2.379.095,03	2.543.221,24
Imprevistos (5% do total)	79.018,46	79.968,29	87.829,08	118.954,75	127.161,06
<b>TOTAL</b>	<b>1.659.387,57</b>	<b>1.679.334,10</b>	<b>1.844.410,74</b>	<b>2.498.049,79</b>	<b>2.670.382,30</b>

Fonte: PTZ Bioenergy.

Não foi contabilizado o valor para aquisição do terreno, visto que a instalação dos equipamentos ocorre na sede da empresa. Os valores totais obtidos referem-se a um investimento no formato *turn-key*, em que uma empresa dita “integradora” fica responsável por todas as etapas da instalação e treinamento dos operadores da central termoeletrica.

O item máquinas e equipamentos abrange a caldeira, turbina, redutor, gerador elétrico e painel e materiais eletromecânicos. A turbina utilizada é do tipo contrapressão com saída atmosférica do vapor (Tabela 9).

**Tabela 9 – Valores do investimento em equipamentos (R\$) e dos impostos incidentes (%).**

<b>Faixa de potência (kW)</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>700</b>	<b>800</b>	<b>Impostos</b>
Caldeira	564.162,50	564.162,50	564.162,50	855.323,70	855.323,70	18,05%
Turbina	439.825,40	451.768,25	463.711,12	626.929,84	626.929,84	20,05%
Gerador <sup>1</sup>	73.203,90	87.374,10	151.659,20	199.941,50	206.411,70	20,00%
<b>TOTAL</b>	<b>1.077.191,80</b>	<b>1.103.304,85</b>	<b>1.179.532,82</b>	<b>1.682.195,04</b>	<b>1.688.665,24</b>	<b>19,00%</b> <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Inclui o valor do painel elétrico.

<sup>2</sup> Média ponderada dos impostos incidentes nos equipamentos.

Fonte: PTZ Bioenergy.

Os impostos incidentes sobre os equipamentos são IPI, ICMS, PIS, COFINS e ISS, totalizando 19,0% do valor total dos equipamentos.

Em alguns casos costuma-se analisar um investimento desse tipo através de um indicador chamado de “investimento específico”, que relaciona o investimento e a potência instalada (Tabela 10).

**Tabela 10 – Valores para o investimento específico das centrais termoeletricas (em R\$/kW).**

Faixa de potência (kW)	Investimento específico (R\$/kW)	Investimento específico (US\$/kW) <sup>1</sup>
300	5.531,29	3.253,70
400	4.198,34	2.469,61
500	3.688,82	2.169,89
700	3.568,64	2.099,20
800	3.337,98	1.943,97

Observa-se que quanto menor a potência instalada, maior é o investimento específico, ilustrando a influência do fator de escala para os casos analisados, com grande influência na viabilidade de cada um dos sistemas de geração.

Uma comparação entre os valores de investimento específico das cinco faixas de MCTs e de outras tecnologias de geração de energia elétrica (Tabela 11) indica haver competitividade daquelas, mesmo sem comparar os custos de geração.

**Tabela 11– Valores de investimento específico para várias tecnologias de geração (em R\$/kW).**

Tecnologia de geração	Investimento específico (R\$/kW)
Motor de combustão interna a gás <sup>1</sup>	600 a 1.800
Turbina a gás <sup>1</sup>	1.050 a 2.210
Motor Stirling <sup>1</sup>	2.000 a 50.000
Hidroelétrica <sup>2</sup>	1.827
Termoeletrica a carvão <sup>3</sup>	706
Termoeletrica a gás <sup>4</sup>	546
Gerador eólico <sup>5</sup>	2.627

<sup>1</sup> Lora (2006). <sup>2</sup> Hidrelétrica de Jirau. <sup>3</sup> Termoeletrica CT-Sul (RS). <sup>4</sup> Termoeletrica AES-Sul Uruguaiana (RS). <sup>5</sup> Parque Eólico de Osório (RS).

Fonte: Compilação do autor.

#### 4.1.3.2 Análise Operacional

A análise operacional abrange os elementos referentes à operação da MCT, incluindo desde o consumo de biomassa, o regime operacional, os custos de operação (fixos e variáveis), depreciação, energia elétrica gerada e receitas.

##### 4.1.3.2.1 Consumo de biomassa

A quantidade de biomassa necessária para abastecer as centrais termoelétricas em estudo foi calculada a partir do rendimento elétrico esperado para os sistemas, estimado em 10%. Os valores obtidos para o consumo de casca de arroz são apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12 - Consumo de biomassa pelas MCT's**

<b>Faixa de potência (kW)</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>700</b>	<b>800</b>
Arroz em casca necessário (sacos/h) <sup>1</sup>	73,30	97,73	122,16	171,02	195,45
Casca necessária (t/h)	0,81	1,08	1,34	1,88	2,15
Consumo anual de casca para secagem (t)	720,55	960,73	1.200,91	1.681,27	1.921,46
Consumo anual de casca pela MCT (t)	4.083,09	5.444,12	6.805,15	9.527,21	10.888,25
Consumo anual de casca (t)	4.803,64	6.404,85	8.006,06	11.208,49	12.809,70

<sup>1</sup>Sacos de 50 kg

Foi estimado um consumo de casca para a secagem de arroz a partir da utilização de vapor gerado pela caldeira. No período em que ocorre a secagem do arroz não há funcionamento da MCT, sendo que toda a casca produzida é consumida nesse processo.

No restante do tempo, a casca produzida no engenho é utilizada para a geração de energia elétrica, não havendo excedente desse resíduo.

A partir dos valores da Tabela 12 obtém-se o valor do consumo específico de casca por kWh produzido, igual a 2,69 kg de casca/kWh, resultante da divisão da casca necessária (t/h) pela potência instalada (kW).

#### 4.1.3.2.2 Energia elétrica gerada

Foi considerado neste estudo que o funcionamento de cada MCT seja igual a 24 horas por dia, durante 188 dias por ano. Nos meses de safra considerados (Março e Abril) a MCT não funciona, pois toda a casca produzida é consumida na secagem.

Além disso, as termoelétricas funcionam durante 12 horas por dia nos 38 sábados do ano. Assim, serão totalizados 226 dias ou aproximadamente 5.300 horas de operação, resultando em um Fator de Utilização de 0,6. Ressalta-se que foi estimado um fator de confiabilidade para o sistema igual a 95%.

A partir do regime operacional foi possível estabelecer a quantidade de energia gerada por cada uma das MCT's em questão, conforme mostrado na Tabela 13.

O consumo de energia foi tomado como sendo igual 3,5 kWh/saco, obtido a partir da relação entre a energia consumida e a quantidade de arroz beneficiado.

**Tabela 13 – Consumo de energia elétrica pelo engenho e excedente de energia comercializável (MWh).**

<b>Faixa de potência (kW)</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>700</b>	<b>800</b>
Consumo de energia	1.217,51	1.623,35	2.029,19	2.840,87	3.246,70
Excedente de energia	647,34	863,13	1.078,91	1.510,47	1.726,25
Energia total	1.864,86	2.486,48	3.108,10	4.351,33	4.972,95

O excedente de energia elétrica verificado é devido ao fato de haver um “superávit energético” no aproveitamento termoelétrico da casca de arroz em relação à energia consumida no seu beneficiamento, mesmo para o baixo rendimento estabelecido para o sistema.

#### 4.1.3.2.3 Redução na emissão de gases de efeito estufa

Conforme descrito no item 3.3, a instalação de uma MCT resulta na diminuição da emissão de gases de efeito estufa através da substituição da energia

elétrica da rede distribuidora e do fim da decomposição da casca de arroz e conseqüente liberação de metano (CH<sub>4</sub>).

A linha de base para os projetos avaliados foi estabelecido de acordo com as duas formas de redução de emissões. Foi assumido para esse período que toda a energia elétrica utilizada pelo engenho era proveniente da rede de distribuição, assumindo-se um fator de emissão médio igual a 0,5659 tCO<sub>2</sub>/kWh (Anexo E).

Ainda, no período de linha de base, havia a utilização da casca apenas para a secagem do arroz, com todo o excedente depositado em aterros (ver Tabela 12), liberando grandes quantidades de metano.

A Tabela 14 resume os resultados obtidos para a redução das emissões de gases de efeito estufa, conforme as metodologias apresentadas no Anexo C.

**Tabela 14 – Emissões de gases de efeito estufa evitadas pelos projetos (em tCO<sub>2</sub>eq).**

<b>Faixa de potência (kW)</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>700</b>	<b>800</b>
Eletricidade substituída	818,38	1.091,17	1.363,97	1.909,55	2.182,35
Mitigação de metano <sup>1</sup>	6.255,32	8.340,43	10.425,53	14.595,75	16.680,86
Emissões evitadas	7.073,70	9.431,60	11.789,50	16.505,30	18.863,20

<sup>1</sup> Média para os sete anos de validação dos créditos.

A partir da Tabela 14 observa-se que a principal contribuição dos projetos com relação a redução dos gases de efeito estufa resulta da mitigação do metano emitido pela decomposição da casca de arroz, aproximadamente 7,5 vezes mais que a parcela oriunda da substituição da eletricidade da rede.

As desvantagens envolvidas em atividades econômicas de pequena e média escala também afetam a obtenção de certificação de redução de emissão de gases de efeito estufa. Os custos envolvidos no processo burocrático de certificação podem não justificar a tentativa de obtenção dos recursos provenientes dos créditos de carbono gerados pelo projeto.

Mesmo assim, optou-se por considerar esses recursos devido a importância econômica e ambiental envolvidas nesse processo, considerações melhor discutidas no item 4.3.

#### 4.1.3.2.4 Receitas

As receitas advindas da instalação de uma central termoeletrica provêm de três fontes distintas de recursos:

- Economia de energia através da autoprodução de eletricidade: O valor estimado para a tarifa de energia elétrica foi R\$130,82/MWh, com base em valores praticados pela concessionária, desconsiderando-se o ICMS incidente. Essa parcela da receita é atribuída ao Lucro não operacional, não ficando sujeita à tributação;
- Comercialização de energia excedente: é admitida mesmo sabendo-se que essa opção é de difícil implementação devido a restrições estabelecidas pelas empresas concessionárias de energia elétrica. Para efeito de cálculo foi aceita essa possibilidade, admitindo-se uma tarifa de comercialização igual a R\$139,12/MWh, valor negociado na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2007);
- Créditos por Redução de Emissões (CER's): válidos durante sete anos, com cotação estimada em US\$10,00 por tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>eq), admitindo-se uma taxa de câmbio de US\$1,00 = R\$1,70;

A Tabela 15 apresenta as receitas de cada uma das fontes de recursos existente, calculados a partir dos preços unitários e dos valores comercializados conforme as Tabelas 12 e 13.

**Tabela 15 - Receitas geradas anualmente pelos projetos (em R\$).**

<b>Faixa de potência (kW)</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>700</b>	<b>800</b>
Energia economizada	159.280,04	212.373,38	159.280,04	371.653,42	424.746,77
Energia comercializada	90.058,48	120.077,97	150.097,47	210.136,45	240.155,94
Créditos de carbono	120.252,92	160.337,23	200.421,54	280.590,16	320.674,46
<b>Total</b>	<b>369.591,44</b>	<b>492.788,59</b>	<b>509.799,04</b>	<b>862.380,03</b>	<b>985.577,18</b>

É reconhecido que a principal fonte de receitas é aquela referente à energia economizada, sendo essa a grande vantagem econômica obtida pela instalação de uma MCT para o cenário considerado.

Havendo incentivo para comercialização de energia excedente através de uma tarifa subsidiada de maior valor, poderá ocorrer uma inversão na hierarquia das receitas dos projetos.

Sobre a comercialização da energia elétrica excedente há incidência de tributos que são deduzidos da Receita Operacional, tais como:

- ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços: 17,0%;
- ISSQN – Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza: 4,0%;
- PIS – Contribuição para o Programa de Integração Social: 0,65%;
- COFINS – Contribuição para Financiamento da Seguridade Social : 3,0%;
- TFSEE – Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica: 0,5%;
- RGR – Reserva Global de Reversão: 2,5%;

Além destes tributos, incide sobre o Lucro Líquido da atividade econômica o Imposto de Renda (IR) e a Contribuição Social Sobre o Lucro Líquido (CSLL).

Existe uma grande dificuldade para a comercialização de energia elétrica por agentes de geração de pequena escala. As concessionárias distribuidoras, que comprariam essa energia, exigem o cumprimento de cláusulas contratuais que acabam desestimulando essa atividade.

Cita-se o pagamento de pesadas multas para quando o agente gerador não assegurar um valor mínimo de energia elétrica fornecida, o que pode vir a ocorrer em caso de problemas técnicos.

Assim, muitas empresas que apresentam produção de energia elétrica excedente optam por não comercializá-la na tentativa de evitar prejuízos financeiros.

#### 4.1.3.2.5 Custos Operacionais

A Tabela 16 resume os valores obtidos para os custos fixos e variáveis. Os custos operacionais compreendem os custos fixos e variáveis. Os custos fixos

abrangem os gastos referentes ao pagamento dos operadores da termoelétrica e a manutenção do prédio e dos equipamentos. Admitiu-se que para as faixas de 300, 400 e 500 kW são necessários três operadores, e para as faixas de 700 e 800 kW, seis trabalhadores devem operar a central termoelétrica.

**Tabela 16 – Valores anuais dos custos fixos e variáveis (em R\$).**

<b>Faixa de potência (kW)</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>700</b>	<b>800</b>
Custos fixos	44.108,38	44.307,84	45.958,61	80.009,50	81.467,02
Custos Variáveis	11.998,88	13.785,09	15.571,30	19.143,73	20.929,94
<b>Total</b>	<b>56.107,26</b>	<b>58.092,94</b>	<b>61.529,91</b>	<b>99.153,22</b>	<b>102.396,96</b>

Já os custos variáveis compõem-se dos valores gastos com o tratamento de água da caldeira, com a Demanda Suplementar de Reserva, necessária para assegurar o fornecimento de energia elétrica em caso de problemas com a MCT, e com gastos devido ao consumo de eletricidade da rede, quando houver necessidade. Os valores dos custos com o tratamento de água foram fornecidos pela empresa PTZ Bioenergy Fontes Alternativas de Energia.

#### 4.1.3.2.6 Financiamento

As linhas de financiamento ofertadas pelo BNDES são as que melhor se ajustam aos casos em estudo, podendo ser através do FINAME - Máquinas e Equipamentos, para o caso de a empresa adquirir somente equipamentos, do FINEM - Financiamento a Empreendimentos ou do BNDES Automático (BNDES, 2009).

No caso do FINEM existe uma área de atuação específica que é a de “Gás, Petróleo e Fontes Renováveis de Energia”, cujo financiamento pode ter um valor máximo de até 80% de participação por parte do BNDES. A remuneração do banco é de 0,9%, além de um custo financeiro igual à TJLP.

Entretanto, observa-se certa dificuldade de os engenhos de médio porte dispor de até 20% do valor total do investimento, e por isso, optou-se pela escolha da modalidade de financiamento através do BNDES Automático, em que há

participação do BNDES de até 100% do investimento para micro, pequenas e médias empresas.

A taxa de juros para essa modalidade é composta de Custo Financeiro (TJLP - 6,25%), Remuneração do BNDES (1,0%), Taxa de Intermediação Financeira (isento) e Remuneração da Instituição Financeira Credenciada (2,0%), totalizando 9,25% ao ano.

O período para amortização do financiamento é de oito anos, incluindo os 12 meses de carência. Ressalta-se que as taxas e os prazos do financiamento podem ser negociados entre o investidor e a instituição financeira credenciada que irá operacionalizar o crédito.

#### 4.1.3.3 Resultados da Análise Financeira

De forma a simplificar a apresentação, os resultados foram divididos conforme a faixa de potência, apresentando-se a planilha “Resultados” e “Fluxo de Caixa Descontado” para o primeiro caso (300 kW), por julgar-se desnecessário fazê-lo a todos, além dos indicadores econômicos avaliados para todas as faixas de potência.

A Tabela 17 “Resultados” compreende todos os elementos descritos no item 4.1.3.3, apresentados para os 10 períodos de análise do empreendimento.

**Tabela 17 - Resultados para a termoeletrica de 300 kW.**

ITENS	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
VENDAS	0,00	90.058,48	90.058,48	90.058,48	90.058,48
(-) Custos dos produtos vendidos	0,00	34.154,75	34.154,75	34.154,75	34.154,75
(-) Impostos	0,00	24.000,58	24.000,58	24.000,58	24.000,58
(=) Lucro bruto	0,00	31.903,14	31.903,14	31.903,14	31.903,14
(-) Despesas gerais	0,00	16.593,88	16.593,88	16.593,88	16.593,88
(-) Juros	158.900,21	160.170,97	137.289,40	114.407,84	91.526,27
(-) Depreciações	0,00	184.378,21	184.378,21	184.378,21	184.378,21
(=) Lucro antes do IR	(158.900,21)	(329.239,92)	(306.358,35)	(283.476,78)	(260.595,21)
(-) Imposto de renda	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(=) Lucro líquido	(158.900,21)	(329.239,92)	(306.358,35)	(283.476,78)	(260.595,21)
(+) Lucro não operacional	0,00	159.280,04	159.280,04	159.280,04	159.280,04
(+) Créditos de carbono	0,00	62.122,50	94.438,66	116.100,82	130.621,40
(=) Lucro líquido real	(158.900,21)	(107.837,37)	(52.639,65)	(8.095,92)	29.306,23

O item “Vendas” é referente à comercialização da energia elétrica excedente, com o valor de R\$139,12/MWh. O desconto do custo dos produtos vendidos (custos variáveis) e dos impostos incidentes origina o item “Lucro Bruto”.

Na seqüência, vem “Despesas gerais” onde são computados os valores dos custos fixos e “Juros”, que é referente os pagamento dos encargos do financiamento.

**Tabela 17 - Resultados para a termoeletrica de 300 kW (coninuação).**

ITENS	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10
VENDAS	90.058,48	90.058,48	90.058,48	90.058,48	90.058,48
(-) Custos dos produtos vendidos	34.154,75	34.154,75	34.154,75	34.154,75	34.154,75
(-) Impostos	24.000,58	24.000,58	24.000,58	24.000,58	24.000,58
(=) Lucro bruto	31.903,14	31.903,14	31.903,14	31.903,14	31.903,14
(-) Despesas gerais	16.593,88	16.593,88	16.593,88	16.593,88	16.593,88
(-) Juros	68.644,70	45.763,13	22.881,57	0,00	0,00
(-) Depreciações	184.378,21	120.457,54	120.457,54	120.457,54	120.457,54
(=) Lucro antes do IR	(237.713,65)	(150.911,41)	(128.029,85)	(105.148,28)	(105.148,28)
(-) Imposto de renda	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(=) Lucro líquido	(237.713,65)	(150.911,41)	(128.029,85)	(105.148,28)	(105.148,28)
(+) Lucro não operacional	159.280,04	159.280,04	159.280,04	159.280,04	159.280,04
(+) Créditos de carbono	140.354,84	146.879,36	151.252,88	0,00	0,00
(=) Lucro líquido real	61.921,23	155.247,99	182.503,07	54.131,76	54.131,76

A depreciação também é descontada do Lucro Bruto a título de incentivo fiscal, conforme a legislação do Imposto de Renda, obtendo-se então o Lucro Líquido.

Apesar de os créditos de carbono comporem o lucro não operacional, optou-se for apresenta-los de forma independente para ilustrar seus valores anuais.

A última linha da Tabela 16 informa o Lucro líquido real para a simulação da termoeletrica de 300 kW.

A Tabela 18 resume os valores obtidos para o fluxo de caixa e é empregada para obtenção dos valores dos indicadores escolhidos para exprimir a eficiência econômica do empreendimento.

Para todos os casos analisados (400, 500, 700 e 800 kW) aplicam-se as Tabelas 17 e 18, com seus valores específicos e, dessa forma, exclui-se a necessidade de apresentação das mesmas.

Da mesma maneira, o objetivo dessas planilhas é somente permitir o cálculo dos indicadores de viabilidade, para a realização de uma análise comparativa entre todas as escalas avaliadas. Esses indicadores de viabilidade econômica são apresentados na Tabela 19.

**Tabela 18 – Fluxo de caixa para a termoeletrica de 300 kW.**

ITENS	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
Lucro líquido	(158.900,21)	(107.837,37)	(52.639,65)	(8.095,92)	29.306,23
Depreciação/Amortização	0,00	184.378,21	184.378,21	184.378,21	184.378,21
Fundos Gerados pelas Operações	(158.900,21)	14.418,33	37.299,90	60.181,47	83.063,03
Amortização do financiamento	1.659.387,57	(237.055,37)	(237.055,37)	(237.055,37)	(237.055,37)
Fornecedores/Outros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inversões em Ativo Fixo	(1.659.387,57)	0,00	0,00	0,00	0,00
Aplicação no Ativo Circulante	190.829,57	0,00	0,00	0,00	0,00
Recursos Aportados / (Retirados) p/ Sócios	(31.929,36)	160.514,53	105.316,81	60.773,08	23.370,93
Fluxo de caixa descontado	31.929,36	(151.072,50)	(93.291,01)	(50.666,91)	(18.338,35)

Não foi possível obter-se a TIR para as potências de 400, 700 e 800 kW, devido à fórmula de cálculo que preconiza que pelo menos um dos valores anuais do fluxo de caixa tenha sinal invertido. Assim, tanto para os fluxos de caixa totalmente negativos quanto para os totalmente positivos não há possibilidade de cálculo desse parâmetro.

**Tabela 18 - Fluxo de caixa para a termoeletrica de 300 kW (continuação).**

ITENS	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10
Lucro líquido	61.921,23	155.247,99	182.503,07	54.131,76	54.131,76
Depreciação/Amortização	184.378,21	120.457,54	120.457,54	120.457,54	120.457,54
Fundos Gerados pelas Operações	105.944,60	128.826,17	151.707,74	174.589,30	174.589,30
Amortização do financiamento	(237.055,37)	(237.055,37)	(237.055,37)	(237.055,37)	0,00
Fornecedores/Outros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inversões em Ativo Fixo	0,00	0,00	0,00	0,00	255.666,34
Aplicação no Ativo Circulante	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Recursos Aportados / (Retirados) p/ Sócios	(9.244,08)	(38.650,16)	(65.905,24)	62.466,06	(430.255,65)
Fluxo de caixa descontado	6.826,83	26.864,43	43.113,91	(38.460,30)	249.325,17

A TIR apresentada pela análise de uma termoelétrica de 300 kW é praticamente nula (0,34%), ou seja, não há viabilidade para esse investimento, entendimento corroborado pela avaliação do VPL negativo (-R\$ 90.934,08) e pelo *Payback* apresentado para o horizonte de projeto considerado.

**Tabela 19 – Indicadores de viabilidade econômica para as faixas de potência de 300, 400, 500, 700 e 800 kW.**

<b>Faixa de potência (kW)</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>700</b>	<b>800</b>
Taxa Interna de Retorno (%)	0,34%	NC <sup>1</sup>	44,44%	NC <sup>1</sup>	NC <sup>1</sup>
Valor Presente Líquido (R\$)	(90.934,08)	353.809,40	680.805,40	953.534,04	1.295.505,76
<i>Payback</i> (anos)	9,9	3,9	NC <sup>1</sup>	NC <sup>1</sup>	NC <sup>1</sup>
Custo de geração (R\$/MWh)	199,89	152,34	132,99	132,93	122,50

<sup>1</sup> NC – Não calculado.

A termoelétrica de 400 kW apresenta indicadores um pouco melhores que a de 300 kW, demonstrando que a partir dessa escala começa a existir certa melhoria econômica para os empreendimentos termoelétricos de pequeno porte. Porém, quando comparadas a TIR e a TMA, observa-se que ainda não há viabilidade econômica para esse caso.

As escalas de 500, 700 e 800 kW apresentam um fato curioso quanto ao *Payback* ou Tempo de Retorno de Capital, visto que os valores obtidos não puderam ser calculados. Segundo a metodologia de cálculo do fluxo de caixa, no primeiro período, o ônus do financiamento deve ser integralmente revertido em ativos fixos, com a anulação de ambos. Haja vista que a partir do período 1 existe um lucro líquido positivo, o tempo para recuperação do capital investido é inexistente.

Com relação ao custo de geração de energia elétrica, observa-se que o valor praticado para a tarifa de comercialização do excedente não cobre os custos de geração para as escalas de 300, 400, 500 e 700 kW, indicando que talvez a potência instalada dessas MCT's devesse apenas atender a demanda do engenho.

Por outro lado, essa concepção afeta diretamente a terceira fonte de recursos dos projetos, que são os Créditos por Redução de Emissões, podendo inviabilizar as termoelétricas de 500 e 700 kW que, apesar do elevado custo de geração, apresentam viabilidade econômica devido ao ingresso destes recursos.

Os valores obtidos corroboram a perspectiva existente de economia de escala, em que os custos de investimento e operacionais são especificamente inferiores conforme ampliado o porte dos equipamentos empregados.

Por fim, a escala de 300 kW, que se encontra no limiar da viabilidade técnica, também o está, no cenário atual, para a viabilidade econômica. Lembrando que no Rio Grande do Sul existem 50 engenhos de arroz que poderiam ser atendidos por uma termoelétrica nessa faixa de potência, continua existindo uma lacuna para o aproveitamento termoelétrico da casca de arroz nessa escala.

#### 4.1.3.4 Análise de Sensibilidade

Tendo em vista a importância da viabilização da escala de 300 kW, há necessidade de encontrar-se o cenário em que essa potência viabilizar-se-ia, possível através da condução de uma análise de sensibilidade econômica.

A escolha dos parâmetros para essa análise partiu do grau de importância por eles apresentados na viabilidade econômica do empreendimento. É evidente que as três parcelas que compõe o quadro de receitas do projeto de 300 kW são cruciais nesse sentido.

O mesmo pode-se atribuir aos impostos incidentes nos equipamentos e no excedente comercializável de energia elétrica, e à taxa de juros do financiamento.

A mudança nos tributos incidentes é eficaz para o proposto, porém de difícil implementação. Ao contrário, linhas de financiamento com juros subsidiados podem ser facilmente obtidas através de uma posição favorável de um programa governamental executado por uma agência financiadora, como o próprio BNDES.

Assim, foram escolhidos quatro parâmetros para avaliação, sendo eles: A) preço de compra, pelo engenho, de energia elétrica da concessionária (R\$/MWh); B) preço de venda do excedente de energia elétrica (R\$/MWh); C) taxa de juros praticada pela instituição financiadora do investimento; e D) valor negociado pelos créditos de carbono (US\$/tCO<sub>2</sub>eq);

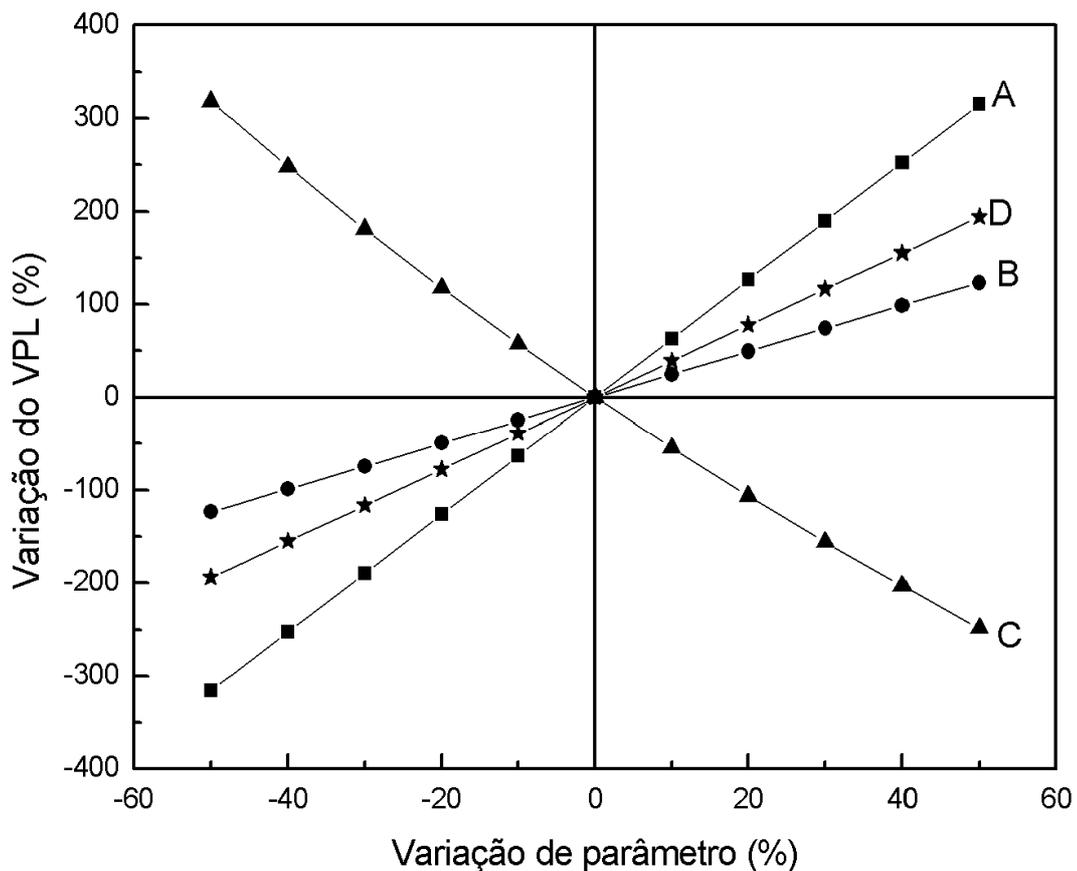
Como índice para acompanhamento da alteração de viabilidade econômica escolheu-se o VPL, por sempre apresentar resultados para os mais diferentes limites de variação escolhidos, com maior facilidade em sua manipulação.

Na Figura 13 está representada a variação do VPL do investimento em uma MCT de 300 kW em função da modificação dos quatro parâmetros listados acima.

Observa-se que as curvas A (variação do preço de compra da energia elétrica pelo engenho) e C (variação da taxa de juros) são as que mais influenciam no desempenho econômico do investimento, medido pelo grau de inclinação das curvas.

As curvas B (variação do preço de venda da energia elétrica excedente) e D (variação do valor recebido pelos créditos de carbono) apresentam uma influência inferior àquelas, porém, com uma contribuição significativa na viabilidade do investimento.

Considerando-se as condições atuais de mercado, o ingresso de créditos de carbono no projeto é importante, mas não é suficiente na viabilização deste tipo de empreendimento.



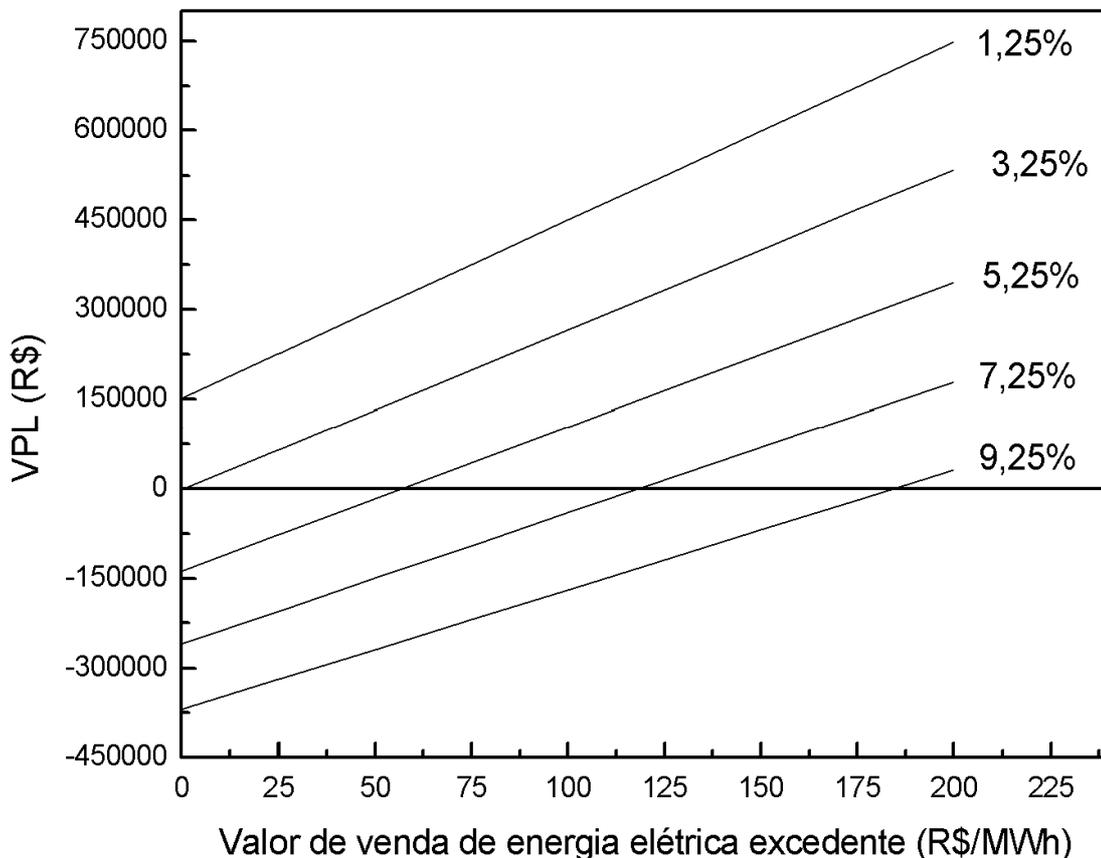
**Figura 13 - Análise de sensibilidade para a termoelétrica de 300 kW**

Legenda: A – Preço de compra da energia elétrica; B – Tarifa de comercialização da energia elétrica excedente; C – Taxa de juros; D – Valor dos CER's.

Além disso, dos quatro parâmetros analisados nesse estudo, apenas a taxa de juros do financiamento e o valor pago pela energia elétrica excedente podem sofrer influência direta de políticas públicas a título de incentivo econômico.

Isto é reforçado pelo fato de que a maior fonte de receitas do projeto é decorrente da autoprodução de energia elétrica, eliminando o dispêndio de recursos com esse fim. Sabendo-se que o valor da tarifa de energia elétrica é válido para todos os consumidores enquadrados no tipo de tarifação em questão, é impossível uma modificação nesse quesito.

Na Figura 14 é apresentado o resultado do VPL em função do valor de venda da energia elétrica excedente para diferentes valores de taxa de juros adotadas para o financiamento. Para esta simulação, o valor recebido pelos créditos de carbono foi fixado em US\$10,00/tCO<sub>2</sub> e o preço de compra da energia elétrica pelo engenho igual a R\$130,82/MWh.



**Figura 14 - Viabilidade econômica de uma MCT de 300 kW para taxas de juros variando de 1,25% a 9,25%.**

Para a taxa de juros considerada nesse estudo (9,25%), o valor de venda da energia elétrica excedente deverá ser maior que R\$185,00/MWh, para se alcançar um VPL positivo.

Mantendo os valores para os outros parâmetros, uma redução em 1,59 pontos percentuais da taxa de juros (ou seja, uma redução de 17,20% da taxa, reduzindo-a de 9,25% a 7,66%) já tornará o investimento atrativo, com um VPL ligeiramente positivo.

Por outro lado, considerando-se um valor de R\$139,12/MWh, obtido no 1º Leilão de Fontes Alternativas (CCEE, 2008), a taxa de juros deverá ser menor do que 7,89%, para que o investimento apresente um VPL maior do que zero.

#### **4.2 Estudo de caso da MCT da Doeler Alimentos Ltda.**

A presente pesquisa foi realizada na empresa Doeler Alimentos Ltda., localizada na cidade de São Pedro do Sul, situada às margens da BR 287, em uma região caracterizada pela cultura do arroz no Rio Grande do Sul. Além da sede, a empresa mantém um centro de distribuição próprio em Indaiatuba, no estado de São Paulo, principal destino de seus produtos.

A empresa teve sua origem no ano de 1940, sendo o imigrante alemão Flores Doeler o precursor, inicialmente com as denominações de "Flores Doeler e Cia Ltda" e "Doeler e Cia. Ltda.", estas foram extintas em 1955. É uma empresa familiar, há longa data no comércio de cereais, onde, no ano de 2004, passou a denominar-se Doeler Alimentos Ltda., completando no dia 14 de janeiro de 2005, cinqüenta anos de atividades.

O arroz da Doeler Alimentos Ltda. possui um diferencial, pois tem sua umidade reduzida por um processo de secagem a vapor, sendo então armazenado em silos metálicos, com aeração e controle de temperatura para manter a integridade e umidade do produto.

Além disso, a empresa fez uso durante muitos anos de um conjunto para geração de energia elétrica, adquirido em meados da década de 80, que utilizava casca de arroz. Esse equipamento é composto de caldeira a vapor, motor de pistão recíproco ou "locomóvel" e gerador elétrico.

Esse sistema permitiu o fornecimento de vapor para ser utilizado como fonte térmica no processo de secagem do arroz, além de gerar eletricidade para suprir a demanda do engenho no posto tarifário “ponta”, das 18 às 21 horas.

#### 4.2.1 Processo produtivo da Doeler Alimentos Ltda.

A obtenção dos dados de produção de arroz pelo engenho Doeler Alimentos Ltda. foi possível através de inúmeras visitas técnicas que objetivaram uma avaliação global do processo de produção da empresa, desde o recebimento até o empacotamento do arroz.

Dessa forma, foi possível compor o cenário do processo e de suas particularidades, que influenciaram na estruturação de um modelo capaz de representar as atividades da empresa de maneira a organizar uma linha de atuação desse estudo.

O macrofluxograma do processo produtivo da empresa está representado na Figura 15. Pode-se dividir o processo produtivo em quatro diferentes etapas:

##### Recebimento:

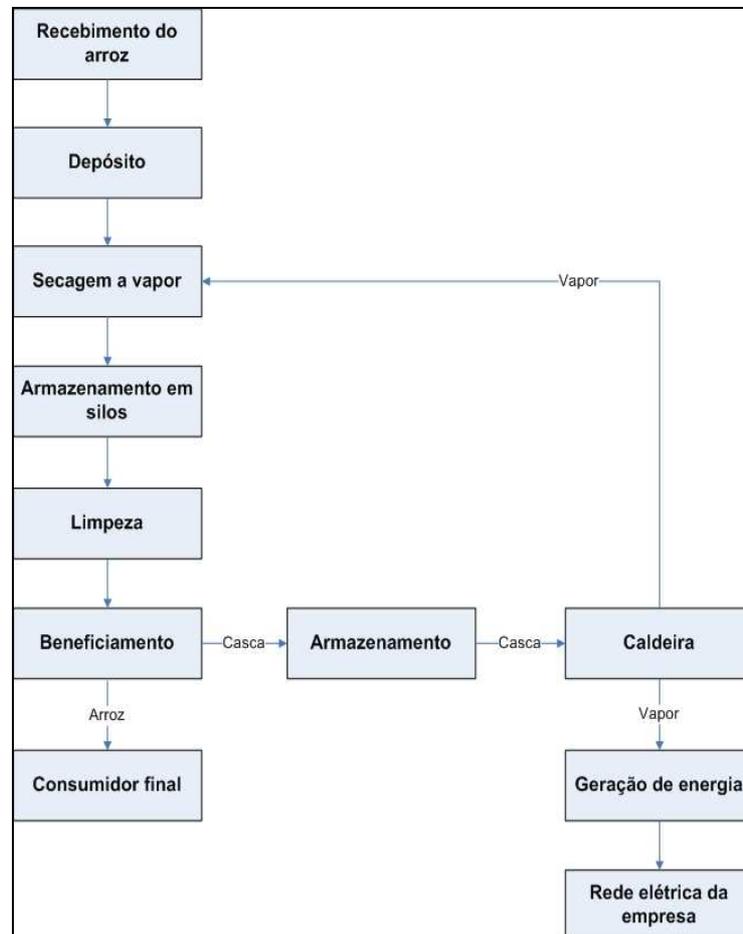
A empresa recebe o arroz de produtores e o direciona para uma armazenagem provisória, para depois ser encaminhado para a secagem.

##### Secagem e armazenamento do arroz:

Durante o período de safra, com duração aproximada de dois meses, ocorre a secagem dos grãos. O arroz recém colhido é colocado em secadores, que forçam a passagem de ar através da massa de grãos. O ar aquecido através da sua passagem por um trocador de calor, que utiliza vapor como fonte térmica, é insuflado na massa de arroz, transportando para o ambiente a umidade retirada dos grãos, cuja umidade varia entre 12 e 15%.

A utilização de vapor como fonte térmica no processo de secagem garante maior qualidade ao produto, pela estabilidade da temperatura do ar quente, diminuindo as perdas por quebra do grão durante a etapa de descascamento, fato que não ocorre quando o arroz é seco a partir da transferência direta de calor através de fumos da queima da casca de arroz ou de lenha.

Após seco, o arroz é armazenado em silos metálicos, no período de safra, para ser beneficiado durante o ano inteiro.



**Figura 15 – Fluxograma do processo de beneficiamento de arroz**

#### Beneficiamento:

O beneficiamento envolve todos os processos que transformam o arroz em casca em arroz branco para comercialização. Cabe citar que dentro do processo de beneficiamento do arroz existe o descasque, produzindo a casca de arroz como resíduo. A casca produzida é direcionada para o silo pulmão da caldeira e o excedente é depositado em um aterro.

#### Geração termoelétrica:

A casca de arroz proveniente do engenho é consumida pela caldeira para produção de calor de processo (secagem do grão) e, anteriormente, para acionamento do “locomóvel” para autoprodução de eletricidade no posto tarifário

“ponta” e, posteriormente, para o acionamento da MCT, a casca passou a ser consumida para a geração de energia de forma ininterrupta. Essa questão será melhor detalhada no item 4.2.4, quando forem abordados os aspectos técnicos e de funcionamento desse equipamento.

Tendo em vista a sazonalidade das duas primeiras etapas (recebimento e secagem), pode-se demarcar a operação do engenho em dois períodos: safra e fora de safra.

No período de safra, todas as atividades do engenho são realizadas, desde o recebimento até a geração termoelétrica. Fora de safra, não ocorrem as duas primeiras etapas, sendo que a secagem pode ser executada esporadicamente quando verificado alto teor de umidade em algum dos silos.

Assim, a partir do conhecimento do formato das atividades da empresa é possível estabelecer o que se chama de regime operacional, que consiste na totalização dos dias e horas trabalhados.

Em uma análise geral, o regime operacional (RO) pode ser medido em horas e sua relação com o número de horas do ano expressa o Fator de Utilização (FU) do engenho (Equação 2):

$$FU = \frac{RO}{8.760} \quad (2)$$

A Tabela 19 apresenta os dados obtidos para o regime operacional da empresa Doeler Alimentos Ltda.. O recebimento de arroz durante a safra ocorre nos meses de Março e Abril, podendo abranger alguns dias dos meses de Fevereiro e Maio.

Tendo em vista o elevado consumo de vapor nesse período, não existe possibilidade de autoprodução de eletricidade e, devido à tarifação existente, não há operação do engenho no horário de “ponta”. Os dados contidos na Tabela 19 foram estimados com base no beneficiamento de aproximadamente 93 sacos de arroz em casca por hora e na operação do engenho em 9 horas por dia fora de safra e 21 horas por dia durante a safra.

Há que se ressaltar a flexibilidade existente na operação, de acordo com a demanda por arroz beneficiado. Assim, os valores apresentados na Tabela 20 representam uma estimativa da operação da empresa Doeler Alimentos Ltda.

Dessa forma, o regime operacional apresentado resulta de uma previsão de operação esperada ao longo do ano, sofrendo flutuações conforme a necessidade da empresa.

O valor obtido para o fator de utilização do engenho, através da Equação 2 e dos dados da Tabela 20, é igual a 0,38, ou seja, o engenho opera durante 38% do tempo.

**Tabela 20 - Regime operacional do engenho (2005).**

<b>Mês</b>	<b>Dias úteis</b>	<b>Horas trabalhadas</b>
Janeiro	25	225
Fevereiro	23	207
Março	26	546
Abril	25	525
Maio	25	225
Junho	26	234
Julho	26	234
Agosto	27	243
Setembro	24	216
Outubro	25	225
Novembro	24	216
Dezembro	26	234
<b>Total</b>	<b>302</b>	<b>3330</b>

#### 4.2.2 Oferta de biomassa na empresa

A capacidade de processamento dos equipamentos de beneficiamento de arroz é de aproximadamente 93 sacos de arroz em casca por hora. A proporção de produtos, subprodutos e resíduos obtidos do processamento do arroz bruto é:

- 65,5% de arroz branco, incluindo grãos inteiros, quebrados e “canjição”;
- 3,5% de quirera;
- 7 % de farelo de arroz;
- 24% de casca de arroz;

Na Tabela 21 são apresentados os valores referentes ao processamento de arroz pela empresa Doeler Alimentos Ltda, tendo por base o regime operacional apresentado na Tabela 20.

Do total de arroz em casca beneficiado, apenas 48% é comercializado como arroz “branco”, sendo que o restante (21%) é de arroz quebrado de menor valor agregado, direcionado para a alimentação animal. Além disso, 24% da massa do grão é referente a casca.

**Tabela 21 – Produção de arroz e casca de arroz pela Doeler Alimentos Ltda.**

Mês	Arroz s/ casca (t)	Arroz polido (t)	Arroz quebrado (t)	Casca de arroz (t)	Farelo (t)
Janeiro	1.050,75	504,36	220,66	252,18	73,55
Fevereiro	966,69	464,0112	203,00	232,01	67,67
Março	2.549,82	1223,914	535,46	611,96	178,49
Abril	2.451,75	1176,84	514,87	588,42	171,62
Maio	1.050,75	504,36	220,66	252,18	73,55
Junho	1.092,78	524,5344	229,48	262,27	76,49
Julho	1.092,78	524,5344	229,48	262,27	76,49
Agosto	1.134,81	544,7088	238,31	272,35	79,44
Setembro	1.008,72	484,1856	211,83	242,09	70,61
Outubro	1.050,75	504,36	220,66	252,18	73,55
Novembro	1.008,72	484,1856	211,83	242,09	70,61
Dezembro	1.092,78	524,5344	229,48	262,27	76,49
<b>Total</b>	<b>15.551,10</b>	<b>7.464,53</b>	<b>3.265,73</b>	<b>3.732,26</b>	<b>1.088,58</b>

A quantidade de casca de arroz produzida, que é o elemento de interesse, é calculada a partir das estimativas de arroz em casca que foi beneficiado, tendo em vista percentagem que a casca representa na massa do grão (24%).

Os dados da Tabela 21 explicitam a homogeneidade da produção de casca de arroz pelo engenho. Esse fato, aliado ao fator de utilização (0,38) fortalecem a alternativa de instalação de uma central termoeétrica com operação simultânea a do engenho, podendo ou não consumir toda a casca que é produzida. Essa avaliação será melhor detalhada e discutida no item 4.2.4.

Tendo em vista o consumo energético do processo de secagem do arroz, fica evidente que o montante de casca de arroz apresentado na Tabela 21 não está totalmente disponível para a geração de energia elétrica.

A quantidade de biomassa residual consumida na secagem foi calculado partindo-se do consumo de vapor pelos secadores, estimado em 5,0 t/h, a 11 kgf/cm<sup>2</sup> e 183°C, resultando no valor de 1.110 t de casca de arroz, coincidindo com o total de casca produzido no período.

Desse modo, fica evidenciada a impossibilidade de operação da MCT no período de safra, não só pela indisponibilidade de combustível, como pela total utilização da capacidade da caldeira no provimento de vapor aos secadores.

#### 4.2.3 Demanda de energia elétrica

Na Tabela 22 são apresentados os dados de demanda e consumo de energia elétrica da Doeler Alimentos Ltda.

**Tabela 22 – Valores de leitura de demanda (kW) e consumo de energia elétrica (MWh) da empresa Doeler Alimentos Ltda. (2005).**

Mês	Leitura da demanda	Consumo em ponta	Consumo fora de ponta	Consumo total
Janeiro	225	0,38	43,79	44,17
Fevereiro	225	0,39	49,34	49,73
Março	356	0,91	69,99	70,90
Abril	439	2,56	126,74	129,30
Maio	448	4,03	165,72	169,75
Junho	420	0,66	82,95	83,61
Julho	268	0,43	37,36	37,79
Agosto	226	0,49	51,58	52,08
Setembro	233	0,59	89,91	90,50
Outubro	223	0,52	49,08	49,60
Novembro	211	0,47	65,58	66,06
Dezembro	235	0,44	67,86	68,30
<b>Total</b>	-	<b>11,86</b>	<b>899,92</b>	<b>911,78</b>

A demanda de energia elétrica do engenho é influenciada diretamente pelo período do ano que está se analisando. No período de safra, em que há maior utilização de equipamentos elétricos tais como insufladores de ar, transportadores,

elevadores e secadores, é, por consequência, o de maior consumo de energia elétrica.

Assim, da mesma forma que o regime operacional da empresa, ocorre diferenciação no consumo de energia elétrica ao longo do ano. A diferenciação na leitura da demanda nos meses de Março, Abril, Maio e Junho foi relativa ao período de safra, em que há maior consumo de energia. Observa-se também que o consumo no horário de “ponta” apresenta um aumento expressivo nos meses de safra.

Na Tabela 23 são apresentados os valores das faturas de energia elétrica para o ano de 2005, especificando os valores pagos pelo consumo em ponta e fora de ponta.

**Tabela 23 – Valores das faturas de consumo e demanda de energia elétrica (2005).**

Mês	Custo do kWh consumido (R\$/kW)		Valor do consumo (R\$)		Valor da fatura de energia (R\$) <sup>2</sup>
	Ponta	Fora de ponta	Ponta	Fora de ponta	
Janeiro	0,777250	0,094760	292,25	4.149,73	10.565,16
Fevereiro	0,777250	0,094760	303,13	4.675,84	10.729,04
Março	0,777250	0,094760	706,50	6.632,25	14.745,89
Abril	0,777250	0,094760	1.987,43	12.010,26	24.635,09
Maio	0,743423	0,117795	2.994,51	19.520,99	37.056,28
Junho	0,716370	0,123570	473,52	10.250,38	22.634,66
Julho	0,719457	0,123852	311,52	4.627,11	9.934,72
Agosto	0,729823	0,125257	358,34	6.461,26	11.269,39
Setembro	0,720128	0,126320	422,72	11.357,68	14.309,10
Outubro	0,728876	0,125108	376,10	6.140,30	10.904,32
Novembro	0,728242	0,124996	343,73	8.197,74	14.247,93
Dezembro	0,699638	0,110398	309,24	7.491,06	13.462,40
<b>Total</b>	<b>0,741246<sup>1</sup></b>	<b>0,113028<sup>1</sup></b>	<b>8.878,98</b>	<b>101.514,59</b>	<b>194.493,98</b>

<sup>1</sup>Valores médios. <sup>2</sup>Inclui ICMS e outras tarifas.

Em busca de uma tarifa de energia elétrica de menor valor, a empresa optou pela modalidade de tarifação horo-sazonal azul junto à concessionária distribuidora.

Dessa forma, a empresa paga uma tarifa diferenciada de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia (ver Anexo F).

Assim, a Doeler Alimentos Ltda. fica obrigada a não consumir energia elétrica no horário de “ponta” e também a não exceder a demanda contratada devido à elevada tarifação desses períodos, em troca de uma tarifa de energia de menor custo para os outros horários.

Apesar da menor tarifa paga pela empresa, observa-se que essa fica “engessada” nos períodos mencionados, sendo obrigada, muitas vezes, a infringir o contrato devido à sobrecarga no processo de beneficiamento de arroz, resultante de uma maior demanda pelo produto.

Conforme a Tabela 23, o alto valor médio pago pelo consumo em “ponta” (R\$0,74/kWh) resulta num gasto anual de aproximadamente R\$8.900,00. Além disso a empresa paga uma taxa média de R\$22,99 por cada kW que excedeu a demanda contratada pela empresa, totalizando R\$6.518,16 anualmente.

As infrações ao contrato estabelecido são responsáveis por aproximadamente 8,0% dos gastos da empresa com a compra de energia elétrica.

Como não poderia ser diferente, os meses em que a empresa apresenta maior desembolso de recursos são aqueles referentes ao período de safra, indicando que esse espaço de tempo apresenta-se crítico do ponto de vista de suprimento da demanda.

O comportamento da tarifação aplicada à Doeler Alimentos Ltda. é o mesmo observado para boa parte dos engenhos de arroz de porte semelhante, indicando haver sérias dificuldades relacionadas ao consumo de energia elétrica no estado do Rio Grande do Sul.

A análise de todos os fatores até aqui mencionados, sugere que o consumo de energia elétrica e o contrato estabelecido com a concessionária de energia apresentam-se conflitantes, pois, a energia elétrica que é crucial ao processo de beneficiamento de arroz, acaba impactando prejudicialmente no fluxo de caixa da empresa, quando necessariamente não haveria de sê-lo.

Observa-se que, através de uma análise em conjunto das Tabelas 21 e 23, o custo com a aquisição de energia elétrica pela empresa contribui com R\$0,012 de custo por cada quilograma de arroz em casca que é processado.

As restrições impostas pela modalidade de tarifação terminam por restringir demasiadamente o funcionamento do engenho, obrigando a empresa a arcar com o pagamento de elevadas multas.

Tendo em vista essas questões, resta à empresa do setor, modificar o contrato de tarifação, o que não mudaria muito os valores desembolsados com a aquisição de energia elétrica, ou, mais racionalmente, aproveitar a biomassa residual para a autoprodução de energia elétrica.

#### 4.2.4 Autoprodução de energia elétrica

A Doeler Alimentos Ltda. apresenta certa tradição no que diz respeito a produção de energia elétrica a partir da casca de arroz. Desde a década de 1980 a empresa faz uso da geração termoelétrica para atender a demanda existente no horário de ponta, através de um motor a vapor de pistão recíproco, popularmente conhecido como “locomóvel” (Figura 16).



**Figura 16 – Motor a vapor de pistão recíproco (locomóvel).**

O locomóvel nada mais é que uma adaptação das antigas locomotivas a vapor, utilizadas no transporte ferroviário, para a obtenção de energia mecânica e/ou

elétrica. Sua construção robusta resulta em uma simplicidade tecnológica, acarretando baixo rendimento termodinâmico.

Esse sistema, originário do final do século XIX, tem por característica um alto custo operacional devido à elevada manutenção necessária para seu funcionamento.

Por tudo isso, o “locomóvel” instalado na Doeler Alimentos Ltda. tinha sua utilização restrita ao horário de maior tarifação (entre as 18 e 21 horas) ou quando havia interrupção no fornecimento de energia por parte da concessionária. Para esses casos, havia necessidade de armazenamento de casca de arroz, visto que o consumo horário de casca era maior que a quantidade produzida pelo engenho.

Outra desvantagem apresentada por esse equipamento é a instabilidade da eletricidade gerada, observando-se grande variação da freq ncia, impossibilitando que fossem atendidos os equipamentos eletrônicos, como as máquinas selecionadoras de arroz, mas permitindo o funcionamento, sem maiores problemas, dos motores elétricos em geral.

No final de 2005, com a instalação da MCT, a empresa optou por desativar o “locomóvel” e operar continuamente o turbogerador para o suprimento da demanda do engenho.

A unidade demonstrativa instalada em São Pedro do Sul foi financiada pelo CNPq, tendo em vista a importância que essa inovação tecnológica representa para qualquer empresa que disponha de biomassa, especialmente para o setor arrozeiro do Rio Grande do Sul.

Essa MCT consiste em um sistema modular, constituído de uma turbina TG 320 de 280 kW, com consumo de vapor de 4,5 t/h a 15,0 kgf/cm<sup>2</sup> e 300 C, e de um gerador elétrico síncrono, de 4 p los e 380 volts. Por limitação de recursos, o gerador de vapor utilizado é o mesmo que provia vapor ao antigo sistema.

A operação da MCT iniciou em Dezembro de 2005, com resultados de energia gerada aquém do esperado, decorrente das condições pelo vapor (Tabela 24).

Devido a problemas técnicos, o superaquecedor foi removido, resultando nas condições atuais apresentadas na Tabela 24. O vapor produzido pela caldeira   saturado, com elevada umidade, comprometendo o correto funcionamento da turbina.

**Tabela 24 – Características do vapor na admissão da turbina**

Características do vapor	Estado termodinâmico	Pressão absoluta (kgf/cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Vazão (kg/h)
Projeto	Superaquecido	16	220,0	4.500
Atual	Saturado úmido	16	200,4	3.592

A Tabela 25 contém os valores obtidos para as estimativas de consumo de casca, potência e rendimento para o locomóvel, para a MCT nas condições atuais e para a MCT funcionando de acordo com as condições de projeto.

**Tabela 25 – Resultados obtidos e esperados para os equipamentos.**

Parâmetro	Locomóvel	Turbina (atual)	Turbina (projeto)
Consumo de casca (kg/h)	1.898,61	1.120,80	1.120,80
Potência obtida (kW)	200	196	280
Rendimento global	2,84%	4,71%	6,84%

O consumo de casca apresentado pelo “locomóvel” é maior que a produção desse resíduo pelo engenho, obrigando esse equipamento a funcionar pelo tempo em que a quantidade de casca armazenada no silo de abastecimento da caldeira fosse suficiente para a operação.

Durante a operação da MCT foram medidos 196 kW de potência, para um consumo estimado de 1.120 kg/h de casca de arroz, resultando em um rendimento global de 4,71%.

Tendo em vista as dificuldades atuais de operação da MCT, a Doeler Alimentos Ltda. planeja instalar um novo superaquecedor na caldeira, a fim de que sejam garantidas as condições nominais de projeto. Assim, espera-se alcançar a produção de 280 kWh, atingindo-se um rendimento de 6,84%.

Conforme o item 3.1, foram analisadas as faturas de energia elétrica para os anos de 2005, 2006 e 2007, para que se pudesse avaliar o impacto da autoprodução de energia elétrica no consumo de energia para o período pós-instalação da MCT (2006 e 2007). Os dados são apresentados na Tabela 26.

A análise da Tabela 26 revela que apesar da entrada em funcionamento da MCT (2006), houve um incremento no consumo de energia elétrica, e

consequentemente, do valor da fatura paga pela empresa, explicado pelo aumento da quantidade de arroz beneficiado nesse ano.

**Tabela 26 – Consumo de energia elétrica (MWh) e valores das tarifas (R\$) para os anos de 2005, 2006 e 2007.**

Mês	2005		2006		2007	
	Consumo (MWh)	Valor da fatura (R\$)	Consumo (MWh)	Valor da fatura (R\$)	Consumo (MWh)	Valor da fatura (R\$)
Janeiro	44,17	10.565,16	58,65	11.923,82	41,76	8.235,91
Fevereiro	49,73	10.729,04	52,96	11.957,65	67,10	12.233,37
Março	70,90	14.745,89	58,10	14.176,42	48,11	10.699,36
Abril	129,30	24.635,09	171,52	34.692,32	101,18	20.315,10
Mai	169,75	37.056,28	111,71	27.405,46	83,35	19.476,72
Junho	83,61	22.634,66	63,66	15.608,40	66,03	16.247,30
Julho	37,79	9.934,72	80,73	18.925,36	46,35	9.900,39
Agosto	52,08	11.269,39	71,42	16.722,84	67,51	14.682,02
Setembro	90,50	14.309,10	58,02	14.055,49	70,56	15.016,55
Outubro	49,60	10.904,32	68,47	14.570,72	41,23	9.530,62
Novembro	66,06	14.247,93	66,58	14.947,81	48,40	11.087,33
Dezembro	68,30	13.462,40	59,26	11.450,98	47,25	9.601,50
<b>Total</b>	<b>911,78</b>	<b>194.493,98</b>	<b>921,07</b>	<b>206.437,27</b>	<b>728,81</b>	<b>157.026,17</b>

Para visualizar-se corretamente a influência da MCT deve-se analisar o consumo específico de eletricidade (kWh/saco), apresentado na Tabela 27.

**Tabela 27 – Consumo específico de eletricidade para os anos de 2005, 2006 e 2007 (em kWh/saco)**

Ano	Consumo (kWh)	Produção (sacos)	Consumo específico (kWh/saco)
2005	911.779	305.598	2,984
2006	921.073	317.192	2,904
2007	728.811	283.921	2,567

O consumo específico é resultante da relação entre o consumo de eletricidade e a quantidade de arroz beneficiado.

Observa-se uma pequena redução entre os anos de 2005 e 2006, sugerindo a influência da entrada em funcionamento da MCT. O valor da redução no consumo de energia elétrica da rede foi estimado em 25,3 MWh ou 6,4% da quantidade de

energia total possível de ser obtida a partir da biomassa residual produzida na Doeler Alimentos Ltda.

A diminuição do consumo verificada no ano de 2007 é explicada pela substituição dos antigos equipamentos de beneficiamento de arroz por outros mais modernos e mais eficientes, resultando num menor consumo específico de energia elétrica além de, nesse período, ter ocorrido uma parada na produção para a troca dos equipamentos.

Ressaltasse que, ainda no ano de 2006, a empresa interrompeu a operação da turbina devido ao risco de problemas mecânicos decorrentes das condições do vapor.

Uma análise da operação da MCT forneceu que o valor para o custo unitário do kWh gerado pela MCT aproxima-se de R\$0,079, menor que o valor médio pago pela empresa (R\$0,11/kWh), indicando que mesmo nas atuais condições fora de projeto, a autoprodução é atrativa.

Além disso, o pleno funcionamento da MCT irá evitar os gastos com transporte de casca por aproximadamente 40 km, para as cinco cargas diárias.

Como discutido no item anterior, a autoprodução de energia elétrica poderia reduzir significativamente o consumo de energia da rede, visto que a casca produzida pelo engenho é suficiente para gerar a potência necessária para o engenho.

Além da diminuição no consumo, haveria a redução ou até mesmo a anulação dos valores pagos devido às multas pelo consumo fora dos limites e horários contratados pela Doeler Alimentos Ltda.

Porém, existem duas situações em que não haverá mudanças pelo funcionamento da MCT. Um deles é no período de safra, como anteriormente discutido.

Outro ponto é em relação a demanda contratada, da ordem de grandeza da chamada Demanda Suplementar de Reserva (DSR). A DSR é resultante da necessidade de contratação, por parte do autoprodutor de energia, de uma demanda equivalente a sua capacidade de geração, para os casos em que ocorre paralisação do sistema de geração.

O pagamento da DSR deve ser mantido, visto que esse valor garante o fornecimento de energia elétrica ao engenho pela concessionária. Esse valor

representa 13,6% do valor anual pago pela energia elétrica ou aproximadamente R\$26.400,00.

### 4.3 Impactos Ambientais

Diferentemente da maioria dos resíduos industriais, a adequação ambiental da casca de arroz só pode ser alcançada com tecnologias que, segundo May (2003), são denominadas *end-of-pipe* (“fim de tubo”), visto que sua minimização não pode ser obtida por melhorias no processo de beneficiamento de arroz.

A utilização da casca como combustível em uma central termoelétrica é classificada dentro dessa terminologia de tratamento de resíduos pós-processo produtivo.

Um ponto importante na análise da implantação de termoelétricas da forma como é proposta nesse estudo é a relação desses projetos com o meio ambiente, englobando os impactos das atividades da empresa sede do investimento.

O aproveitamento da casca de arroz como combustível para a geração termoelétrica, além de propiciar uma atividade de importância econômica, contribui para o término do descarte desse resíduo no meio ambiente, evitando as conseqüências acarretadas por essa prática.

As 555 mil toneladas de casca de arroz que foram estimadas para o Rio Grande do Sul e que não possuem utilização econômica representam um grave risco ao meio ambiente, tendo em vista as características apresentadas por essa biomassa, como a baixa densidade e o longo período para decomposição no solo.

Com relação à legislação ambiental no estado do Rio Grande do Sul, o depósito dos resíduos do beneficiamento do arroz, como casca, cinza, palha e outras impurezas, somente é permitido temporariamente na área do empreendimento, para posterior remoção e disposição final.

Esta disposição pode ser em área rural do próprio empreendedor, de terceiros ou de associados de cooperativas, para utilização à incorporação ao solo, produção de adubo orgânico ou para confinamento de animais.

São proibidos os depósitos de cinzas e resíduos a céu aberto, próximo a núcleos habitacionais ou quaisquer cursos d'água (rios, banhados, arroios, lagos,

etc). Também é vetada a queima de cascas, palhas e outras impurezas a céu aberto, conforme a Portaria n.º3/88 – SSMA (Secretaria da Saúde e do Meio Ambiente).

Entretanto, observa-se no estado que a casca produzida nos engenhos de pequeno e médio porte é inadequadamente depositada no solo, sem a preocupação quanto à ação dos ventos e chuvas, isso quando não ocorre a queima indiscriminada desses resíduos à beira de estradas, afetando sobremaneira as populações vizinhas.

Porém, mesmo que permitido o uso da casca para adubação, este procedimento apresenta custo elevado devido ao maquinário necessário para o transporte do material até a propriedade e para promover a incorporação ao solo, além de haver certo limite para a execução dessa prática decorrente da saturação do solo.

Por outro lado, a adequação dos engenhos de arroz à legislação existente pode ser alcançada com o aproveitamento termoelétrico da casca de arroz, desde que tais empreendimentos atendam os requisitos de viabilidade econômica.

A fiscalização do cumprimento dos requisitos ambientais por parte do órgão responsável pode forçar a adoção de procedimentos como o sugerido, através da cobrança pelo uso do meio-ambiente como “depósito de resíduos” (aplicação de multas, impostos, etc.).

Por outro lado, os Certificados Negociáveis de Poluição, no qual se enquadram os dispositivos existentes no Protocolo de Quioto, mais especificamente o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, surgem como um agente viabilizador de investimentos que preconizam a redução na emissão de GEE.

Os valores dos indicadores econômicos para as cinco faixas de investimentos analisadas (300, 400, 500, 700 e 800 kW) foram obtidos mediante a consideração da comercialização dos CER's. Caso isso não ocorra, pode-se afirmar, com razoável certeza, que somente as unidades de 500, 700 e 800 kW atingiram níveis de eficiência econômica atrativos para o setor.

Avaliando-se a MCT instalada na empresa Doeler Alimentos Ltda., verifica-se a grande possibilidade de controle dos impactos ambientais decorrentes da produção de resíduos através da autoprodução de energia.

O potencial de utilização das 3,7 mil toneladas de casca de arroz produzidas anualmente, resultaria na eliminação da disposição desse material no solo, além de contribuir para a independência energética da empresa.

Da mesma forma, seriam eliminados todos os inconvenientes e custos com as etapas de armazenamento, transporte e disposição desse material no solo.

Quando se avalia sob a perspectiva da emissão de gases de efeito estufa, percebe-se a magnitude do problema decorrente da emissão de metano a partir da disposição desse resíduo em aterros.

Não obstante, a produção de eletricidade a partir de uma fonte de energia renovável como é o caso, compreende uma parcela significativa da mitigação de gases que contribuem para o aquecimento global.

Os valores resultantes da mitigação de GEE, apresentados na Tabela 13, fornecem indicativos interessantes, como a redução de aproximadamente 165 tCO<sub>2</sub>eq por cada kW instalado, independente da faixa de potência, indicando não haver influência da escala considerada.

A partir desse valor, estima-se que para o Rio Grande do Sul, a redução alcançada seria da ordem de 7,57 milhões de tCO<sub>2</sub>eq por ano, para uma potência total instalada igual a 45,8 MW.

Um outro quesito importante a ser esclarecido é relacionado à emissão de material particulado (MP) pela queima da casca de arroz em caldeiras. A grande quantidade de cinza presente na casca faz com que sejam atingidos níveis elevados de MP nos gases de combustão, afetando a população circunvizinha ao engenho.

Atualmente a concentração máxima permitida de MP nos gases é de 240 µg/Nm<sup>3</sup>, sendo que a emissão não poderá ultrapassar esse valor mais que uma vez por ano, conforme a Resolução CONAMA nº. 03 de 28 de Junho de 1990.

Para adequar-se a legislação, a empresa deverá dispor de equipamentos de alta eficiência para abatimento de MP, como filtros de manga, lavador de gases ou precipitador eletrostático.

Ao passo em que é garantido um destino adequado a casca de arroz, deve ser levado em conta a quantidade de cinza oriunda da queima da casca na geração de vapor.

A cinza, que representa aproximadamente 20% do peso da casca de arroz, é composta basicamente de sílica e carbono residual. Através de um manejo adequado, seu impacto no meio ambiente pode ser minimizado.

Existem diversos usos para a cinza, desde a indústria cerâmica até seu aproveitamento na produção de silício de grau eletrônico, dependendo da forma de sua obtenção (FOLETTO et al, 2005).

Quanto maior o valor que se quer agregar à cinza, tanto maior será o investimento financeiro e energético a ser realizado. Um exemplo é o processo GEAA, em instalação em um engenho de arroz na cidade de Alegrete (RS), cujo produto principal é a sílica branca para adição ao cimento, necessitando que boa parte da energia gerada (térmica e elétrica) seja consumida para esse fim, obtendo-se um produto de alto valor comercial.

Há que se ressaltar ainda um outro aspecto relacionado a esse estudo que é a ampliação do parque gerador do país a partir de uma fonte de energia limpa, como é o caso da biomassa.

Apesar de constituir-se em um impacto positivo indireto, o uso da casca de arroz substitui combustíveis cuja queima em centrais termoelétricas emite poluentes agressivos ao meio ambiente, principalmente os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e de enxofre ( $\text{SO}_x$ ).

Da mesma forma, a geração termoelétrica evita que áreas férteis sejam alagadas pela construção de represas de usinas hidroelétricas, com decorrente deslocamento populacional.

Por fim, observa-se que qualquer procedimento que vise uma melhoria ambiental deve primeiramente atender objetivos econômicos, apresentando retorno financeiro para o investimento realizado.

O desenvolvimento de programas de *Responsabilidade Sócio-ambiental* por empresas tem por objetivo único a melhoria de sua imagem, com vistas a valorização do nome do grupo ou organização empresarial perante o mercado consumidor, configurando-se em um interesse meramente econômico.

Essa constatação é corroborada pela afirmação dos ganhadores do Prêmio Nobel de Economia em 2007. Eric Maskin, da Universidade de Princeton, Leonid Hurwicz, da Universidade de Minnesota, e Roger Myerson, da Universidade de Chicago, afirmam que:

*"Sociedades não devem contar com as forças do mercado para proteger o ambiente ou fornecer um sistema de saúde de qualidade para todos os cidadãos (...) O mercado não funciona muito bem quando se trata de bens públicos (...) Os mercados trabalham*

*aceitavelmente com bens chamados por economistas de bens privados (como carros e outros objetos duráveis)" (Mechanism Design Theory, 2008)*

Assim, a menos que exista uma imposição legal ou financeira por parte do Estado, para que se cumpram as determinações com relação à preservação do meio ambiente, pode-se ter certeza de que não haverá implementação de procedimentos com vistas a melhoria ambiental que apresentem retorno financeiro insatisfatório, como os analisados por esse estudo.

## 5. CONCLUSÃO

A importância do aproveitamento da biomassa para a obtenção de energia elétrica é inegável, ainda mais em se tratando de resíduos de processo com grande potencial poluidor, como é o caso da casca de arroz.

A magnitude da produção desse resíduo justifica, por si só, a implantação de centrais termoelétricas do porte necessário para atender os prováveis potenciais existentes no Rio Grande do Sul, desde que acompanhada de uma correta gestão ambiental dos resíduos envolvidos.

A casca de arroz excedente no Rio Grande do Sul poderia contribuir com, no mínimo, 45,8 MW de potência instalada ou 1,0% da capacidade instalada do estado, se aproveitada para a geração termoelétrica.

A energia gerada por essas termoelétricas resultaria em 241 mil MWh, equivalente a 4,3% da energia elétrica consumida pelo setor residencial do Rio Grande do Sul evitando, assim, a emissão de 7,57 milhões de tCO<sub>2</sub>eq por ano.

Considerando um valor para a comercialização dos CERs igual a US\$10,00 por tCO<sub>2</sub>eq, haveria a possibilidade do ingresso de aproximadamente R\$130 milhões por ano no setor arrozeiro do estado.

O beneficiamento de arroz e a produção de casca de arroz têm por característica ocorrer de forma dispersa, com uma maior localização na metade sul do Rio Grande do Sul.

Essa “qualidade” conduz a um aproveitamento termelétrico de forma pontual, com a particularidade de a maior parte dos engenhos existentes no estado comportar uma potência incapaz de ser técnica e economicamente viável, a fim de justificar sua instalação.

É importante ressaltar a diferença entre os valores de potencial termoelétrico para o setor arrozeiro apresentado nesse estudo e aquele avaliado por Pretz (2001) (100,0 a 120,0 MW). Esse fato pode ser explicado pela abordagem diferenciada que foi utilizada por cada autor, visto que esse partiu de dados agrícolas de produção de arroz, além de considerar que o aproveitamento da casca deveria ocorrer em centrais regionalizadas, com potências e rendimentos superiores.

## 5.1 Setor arrozeiro do Rio Grande do Sul

Tendo em vista a lógica do sistema econômico, a utilização da casca de arroz na geração termoelétrica terá êxito somente quando existir viabilidade econômica para os empreendimentos, mesmo que os ganhos ambientais sejam altamente positivos.

A utilização energética da casca de arroz nos engenhos que compõem o grupo “A”, que representam mais da metade das unidades existentes no estado, poderia ocorrer somente com o auxílio de outras tecnologias de geração termoelétrica, como o motor Stirling. Essa tecnologia ainda encontra-se em desenvolvimento, porém com grandes perspectivas futuras, devido ao seu elevado rendimento frente ao pequeno porte.

Por outro lado, o aproveitamento da casca de arroz produzida pelos engenhos de menor porte poderia dar-se em uma unidade termoelétrica centralizada de médio ou grande porte, que abrangeria vários pequenos engenhos produtores, situados a uma distância próxima, além de permitir a utilização de qualquer outro recurso energético que esteja disponível localmente.

Em face do grande crescimento das maiores indústrias beneficiadoras de arroz, principalmente a Camil Alimentos S.A. e a JOSAPAR S.A., começam a surgir iniciativas como a Rede Arrozeira do Sul, abrangendo doze engenhos beneficiadores de arroz da região central do Rio Grande do Sul, que indica certa cooperação entre as empresas de pequeno e médio porte, podendo abranger até mesmo a geração termoelétrica nos moldes citados.

Para os grandes beneficiadores de arroz, que são poucas unidades no Rio Grande do Sul, o cenário é mais favorável, tendo em vista a redução dos custos de instalação e operação, além do maior rendimento dos equipamentos empregados e a facilidade na comercialização de excedentes de energia elétrica e de créditos de carbono, devido à grandeza dos valores envolvidos.

Não por menos, esse é o setor em que atualmente se verificam os maiores investimentos, com um bom número de centrais instaladas ou em construção.

Já o grupo intermediário, denominado grupo “B”, apesar de responder por um razoável potencial, apresenta-se estagnado quanto ao aproveitamento da casca na geração de energia elétrica, principalmente pelos riscos inerentes ao elevado

volume de recursos necessários frente ao porte das empresas, o que aparenta estar repelindo os investimentos nesse segmento.

Entretanto, os valores dos indicadores de viabilidade econômica para as faixas de potência de 500, 700 e 800 kW demonstram haver, conforme a tabela 18, razoável atratividade para o investimento, mesmo para o cenário atual, em que não há qualquer incentivo em sua implantação.

Porém, as escalas de 300 e 400 kW, mais expressivas quanto ao número de casos que representam, não comprovam viabilidade econômica para os parâmetros existentes, fato justificado pela economia de escala.

Assim, tendo em vista a importância ambiental da utilização da casca de arroz, é imperativo que se faça uso de mecanismos incentivadores para que se promova a geração de eletricidade através da biomassa.

A partir da análise de sensibilidade foi possível visualizar que uma diminuição de 1,59 pontos percentuais no valor da taxa de juros do financiamento e um aumento no preço pago pelo excedente de energia elétrica comercializável podem conduzir à implantação de centrais termoelétricas de pequeno porte.

Alteração em outros fatores também pode contribuir na viabilização desses empreendimentos, como o fim do pagamento da Demanda Suplementar de Reserva, da isenção fiscal para os equipamentos empregados (caldeira, turbina e gerador), obrigatoriedade de compra da energia elétrica renovável pelas concessionárias e o estabelecimento de limites mais rígidos para a emissão de poluentes para as centrais termoelétricas convencionais no Brasil, tal qual estabelecido no Protocolo de Quioto.

Ainda, cabe ressaltar que se reconhece certa fragilidade na consideração da comercialização de créditos de carbono para as simulações, visto que quanto menor o volume de créditos a ser negociado, menor é a atratividade para o comprador e menor é o valor pago por cada tonelada de gás de efeito estufa mitigada.

Além disso, os custos envolvidos no processo de certificação dos créditos por redução de emissões são especificamente maiores para as escalas consideradas nesse estudo.

Ressalta-se também que a importância existente no estabelecimento de metas de redução de emissão de GEE, como forma de proteção ao meio ambiente, parece não ser o único motivo considerado por quem negocia esses créditos.

Através desse estudo e de observações realizadas, nota-se que o que era para ser uma ferramenta incentivadora do desenvolvimento sustentável de países como o Brasil, está constituindo-se como mais uma forma facilitada de se ganhar dinheiro.

Observa-se uma visão meramente financista da questão do efeito estufa, quase que beirando uma desenfreada especulação nessa questão, colocando em dúvida a real dimensão e veracidade da amplamente referida *catástrofe ambiental*.

Apesar disso, eliminadas essas questões de caráter mercantilista, é notória a importância desses créditos na viabilização econômica dos projetos de pequena escala.

## **5.2 MCT da Doeler Alimentos Ltda.**

Quanto à instalação e funcionamento da MCT de São Pedro do Sul, ficou evidente o distanciamento existente entre os valores esperados no projeto inicial e os obtidos, explicados em parte pelas condições apresentadas pelo gerador de vapor, além de o rendimento máximo do sistema termoelétrico (6,84%) situar-se aquém do planejado (10%).

Dessa forma, o rendimento elétrico configura-se como o maior empecilho para a difusão e utilização da concepção de MCT, principalmente para as escalas menores que 400 kW, que também sofrem com a economia de escala.

Assim, ainda não é possível avaliar-se com clareza os impactos da instalação da MCT na empresa Doeler Alimentos Ltda. O que pôde ser visualizado foi o bom comportamento da turbina perante as más condições apresentadas pelo vapor, com pequena flutuação na rotação da mesma quando adicionada uma carga elétrica ao sistema.

Acredita-se que mesmo para a situação atual seria possível fazer-se um maior uso da MCT na autoprodução de energia elétrica e assim, reduzir a dependência da empresa com relação à concessionária, mas, segundo a Doeler Alimentos Ltda., haveria risco de problemas técnicos.

Os custos de geração de energia elétrica pela MCT (R\$ 0,079/kWh) situam-se bem abaixo do valor da eletricidade adquirida da rede de distribuição (R\$ 0,11/kWh),

constituindo-se em um bom sinal para a utilização da casca de arroz de forma competitiva.

Além disso, é notória o impacto positivo dessa MCT na diminuição da quantidade de casca de arroz que deve ser direcionada a um aterro, atestando a eficácia do sistema com relação a diminuição dos impactos ambientais das atividades de beneficiamento do arroz.

Como ponto final, destaca-se a grande abrangência da tecnologia da MCT, visto a grande disponibilidade de biomassa residual não somente para o setor arrozeiro do Rio Grande do Sul, como para qualquer indústria que disponha desse combustível.

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

O levantamento do potencial termoelétrico existente no Rio Grande do Sul baseia-se em estimativas que podem estar defasadas, conduzindo a erros nos cálculos efetuados.

Sugere-se que seja conduzido um estudo detalhado não só para a produção de casca de arroz, como para todos os resíduos de biomassa produzidos no estado, sabendo-se que não há uma estimativa confiável e atualizada para esses valores.

Através do estabelecimento de uma cooperação entre as associações que representam as indústrias envolvidas (engenhos de arroz, moveleiras, madeireiras, extrativistas) e órgãos estatais como o IRGA e as atuais secretarias estaduais de Infra-estrutura e Agricultura, será possível ter conhecimento do cenário existente no Rio Grande do Sul, proporcionando a elaboração de políticas públicas adequadas de incentivo ao aproveitamento termoelétrico da biomassa.

No mesmo sentido, indica-se a necessidade de um programa complementar de acompanhamento do funcionamento das centrais termoelétricas à biomassa existentes no estado, de forma a permitir a coleta de dados de operação, como rendimento dos processos, energia gerada, biomassa consumida, etc.

Esse programa, também chamado de *road test*, permite um diagnóstico para o setor, de maneira a propor diretrizes para qualquer programa de incentivo à utilização da biomassa, nos mesmos moldes daqueles estabelecidos em muitos países europeus.

## BIBLIOGRAFIA

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Tarifas de fornecimento de energia elétrica**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, 2005 30 p.

AMATO, G. W., **Informação Pessoal**. Março de 2008.

ANUÁRIO BRASILEIRO DO ARROZ. **Anuário Brasileiro do Arroz: 2006**. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta Santa Cruz, 2006. 136p.

AYRES, R. U.; TURTON, H.; CASTEN, T. Energy efficiency, sustainability and economic growth. **Energy**, nº 32, p. 634-648. 2006.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES. Apoio Financeiro. Disponível em <http://www.bndes.gov.br/linhas/linhas.asp>. Acesso em 15 jan, 2009.

BERGAMASCO, R. **Projeto e avaliação teórica experimental de sistemas de geração de eletricidade a partir da biomassa utilizando motores stirling**. 2007. 181f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Mudanças Climáticas. Fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional. Disponível em <http://www.MCT.gov.br/clima>. Acesso em 30 out, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2004**. Ministério de Minas e Energia: Brasília, 2004.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2008: Ano base 2007**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética: Rio de Janeiro: EPE, 2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Dados Energéticos Estaduais 1990-2007**. Disponível em: <http://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompletas.aspx>. Acesso em 15 Abril, 2009.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica : 2006-2015**. Ministério de Minas e Energia, colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília : MME : EPE, 2006. 304 p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Secretaria de Comércio Exterior (SECEX). Dados estatísticos de importação de arroz. Disponível em <http://www2.desenvolvimento.gov.br/sitio/secex/depPlaDesComExterior/indEstatisticas/aliWeb.php>. Acesso em 09 dez, 2008.

BRIDGEWATER, A. V.; PEACOCKE, G. V. C. Fast pyrolysis processes for biomass. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 4, p. 1-73. 1999.

Carta': falas, reflexões, memórias, informe de distribuição restrita do Senador Darcy Ribeiro - Nº1 (1991 – 199-). Brasília: Gabinete do senador Darcy Ribeiro, 1993 - Irregular. Nº 3.

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. 1º Leilão de Fontes Alternativas: Resumo dos Compradores. Disponível em: <http://www.ccee.org.br>. Acesso em: 05, maio, 2008.

CIENTEC. **Aproveitamento energético da casca de arroz, relatório final do projeto de pesquisa CIENTEC-FINEP**. Fundação de Ciência e Tecnologia, Porto Alegre. 1986. 170 p.

COELHO, S. T.; PALETTA, C. E. M.; FREITAS, M. A. V. (editores). **Medidas mitigadoras para a redução de emissões de gases de efeito estufa na geração termoelétrica**. Brasília: [s.n.], 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Central de Informações Agropecuárias. Arroz: Série Histórica**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=131>. Acesso em 13 fev. 2008.

COMPANHIA RIOGRANDENSE DE MINERAÇÃO. Disponível em: <http://www.crm.rs.gov.br/principal.php?action=noticias&IDnoti=99>. Acessado em 11 mar, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB Id. Central de Informações Agropecuárias: Conjuntura agropecuária: Prospecção 2007-08 Arroz. Disponível em

[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/cas/especiais/prospeccao\\_2007\\_08\\_arroz.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/cas/especiais/prospeccao_2007_08_arroz.pdf). Acesso em 10 jan, 2009.

DORNBURG, V.; FAAIJ, A. P. C. Efficiency and economy of wood-fired biomass energy systems in relation to scale regarding heat and power generation using combustion and gasification technologies. **Biomass and Bioenergy**, v.21, p. 91-108, 2001.

FOLETTTO, E. L. et al. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz, **Química Nova**, v. 28, n° 6, p. 1055-1060, 2005.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER – FEPAM. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br>. Acesso em 19 jan, 2009.

FRANGOPOULOS, C. A.; CARALIS, Y. C. A method for taking into account environmental impacts in the economic evaluation of energy systems. **Energy Convers. Mgmt.**, v. 38, nº15-17, p. 1751-1763, 1997.

HAITES, E. **Estimating the market potential for the Clean Development Mechanism: review of models and lessons learned: PCFPlus Report 19**. Washington DC: World Bank, IEA e IETA, Jun 2004.

HOFFMANN, R. **Método avaliativo da geração regionalizada de energia, em potências inferiores a 1,0 MWe, a partir da gestão dos resíduos de biomassa - O caso da casca de arroz**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999. 195p.

HOFFMANN, R. Geração regionalizada de energia, em potências inferiores a 1 mwe, a partir da gestão do resíduo de biomassa casca de arroz. In: **1º Congresso Internacional de Uso da Biomassa Plantada para Produção de Metais e Geração de Eletricidade**, 2001, Belo Horizonte.

IEA CO<sub>2</sub> EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION. **Emissions per kWh and Electricity and Heat Output Vol. 2008 release 01**. Disponível em: <http://titania.sourceoecd.org/vl=752253/cl=20/nw=1/rpsv/ij/oecdstats/16834291/v335n1/s4/p1>. Acesso em: 25 jan. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2002-2003: Aquisição alimentar domiciliar per capita**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 30 ago. 2007.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ (IRGA). Beneficiamento de arroz para o ano de 2006 (Dados não publicados). Porto Alegre, 2008.

INTERNATIOAN ENERGY AGENCY. **CO<sub>2</sub> Emission from Fuel Combustion: 1971-2004: 2006 Edition**. International Energy Agency. Paris, 2006. v. 2006, nº. 22, 556 p.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia científica**. São Paulo: Ed. Atlas. 2008. 6º ed. 315 p.

JOWSEY, E. A new basis for assessing the sustainability of natural resourses. **Energy**, v. 32, p. 906-911. 2007.

LORA, E. E. S., NASCIMENTO, M. A. R. (org.) **Geração termelétrica: planejamento, projeto e operação**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2004. 1296p.

LORA, E. E. S.; ADDAD, J., (coordenadores). **Geração distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência. 2006. 240 p.

LORA, E. E. S.; NOGUEIRA, L. A. H. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2003. 199p.

MATSUMURA, Y.; MINOWA, T.; YAMAMOTO, H. Amount, availability and potential use of rice straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan. **Biomass & Bioenergy**, nº 29, p. 347-354. 2005.

MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. (organizadores). **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. 319 p.

MAYER, F. D. et al. Análise de sensibilidade econômica aplicada a uma Micro Central Termoelétrica a biomassa, com potência instalada de 300 kW, v. 4, p. 1361-1370, 2008. In: **Anais do XII Congresso Brasileiro de Energia – Desafios do Setor energético Brasileiro**. Rio de Janeiro: XII CBE, 2008.

MAYER, F. D.; HOFFMANN, R.; RUPPENTHAL, J. E. Gestão Energética, Econômica e Ambiental do Resíduo Casca de Arroz em Pequenas e Médias Agroindústrias de Arroz. In: **XIII Simpósio de Engenharia de Produção**, 2006, Bauru. Anais eletrônicos.

Mechanism Design Theory. In: Scientific background on the Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel 2007. Disponível em [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/economics/laureates/2007/ecoadv07.pdf](http://nobelprize.org/nobel_prizes/economics/laureates/2007/ecoadv07.pdf). acesso em 15 Dez, 2008.

MOTTA, R. R.; CALÔBA, G. M. **Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais**. São Paulo: Ed. Atlas. 2002. 391 p.

NODARI, I. L. Aproveitamento da casca de arroz para geração termoelétrica em tecnologia simples – a reversão do processo poluidor. In: **XVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 1997, Gramado. Anais eletrônicos Gramado: UFRGS, 1997. Disponível em [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGETP1997\\_T6505.PDF](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGETP1997_T6505.PDF). Acesso em 24 jan. 2008.

OECD OBSERVER. The magazine of the Organization for economic Co-operation and Development. Valência (Espanha): Pressgroup Holdings Europe SA, nº 264/265, Dez, 2007 – Jan 2008.

PRETZ, R. (elaboração). **Geração termoelétrica à biomassa**. Caminhos para o desenvolvimento - RS Emprego, Perfis de Oportunidades de Investimentos (POI), Governo do Estado do Rio Grande do Sul e UFRGS, Porto Alegre, 95 p.

PRETZ, R. **Potencial bioenergético do setor arrozeiro do Rio Grande do Sul: uma abordagem termoelétrica**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. 102 p.

PROBSTEIN, R. F.; HICKS, R. E. **Synthetic Fuels**. Dover Publications. 2006. 512 p.

PTZ Bioenergy fontes Alternativas de Energia Indústria, Comércio e Serviços Ltda. (Porto Alegre, RS). Ricardo Pretz. **Micro central termoelétrica a partir de sistemas de co-geração à biomassa**. BR n. PI 0600286-2 A, 16 jan. 2006, 02 out. 2007.

REED, T. B.; DAS, A. **Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems**. The Biomass Energy Foundation Press.

ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. (organizadores). **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira**. Campinas: Ed. UNICAMP, 2005. 447 p.

RUNGE, C. F.; SENAUER, B. The ethanol bubble. **Foreign Affairs**, v. 86, nº 3, Maio/Junho 2007.

SEHN. Precautionary Principle. SEHN - Science & Environmental Health Network. Disponível em: <http://www.sehn.org/precaution.html>. Acesso em 14 mai, 2008.

TGM TURBINAS. Manual de Instruções: Turbina tipo TG 320. Sertãozinho: TGM Turbinas. 2006.

STASSEN, H. E. **Small-Scale Biomass Gasifiers for Heat and Power: A Global Review**. World Bank Technical Paper, nº296. Washington, D.C., 1995. 61p.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - UNFCCC. Disponível em <http://unfccc.org>. Acesso em: 25, mar. 2007.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC. Disponível em [http://unfccc.int/ghg\\_data/items/3825.php](http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php). Acesso em: 18, jan. 2009.

WEREKO-BROBBY, C.; HAGEN, E. B. **Biomass conversion an technology**. Chichester: John wiley & Sons. 1996. 2003 p.

WOILER, S.; MATHIAS, W. F. **Projetos: planejamento, elaboração, análise**. São Paulo: Ed. Atlas, 1996. 294 p.

# Apêndices

---

## **APÊNDICE A – Tecnologias para o aproveitamento energético da casca de arroz na obtenção de energéticos de maior densidade**

### **A.1 Processos Físicos**

O principal processo físico a que a casca de arroz pode ser submetida para aproveitamento energético é a densificação. A densificação, mediante briquetagem, consiste em gerar mecanicamente elevadas pressões e temperatura.

Esta temperatura provoca a “plastificação” da lignina, que atua como elemento aglomerante das partículas de madeira, uma razão muito importante da não necessidade de adicionar produtos aglomerantes (resinas, ceras, etc), além de eliminar parte dos sólidos voláteis com baixo poder calorífico.

Para que esta aglomeração tenha sucesso, necessita da presença de uma quantidade de água, compreendida entre 8 a 15% de umidade, e que o tamanho da partícula esteja entre 5 a 10 mm. O diâmetro ideal dos Briquetes para queima em caldeiras, fornos e lareiras é de 70 mm a 100 mm, com comprimentos de 250 a 400 mm (MAYER, 2006).

A densificação é importante por solucionar um dos principais problemas na utilização da casca de arroz, que é a sua baixa densidade específica ( $130 \text{ kg/m}^3$ ), tornando economicamente viável seu uso e armazenamento fora do lugar onde foi gerada, como padarias, pizzarias, lareiras, etc. Além disso, a densificação eleva o poder calorífico da casca em torno de 2,5 vezes.

### **A.2 Processos Termo-químicos**

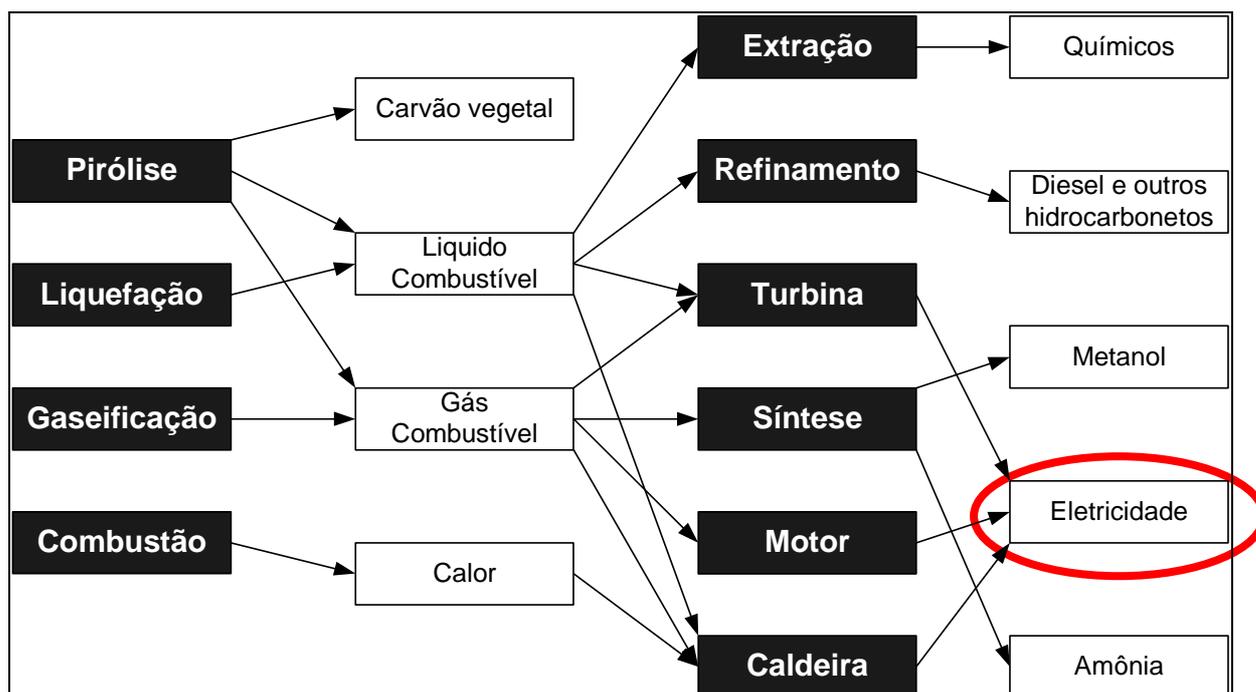
Os processos termoquímicos se caracterizam por temperaturas elevadas e incluem a gaseificação, pirólise, liquefação e a combustão direta, considerados os mais comuns para sistemas dendroenergéticos<sup>4</sup>. A figura 17 esquematiza os processos termoquímicos aplicados à biomassa.

---

<sup>4</sup> Compreende-se por sistemas dendroenergéticos aqueles que fazem uso de materiais lignocelulósicos na obtenção de energia.

### A.2.1 Pirólise

O processo de pirólise emprega calor para degradar a biomassa em combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, na ausência quase que total de oxigênio. Como principal objetivo da pirólise, está a produção de combustível líquido, com alto rendimento, chamado bioóleo.



**Figura 17 - Processo termoquímico da biomassa e produtos**

Fonte: BRIDGEWATER (1999).

Para a produção de bioóleo, emprega-se a chamada hidrólise rápida. Os líquidos da hidrólise rápida são da cor marrom escuro, semelhante a um óleo combustível de viscosidade média. O bioóleo é sensível a elevadas temperaturas, passando por uma mudança química e não podendo ser destilado. Ele possui um Poder Calorífico Superior (PCS) de aproximadamente 16.700 kJ/kg, bem abaixo do óleo combustível, que possui um PCS de 42.000 - 44.000 kJ/kg. Bridgewater (1999), descreve uma eficiência na conversão de biomassa em bioóleo em torno de 75%.

Bioóleos podem substituir óleo combustível ou diesel em muitas aplicações, incluindo caldeiras, fornalhas, motores e turbinas. Existe um grande espectro de químicos que podem ser extraídos ou derivados, incluindo aromatizantes de comida, resinas, agroquímicos, fertilizantes e agentes de controle de emissões. O

aprimoramento do bioóleo para combustível de transporte não é economicamente viável, apesar de o ser tecnicamente. Os bioóleos, assim como o gás pobre da gaseificação, podem substituir combustíveis líquidos e gasosos de origem fóssil.

### A.2.2 Liquefação direta

As duas principais rotas para a hidrogenação do carvão para obtenção de um líquido envolvem a adição de hidrogênio ao carvão diretamente a partir da fase gasosa ou de um solvente doador. Estes procedimentos de liquefação direta são processos de hidrocraqueamento aplicados ao carvão. Quando o hidrogênio é adicionado diretamente da fase gasosa, ele é misturado junto a resíduos de carvão pulverizado e líquidos reciclados derivados de carvão, na presença de catalisadores específicos. Esta é a chamada hidroliquefação ou liquefação catalítica. Ela descende da tecnologia de hidrogenação desenvolvida por Bergius na Alemanha no início da Primeira Guerra Mundial (PROBSTEIN, 2006).

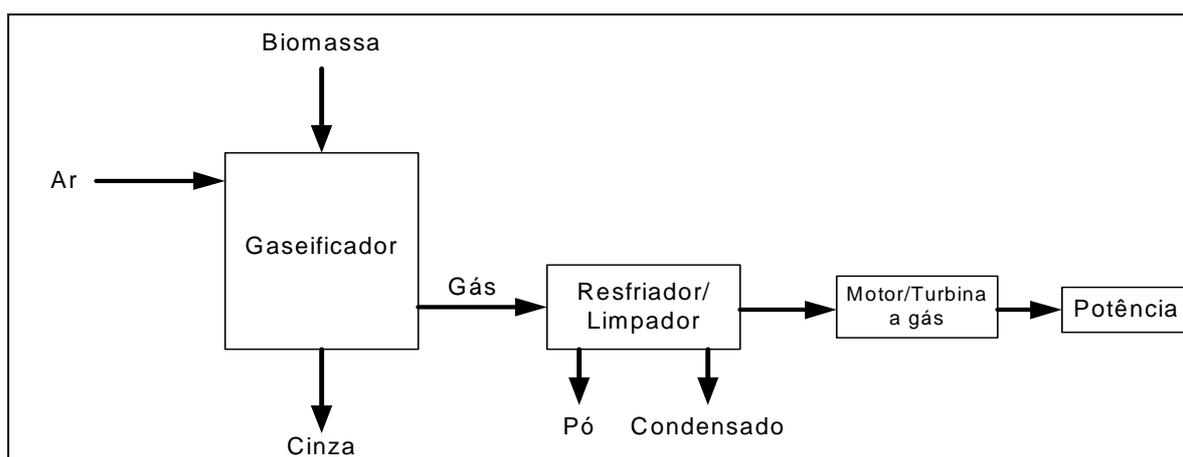
No processo que utiliza solvente, um derivado líquido do carvão, que pode ou não ser hidrogenado separadamente, transfere o hidrogênio ao carvão sem adição de catalisador externo. Os pioneiros desta tecnologia foram Pott e Broche, que começaram seus trabalhos, também na Alemanha, no final dos anos 1920.

A liquefação direta da biomassa é um tipo de hidrogenação na qual a matéria orgânica é misturada com um solvente em presença de um catalisador em alta pressão, monóxido de carbono (CO) e temperatura moderada, obtendo-se um produto líquido, que pode ser utilizado como substitutivo dos hidrocarbonetos fósseis.

### A.2.3 Gaseificação

A gaseificação consiste na conversão da biomassa em um gás combustível, através da oxidação parcial em temperaturas elevadas (REED, 1998). O gás produzido é chamado de gás pobre ou *producer gas*, podendo ser empregado na geração de calor ou potência mecânica, sendo aplicado onde a biomassa não pode ser diretamente utilizada.

Apesar de não ser um combustível de alta qualidade, o gás pobre pode ser usado efetivamente em muitas aplicações. Uma aplicação é como combustível, alimentando motores de combustão interna, para produção de potência de eixo na geração de eletricidade, bombeamento de água, moagem de grãos, serragem de madeira, etc. Nestas aplicações, os sistemas de gaseificação são chamados de gaseificadores para potência (Figura 18). Alternativamente, o gás pobre pode ser utilizado como combustível para queimadores externos para produção de calor em caldeiras, secadores, fornos, etc. Para esta aplicação, os sistemas de gaseificação são chamados de gaseificadores para calor (Figura 19). Este tipo de gaseificador também pode ser utilizado para geração de eletricidade através de máquinas de ciclo a vapor.

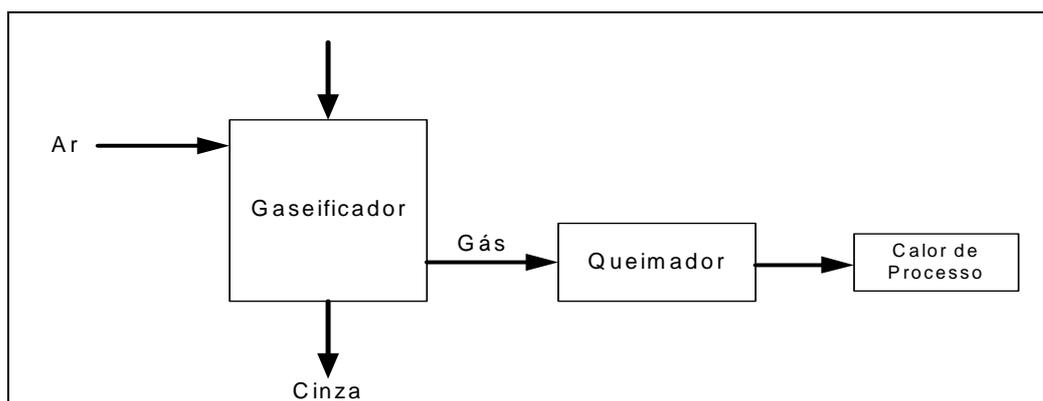


**Figura 18 - Sistema de gaseificação para geração de potência.**

Fonte: Stassen (1995).

Como eles possuem diferentes produtos finais, gaseificadores para calor e potência são direcionados para diferentes mercados. Além disso, em muitos aspectos técnicos, econômicos e operacionais, os gaseificadores para calor e potência têm particularmente diferentes tecnologias. Uma das principais diferenças técnicas é que os gaseificadores para potência devem produzir um gás muito puro para a estrita demanda dos motores de combustão interna. Então, o gás pobre resultante deve ser primeiramente filtrado, resfriado, e misturado em um elaborado sistema de condicionamento de gás, sendo uma parte integrante de um gaseificador

para potência. Em contraste, o gás pobre, combusto em queimadores externos, requer pouco ou nenhum condicionamento. Como eles não necessitam de um sistema elaborado de limpeza de gás, gaseificadores para calor são de desenho simples e fáceis de operar e de menor custo, comparados com gaseificadores para potência (REED,1998).



**Figura 19 - Sistema de gaseificação para geração de calor.**

Fonte: Stassen (1995)

Existem três tipos de gaseificadores de leito fixo: contracorrente, concorrente e corrente cruzada, sendo esta diferenciação ocasionada pelo posicionamento da entrada de ar (agente gaseificador) e saída do gás (gás pobre). Segundo Stassen (1995), os gaseificadores disponíveis no mercado para geração de potência, que utilizam casca de arroz como combustível, são do tipo leito-fixo/concorrente, com potência nominal menor que 200 kW<sub>el</sub>. Já para produção de calor a capacidade é de até 5,0 MW<sub>ter</sub>.

As formas de aproveitamento do gás pobre apresentam diferentes eficiências na geração de eletricidade. Stassen descreve uma eficiência global máxima de 7,0% na utilização do gás pobre em motores do ciclo Otto, resultando num consumo específico de 3,5 kg de casca de arroz por kilowatt produzido. Já a planta demonstrativa de Värnamo, que utiliza a tecnologia IGCC – Integrated Gasification Combined Cycle no aproveitamento de resíduos agroindustriais, alcançou uma eficiência global de 31,0%, porém, eficiências em torno de 40,0-50,0% podem ser alcançadas. A tecnologia IGCC compreende a gaseificação de um combustível e sua utilização em turbina a gás. A energia contida nos gases quentes produzidos na

turbina é recuperada em uma caldeira para geração de vapor. Este vapor é então direcionado para uma turbina a vapor, aumentando a eficiência do processo de geração de eletricidade.

Outra possibilidade de utilização do gás pobre é em células a combustível, alcançando eficiências entre 45 e 55%. Além da energia elétrica gerada, o calor produzido pela célula pode ser recuperado em uma caldeira para geração de calor de processo ou eletricidade. Lora (2003) relata estudos na utilização de um sistema gaseificador/microturbina a gás/célula a combustível, tendo em vista que as células a combustível não esgotam a energia química das misturas gasosas, podendo o gás efluente ser utilizado em uma turbina a gás. Porém, deve-se ressaltar o desenvolvimento tecnológico que ainda deve ser alcançado para a utilização comercial deste tipo de equipamento.

# ANEXOS

---

**Anexo A – Total agregado das emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs e SF<sub>6</sub>, incluindo emissões/retiradas a partir do uso da terra, mudança no uso da terra e florestamento.**

Party	Gg CO <sub>2</sub> equivalent							Change from 1990 to 2004 (%)
	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	
Australia	506 886	470 410	520 757	530 445	537 070	514 585	533 495	5.2
Austria	66 983	65 806	65 237	66 367	71 718	75 914	74 670	11.5
Belarus*	116 054	57 509	55 662	53 766	54 848	57 830	62 464	-46.2
Belgium	144 335	150 953	145 860	144 043	142 753	145 813	146 700	1.6
Bulgaria <sup>a</sup>	106 997	62 566	45 447	44 268	40 624	52 868	45 403	-57.6
Canada	517 146	842 979	594 115	597 730	731 670	742 425	838 907	62.2
Croatia*	16 687	1 378	5 983	8 647	10 813	12 544	13 111	-21.4
Czech Republic*	194 474	146 694	142 338	142 483	137 984	141 894	142 306	-26.8
Denmark	70 968	75 758	71 227	70 396	68 365	73 600	67 341	-5.1
Estonia*							13 307	
European Community <sup>b</sup>	4 047 252	3 904 730	3 875 904	3 892 234	3 863 562	3 937 559	3 941 605	-2.6
Finland	49 711	56 092	53 673	56 341	58 641	67 815	62 949	26.6
France	543 719	534 185	527 547	521 721	508 864	510 693	510 818	-6.1
Germany	1 198 055	1 063 578	988 866	1 000 206	983 716	988 929	979 442	-18.2
Greece	105 549	108 826	128 797	127 990	127 561	131 755	132 231	25.3
Hungary <sup>a</sup>	120 408	76 312	78 656	80 093	77 001	79 496	78 405	-34.9
Iceland	5 372	5 113	5 491	5 445	5 447	5 346	4 963	-7.6
Ireland	55 722	59 129	68 727	70 376	68 793	67 978	68 389	22.7
Italy	439 879	429 436	454 899	451 133	447 455	466 070	477 412	8.5
Japan	1 197 474	1 260 713	1 260 566	1 235 780	1 267 663	1 263 346	1 260 296	5.2
Latvia*	5 223	-5 465	-4 181	-3 527	-2 545	-2 930	-3 158	-160.5
Liechtenstein	190						235	23.3
Lithuania*						10 234	24 547	
Luxembourg								
Monaco	108	115	117	119	117	111	104	-3.1
Netherlands	215 355	227 271	216 850	218 594	217 314	218 071	220 441	2.4
New Zealand	42 915	49 450	50 099	52 551	52 374	52 864	50 606	17.9
Norway	35 224	36 071	28 242	27 615	27 224	28 347	28 623	-18.7
Poland <sup>a</sup>							361 907	
Portugal	63 484	69 361	78 095	79 831	83 773	91 603	81 804	28.9
Romania <sup>a</sup>	226 338	139 215	95 017	98 902	107 542	113 822	119 959	-47.0
Russian Federation*	3 165 135	2 034 099	2 310 060	2 224 094	1 784 954	1 659 440	1 825 709	-42.3
Slovakia*	70 972	50 663	46 992	47 291	45 290	46 276	46 795	-34.1
Slovenia <sup>a</sup>		13 526	13 647	14 471	14 443	14 348	14 415	
Spain	264 125	293 194	354 026	352 792	370 637	377 935	397 362	50.4
Sweden	50 244	56 816	50 276	52 909	53 565	54 567	53 375	6.2
Switzerland	51 047							
Turkey**								
Ukraine*	891 541	478 741	357 059	356 958	363 154	376 803	381 274	-57.2
United Kingdom	779 072	715 367	671 776	679 129	658 145	663 312	663 407	-14.8
United States of America	5 198 588	5 868 408	6 222 796	6 125 140	6 147 158	6 184 290	6 294 315	21.1
<i>Decrease in emissions by more than 1 per cent (number of Parties)</i>								18
<i>Change in emissions within 1 per cent (number of Parties)</i>								0
<i>Increase in emissions by more than 1 per cent (number of Parties)</i>								16

*Note: Negative values in Gg mean removals; positive values in Gg mean emissions.*

a Data for the base year defined by decisions 9/CP.2 and 11/CP.4 (Bulgaria (1988), Hungary (average of 1985 to 1987), Poland (1988),

Romania (1989), Slovenia (1986)) are used for this Party instead of 1990 data. b Emission estimates of the European Community are reported separately from those of its member States. \* A Party undergoing the process of transition to a market economy (an EIT Party). \*\* Decision 26/CP.7 invited Parties to recognize the special circumstances of Turkey, which place Turkey in a situation different from that of

other Parties included in Annex I to the Convention.

Fonte: UNFCCC, 2009.

## ANEXO B – Poder de Efeito Estufa para diferentes gases para diferentes gases

**Tabela 28 – Poder de efeito estufa para diversos gases.**

Espécie	Fórmula Química	Tempo de Vida (anos)	Poder de efeito Estufa (Horizonte de tempo)		
			20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	variável	1	1	1
Metano	CH <sub>4</sub>	12±3	56	21	6.5
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	120	280	310	170
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	264	9100	11700	9800
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	5.6	2100	650	200
HFC-41	CH <sub>3</sub> F	3.7	490	150	45
HFC-43-10mee	C <sub>5</sub> H <sub>2</sub> F <sub>10</sub>	17.1	3000	1300	400
HFC-125	C <sub>2</sub> HF <sub>5</sub>	32.6	4600	2800	920
HFC-134	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	10.6	2900	1000	310
HFC-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	14.6	3400	1300	420
HFC-152a	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub>	1.5	460	140	42
HFC-143	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	3.8	1000	300	94
HFC-143a	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	48.3	5000	3800	1400
HFC-227ea	C <sub>3</sub> HF <sub>7</sub>	36.5	4300	2900	950
HFC-236fa	C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	209	5100	6300	4700
HFC-245ca	C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> F <sub>5</sub>	6.6	1800	560	170
Hexafluoreto de enxofre	SF <sub>6</sub>	3200	16300	23900	34900
Perfluormetano	CF <sub>4</sub>	50000	4400	6500	10000
Perfluoretano	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	10000	6200	9200	14000
Perfluorpropano	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	2600	4800	7000	10100
Perfluorbutano	C <sub>4</sub> F <sub>10</sub>	2600	4800	7000	10100
Perfluorciclobutano	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	3200	6000	8700	12700
Perfluorpentano	C <sub>5</sub> F <sub>12</sub>	4100	5100	7500	11000
Perfluorhexano	C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	3200	5000	7400	10700

Fonte: UNFCCC (2009).

## ANEXO C – Metodologias para o cálculo de emissões evitadas

### C.1 Metodologia I.D – Geração de eletricidade renovável conectada à rede<sup>5</sup>

#### C.1.1 Tecnologia/medida

1. Esta categoria compreende as unidades de geração de energia renovável, como fotovoltaicas, hidrelétricas, de marés/ondas, eólicas, geotérmicas e de biomassa renovável, que forneçam eletricidade para um sistema de distribuição e/ou substituam a eletricidade de um sistema de distribuição que seja ou tenha sido abastecido por pelo menos uma unidade geradora de energia a partir da queima de combustíveis fósseis.

2. Se a unidade acrescentada tiver componentes renováveis e não-renováveis (por exemplo, uma unidade eólica/a diesel), o limite de elegibilidade de 15 MW para uma atividade de projeto de pequena escala no âmbito do MDL aplicar-se-á somente ao componente renovável. Se a unidade acrescentada também usar combustíveis fósseis<sup>6</sup>, a capacidade de toda a unidade não deverá exceder o limite de 15 MW.

3. Os sistemas combinados de calor e energia (co-geração) não são elegíveis no âmbito desta categoria.

4. No caso das atividades de projeto que envolvam o acréscimo de unidades de geração de energia renovável na usina existente de geração de energia renovável, a capacidade adicional das unidades acrescentadas pelo projeto deve ser inferior a 15 MW e deve ser fisicamente distinta<sup>7</sup> das unidades existentes.

5. Incluem-se nesta categoria as atividades de projeto que visem modernizar ou modificar uma usina existente de geração de energia renovável. Para que se qualifique como atividade de projeto de pequena escala, a produção total da unidade modificada ou modernizada não deve ultrapassar o limite de 15 MW.

---

<sup>5</sup> Documento da UNFCCC, traduzido para o português, disponível no site <http://www.mct.gov.br/clima>.

<sup>6</sup> O sistema com co-combustão usa combustíveis fósseis e renováveis.

<sup>7</sup> Unidades fisicamente distintas são aquelas capazes de gerar eletricidade sem a operação das unidades existentes e que não afetam diretamente as características mecânicas, térmicas ou elétricas da usina existente. Por exemplo, o acréscimo de uma turbina a vapor em uma turbina de combustão existente para criar uma unidade de ciclo combinado não seria considerado “fisicamente distinto”.

### C.1.2 Limite do projeto

6. O limite do projeto compreende a área física, geográfica, da fonte de geração de energia renovável.

### C.1.3 Linha de base

7. No caso do gás de aterro, gás residual, tratamento de águas residuárias e projetos agroindustriais, as emissões de metano recuperadas são elegíveis no âmbito da categoria pertinente do tipo III. Se o metano recuperado for usado na geração de eletricidade, a linha de base deverá ser calculada de acordo com os parágrafos abaixo. Se o metano recuperado for usado na geração de calor, será elegível à categoria I.C.

8. Para um sistema em que todos os geradores usem exclusivamente óleo combustível e/ou diesel, a linha de base são os kWh gerados anualmente pela unidade renovável vezes o coeficiente de emissão para uma unidade de geração a diesel moderna com capacidade correspondente e funcionando com uma carga ótima, conforme descrito na tabela I.D.1

**Tabela 29 - Fatores de emissão para sistemas de geração a diesel (em kg CO<sub>2</sub>e/kWh\*) para três níveis diferentes de fatores de carga\*\***

Casos:	Minirrede com atendimento 24 horas	i) Minirrede com atendimento temporário (4-6 h/dia) ii) Aparelhos produtivos iii) Bombas hidráulicas	Minirrede com armazenamento
Fatores de carga [%]	25%	50%	100%
<15 kW	2,4	1,4	1,2
>=15 <35 kW	1,9	1,3	1,1
>=35 <135 kW	1,3	1,0	1,0
>=135 <200 kW	0,9	0,8	0,8
> 200 kW***	0,8	0,8	0,8

\*) Um fator de conversão de 3,2 kg CO<sub>2</sub> por kg de diesel foi usado (de acordo com as Diretrizes Revisadas do IPCC de 1996 para os Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa)

\*\*) Os números foram derivados das curvas de combustível do manual on-line do modelo PV 2000 da RETScreen International, que pode ser obtido por download no endereço <http://retscreen.net/>

\*\*\*) Valores padrão.

9. Para todos os outros sistemas, a linha de base são os kWh produzidos pela unidade de geração renovável multiplicados por um coeficiente de emissão (medido em kg CO<sub>2</sub>eq/kWh), calculado de maneira clara e conservadora como:

(a) Uma margem combinada (CM), consistindo da combinação da margem operacional (OM) e da margem de construção (BM), de acordo com os procedimentos prescritos na “Ferramenta para calcular o fator de emissão de um sistema elétrico”.

OU

(b) A média ponderada das emissões (em kg CO<sub>2</sub>eq/kWh) da matriz de geração atual. Devem ser usados os dados do ano em que ocorra a geração do projeto.

Os cálculos devem basear-se em dados de uma fonte oficial (se houver)<sup>8</sup> e devem ser divulgados.

<sup>8</sup> Os fatores de emissão da usina usados para calcular os fatores de emissão devem ser obtidos de acordo com a seguinte ordem de prioridade:

1. *Adquiridos diretamente* do centro de despacho ou produtores de energia, se houver; ou
2. *Calculados*, se dados sobre tipo de combustível, fator de emissão do combustível, consumo de combustível e produção de energia puderem ser obtidos para cada usina;

10. No caso das atividades de projeto que envolvam o acréscimo de unidades de geração de energia renovável em uma usina existente de geração de energia renovável, em que a unidade existente e a unidade nova compartilhem o uso de recursos renováveis comuns e limitados (por exemplo, vazão, capacidade do reservatório, resíduos de biomassa), deve-se considerar o potencial da atividade do projeto de reduzir a quantidade de recursos renováveis disponíveis e, assim, a geração de eletricidade pelas unidades existentes, na determinação das emissões da linha de base, emissões do projeto e/ou fugas, conforme o caso.

Para as atividades de projeto que envolvam o acréscimo de novas unidades geradoras (por exemplo, turbinas) em uma usina existente, o aumento da produção de eletricidade associado com o projeto ( $EG_y$  em MWh/ano) deve ser calculado do seguinte modo:

$$EG_y = TE_y - WTE_y \quad (1)$$

Onde:

$TE_y$  é a eletricidade total produzida no ano  $y$  por todas as unidades, as unidades existentes e as de novos projetos;

$WTE_y$  é a eletricidade estimada que teria sido produzida pelas unidades existentes (instaladas antes da atividade do projeto) no ano  $y$  na ausência da atividade do projeto, em que

---

Caso sejam usados dados confidenciais obtidos da autoridade pertinente da Parte anfitriã, o cálculo realizado pelos participantes do projeto deve ser verificado pela Entidade Operacional Designada (EOD), e o Documento de Concepção do Projeto no Âmbito do MDL (CDM-PDD) poderá apenas exibir o fator de emissão de carbono resultante e a lista correspondente de usinas;

3. *Calculados*, conforme acima, mas usando estimativas, tais como: os valores padrão do IPCC das *Diretrizes do IPCC de 1996 para os Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa* para os poderes caloríficos líquidos e os fatores de emissão de carbono para os combustíveis em vez de valores específicos da usina; a eficiência da usina indicada pelo provedor da tecnologia ou a eficiência energética esperada documentada em fontes oficiais (em vez de calculá-la a partir do consumo de combustível e da produção de energia). É provável que essa estimativa seja conservadora, pois nas condições reais de funcionamento, as usinas costumam ter eficiências mais baixas e emissões mais elevadas do que as indicadas nas classificações de desempenho; estimativas conservadoras das eficiências da usina, com base na opinião de especialistas quanto a tecnologia, tamanho e data da entrada em atividade da usina; ou

4. *Calculados*, para a OM simples e a OM média, com o uso de dados da geração agregada e do consumo de combustível, nos casos em que não haja dados mais desagregados.

$$WTE_y = \text{MAX}(WTE_{\text{actual},y}, WTE_{\text{estimated},y}) \quad (2)$$

Onde:

$WTE_{\text{actual},y}$  é a produção de eletricidade real, medida, das unidades existentes no ano  $y$ ;

$WTE_{\text{estimated},y}$  é a eletricidade estimada que teria sido produzida pelas unidades existentes com a disponibilidade observada de recursos renováveis (por exemplo, condições hidrológicas) para o ano  $y$ .

Se as unidades existentes forem fechadas, tiverem suas capacidades reduzidas ou sofrerem limitação da produção, a atividade do projeto não deverá obter créditos pela geração de eletricidade a partir dos mesmos recursos renováveis que teriam sido usados, do contrário, pelas unidades existentes (ou suas substituições). Portanto, a equação para  $WTE$  ainda se mantém e o valor para  $WTE_{\text{estimated},y}$  deve continuar a ser estimado adotando-se a mesma capacidade e parâmetros operacionais que os da época do início da atividade do projeto.

Se as unidades existentes forem submetidas a modificações ou modernizações que aumentem a produção, então  $WTE_y$  poderá ser estimada com o uso dos procedimentos descritos para  $EG_{\text{baseline}}$  abaixo.

11. Para as atividades de projeto que visem modernizar ou modificar uma usina existente de geração de energia renovável, o cenário da linha de base é o seguinte:

Na ausência da atividade de projeto no âmbito do MDL, a usina existente continuaria fornecendo eletricidade à rede ( $EG_{\text{baseline}}$ , em MWh/ano) nos níveis médios históricos ( $EG_{\text{historical}}$ , em MWh/ano) até a época em que seria provável que a usina geradora fosse substituída ou modernizada na ausência da atividade de projeto no âmbito do MDL ( $DATE_{\text{BaselineRetrofit}}$ ). A partir desse momento, supõe-se que o cenário da linha de base corresponda à atividade do projeto e que a produção de eletricidade na linha de base ( $EG_{\text{baseline}}$ ) seja igual à produção de eletricidade do projeto ( $EG_y$ , em MWh/ano) e supõe-se que não ocorram reduções de emissões.

$$EG_{\text{baseline}} = \text{MAX}(EG_{\text{historical}}, EG_{\text{estimated},y}) \text{ até } DATE_{\text{BaselineRetrofit}}$$

$$EG_{\text{baseline}} = EG_y \text{ na/após } DATE_{\text{BaselineRetrofit}}$$

As emissões da linha de base ( $BE_y$  em  $tCO_2$ ) são, então, o produto do fator de emissão da linha de base ( $EF_y$  em  $tCO_2/MWh$ ), vezes a eletricidade fornecida pela atividade do projeto à rede ( $EG_y$  em MWh), menos a eletricidade da linha de base fornecida à rede no caso de instalações modificadas ou modernizadas ( $EG_{baseline}$  em MWh), como se segue:

$$BE_y = (EG_y - EG_{baseline}) \cdot EF_y \quad (3)$$

$EG_{historical}$  é a média da eletricidade fornecida no passado pela usina existente à rede, cobrindo todos os dados do ano mais recente disponível (ou mês, semana ou outro período) à época em que a usina foi construída, modernizada ou modificada de uma forma que tenha afetado significativamente a produção (ou seja, em 5% ou mais), expressa em MWh por ano. É necessário o mínimo de cinco anos (60 meses) (excluindo-se os anos anormais) de dados históricos de geração no caso das hidrelétricas. Para outras usinas, exige-se o mínimo de três anos de dados. No caso de não existirem dados históricos de cinco anos (ou três anos, no caso de atividades de projeto que não envolvam energia hidrelétrica) – por exemplo, em razão de modernizações recentes ou circunstâncias excepcionais como descrito na nota de rodapé4 – deve-se propor uma nova metodologia ou a revisão de uma metodologia.

$EG_{estimated,y}$  é a eletricidade estimada que teria sido produzida pelas unidades existentes com a disponibilidade observada de recursos renováveis (por exemplo, condições hidrológicas) para o ano  $y$ .

Toda a geração de eletricidade do projeto acima dos níveis da linha de base ( $EG_{baseline}$ ) teria sido do contrário gerada pela operação das usinas elétricas e pelo acréscimo de novas fontes geradoras, como refletido nos cálculos da margem combinada (CM) descritos.

Para estimar o momento em que o equipamento existente precisaria ser substituído na ausência da atividade do projeto ( $DATE_{BaselineRetrofit}$ ), os participantes do projeto podem levar em conta as seguintes abordagens:

(a) A média típica da vida útil técnica do tipo de equipamento pode ser determinada e documentada, levando-se em conta as práticas comuns no setor e no país, por exemplo, com base em pesquisas da indústria, estatísticas, obras técnicas, etc.

(b) As práticas comuns da empresa responsável pelos cronogramas de substituição podem ser avaliadas e documentadas, por exemplo, com base nos registros históricos de substituições de equipamentos similares.

O momento no tempo em que o equipamento existente precisaria ser substituído na ausência da atividade do projeto deve ser escolhido de forma conservadora, ou seja, se uma faixa for identificada, a data mais cedo deve ser escolhida.

#### C.1.4 Fugas

12. Se os equipamentos geradores de energia forem transferidos de outra atividade ou se os equipamentos existentes forem transferidos para outra atividade, as fugas deverão ser consideradas.

### C.2 Metodologia III.E – Mitigação da emissão da produção de metano pela decomposição da biomassa através da combustão controlada

#### C.2.1 Technology/measure

1. This project category comprises measures that avoid the production of methane from biomass or other organic matter that:

(a) Would have otherwise been left to decay under clearly anaerobic conditions throughout the crediting period<sup>9</sup> in a solid waste disposal site without methane recovery, or (b) Is already deposited in a waste disposal site without methane recovery.

2. Due to the project activity, decay of the wastes of type referred to in paragraph 1(a) and/or 1(b) above is prevented through one of the following measures:

(a) Controlled combustion.

(b) Gasification to produce syngas/producer gas.

---

<sup>9</sup> Further work is undertaken to investigate to which extent and in which cases methane emissions may occur from stockpiling biomass residues. Subject to further insights on this issue the methodology may be revised.

(c) Mechanical/thermal treatment to produce refuse-derived fuel (RDF) or stabilized biomass (SB)<sup>10</sup> An example of a mechanical/thermal treatment process is the pelletization of wood particles<sup>11</sup>.

3. The produced RDF/SB shall be used for combustion either on site or off-site.

4. Measures are limited to those that result in emission reductions of less than or equal to 60 kt CO<sub>2</sub> equivalent annually.

5. Where in the baseline usually there is a reduction in the amount of waste through regular open burning or removal for other applications, the use of the “tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site” shall be adjusted to take account of this burning or removal in order to estimate correctly the baseline emission.

location and characteristics of the disposal site in the baseline condition shall be known, in such a way as to allow the estimation of its methane emissions.

7. If the project activity involves combustion, gasification or mechanical/thermal treatment of partially decayed waste mined (i.e. removed) from a solid waste disposal site in addition to freshly generated waste the project participants shall demonstrate that there is adequate capacity of the combustion, gasification or mechanical/thermal treatment facility to treat the newly generated wastes in addition to the partially decayed wastes removed from the disposal site. Alternately justifications for combusting, gasifying or mechanically/thermally treating the partially decayed wastes instead of the newly generated wastes shall be provided.

8. If the combustion facility, the produced syngas, producer gas or RDF/SB is used for heat and electricity generation within the project boundary, that component of the project activity shall use a corresponding methodology under type I project activities.

9. In case of RDF/SB production, project proponents shall provide evidence that no GHG emissions occur, other than biogenic CO<sub>2</sub>, due to chemical reactions during the thermal treatment process for example limiting the temperature of thermal treatment to prevent the occurrence of pyrolysis and/or the stack gas analysis<sup>12</sup>.

10. In case of gasification, the process shall ensure that all the syngas produced, which may contain non-CO<sub>2</sub> GHG, will be combusted and not released unburned to

---

<sup>10</sup> The thermal treatment process (dehydration) shall occur under controlled conditions (up to 300 degrees Celsius) and shall generate a stabilized biomass that would be used as fuel or raw material in other industrial processes. Stabilized biomass (SB) is defined as biomass adequately treated to prevent further degradation in the environment. Examples of SB are: pellets, briquettes and torrefied wood chips

<sup>11</sup> Pelletization is defined as the compression of wood particles into modules of solid fuel. The process includes thermal and mechanical pre-treatment of the raw material (e.g. saw dust). Pellets have moisture content of maximal 12%.

<sup>12</sup> See also footnote 2.

the atmosphere. Measures to avoid physical leakage of the syngas between the gasification and combustion sites shall also be adopted.

11. In case of RDF/SB processing, the produced RDF/SB should not be stored in such a manner as resulting in high moisture and low aeration favouring anaerobic decay. Project participants shall provide documentation showing that further handling and storage of the produced RDF/SB does not result in anaerobic conditions and do not lead to further absorption of moisture.

12. In case of RDF/SB processing, local regulations do not constrain the establishment of RDF/SB production plants/thermal treatment plants nor the use of RDF/SB as fuel or raw material.

13. During the mechanical/thermal treatment to produce RDF/SB no chemical or other additives shall be used.

14. In case residual waste from controlled combustion, gasification or mechanical/thermal is stored under anaerobic conditions and/or delivered to a landfill emissions from the residual waste shall to be taken into account using the first order decay model (FOD) described in AMS III.G.

### C.2.2 Boundary

15. The project boundary are the physical, geographical sites:

(a) Where the solid waste would have been disposed or is already deposited and the avoided methane emission occurs in absence of the proposed project activity.

(b) Where the treatment of biomass through controlled combustion, gasification or mechanical/thermal treatment takes place.

(c) Where the final residues of the combustion process will be deposited (this parcel is only relevant to controlled combustion activities).

(d) And in the itineraries between them, where the transportation of wastes and combustion residues and/or residues of gasification and mechanical/thermal treatment process occurs.

### C.2.3 Project Activity Emissions

16. Project activity emissions consist of:

(a) CO<sub>2</sub> emissions related to the gasification and combustion of the non-biomass carbon content of the waste (plastics, rubber and fossil derived carbon) or RDF/SB and auxiliary fossil fuels used in the combustion, gasification or mechanical/thermal treatment facility,

(b) Incremental CO<sub>2</sub> emissions due to:

I. Incremental distances between the collection points to the project site as compared to the baseline disposal site.

II. Transportation of combustion residues and final waste from controlled burning to disposal site.

III. Transportation of RDF/SB from the mechanical/thermal treatment facility to the storage site within the project boundary.

IV. Transportation of RDF/SB to the sites of the end users (if some of the sites are unknown a conservative approach assuming transport emissions for a specific distance, for example a default of 250 km, shall be used).

(c) CO<sub>2</sub> emissions related to the fossil fuel and/or electricity consumed by the project activity facilities, including the equipment for air pollution control required by regulations. In case the project activity consumes grid-based electricity, the grid emission factor (tCO<sub>2e</sub>/MWh) should be used, or it should be assumed that diesel generators would have provided a similar amount of electricity, calculated as described in category I.D.

$$PE_y = PE_{y,comb} + PE_{y,transp} + PE_{y,power} \quad (1)$$

Where:

PE<sub>y</sub> - Project activity direct emissions in the year "y" (tCO<sub>2e</sub>)

PE<sub>y,comb</sub> - Emissions through combustion and gasification of non-biomass carbon of waste and RDF/SB in the year "y"(tCO<sub>2e</sub>)

PE<sub>y,transp</sub> - Emissions through incremental transportation in the year "y"(tCO<sub>2e</sub>)

PE<sub>y,power</sub> - Emissions through electricity or diesel consumption in the year "y"(tCO<sub>2e</sub>)

17. The expected annual quantity (tonnes) and composition of the waste combusted, gasified or mechanically/thermally treated by the project activity during the crediting period shall be described in the project design document, including the biomass and non-biomass carbon content of the combusted or gasified waste and RDF/SB (Q<sub>biomass</sub> and Q<sub>non-biomass</sub>).

The expected consumption of auxiliary fuel for the incineration, gasification, mechanical/thermal treatment process (Q<sub>fuel</sub>) should also be reported in the project design document. CO<sub>2</sub> emissions from the combustion of the non-biomass (i.e., fossil) carbon content of the wastes and RDF/SB and from the auxiliary fossil fuel consumed will be estimated assuming the complete oxidation of carbon to CO<sub>2</sub> in the combustion.

$$PE_{y,comb} = Q_{y,non-biomass} * 44/12 + Q_{y,fuel} * EF_{y,fuel} \quad (2)$$

Where:

Q<sub>y,non-biomass</sub> - Non-biomass carbon of the waste and RDF/SB combusted/gasified in the year "y" (tonnes of carbon)

Q<sub>y,fuel</sub> - Quantity of auxiliary fossil fuel used in the year "y" (tonnes)

EF<sub>y,fuel</sub> - CO<sub>2</sub> emission factor for the combustion of the auxiliary fossil fuel (tonnes CO<sub>2</sub> per tonne fuel, according to latest IPCC Guidelines)

18. Project activity emissions from trucks for incremental collection activities will be estimated and considered as project activity emissions.

$$PE_{y,transp} = (Q_y/CT_y) * DAF_w * EF_{CO2} + (Q_{y,ash}/CT_{y,ash}) * DAF_{ash} * EF_{CO2} + (Q_{y,RDF/SB}/CT_{y,RDF/SB}) * DAF_{RDF/SB} * EF_{CO2} \text{ (3)}$$

Where:

$Q_y$  - Quantity of waste combusted, gasified or mechanically/thermally treated in the year “y” (tonnes)

$CT_y$  - Average truck capacity for waste transportation (tonnes/truck)

$DAF_w$  - Average incremental distance for waste transportation (km/truck)

$EF_{CO2}$  -  $CO_2$  emission factor from fuel use due to transportation (t $CO_2$ /km, IPCC default values or local values)

$Q_{y,ash}$  - Quantity of combustion and gasification residues and residues from mechanical/thermal treatment produced in the year “y” (tonnes)

$CT_{y,ash}$  - Average truck capacity for residues transportation (tonnes/truck)

$DAF_{ash}$  - Average distance for residues transportation (km/truck)

$Q_{y,RDF/SB}$  - Quantity of RDF/SB produced in the year “y” (tonnes)

$CT_{y,RDF/SB}$  - Average truck capacity for RDF/SB transportation (tonnes/truck)

$DAF_{RDF/SB}$  - Aggregate average distance for RDF/SB transportation to the storage in the production site as well as to the end user sites (km/truck)

19. If the project activity includes wastewater release, which are treated anaerobically or released untreated, methane emission shall be considered as project emissions and estimated using the provisions of AMS III.H.

#### C.2.4 Baseline

20. The baseline scenario is the situation where, in the absence of the project activity, organic waste matter is left to decay within the project boundary and methane is emitted to the atmosphere. The yearly baseline emissions are the amount of methane that would have been emitted from the decay of the cumulative quantity of the waste diverted or removed from the disposal site, to date, by the project activity, calculated as the methane generation potential using the first order decay model (FOD) described in AMS III.G.

21. In the case of project activities combusting, gasifying or mechanically/thermally treating only freshly generated wastes, the baseline emissions at any year “y” during the crediting period is calculated using the amount and composition of wastes combusted, gasified or mechanically/thermally treated since the beginning of the project activity (year “x=1”) up to the year “y”, using the first order decay model as referred to in AMS III.G. Baseline emissions shall exclude methane emissions that would have to be removed to comply with national or local safety requirement or legal regulations.

$$BE_y = BE_{CH4,SWDS,y} - MD_{reg,y} * GWP_{CH4} \text{ (4)}$$

Where:

BE<sub>y</sub> - Baseline emissions at year “y” during crediting period (tCO<sub>2e</sub>)

BE<sub>CH<sub>4</sub>,SWDS,y</sub> - Yearly Methane Generation Potential of the wastes diverted to be disposed in the landfill from the beginning of the project (x=1) up to the year “y”, calculated according to MAS III.G (tCO<sub>2e</sub>).

MD<sub>reg,y</sub> - Methane that would be destroyed or removed in the year “y” for safety or legal regulation

GWP<sub>CH<sub>4</sub></sub> - Global Warming Potential for methane (value of 21)

22. In the case of project activities that combust, gasify or mechanically/thermally treat wastes that have partially decayed in a disposal site, the calculation of the yearly methane generation potential of the wastes combusted, gasified or mechanically/thermally treated from the project beginning (x=1) up to the year “y” will consider the age of the wastes at the start of the project. One of the following options may be used:

(a) Estimate the mean age of the wastes contained in the disposal site in the beginning of the project activity (“ $\bar{a}$ ”). It may be estimated as the weighted average age considering the yearly amount of wastes deposited in the SWDS since its beginning of operation up to the year prior to the start of the project:

$$\bar{a} = \frac{1 \cdot A_1 + 2 \cdot A_2 + 3 \cdot A_3 + \dots + a \cdot A_a}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_a} = \frac{\sum_{a=1}^{a_{\max}} A_a \cdot a}{\sum_{a=1}^{a_{\max}} A_a} \quad (5)$$

Where:

$\bar{a}$  - Weighted mean age of the wastes present in the SWDS prior to the project start,  
 a - Years before project start, starting in the first year of waste disposal (a=1) up to the maximal age of the wastes contained in the SWDS at the project start (a=amax.)

A<sub>a</sub> - Total amount of waste deposited in the SWDS in each year “a”. It shall be obtained from recorded data of waste disposals, or estimated according to the level of the activity that generated the wastes (for example, considering the amount of wood processed by a sawmill in each year “a”, and estimating the amount of wastes generated and disposed in the SWDS in that year).

If the yearly amount of waste deposited in the SWDS cannot be estimated, then an arithmetic mean age may be used ( $\bar{a} = 0.5 \cdot a_{\max}$ ). By using this option, the baseline emissions at any year “y” during the crediting period are calculated using the same formula as provided in the last paragraph, nevertheless, the exponential term for the First Order Decay Model “exp [-k<sub>j</sub>·(y-x)]” will be corrected for the mean age, and will be substituted by “exp[-k<sub>j</sub>·(y-x+ $\bar{a}$ )]”.

(b) Calculate the yearly methane generation potential of the SWDS as described in AMS III.G., considering the total amount and composition of wastes deposited since its start of operation. The methane generation potential of the wastes removed to be combusted, gasified or

mechanically/thermally treated up to the year “y” in the crediting period will be estimated as proportional to the mass fraction of these wastes, relative to the initial amount:

$$BE_y = \frac{\sum_{x=1}^y A_x}{A} BE_{CH_4, SWDS, y} - MD_{reg, y} * GWP_{CH_4} \quad (6)$$

Where:

$A_x$  - Amount of wastes removed to be combusted, gasified or mechanically/thermally treated in the year “x” (tonnes)

$A$  - Total amount of wastes present in the SWDS at the beginning of the project activity (tonnes)

$BE_{CH_4, SWDS, y}$  - Yearly methane generation potential of the SWDS at the year “y”, considering all the wastes deposited in it since its beginning of operation, and without considering any removal of wastes by the project activity.

(c) Estimate the quantity and the age distribution of the wastes removed each year “x” during the crediting period<sup>13</sup>, and calculate the methane generation potential of these wastes in the year “y”. For example, in the year  $x=2$  of the project activity, the amount “A2” was removed to be combusted, gasified or mechanically/thermally treated, and this amount can be divided into “A2,n” parts, each part belonging to the age “n”. In the year “y” the methane generation potential of the portions removed from the SWDS may be estimated as:

$$BE_y = \sum_{n=n_{min}}^{n_{max}} BE_{CH_4, SWDS, y, n} - MD_{reg, y} * GWP_{CH_4} \quad (7)$$

Where:

$BE_{CH_4, SWDS, y, n}$  - Yearly methane generation potential of the wastes removed since the beginning of the project activity “x=1” up to the year “y” during the crediting period, segregated according to its age “n” at the time of removal (tCO<sub>2e</sub>). It is calculated

<sup>13</sup> Age distribution is the discrete partitioning of the waste by age (i.e., the number of years since it was generated and deposited at the site). The estimation of the age of the portions of waste being removed from the disposal site and combusted, gasified or mechanically/thermally treated each year may be done by topographical modelling of the wastes present in the relevant sections of the disposal site. This approach should include segregation of the wastes into even-age layers or volumetric blocks based on historical or constructive data (design of the disposal site). This information on quantity, composition, and age may be based on (a) historical records of the yearly mass and composition of waste deposited in the section of the disposal site where waste is being removed for combustion, gasification or mechanical/thermal treatment; or (b) historical production data for cases in which the waste at the site is dominated by relatively homogeneous industrial waste materials (e.g., waste by-products from sawmills or finished wood product manufacturing). Option (b) that uses historical industrial production data should apply the following steps. Step1: Estimate the total mass of waste at the disposal site in the section where it is to be removed based on the section’s volume and the average density of the waste. Step 2: Apportion the mass of waste in this section into waste types and ages using historical records on the output of products produced in a given year from the industrial facility and factors for the average mass of waste by-products produced per unit of each product.

using the tool referred to in III-G, substituting the exponential term for the First Order Decay Model " $\exp[-k_j \cdot (y-x)]$ " by " $\exp[-k_j \cdot (y-x+n)]$ ".

## ANEXO D - Engenhos beneficiadores de arroz do Rio Grande do Sul

**Tabela 30 – Engenhos beneficiadores e quantidade de arroz beneficiado, em sacos de 50 kg (2006)**

<b>Município</b>	<b>Engenho</b>	<b>Total</b>
AGUDO	COOPERATIVA AGRICOLA MISTA AGUDENSE LTDA.	312.259
AGUDO	DICKOW & CIA. LTDA.	1.582.790
ALEGRETE	COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL ALEGRETE LTDA.	2.919.551
ALEGRETE	PILECO & CIA. LTDA.	1.971.495
ARAMBARE	CEREALISTA TAVARES LTDA.	2.906
ARROIO DOS RATOS	ARROZEIRA DALBEM LTDA.	4.075
ARROIO DOS RATOS	CEREASUL - IND. TRANSP. E COM. DE CEREAIS LTDA.	457.379
ARROIO DOS RATOS	INDUGRAOES INDUSTRIAL E COML. DE GRAOS EM GERAL LTDA.	51.349
ARROIO GRANDE	COMERCIO DE CEREAIS AMARILHO LTDA.	254.706
ARROIO GRANDE	SANTA CLARA - IND.COM.BENEF.IMP. E EXP. DE CEREAIS LTDA.	40.905
BAGE	CEOLIN & CIA. LTDA.	328.875
BAGE	COOPERATIVA AGRICOLA MISTA ACEGUA LTDA.	166.175
BAGE	CORADINI & FILHOS LTDA.	593.092
BAGE	F. N. SALIM MANSUR	41.621
BAGE	PILLON INDUSTRIA E COMERCIO DE ARROZ LTDA.	206.532
BARRA DO QUARAI	ENGENHO MORIN LTDA.	2.338
BARRA DO RIBEIRO	BAUER ALIMENTOS LTDA.	136.302
BARRA DO RIBEIRO	COM. BENEF. ARROZ NETTE LTDA.	7.141
BARRA DO RIBEIRO	OLIZSEWSKI & FEIJO LTDA. - ME	575
BUTIA	DALBEM ALIMENTOS LTDA.	279.438
CACAPAVA DO SUL	COOPERATIVA TRITICOLA CACAPAVANA LTDA.	455.341
CACEQUI	CLAUDIO SILVA DE MELO & CIA LTDA.	1.284
CACEQUI	INDUSTRIA E COMERCIO DE CEREAIS BEIJA-FLOR LTDA. - MATRIZ	9.241
CACEQUI	INDUSTRIA E COMERCIO DE CEREAIS HOCH LTDA.	220
CACHOEIRA DO SUL	ALFREDO A. TREICHEL & CIA. LTDA.	679.085
CACHOEIRA DO SUL	COOPERATIVA AGRICOLA CACHOEIRENSE LTDA	742.878
CACHOEIRA DO SUL	EDSON VELOSO	847
CACHOEIRA DO SUL	ENGENHO MORAES LTDA.	285.327
CACHOEIRA DO SUL	IRMAOS TREVISAN S/A. IND. COM. E AGRIC.	192.460

CAMAQUA	ARROZEIRA BOM JESUS LTDA.	332.813
CAMAQUA	CAMAQUA ALIMENTOS LTDA.	2.694.995
CAMAQUA	CAMIL ALIMENTOS S.A	4.822.145
CAMAQUA	CEREALISTA CARDOSO LTDA.	5.402
CAMAQUA	SANTALUCIA S.A - FILIAL 4	1.059.053
CAMAQUA	SANTALUCIA S.A - FILIAL 2	1.739.914
CAMAQUA	SUPERMERCADO MACLA LTDA.	1.407
CAMPO NOVO	COOPERATIVA TRITICOLA MISTA CAMPO NOVO LTDA.	250
CANDELARIA	COOPERATIVA AGRICOLA CACHOEIRENSE LTDA.	69.532
CANDELARIA	ARROZEIRA CANDELARIA LTDA.	193.950
CANDELARIA	H. PORTO & CIA. LTDA.	1.290
CANDELARIA	JULIANO G. ERNSI	330
CANDELARIA	WALTER ALBERTO BESKOW & CIA. LTDA.	12.420
CANDELARIA	COOPERATIVA AGRICOLA CACHOEIRENSE LTDA.	17.358
CAPAO DO LEAO	M A D ESPINELLI & CIA. LTDA.	43
CAPIVARI DO SUL	CODIL ALIMENTOS LTDA.	563.278
CAPIVARI DO SUL	COOPERATIVA RIZICOLA PITANGUEIRAS LTDA..	436.773
CAPIVARI DO SUL	LUIZ CARLOS RAMOS DOS SANTOS	617
CERRITO	ARROZEIRA PAUSER LTDA.	1.715
CERRO GRANDE DO SUL	IRMAOS SCHWALM LTDA. IND. COM. E BENEF. DE ARROZ	3.322
CHARQUEDAS	COOP. DE PROD. AGROP. DOS ASSENTADOS CHARQUEADA LTDA.	100
CRISTAL	ANTONIO REGUEIRA	540
CRUZ ALTA	CASSALI CEREAIS LTDA.	757
CRUZ ALTA	JORGE LINASSI	200
DOM PEDRITO	CORADINI ALIMENTOS LTDA.	835.808
DOM PEDRITO	CBS ALIMENTOS LTDA.	552.433
DOM PEDRITO	COOPERATIVA REGIONAL TRITICOLA SERRANA LTDA.	1.524.190
DOM PEDRITO	ENGENHO DE ARROZ CORADINI LTDA.	230.520
DOM PEDRITO	ENGENHO DE ARROZ CORADINI LTDA. - FILIAL	646.400
DOM PEDRITO	HENING & CIA. LTDA.	349.864
DONA FRANCISCA	COOPERATIVA AGRICOLA MISTA NOVA PALMA LTDA.	403.467
DONA FRANCISCA	ENGENHO SARI LTDA.	6.175
ELDORADO DO SUL	ENGENHO A. M. LTDA.	1.304.940
CACHOEIRINHA	MASTERFOODS BRASIL ALIMENTOS LTDA	446.256

ESPUMOSO	COOPERATIVA TRITICOLA DE ESPUMOSO LTDA.	18
FAXINAL DO SOTURNO	COOPERATIVA AGRICOLA MISTA SANTO ISIDORO LTDA.	370.517
FORMIGUEIRO	ARROZEIRA SEPEENSE S/A	319.189
FREDERICO WESTPHALEN	BOLSI & BOLSI LTDA.	12.143
GIRUA	STERLI GRUN GAIST	100
GLORINHA	BENEF. E COMERCIO CEREAIS São CARLOS LTDA.	7.025
GLORINHA	GRACEL IND. E COM. DE CEREAIS LTDA.	83.214
GLORINHA	SOARES VARGAS & VARGAS LTDA.	55.030
GRAVATAI	GAITEIRO CEREAIS LTDA.	97.725
GUAIBA	OUTO BELO COM. DE CEREAIS LTDA.	41.056
GUAIBA	COOTRAG ALIMENTOS LTDA.	51.710
INDEPENDENCIA	AGROCIL-AGROP. E CEREALISTA INDEPENDENCIA LTDA.	208
ITAQUI	CAMIL ALIMENTOS S.S (URS-1)	5.228.373
ITAQUI	COMERCIAL DE PRODUTOS AGRICOLAS PITANGUEIRAS LTDA.	311.493
ITAQUI	JOSAPAR - JOAQUIM OLIVEIRA S/A PARTICIPACOES	3.045.755
ITAQUI	JOSAPAR JOAQUIM OLIVEIRA S/A PARTIPACOES	90.184
ITAQUI	PRADEBOM & SCHRAMM LTDA.	128.766
ITAQUI	RARAZ AGROINDUSTRIAL DO SUL LTDA.	1.082.550
JAGUARAO	QUERO-QUERO INDUSTRIA E COMERCIO DE CEREAIS	350.485
JAGUARI	CARLAN & CIA. LTDA.	30.621
JAGUARI	COOPERATIVA AGRICOLA JAGUARI LTDA.	327.354
MACAMBARA	CAMIL ALIMENTOS S/A	188.165
MANOEL VIANA	COLPO IND. E COM. DE CEREAIS LTDA.	2.932
MARIANA PIMENTEL	IRMAOS WIENSKOSKI LTDA.	16.174
MATA	CEREREAIS PEGER LTDA.	167.323
MOSTARDAS	AGROTRATOR ALIMENTOS LTDA.	204.250
MOSTARDAS	ARROZEIRA ONIFILHOS IND. E COM. DE CEREAIS LTDA.	41.999
MOSTARDAS	ARROZEIRA GML LTDA.	17.452
NOVA SANTA RITA	ARROZELLA - ARROZEIRA TORELLA LTDA.	669.735
NOVA SANTA RITA	CACAROLA COM. DE CEREIAS LTDA.	18.534
NOVO CABRAIS	CEREALISTA POTREIRINHO LTDA.	13.061
OSORIO	CAMARGO TREVISAN & CIA. LTDA.	23.801
OSORIO	CEREALISTA LINHARES LTDA.	54.302
OSORIO	E. P. FERRARI & CIA. LTDA.	23.610

OSORIO	EVANDRO O. DE OLIVEIRA	17.992
PALMARES DO SUL	COOPERATIVA ARROZEIRA PALMARES LTDA.	1.099.800
PALMARES DO SUL	J. D. SPONNEMBENGER	10.136
PALMARES DO SUL	MGVL ALIMENTOS LTDA.	65.928
PANTANO GRANDE	ARROZEIRA PANTANO GRANDE LTDA.	45.944
PANTANO GRANDE	CEREALISTA EIDT LTDA.	122.778
PANTANO GRANDE	COOPERATIVA TRITICOLA DE ESPUMOSO LTDA.	408.667
PARAISO DO SUL	AUGUSTO W. SCHLERNER - MATRIZ	187.435
PASSO DO SOBRADO	DILSON ERNESTO FANK & CIA. LTDA.	17.968
PASSO FUNDO	FERNANDO SPEDITO ZAMBENEDETTI	200
PELOTAS	ALVACIR JOSE KUTSCHER	3.247
PELOTAS	ARROZEIRA FLORESTA LTDA.	11.337
PELOTAS	ARROZEIRA PELOTAS INDUSTRIA E COMERCIO DE CEREAIS LTDA.	556.533
PELOTAS	ARROZEIRA PEROLA LTDA.	8.643
PELOTAS	CEREALISTA OBELISCO LTDA.	28.645
PELOTAS	CEREAIS DIAMANTE LTDA.	191.465
PELOTAS	COOPERATIVA AGRÍCOLA MISTA DE PELOTAS LTDA. - CAMPTEL	319.316
PELOTAS	COOPERATIVA ARROZEIRA EXTREMO SUL LTDA.	1.344.271
PELOTAS	DELTA COMERCIO E INDUSTRIA LTDA.	115.800
PELOTAS	DOMINGOS CASARIN & CIA. LTDA.	146.624
PELOTAS	EFEGE - ARMAZENAMENTO E ADMINISTRAÇÃO DE BENS LTDA.	907.367
PELOTAS	EHLERT INDUSTRIA E COMERCIO LTDA.	36.437
PELOTAS	ENGENHO SANTA TEREZINHA LTDA.	1.479
PELOTAS	ENGENHO SAO JOAQUIM IND. E COM. LTDA.	504.000
PELOTAS	JOSAPAR - JOAQUIM OLIVEIRA S/A PARTICIPACOES	5.053.407
PELOTAS	KROLOW & CIA. LTDA.	39.401
PELOTAS	MILTON MILACH	35.779
PELOTAS	NELSON WENDT & CIA. LTDA.	3.156.658
PELOTAS	OTERO COMERCIO DE CEREAIS LTDA.	321.664
PELOTAS	PRODUTOS ALIMENTICIOS ORLANDIA S/A COM. INDUSTRIA	482.526
PELOTAS	RUBENS PERLEBERG & CIA. LTDA.	293.690
PELOTAS	SLC ALIMENTOS S.A	1.194.521
RESTINGA SECA	ADAO JOSE OZORIO	702
RESTINGA SECA	CEREALISTA SAO MIGUEL	76.577

RESTINGA SECA	COOPERATIVA TRITICOLA SEPEENSE LTDA.	773.068
RESTINGA SECA	CEREALISTA HATSCHBACH LTDA.	14.697
RESTINGA SECA	IRMAOS NIEMEYER & CIA. LTDA.	351.019
RESTINGA SECA	JOAO VALMOR M. DA SILVA & FILHOS LTDA.	50.252
RESTINGA SECA	PEDRO ALCEU MARCUZZO	1.588
RIO GRANDE	MATTOS & FIGUEIREDO LTDA.	12.818
RIO GRANDE	PAMPASUL ALIMENTOS LTDA.	312.752
RIO PARDO	COOPERATIVA AGRICOLA RIO PARDO LTDA.	651.093
RIO PARDO	IMPORTADORA E EXPORTADORA DE CEREAIS S.A	362.689
ROSARIO DO SUL	CEREALISTA BRONDANI LTDA.	438
ROSARIO DO SUL	COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL DE ROSARIO DO SUL LTDA.	187.111
SANTA CRUZ DO SUL	CEREALISTA SIMON LTDA	3.640
SANTA CRUZ DO SUL	ISERHARD ENGENHO DE ARROZ LTDA.	81.107
SANTA MARGARIDA DO SUL	CEREALISTA STECKEL INDUSTRIA E COMERCIO LTDA.	141.322
SANTA MARIA	ADOLFO MARZARI & CIA. LTDA.	765.197
SANTA MARIA	AMAURI GUIDOLIN & CIA. LTDA.	24.169
SANTA MARIA	ALDIR ANDREOLI	4.247
SANTA MARIA	COOPERATIVA DE ARROZ CAMOBI LTDA.	155.706
SANTA MARIA	FAVARIN & CIA. LTDA.	9.850
SANTA MARIA	FIGHERA & CIA. LTDA.	21.441
SANTA MARIA	FREITAS & CIA. LTDA.	35.736
SANTA MARIA	GUERINO ROSA & FILHOS LTDA.	6.425
SANTA MARIA	INDUBER-INDUSTRIA DE ALIMENTOS BERLEZE LTDA.	8.192
SANTA MARIA	INDUSTRIA E COM. DE CEREAIS SANTO ANGELO LTDA.	40
SANTA MARIA	IRMAOS PILLON LTDA.	141.329
SANTA MARIA	J. FIGHERA & CIA. LTDA.	549.063
SANTA MARIA	JOSE ASSIS NETTO DA TRINDADE	5.733
SANTA MARIA	V J INDUSTRIA COMERCIO IMPORTAÇÃO § EXPORTAÇÃO LTDA.	132.066
SANTA MARIA	NELCI CEZAR BIZZI	3.844
SANTA MARIA	PRIMO BERLEZE E CIA. LTDA.	36.070
SANTA MARIA	TIGASA INDUATRIA & COMERCIO LTDA.	12.123
SANTA VITORIA DO PALMAR	ARY SANTANA DOS SANTOS PEREIRA	524
SANTA VITORIA DO PALMAR	JORGE COUTINHO SCHMIDT	80.326
SANTA VITORIA DO PALMAR	PRODUTOS ALIMENTICIOS ORLANDIA S.A COM IND.	5.067

SANTANA DO LIVRAMENTO	ERNI SCHUTZ E FILHOS LTDA.	4.341
SANTANA DO LIVRAMENTO	OVIEDO - COMERCIO IMPORTACAO E EXPORTACAO LTDA.	10.355
SANTIAGO	COOPERATIVA REGIONAL TRITICOLA SANTIAGUENSE LTDA.	3.478
SANTIAGO	IEDA MARIA N. BERGUENMAYER-ME	639
SANTO ANGELO	ADEMAR COLETTI E CIA. LTDA	600
SANTO ANGELO	VOLMAR PIRES & CIA. LTDA.	2.643
SANTO ANT. DA PATRULHA	A. R. GARCIA E CIA. LTDA.	100
SANTO ANT. DA PATRULHA	ARROZ DEMELLO LTDA.	187.649
SANTO ANT. DA PATRULHA	ARROZEIRA DOIS AMIGOS LTDA.	1.390
SANTO ANT. DA PATRULHA	CEREALISTA COSTA LTDA.	37.677
SANTO ANT. DA PATRULHA	ARROZAGRO CEREALISTA LTDA.	99.705
SANTO ANT. DA PATRULHA	COMAL COMERCIO DE ARROZ LTDA.	905
SANTO ANT. DA PATRULHA	GOMES BENEFICIAMENTO DE ARROZ LTDA.	55.222
SANTO ANT. DA PATRULHA	GRANERGS COM. BENEF. DE CEREAIS LTDA.	33.552
SANTO ANT. DA PATRULHA	J. C. MEIRELES DA SILVA	122.538
SANTO ANT. DA PATRULHA	J. C. O. GARCIA	124
SANTO ANT. DA PATRULHA	L.. C. MACHADO ARROZ	9.382
SANTO ANT. DA PATRULHA	M F GOMES & CIA. LTDA.	4.326
SANTO ANT. DA PATRULHA	MASSULO - COMERCIO E BENEFICIAMENTO DE ARROZ LTDA.	93.960
SANTO ANT. DA PATRULHA	TIO JORGE DISTRIB. DE ALIMENTOS IMP. E EXP. LTDA.	302.664
SANTO ANT. DA PATRULHA	V. CARDOSO SILVA & SILVA LTDA.	1.032
SANTO ANT. DA PATRULHA	TERRA SANTA DE PROD. ALIMENT. LTDA. - FILIAL	29.234
SANTO AUGUSTO	ARLINDO PASQUALOTTI	100
SAO BORJA	4M ALIMENTOS LTDA.	63.405
SÃO BORJA	ADRIANA REGINA PEREIRA	3.550
SAO BORJA	ARROZEIRA BEIRA RIO LTDA.	63.086
SAO BORJA	A. MILANEZ & CIA. LTDA.	433.085
SAO BORJA	CERALISTA ALBARUSKA LTDA.	786.354
SAO BORJA	CEREAIS BACCIN LTDA.	1.298
SAO BORJA	CEREAIS PASSO LTDA.	45.808
SAO BORJA	CEREALISTA MANUA LTDA.	130.253
SAO BORJA	CEREALISTA ORYZA LTDA.	200.222
SAO BORJA	CEREALISTA STRECK LTDA.	374.293
SAO BORJA	CIAGRO-COMERCIO E REPRESENT. DE INSUMOS AGRICOLAS LTDA.	428.235

SAO BORJA	COMERCIAL DE CEREAIS SANTOS MENDES	17.596
SAO BORJA	COOPERATIVA TRITICOLA SAOBORJENSE LTDA.	102.022
SAO BORJA	ENGENHO DE ARROZ SAO JOSE LTDA.	394.890
SAO BORJA	ENIO ROLIM	253.220
SAO BORJA	ICR CEREAIS LTDA.	334.816
SAO BORJA	ITAMAR A. DELLA FLOR FILIAL 01	4.706
SÃO BORJA	JOSE CARTURANI	1.794
SAO BORJA	PIRAHY ALIMENTOS LTDA.	1.981.261
SAO BORJA	PIRAHY ALIMENTOS LTDA.- FILIAL 01	3.350.317
SAO GABRIEL	ARMANDO LAURO PRIEBNOW	50
SAO GABRIEL	JOAQUIM OLIVEIRA S.A PARTICIPACOES - JOSAPAR - FILIAL	29.567
SAO GABRIEL	PAULO ROBERTO DA SILVA CHARAO - ME	662
SAO GABRIEL	URBANO AGROINDUSTRIAL LTDA.	2.541.637
SAO JOAO DO POLESINE	ARNUTI & CIA. LTDA.	40.225
SAO JOAO DO POLESINE	CEREALISTA ALBERTI LTDA.	17.060
SAO JOAO DO POLESINE	FAUSTO DOTTO & CIA. LTDA.	54.250
SAO LOURENCO DO SUL	COOPERATIVA DE ARROZ DE SAO LOURENCO DO SUL LTDA.	72.691
SAO LOURENCO DO SUL	INDUSTRIA COMERCIO E REPRESENTACOES LIDER LTDA.	133.731
SAO LOURENCO DO SUL	SCHMALLFUSS CIA. LTDA.	103.661
SAO LUIZ GONZAGA	COOPERATIVA TRITICOLA REG. SAO LUIZENSE LTDA.	229.920
SAO PEDRO DO SUL	CEREAIS CEILA LTDA.	44.264
SAO PEDRO DO SUL	COOPERATIVA MISTA DOS AGRICULTORES DE TOROPI LTDA.	27.769
SAO PEDRO DO SUL	DOELER ALIMENTOS LTDA.	317.192
SAO PEDRO DO SUL	FIORAVANTE E. SAVIAN	659
SAO PEDRO DO SUL	LURDES FACHINI MARAFIGA	913
SAO PEDRO DO SUL	PAGLIARIN & CIA. LTDA.	267.308
SAO SEPE	ARROZEIRA SEPEENSE S/A.	286.124
SAO SEPE	CEREALISTA SEPEENSE LTDA.	186.679
SAO SEPE	COOPERATIVA TRITICOLA SEPEENSE LTDA. - MATRIZ	2.031.071
SAO SEPE	MOINHO SEPEENSE LTDA.	84.244
SAO VICENTE DO SUL	IAGUA DISTRIBUIDORA DE PRODUTOS ALIMENTICIOS LTDA.	480
SENTINELA DO SUL	JOÃO BATISTA AMADEO VOLEMANN	5.394
SERTAO SANTANA	CEREALISTA BELLARROZ LTDA.	7.169
SERTAO SANTANA	COMERCIAL DE CEREAIS DALBEM LTDA.	86.663

SERTAO SANTANA	COMERCIAL DE CEREAIS MANINHO LTDA. ME	39.611
SERTAO SANTANA	FAZE - COMERCIO DE CEREAIS LTDA.	224.566
SERTAO SANTANA	JUAREZ PINZON	190
SERTAO SANTANA	LINEU PINZON	1.115.560
SERTAO SANTANA	ROSINA INDUSTRIA, TRANSPORTE E COMERCIO DE CEREAIS LTDA.	417.767
SOLEDADE	CFN INDUSTRIA E COMERCIO DE CEREAIS LTDA.	91.209
TAPES	IMPORTADORA E EXPORTADORA DE CEREAIS ROSVARE LTDA.	316.320
TAPES	INBRACEL INDUSTRIA BRASILEIRA DE CEREAIS LTDA.	1.037.168
TAPES	STIVAL ALIMENTOS INDUSTRIA E COMERCIO LTDA.	251.105
TAQUARI	COOP. REG. ENERG. DESENV. RURAL TAQUARI JACUI LTDA.	112.707
TERRA DE AREIA	N. M. GOLDANI CEREAIS	988
TORRES	SOUZA, TEIXEIRA, FLORIANO & CIA. LTDA.	2.978
TUPANCIRETA	COOPERATIVA AGRICOLA TUPANCIRETA LTDA. - AGROPAN	2.547
URUGUAIANA	BRANDALISE INSDUSTRIA E COMERCIO DE CEREAIS LTDA.	20.927
URUGUAIANA	CERATTI AGRONEGOCIOS LTDA.	126.102
URUGUAIANA	CEREALISTA GUAIRA LTDA LTDA.	1.413.589
URUGUAIANA	EMBRARROZ ALIMENTOS LTDA.	250.264
URUGUAIANA	GENESIO CEOLIN & CIA. LTDA.	113.813
URUGUAIANA	JUMA AGRICULTURA E PECUÁRIA IMP. E EXPORTAÇÃO LTDA.	297.940
URUGUAIANA	NATESUL ALIMENTOS LTDA.	129.247
URUGUAIANA	S. MAIOLE E CIA. LTDA.	13.320
URUGUAIANA	SANO E CIA LTDA.	178.400
URUGUAIANA	TANIA CRISTINA MENEZES MONTEIRO	35.899
URUGUAIANA	ZAELI ALIMENTOS SUL LTDA.	2.100.220
VALE VERDE	KUNDE CEREAIS LTDA.	52.105
VALE VERDE	VALE VERDE COMÉRCIO DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS LTDA.	1.511
VENANCIO AIRES	ARMINDO LAVERMANN SANTOS	48.000
VENANCIO AIRES	ALICE INES WINCKELAMNN	180
VERA CRUZ	BOM CERTEN COMERCIO E BENEFICIAMENTO DE ARROZ LTDA.	355
VIAMÃO	ENGENHO VIAMONENSE IND. E COM. DE CEREAIS LTDA.	96.762
VIAMÃO	J. M. ROCHA & CIA. LTDA.	50.344
VIAMÃO	OURO BRANCO IND. E COM. DE CEREAIS LTDA..	73.992
VIAMÃO	VILLA REAL IND. E COMERCIO DE CEREAIS LTDA.	81.655

Fonte: IRGA (2008)

## ANEXO E – Fatores de emissão para o Sistema Interligado Nacional (SIN)

**Tabela 31 – Fator de emissão para o SIN (tCO<sub>2</sub>/MWh).**

Mês	Fator de margem de construção	Fator de margem de operação	Fator de emissão
Jan	0,91	0,17	0,54
Fev	0,97	0,17	0,57
Mar	0,97	0,17	0,57
Abril	0,96	0,17	0,57
Maio	1,00	0,17	0,59
Jun	0,98	0,17	0,58
Jul	1,02	0,17	0,60
Ago	1,01	0,17	0,59
Set	1,03	0,17	0,60
Out	0,82	0,17	0,49
Nov	0,97	0,17	0,57
Dez	0,86	0,17	0,52
Médio	-	-	0,5659

Fonte: MCT (2007)

## ANEXO F – Estrutura Tarifária<sup>14</sup>

Define-se estrutura tarifária como sendo o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência, de acordo com a modalidade de fornecimento.

No Brasil, as tarifas de energia elétrica estão estruturadas em dois grandes grupos de consumidores: “grupo A” e “grupo B”.

### F.1 Tarifas do grupo A

As tarifas do “grupo A” são para consumidores atendidos pela rede de alta tensão, de 2,3 a 230 quilovolts (kV), e recebem denominações com letras e algarismos indicativos da tensão de fornecimento, como segue:

A1 para o nível de tensão de 230 kV ou mais;

A2 para o nível de tensão de 88 a 138 kV;

A3 para o nível de tensão de 69 kV;

A3a para o nível de tensão de 30 a 44 kV;

A4 para o nível de tensão de 2,3 a 25 kV;

AS para sistema subterrâneo.

As tarifas do “grupo A” são construídas em três modalidades de fornecimento: convencional, horo-sazonal azul e horo-sazonal verde, sendo que a convenção por cores é apenas para facilitar a referência.

#### a) Estrutura tarifária convencional

A estrutura tarifária convencional é caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia e/ou demanda de potência independentemente das horas de

---

<sup>14</sup> Fragmento extraído da publicação “Cadernos Temáticos ANEEL nº4 – Tarifas de Fornecimento de Energia Elétrica” (ANEEL, 2005).

utilização do dia e dos períodos do ano. A tarifa convencional apresenta um valor para a demanda de potência em reais por quilowatt e outro para o consumo de energia em reais por megawatt-hora.

O consumidor atendido em alta tensão pode optar pela estrutura tarifária convencional, se atendido em tensão de fornecimento abaixo de 69 kV, sempre que tiver contratado uma demanda inferior a 300 kW.

#### b) Estrutura tarifária horo-sazonal

A estrutura tarifária horo-sazonal é caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano. O objetivo dessa estrutura tarifária é racionalizar o consumo de energia elétrica ao longo do dia e do ano, motivando o consumidor, pelo valor diferenciado das tarifas, a consumir mais energia elétrica nos horários do dia e nos períodos do ano em que ela for mais barata.

Para as horas do dia são estabelecidos dois períodos, denominados postos tarifários. O posto tarifário “ponta” corresponde ao período de maior consumo de energia elétrica, que ocorre entre 18 e 21 horas do dia. O posto tarifário “fora da ponta” compreende as demais horas dos dias úteis e as 24 horas dos sábados, domingos e feriados. As tarifas no horário de “ponta” são mais elevadas do que no horário “fora de ponta”.

Já para o ano, são estabelecidos dois períodos: “período seco”, quando a incidência de chuvas é menor, e “período úmido” quando é maior o volume de chuvas.

As tarifas no período seco são mais altas, refletindo o maior custo de produção de energia elétrica devido à menor quantidade de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas, provocando a eventual necessidade de complementação da carga por geração térmica, que é mais cara. O período seco compreende os meses de maio a novembro e o período úmido os meses de dezembro a abril.

#### b1) Tarifa horo-sazonal azul

A tarifa horo-sazonal azul é a modalidade de fornecimento estruturada para a aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia. Ela é aplicável obrigatoriamente às unidades consumidoras atendidas pelo sistema elétrico interligado, e com tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV.

A tarifa horo-sazonal azul tem a seguinte estrutura:

Demanda de potência (R\$/kW):

Um valor para o horário de ponta (P)

Um valor para o horário fora de ponta (FP)

Consumo de energia (R\$/MWh):

Um valor para o horário de ponta em período úmido (PU)

Um valor para o horário fora de ponta em período úmido (FPU)

Um valor para o horário de ponta em período seco (PS)

Um valor para o horário fora de ponta em período seco (FPS)

b2) Tarifa horo-sazonal verde

A tarifa horo-sazonal verde é a modalidade de fornecimento estruturada para a aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência.

A tarifa horo-sazonal se aplica obrigatoriamente às unidades consumidoras atendidas pelo sistema elétrico interligado com tensão de fornecimento inferior a 69 kV e demanda contratada igual ou superior a 300 kW, com opção do consumidor pela modalidade azul ou verde. As unidades consumidoras atendidas pelo sistema elétrico interligado com tensão de fornecimento inferior a 69 kV e demanda contratada inferior a 300 kW podem optar pela tarifa horo-sazonal, seja na modalidade azul ou verde.

A tarifa horo-sazonal verde tem a seguinte estrutura:

Demanda de potência (R\$/kW): valor único

Consumo de energia (R\$/MWh):

Um valor para o horário de ponta em período úmido (PU)

Um valor para o horário fora de ponta em período úmido (FPU)

Um valor para o horário de ponta em período seco (PS)

Um valor para o horário fora de ponta em período seco (FPS)

## F.2 Tarifas do grupo B

As tarifas do “grupo B” se destinam às unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 2,3 kV e são estabelecidas para as seguintes classes (e subclasses) de consumo:

B1 Classe residencial e subclasse residencial baixa renda;

B2 Classe rural, abrangendo diversas subclasses, como agropecuária, cooperativa de eletrificação rural, indústria rural, serviço público de irrigação rural;

B3 Outras classes: industrial, comercial, serviços e outras atividades, poder público, serviço público e consumo próprio;

B4 Classe iluminação pública.

As tarifas do “grupo B” são estabelecidas somente para o componente de consumo de energia, em reais por megawatt-hora, considerando que o custo da demanda de potência está incorporado ao custo do fornecimento de energia em megawatt-hora.

## F.3. Tarifa social de baixa renda

Com base na legislação em vigor, todos os consumidores residenciais com consumo mensal inferior a 80 kWh, ou aqueles cujo consumo esteja situado entre 80 e 220 kWh/mês e que comprovem inscrição no Cadastro Único de

Programas Sociais do Governo Federal, fazem jus ao benefício da subvenção econômica da Subclasse Residencial Baixa Renda.

A tarifa social de baixa renda sofre descontos escalonados do acordo com o consumo em relação à tarifa da classe residencial (B1), conforme ilustra a tabela abaixo:

**Tabela 32 – Tarifas de classe residencial**

Faixa de Consumo	Desconto Tarifário (%)
0 - 30 kWh	65%
31 - 100 kWh	40%
101 - Limite Regional	10%

Aos primeiros 30 kWh é aplicada tarifa com 65% de desconto em relação à tarifa aplicada a uma unidade consumidora residencial. Dos 31 kWh consumidos, até o limite de 100 kWh, é aplicada tarifa com 40% de desconto. Finalmente, de 101 kWh até o Limite Regional, é aplicado desconto de 10%.

Define-se Limite Regional como sendo o consumo máximo para o qual poderá ser aplicado o desconto na tarifa, sendo que tal limite é estabelecido por concessionária, e os valores que excederem serão faturados pela tarifa plena (B1) aplicada às unidades residenciais.