

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO  
CARLOS RENATO MIZIARA**

**ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO DAS FONTES DE BIOMASSA  
PARA USO EM COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**UBERABA-MG  
2013**

**CARLOS RENATO MIZIARA**

**ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO DAS FONTES DE BIOMASSA  
PARA USO EM COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação apresentada à banca examinadora do Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. David Calhau Jorge.

**UBERABA-MG  
2013**

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do  
Triângulo Mineiro**

M681e Miziara, Carlos Renato  
Estudo técnico e econômico das fontes de biomassa para uso em cogeração de energia elétrica / Carlos Renato Miziara. -- 2013.  
77 f. : il., fig., graf., tab.

Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica) – Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2013.

Orientador: Prof. Dr. David Calhau Jorge

1. Biomassa. 2. Energia elétrica e calor-Cogeração. 3. Avaliação tecnológica. 4. Biomassa-Aspectos econômicos. 5. Android (Recurso eletrônico. I. Jorge, David Calhau. II. Universidade Federal do Triângulo Mineiro. III. Título.

CDU 620.91

**CARLOS RENATO MIZIARA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DAS  
DIVERSAS FONTES DE BIOMASSA EXISTENTES NO BRASIL**

Dissertação apresentada à banca examinadora do Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro para obtenção do título de mestre.

Uberaba, 19 de abril de 2013

Banca Examinadora:



---

Prof. Dr. David Calhau Jorge  
Orientador – PMPIT - UFTM



---

Prof. Dr. Edilberto Pereira Teixeira  
Membro titular – UNIUBE



---

Prof. Dr. Wagner Roberto Batista  
Membro Titular – PMPIT - UFTM

**"Se não puder se destacar pelo talento, vença pelo esforço."**  
(Dave Weinbaum)

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Reginaldo e Elizabeth, que nunca mediram esforços em me dar condições para buscar os conhecimentos adquiridos.

Aos meus irmãos, que sempre acreditaram na minha capacidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, sem este não teria forças pra chegar até aqui.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. David, profissional altamente qualificado, pelo dispêndio de tempo, paciência, colaboração e confiança em toda a produção do trabalho.

Agradeço aos professores Edilberto Teixeira e Wagner Roberto por terem aceitado o convite para fazerem parte da banca examinadora.

Agradeço à Universidade Federal do Triângulo Mineiro, pela oportunidade de passar pelo processo seletivo ao Programa de Mestrado e pelo crescente investimento em formação educacional e infra-estrutura.

Agradeço ao coordenador do Programa, Prof. Dr. Marlei por sempre dirimir dúvidas e estar sempre buscando aperfeiçoar e melhorar a qualidade do Programa.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente acreditaram no meu trabalho e na minha capacidade.

## RESUMO

Atualmente em nosso país o uso de biomassa para produção de energia elétrica através da cogeração, vem ganhando espaço uma vez que se tornou uma fonte de energia alternativa abundante e de baixo potencial poluidor. Neste trabalho, é feita uma avaliação técnica dos diversos tipos de biomassa disponíveis e a partir destas, as opções mais vantajosas de acordo com os critérios adotados, será realizado um estudo de avaliação econômica que estima o tempo de retorno financeiro que a instalação de uma central termelétrica traz. Além disso, foi desenvolvido um software de simulação para plataforma Google Android que auxilia os investidores da área energética a obter dados referentes a equipamentos para instalação de uma unidade cogeneradora.

**Palavras-chave:** biomassa, energia elétrica e calor-cogeração, avaliação tecnológica, biomassa-aspectos econômicos, Android.

## **ABSTRACT**

Currently in our country the use of biomass for electricity production through cogeneration, has been gaining ground since it became an abundant alternative energy source and low pollution potential. This work is done by a technical evaluation of various types of biomass available and from these, the most viable options in accordance with the criteria adopted, there will be an economic assessment study that estimates the payback time of the installation of a thermal power plant. In addition, we developed a simulation software for Google Android platform that assists investors in the energy area to obtain data regarding equipment for installation of a cogeneration unit.

**Keywords:** biomass, electric power and heat-cogeneration, technology evaluation, biomass-aspects economic, Android.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Oferta de energia primária no Brasil em 2004. ....	32
Figura 2 - Geração Total de Eletricidade e Participação da Biomassa. ....	33
Figura 3 - Esquema de geração de energia a partir da queima de biomassa. ....	34
Figura 4 - Esquema produção de vapor e geração de energia. ....	35
Figura 5 - Ciclo termodinâmico de uma central a vapor.....	43
Figura 6 - Fluxograma do Software PCEB. ....	52
Figura 7 - Telas do módulo de projeto do Software PCEB.....	53
Figura 8 - Telas dos resultados simulados do software PCEB.....	54
Figura 9 - Diagrama Temperatura ó Entropia do Ciclo Rankine. ....	65
Figura 10 - Características das caldeiras ICAVI. ....	67
Figura 11 - Dados técnicos da caldeira AZ 200 Dedini. ....	68
Figura 12 - Dados técnicos do Turbo-gerador SST-300 Siemens. ....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Capacidade de Geração Elétrica Instalada por Fonte e Sistema ó MW. ....	23
Tabela 2 - Custos de Referência para Sistemas Básicos de Cogeração .....	36
Tabela 3 ó Índices de notas. ....	38
Tabela 4 - Ranking de notas. ....	39
Tabela 5 - Fatores de Conversão de Energia. ....	41
Tabela 6 - Equipamentos para cogeração.....	46
Tabela 7 - Dados obtidos.....	47
Tabela 8 - Notas obtidas.....	47
Tabela 9 - Fluxo de caixa para a biomassa madeira. ....	50
Tabela 10 - Fluxo de caixa para a biomassa bagaço de cana. ....	50
Tabela 11 - Indicadores econômicos do projeto.....	51
Tabela 12 - Capacidades e custos dos equipamentos usados no software. ....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

<b>ANEEL</b>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<b>BIG</b>	Banco de Informações de Geração
<b>CENBIO</b>	Centro Nacional de Referência em Biomassa
<b>CIMGC</b>	Comissão Interministerial para a Mudança Global do Clima
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>CO<sub>2</sub>/TJ</b>	Dióxido de Carbono por TeraJoule
<b>GEE</b>	Gases de Efeito Estufa
<b>GERASUL</b>	Centrais Geradoras do Sul do Brasil
<b>IUCN</b>	International Union for Conservation of Nature
<b>JVM</b>	Máquina Virtual Java
<b>Kcal/kg</b>	Kilocaloria por Quilo
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Kilograma por Metro cúbico
<b>kWh</b>	Kilowatt hora
<b>MAE</b>	Mercado Atacadista de Energia
<b>MDL</b>	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
<b>MME</b>	Ministério de Minas e Energia
<b>MW</b>	MegaWatt
<b>MWh</b>	MegaWatt Hora
<b>OECD</b>	Organization for Economic Co-operation and Development
<b>OHA</b>	Open Handset Alliance
<b>ONS</b>	Operador Nacional do Sistema Elétrico
<b>PCI</b>	Poder Calorífico Inferior
<b>PPT</b>	Programa Prioritário de Termelétricas
<b>R\$/TON</b>	Reais por Tonelada
<b>SDK</b>	Software Development Kit
<b>SIN</b>	Sistema Interligado Nacional
<b>SINTREL</b>	Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica
<b>TIR</b>	Taxa Interna de Retorno
<b>TJ</b>	TeraJoule
<b>TMAR</b>	Mínima de Atratividade de Retorno
<b>UNFCCC</b>	United Nations Framework Convention on Climate Change
<b>VPL</b>	Valos Presente Líquido

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
1.1	Contextualização do tema.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	Justificativa .....	15
2.2	Google Android.....	16
2.2.1	Histórico .....	16
2.2.2	Justificativa de uso da plataforma Google Android.....	17
2.3	Conceito de Cogeração.....	18
2.4	Histórico da biomassa.....	18
2.5	Caracterização do setor elétrico nacional .....	20
2.5.1	O setor elétrico brasileiro.....	20
2.6	As características técnicas do setor elétrico brasileiro .....	22
2.7	A reestruturação do setor elétrico brasileiro .....	24
2.8	Biomassa.....	25
2.9	Fontes de biomassa.....	26
2.9.1	Resíduos de biomassa.....	26
2.10	Desenvolvimento sustentável.....	27
2.11	Mecanismo De Desenvolvimento Limpo ó Mdl.....	28
2.12	Legislação relacionada a energias renováveis .....	29
2.13	Aproveitamento atual de biomassa no Brasil .....	30
2.14	A geração de energia elétrica utilizando biomassa .....	32
2.14.1	A energia elétrica a partir da biomassa no Brasil .....	33
2.14.2	Tecnologias utilizadas na geração de energia elétrica a partir da biomassa .....	34
2.14.3	Custos de implantação de Sistemas de Cogeração .....	35
2.14.4	Biomassas analisadas .....	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	38
3.1	Metodologia para análise técnica .....	38
3.2	Determinação do potencial energético do resíduo de madeira .....	40
3.3	Sistema de geração de energia através das biomassas selecionadas .....	41
3.4	Metodologia para análise econômica .....	43
3.5	Valor Presente Líquido (VPL).....	44
3.6	Taxa Interna de Retorno (TIR) .....	44

3.7	Tempo de Retorno do Investimento (Payback) .....	45
3.8	Planta de Cogeração usada para simulação dos dados econômicos.....	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1	Análise técnica .....	47
4.2	Considerações sobre os dados técnicos .....	47
4.3	Determinação do potencial energético do bagaço de cana .....	48
4.4	Análise econômica .....	49
4.5	Software de Simulação .....	51
4.6	Telas do Software PCEB .....	53
4.7	Telas de resultados de simulação do software PCEB.....	54
5	CONCLUSÃO.....	55
6	REFERÊNCIAS .....	56
	ANEXO A - Geração termoeétrica com Ciclo Rankine .....	64
	ANEXO B - Característica das caldeiras usadas no projeto - software (valores comerciais ó catálogo ICAVI) .....	67
	ANEXO C - Característica da caldeira usada no projeto ó dissertação (valores comerciais ó catálogo Dedini).....	68
	ANEXO D - Característica da turbina usada no projeto da termelétrica - dissertação (catálogo Siemens).....	69
	ANEXO E ó Característica das turbinas usadas no projeto - software (valores comerciais ó catálogo Siemens).....	70
	ANEXO F ó Característica dos geradores usados no projeto - software (valores comerciais ó catálogo WEG) .....	73
	APÊNDICE A.....	74
	A1. PCEB.java .....	74
	A2. Sms.java .....	75
	A3. EnviarSms.java.....	75
	A4. Grafico.java .....	76

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização do tema

Atualmente, cerca de 5% de toda a energia produzida no planeta é de fonte renovável e estima-se que em 2060, quando a população do planeta deverá ser de 12 bilhões de pessoas, 70% de toda a energia produzida será renovável. Em geral, salvo algumas exceções, elas são energias *ölimpasö*, isto é, que não produzem poluição e nem se esgotam e, pelo contrário, reciclam resíduos de alto poder energético (MOURA E SELVAM, 2009).

A geração de energia elétrica a partir do uso de matérias-primas renováveis, dentre elas a biomassa, vem despertando grande interesse devido não somente às crescentes exigências relacionadas à preservação do meio ambiente, como também pelos seus custos que tem se tornado cada vez mais competitivos. (SOUZA E SANTOS, 2003)

Nas últimas décadas, a busca de alternativas para o uso de combustíveis fósseis está aumentando em todo o planeta. Altos preços internacionais do petróleo e seus derivados e preocupações com o ambiente motivam este processo. Além disso, existe uma grande expectativa sobre o possível benefício econômico do desenvolvimento limpo. Projetos de mecanismos proveniente do uso de fontes renováveis do setor agrícola, como o bioetanol a partir de cana de açúcar (BODDEY et al., 2008) e da madeira de eucalipto para a substituição do carvão (KRAXNER et al., 2003).

Na Amazônia, em particular no Estado do Pará, há produção considerável de resíduos florestais e grande disponibilidade de recursos naturais com possibilidade de aproveitamento energético (caroço de açaí, casca de castanha-do-pará e palmeiras diversas), como combustível em usinas térmicas a vapor (PINHEIRO et al., 2006).

Diversificar a matriz energética a partir da utilização de combustíveis mais limpos e fontes renováveis tem recebido mais atenção por parte de vários governos no mundo todo. Têm-se como meta principal introduzir novos insumos energéticos, isolados ou combinados com os já existentes de forma a flexibilizar a matriz energética (European Commission Energy, 2005). No caso brasileiro pode-se citar o crescente uso do gás natural em substituição ao óleo combustível e o aumento da geração de eletricidade através da cogeração no setor industrial. De uma forma mais genérica, a biomassa pode ser considerada como uma forma de armazenar a energia do sol. Através da fotossíntese, o CO<sub>2</sub> presente na atmosfera e a água absorvida pelas raízes das plantas, geram carboidratos que promovem o crescimento da

biomassa. A energia do sol fica então armazenada nas ligações químicas dos componentes estruturais das plantas. Durante a combustão da biomassa, o oxigênio combina-se com o carbono presente na biomassa formando  $\text{CO}_2$  e água, que ficam assim disponíveis para promover o crescimento de uma nova planta. Por ser um processo cíclico, a produção de bioenergia é tida como neutra em geração de Gases de Efeito Estufa (GEE), podendo ser utilizadas como Créditos de Carbono (um Crédito de Carbono equivale a uma tonelada de  $\text{CO}_2$ ). Essa análise é obtida se forem plantadas a mesma quantidade de árvores que foram abatidas e se for considerado apenas o processo de queima, isto é não considerando as emissões associadas ao transporte ou outros processos em que seja utilizada energia fóssil. A neutralidade da biomassa, relativamente às emissões de GEE é também considerada no mercado europeu de licenças de emissão, sendo estabelecido na Decisão da Comissão, que para a biomassa o fator de emissão é  $0 \text{ t CO}_2/\text{TJ}$  (CCE, 2004). A contribuição da biomassa na redução das emissões de GEE e conseqüentemente na mitigação das alterações climáticas, é atualmente considerado um dos fatores motivadores da sua utilização em detrimento dos combustíveis fósseis (STUPAK et al., 2007)

O objetivo deste trabalho é fazer um levantamento das principais fontes de biomassa geradas no país e determinar quais fontes possuem os melhores indicadores técnicos e econômicos para uso em uma planta de cogeração de energia elétrica, podendo desta forma, nortear tanto pequenos produtores de resíduos de biomassa cogerao energia para uso próprio como os investidores da área energética. Além disso, será produzido um software de simulação para plataforma Google Android, possibilitando a tomada de decisão na escolha de uma das fontes de biomassa proposta.

Ao utilizar um sistema operacional de grande difusão, espera-se oferecer aos potenciais investidores do setor energético um software simulador que possibilite ser rodado em dispositivos móveis que estejam sempre à mão do usuário e que não exijam grandes capacidades de processamento e memória.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Justificativa

Conforme destacam vários trabalhos ó CENBIO, 2001; Coelho, 1999, entre outros, produzir energia elétrica a partir de fontes renováveis e de forma descentralizada pode contribuir para o fortalecimento dos blocos regionais de geração e consumo. Paletta (2004) observa que o Brasil possui grande parte do sistema de geração e distribuição interligado. Isto permite planejar e operar tanto a geração quanto a distribuição de forma ampla e eficiente. Assim, é possível atender a uma demanda maior em determinada região apenas aumentando a oferta em qualquer outro ponto do sistema.

Destacam-se ainda, as elevadas perdas no sistema de transmissão e distribuição. A geração descentralizada pode contribuir para minimizar esse problema da energia que se perde ao longo das linhas de transmissão que percorrem o país. A energia gerada em escala menor pode ser consumida perto dos locais de geração, não sendo necessário transportá-la para tão longe. Assim, além de se reduzirem os custos e acabar com o desperdício, desobstruem-se as linhas de transmissão existentes, garantindo maior confiabilidade no transporte dos grandes blocos de energia de uma região a outra do país(GOLDEMBERG, 2003).

Apesar das vantagens ambientais, sociais e estratégicas das energias renováveis, elas apresentam duas grandes dificuldades: o investimento inicial elevado e, em alguns casos, a intermitência, como no caso da energia eólica e solar. No caso da biomassa, entretanto, não existe o problema da intermitência, como exemplo o bagaço pode ser armazenado para o período de entressafra. Além disso, o custo de geração de energia a partir de biomassa é inferior ao das outras fontes de energia renovável (GOLDEMBERG, 2003).

A utilização de biomassa para aproveitamento energético é de notável importância, além de considerada fonte alternativa de energia e também solução de grande problema ambiental e econômico que é a disposição final de resíduos gerados nas mais diversas atividades do setor agrícola brasileiro (COUTO & MÜLLER, 2006).

Aumentar a diversificação da matriz energética de um país e reduzir sua dependência de combustíveis fósseis é uma medida estratégica importante para a garantia de suprimento de energia. Desta maneira não se fica tão vulnerável às oscilações dos preços do petróleo e às instabilidades políticas dos países produtores (MACHADO, 2006).

Outra vantagem é a diversificação da matriz energética incluindo fontes alternativas de energia, e também consideradas sustentáveis. Essa fonte de energia pode ser considerada um dos potenciais de MDL (Mecanismos de Desenvolvimento Limpo) como fontes alternativas de energia: co-geração, gás natural e biomassa (TSUKAMOTO FILHO, 2003).

Outra vantagem do uso da biomassa é que ela apresenta uma particularidade em relação às outras fontes energéticas: o resultado do processo de conversão pode gerar três tipos de combustíveis diferentes (sólido, líquido ou gasoso), sendo considerada uma vantagem em relação às outras fontes energéticas, uma vez que confere certa flexibilidade de adaptação tecnológica de acordo com a situação. A biomassa pode ser encontrada de várias formas como potencial energético: os resíduos culturais agrícolas e florestais (provenientes das atividades de cultivo ó manutenção, tratos culturais e colheita), resíduos industriais (resultantes do processamento da matéria-prima usadas em serrarias, produção de cana-de-açúcar, produção de celulose e papel etc.), plantios energéticos e florestas nativas (COUTO MÜLLER, 2006).

A utilização da biomassa como insumo energético tem vantagens como o fato de ser uma fonte renovável e descentralizada, que promove a geração de empregos no meio rural e renda adicional. Atualmente a utilização da biomassa é uma tendência mundial movida pela atual necessidade de reduzir o uso de derivados de fontes fósseis, tornando países menos dependentes de países exportadores, e também pela necessidade de redução de emissões de gases de efeito estufa (COUTO & MÜLLER, 2006).

## **2.2 Google Android**

### **2.2.1 Histórico**

Em 05 de novembro de 2007, o OHA (*Open Handset Alliance*) anunciou a plataforma Android. O *Open Handset Alliance* é um grupo de mais de 30 empresas que está desenvolvendo essa plataforma. As empresas dessa aliança estão trabalhando juntas para oferecer uma plataforma de desenvolvimento que permita aos desenvolvedores implementarem e estenderem as aplicações dos seus dispositivos móveis (AQUINO, 2007).

A aliança OHA é composta por um grupo bastante heterogêneo de empresas, que compreende desde operadoras de celular a fabricantes de *handsets*. (AQUINO, 2007).

Quando era esperado que a Google, uma das maiores empresas de tecnologia do mundo estivesse próxima de lançar um telefone celular veio a surpresa com o lançamento de

algo que vai além de um simples dispositivo: Uma plataforma completa para dispositivos móveis, batizada de Android (SCHEMBERGER, 2009).

Android é uma pilha de *software* para dispositivos móveis que inclui um sistema operacional, um *middleware* (programas computacionais que permitem a mediação entre os recursos do Sistema Operacional e os aplicativos) e um conjunto de aplicações-chaves. Os desenvolvedores podem criar aplicações para a plataforma usando o Android SDK (Software Development Kit). As aplicações para essa plataforma são escritas usando a linguagem de programação Java e executam sobre o Dalvik, uma máquina virtual customizada para dispositivos com restrições de recursos, como pouca capacidade computacional, baixa capacidade de armazenamento e baterias com baixo nível de energia (SCHEMBERGER, 2009).

A base de desenvolvimento do Android é Java. Mas no seu sistema operacional não existe uma Máquina Virtual Java (JVM) e sim outra máquina virtual, a Dalvik, otimizada para interpretar códigos em dispositivos móveis. Ao desenvolver aplicações para o Android, utiliza-se a linguagem Java aliada à programação XML e todos os recursos que esta oferece (SCHEMBERGER, 2009).

### 2.2.2 Justificativa de uso da plataforma Google Android

O mercado de celulares vem crescendo de maneira bastante rápida. Em 2005, havia dois bilhões de usuários, já no final de 2008 este número chegou a quatro bilhões de pessoas que usam aparelho celular (SCHEMBERGER, 2009).

Diferentemente do início da proliferação destes dispositivos, é crescente o número de consumidores que buscam mais suporte e novas funcionalidades, como telas grandes, variados recursos multimídia, conectividade, jogos e aplicativos específicos. Esse crescimento é consequência do aumento de usuários que buscam também em dispositivos móveis o lazer (jogos), a comodidade (ver extrato da conta bancária, previsão do tempo, fazer compras, controlar equipamentos em suas residências), ou ainda pela necessidade, como enviar um pedido ao fornecedor ou um orçamento a um cliente. Para acompanhar tal crescimento, é importante que empresas fabricantes de dispositivos e aplicativos para móveis busquem ou desenvolvam novas tecnologias a fim de atender a demanda e conquistar a preferência de operadoras e usuários (SCHEMBERGER, 2009).

### 2.3 Conceito de Cogeração

O Plano Decenal de Expansão 1999/2008 da ELETROBRÁS (1999) apresenta a seguinte definição: "Cogeração é a geração simultânea de energia elétrica e energia térmica para calor de processo a partir de uma única fonte de energia".

Já o Plano Decenal de Expansão 2000/2009 (ELETROBRÁS, 2000) apresenta uma outra definição: "A cogeração é o processo de produção simultânea de energia térmica para calor de processo e energia elétrica ou mecânica a partir de um combustível".

Na Resolução ANEEL n.º 21, de 20 de Janeiro de 2000, que estabelece os requisitos necessários a qualificação de centrais cogedoras de energia está definido:

A cogeração de energia é definida como o processo de produção combinada de calor útil e energia mecânica, geralmente convertida total ou parcialmente em energia elétrica, a partir da energia química disponibilizada por um ou mais combustíveis.

POULALLION e CORRÊA (2000) definem cogeração como:

Central de cogeração é uma unidade de produção associada de energia mecânica e térmica, sendo a energia mecânica utilizada diretamente em acionamento (compressor, bomba, soprador, moenda, etc.) ou para sua conversão em energia elétrica (gerador elétrico) para uso final (motor elétrico, eletrotermia, eletroquímica, etc.).

Vemos que o conceito de cogeração tem uma forma bem definida e pode variar segundo o enfoque do processo que se deseja priorizar, entretanto, como podemos verificar a redução do conceito de cogeração a um processo de "geração simultânea de energia elétrica e energia térmica" é extremamente reducionista e a própria ELETROBRÁS apresenta essa evolução no ano seguinte com a "produção simultânea de energia térmica para calor de processo e energia elétrica ou mecânica" (NETO, 2001).

### 2.4 Histórico da biomassa

A biomassa, desde o descobrimento do fogo, foi uma fonte de energia de muita importância, sendo a principal fonte de energia até a Revolução Industrial onde o carvão

passou a ser mais importante, surgindo outras fontes que acompanharam a crescente demanda de produtos industrializados (INFANTE & VEIRAS, 2003).

Antigamente, principalmente nos países subdesenvolvidos, restos de cultivos já eram utilizados para se obter energia, porém obtido através da combustão ineficiente. Em 1850, a biomassa representava 85% do consumo mundial de energia e, antes de 1850 a biomassa era praticamente a única forma de energia usada pelo homem, além da força dos ventos (para navegação), animais domesticados (na agricultura) e pequenas quantidades de carvão para aquecimento residencial (GOLDEMBERG, 2009).

Com a Revolução Industrial no fim do século XVIII, surgiram máquinas movidas a vapor, a utilização do carvão que era pequena nessa época, apenas utilizada para produzir energia doméstica, se expandiu e a exploração do carvão mineral aumentou para 15% em 1850 e cresceu para 50% no final do século XIX. A partir daí a produção de energia no século XX foi dominada por combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) que representavam, ainda no início do século XXI, cerca de 80% de toda a energia produzida no mundo. O gás e o petróleo passaram a ser a fonte de energia principal, pois apresentava várias vantagens com relação à biomassa e outros tipos de fontes energéticas. Eram recursos naturais obtidos em estado líquido e gasoso com maior facilidade para ser transportado. E a biomassa era vista como um combustível primitivo, pois na sua obtenção era gerado impactos ambientais diversos, passando assim a ser conhecido como um combustível de países pobres e subdesenvolvidos (GOLDEMBERG, 2009).

No Brasil, durante a década de 40, surgiu a tentativa de se obter energia através da exploração de óleos e gorduras. São diversos os registros de estudos do uso de óleos vegetais puros em motores (BORGES, 1944), ou de hidrocarbonetos produzidos pelo craqueamento térmico de triglicerídeos (OTTO, 1945).

Ocorreram ao longo da história várias crises de petróleo, nas décadas de 70 e 90, e juntamente com estas crises crescia também a preocupação com o meio ambiente, ocorrendo uma busca maior de fontes de energia limpa (HILL, 2000).

Após as crises energéticas ocorridas no final dos anos 80 e com a desregulamentação na década seguinte, os empresários desse setor têm buscado novas estratégias competitivas através da diversificação da produção, procurando se adequar a um ambiente de preços liberados. Dentre essas estratégias, pode-se destacar a geração de eletricidade excedente para venda a partir de sistemas de cogeração mais eficientes e modernos (VIAN, 2003).

Em 1995, foi sancionada pelo Poder Executivo do Brasil uma nova legislação de serviços públicos, fixando regras específicas para as concessões dos serviços de eletricidade,

reconhecendo a figura do produtor independente de energia, liberando os grandes consumidores do monopólio comercial das concessionárias e assegurando livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica (ELETROBRÁS, 1999).

É nesse novo ambiente institucional que se materializam o mercado e as oportunidades de comercialização da energia elétrica obtida em novos geradores independentes, entre eles os operadores das termelétricas em ciclo combinado, operando em cogeração, integradas a sistemas de gaseificação de biomassa.

## **2.5 Caracterização do setor elétrico nacional**

### **2.5.1 O setor elétrico brasileiro**

Ao final do século XIX, quando a atividade econômica do Brasil era ainda significativamente agrária, a participação da eletricidade como fonte de energia era inexpressiva, porém, o início da industrialização, a concentração em centros urbanos e o surgimento de uma classe média impulsionaram seu uso nos anos seguintes (LEITE, 1997).

Entre os últimos anos do século XIX e a década de 30 do século XX, a potência instalada cresceu de forma acelerada. Havia durante esse período uma centena de empresas privadas que operavam as usinas e distribuíam a energia elétrica. Estas usinas estavam geralmente associadas a regiões de atividade industrial ou atendiam as localidades definidas por concessão municipal. Com o crescimento da atividade e a necessidade de executar projetos de maior tamanho, ocorreu um processo de fusões e incorporações entre as empresas do setor (NETO, 2001).

Seguindo uma tendência mundial, as usinas passaram a ser cada vez maiores para que se reduzissem os custos de instalação e de geração. Por outro lado, a concentração do setor nas mãos de poucas empresas privadas, dava-lhes poder de monopólio e possibilidade de influir nas diretrizes de crescimento econômico do país. Foi nesse contexto que iniciaram-se os movimentos do Governo Federal para assumir a condução do setor elétrico e coordená-lo às políticas de desenvolvimento econômico e social (NETO, 2001).

As Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRÁS) foi criada em 25 de abril de 1961 com o objetivo de promover estudos e projetos de construção e operação de usinas geradoras, linhas de transmissão e subestações, destinadas ao suprimento do país. Quando foi criada, a capacidade geradora instalada no país era de 5.800 MW. Ao final da década de 1970, todas as concessionárias do setor de energia elétrica já tinham capital nacional.

No início da década seguinte o desempenho da ELETROBRÁS passou a observar as dificuldades que vinham sendo enfrentadas pela economia brasileira. A recessão e a crise da dívida externa criaram um quadro de grave estrangulamento financeiro no setor (NETO, 2001).

Nos primeiros anos da década de 90 o programa de obras de geração foi praticamente paralisado e foi iniciada uma reorganização institucional do setor, com o fim de reduzir a presença do Estado (NETO, 2001).

Em março de 1993, diminuiu-se o controle da União sobre os preços dos serviços de energia elétrica. Em setembro do mesmo ano, foi criado o Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica (SINTREL), pacto operativo entre as empresas detentoras de instalações de transmissão, baseado no princípio do livre acesso a rede de transporte de energia (NETO, 2001).

Finalmente, em 1995, foi sancionada pelo Poder Executivo Brasileiro uma nova legislação de serviços públicos, fixando regras específicas para as concessões dos serviços de eletricidade, reconhecendo a figura do produtor independente de energia, liberando os grandes consumidores do monopólio comercial das concessionárias e assegurando livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição (NETO, 2001).

É nesse novo ambiente institucional que se materializam o mercado e as oportunidades de comercialização da energia elétrica gerada por novos geradores independentes, entre eles os operadores das termelétricas em ciclo combinado, operando em cogeração, integradas a sistemas de gaseificação de biomassa estudadas neste trabalho (NETO, 2001).

Para contextualizar o ambiente físico e institucional em que serão inseridos os sistemas de geração de energia elétrica a partir da biomassa, apresentaremos neste capítulo um breve descritivo da estrutura técnica do setor elétrico brasileiro na condição atual e a reestruturação do setor elétrico brasileiro, contemplando aspectos institucionais e o novo modelo de operação proposto para o setor (NETO, 2001).

É de particular interesse para esse trabalho, essa nova estrutura em que os principais atores já tem seu papel legalmente definido e suas atividades regulamentadas, configurando um quadro em que barreiras institucionais já não são impeditivos da realização de negócios no setor.

Na alteração do quadro institucional dois pontos são fundamentais: a tarifação do serviço de fornecimento de energia elétrica e a expansão da capacidade do setor (NETO, 2001).

Quanto a tarifação do serviço de fornecimento de energia elétrica, foi estabelecido pelo órgão competente o valor máximo que pode ser repassado do gerador ao consumidor cativo, chamado valor normativo, que varia de acordo com a tecnologia de geração adotada. Para a geração e cogeração de energia elétrica a partir da biomassa utilizaremos este valor como referência para os cálculos no modelo de avaliação econômica, apresentado no capítulo sexto desta dissertação.

Em relação a expansão da capacidade do setor o fato importante que apresentaremos está contido no Programa Prioritário de Termelétricas (PPT), lançado pelo Governo Federal, que oferece uma série de vantagens aos geradores, sendo a principal delas a tarifa de gás natural, que utilizaremos como referência nos cálculos do modelo de avaliação econômica, nas condições operacionais que utilizam o combustível. Este programa demonstra que a termoelectricidade entrou na agenda de planejamento da expansão da geração no setor elétrico brasileiro, favorecendo as questões de uso da biomassa e a cogeração de excedentes de energia elétrica no setor sucroalcooleiro (ELETROBRÁS, 2000).

## **2.6 As características técnicas do setor elétrico brasileiro**

As características físicas do Brasil, em especial a grande extensão territorial, o grande potencial hídrico e a existência de número significativo de bacias hidrográficas, somadas às dimensões relativamente reduzidas das reservas de petróleo e carvão mineral, foram determinantes para a implantação de um parque gerador de energia elétrica de base predominantemente hidráulica (ELETROBRÁS, 2000).

De acordo com dados do Banco de Informações de Geração ó BIG/ANEEL, a capacidade instalada total do sistema elétrico brasileiro em 31/12/2009 era de 112.496 MW. Observe-se que este total engloba as unidades geradoras do Sistema Interligado Nacional (SIN) e também aquelas instaladas nos sistemas isolados, bem como a geração de energia elétrica instalada no local do consumo (autoprodução), segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 ó MME 2011.

Para fins das simulações energéticas somente são considerados os empreendimentos de geração constantes do SIN, cuja capacidade instalada, incluindo a parcela de Itaipu importada do Paraguai, totalizava 103.598 MW em 31/12/2009 (MME, 2011). A distribuição desse total por tipo de usina do parque gerador existente é apresentada na tabela 1.

Tabela 1- Capacidade de Geração Elétrica Instalada por Fonte e Sistema ó MW.

<b>Capacidade Instalada em 31/12/2009no SIN</b>		
<b>Fonte</b>	<b>MW</b>	<b>Participação</b>
Hidráulica	74.279	71,7
Térmica	13.302	12,8
Nuclear	2.007	1,9
Fontes alternativas	7.645	7,4
<b>Potência Instalada</b>	<b>97.233</b>	<b>93,9</b>
Importação contratada	6.365	6,1
<b>Potência Total com Importação</b>	<b>103.598</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 ó MME (2011)

As usinas hidráulicas instaladas no Brasil são do tipo com reservatórios de acumulação ou a fio d'água. Enquanto as primeiras geram a energia a partir da água acumulada em grandes reservatórios, as outras geram a partir do fluxo de água do rio, não acumulando ou acumulando pouca água. Os grandes reservatórios permitem o acúmulo de água em quantidade suficiente para que a geração de energia elétrica seja garantida mesmo que chova em pouca quantidade em um determinado ano, por isso estes reservatórios são chamados de plurianuais (NETO, 2001).

As grandes usinas geradoras ficam localizadas em lugares distantes dos centros consumidores, fazendo-se necessária a interligação através dos sistemas de transmissão. No Brasil o sistema de transmissão existente conta com interligações entre as usinas e os centros consumidores, entre diversas usinas ligadas entre si e vários centros consumidores ligados a diferentes usinas (ELETROBRÁS, 2000).

Esta malha, composta por linhas de transmissão e subestações variadas compõe o sistema interligado que permite que os centros de consumo sejam atendidos por diferentes usinas e que a energia elétrica seja conduzida ao destino desejado. O sistema interligado oferece diversas vantagens operacionais, em particular para a geração de energia elétrica efetuada por usinas hidráulicas. Por se tratar o Brasil de um país com dimensões continentais cuja geração de energia elétrica depende da água, em outras palavras da chuva, o sistema interligado permite que a energia elétrica seja produzida em usinas que tenham seus reservatórios com bom acúmulo d'água enquanto as que estão em período de seca poupem água e aumentem o nível de seus reservatórios, sem que nenhum consumidor seja prejudicado pela falta de chuvas em sua região (FIGUEIREDO, 2000).

A interligação permite ao sistema elétrico nacional controlar a produção de energia de modo a gerar mais energia que seria proporcionada pela soma das potências de cada geradora individualmente. Atualmente este ganho de produção equivale a 22 % do consumo total de eletricidade (FIGUEIREDO, 2000).

Em termos da produção de energia elétrica, a participação hidrelétrica alcança cerca de 71% do total e a produção térmica prevalece nos sistemas isolados, servindo também à complementação do atendimento nos sistemas interligados em períodos hidrologicamente desfavoráveis ou para atendimento localizado, quando ocorrem restrições de transmissão (NETO, 2001).

Como apenas cerca de 25% de todo o potencial hidrelétrico brasileiro conhecido corresponde às usinas em operação e em construção, estima-se que as fontes hidráulicas continuarão a desempenhar importante papel no atendimento à crescente demanda de energia elétrica, pelo menos ao longo das duas próximas décadas (ELETROBRÁS, 2000).

A exploração desse potencial, tradicionalmente efetuada por empresas de economia mista, cujos acionistas majoritários são a União, os governos estaduais ou municipais vem, cada vez mais, contando com a participação da iniciativa privada. Com exceção da GERASUL e as unidades geradoras pertencentes às concessionárias distribuidoras de energia elétrica privatizadas, o parque gerador permanece nas mãos do Estado (FIGUEIREDO, 2000).

Independentemente, porém, do caráter público ou privado dos agentes encarregados do suprimento de energia elétrica, é de fundamental importância que a operação e a expansão do sistema elétrico brasileiro, cujo grau de interligação entre seus componentes é elevado, continuem a ser realizadas de forma coordenada (NETO, 2001).

## **2.7 A reestruturação do setor elétrico brasileiro**

O Setor Elétrico Brasileiro atravessa um contexto de intensas transformações. Nos últimos anos diversas concessionárias distribuidoras de energia elétrica já foram privatizadas e a continuidade do processo prevê a venda das geradoras e das concessionárias que restam. Além da introdução do capital privado no setor estão sendo claramente definidas as atividades dos geradores, transmissores, distribuidores e comercializadores, além dos organismos reguladores e outros atores (NETO, 2001).

O modelo estatal que operou no país durante as últimas quatro décadas criou um amplo sistema elétrico com larga experiência na otimização da operação e no planejamento da expansão do sistema, entretanto, uma série de fatores sociais, econômicos, tecnológicos e

institucionais contribuíram para gerar um quadro de desequilíbrio econômico deste modelo, entre eles a elevação das taxas de juros internacionais, que elevaram o custo das plantas em construção e inviabilizaram os investimentos de longo prazo, e as pressões pela preservação ambiental, gerando fortes críticas dos consumidores e favorecendo a tese da privatização desses serviços (NETO, 2001).

Assim sendo, o Governo Federal implantou um conjunto de reformas das regras setoriais tendo já constituído o órgão regulador e fiscalizador dos serviços públicos de energia elétrica, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2010), o órgão responsável pela operação do sistema de transmissão, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e o Mercado Atacadista de Energia (MAE).

Neste quadro de reformas do setor elétrico é imprescindível ressaltar a predominância hidrelétrica do parque gerador no Brasil, que confere ao sistema elétrico nacional características muito diferentes dos sistemas dos países onde há participação das diferentes fontes primárias na geração de energia elétrica, com predominância dos derivados de petróleo, seguido do carvão e do gás (NETO, 2001).

## **2.8 Biomassa**

O planeta Terra possui na sua superfície uma região onde se desenvolvem todos os organismos: a biosfera. Esta região se divide segundo o tipo de alimentação consumido: a região autotrófica, onde se desenvolvem as plantas; e a região heterotrófica, onde se inserem os seres que, direta ou indiretamente, sobrevivem através do consumo das plantas clorofiladas (COUTO et al., 2004).

A massa que constitui a biosfera é denominada biomassa. A biomassa engloba todos os seres vivos e também o conjunto dos produtos orgânicos gerados por estes seres vivos como dejetos, mas que não se encontram completamente decompostos em moléculas elementares. Essa biomassa contém energia química que é proveniente da conversão da energia luminosa graças à fotossíntese realizada pelas plantas. A massa total dos organismos por unidade de superfície ou volume é chamada de biomassa e pode ser aproveitada como insumo energético (COUTO et al., 2004).

A biomassa é constituída pelo material produzido por todos os seres vivos (animais, vegetais, fungos e protistas) em seus mais variados processos, isto é, a matéria orgânica viva, desde quando fixa energia solar nas moléculas constituintes de suas células, e esta energia é

armazenada em todas as etapas da cadeia alimentar, ou trófica (COUTO et al., 2004). A Biomassa pode ser classificada segundo sua origem como:

É Biomassa natural: são produzidas pela natureza sem que exista intervenção humana, como as florestas. A utilização dessa biomassa é a mais adequada porque tem um maior aproveitamento energético e com rápida degradação dos ecossistemas naturais.

É Biomassa residual: são geradas por qualquer tipo de atividade humana, principalmente nos processos produtivos dos setores agrícolas, florestal, assim como as produzidas nos núcleos urbanos.

É Biomassa produzida em plantações energéticas: Neste caso os cultivos energéticos são realizados com a finalidade de produzir biomassa capaz de ser transformada em combustível (VIANNA et al., 2000).

## **2.9 Fontes de biomassa**

A biomassa é encontrada nos vegetais nativos ou plantados e nos resíduos agropecuários, urbanos e de algumas indústrias (FAVA, 2009).

### **2.9.1 Resíduos de biomassa**

A biomassa também pode ser obtida nos subprodutos das atividades agrícolas, pastoris, florestais, agroindustriais e urbanas que possuem potencial energético. A utilização energética dos resíduos apresenta grandes vantagens, sobretudo dos restos de lavoura de esterco de animais criados extensivamente e sua dispersão, que acarretam dificuldades de coleta e transporte (VIANNA et al., 2000). De acordo com VIANNA et al. (2000), esses resíduos podem ser classificados em:

#### **A) RESÍDUOS AGROPASTORIS:**

Compreendem os resíduos agrícolas e os resíduos pastoris, estes são provenientes da colheita e do processamento de culturas. A exploração desses resíduos deve ser feita de modo consciente, pois estes resíduos protegem o solo da erosão e ajudam a repor os nutrientes extraídos pelos vegetais (FAVA, 2009).

## B) RESÍDUOS FLORESTAIS:

Historicamente, a biomassa de origem florestal é tida como uma importante fonte de energia (MALIK et al., 2001). As características que a biomassa florestal possui, permite que a mesma seja utilizada como fonte de energia, sendo considerada também uma alternativa viável (VIANNA et al., 2000). Recursos dendroenergéticos são produtos diretos e indiretos da madeira, como: madeira, resíduos de exploração e resíduos industriais (serragem, maravalhas, tocos e ponteiros, licor negro etc.) (NOGUEIRA et al., 2000 *apud* MÜLLER, COUTO, 2006). A energia pode ser obtida pela queima da madeira produzindo o carvão, aproveitamento de resíduos da exploração e aproveitamento de óleos essenciais, alcatrão e ácido pirolenhoso (COUTO et al., 2000).

## C) RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Geralmente nas agroindústrias são produzidos resíduos com um alto valor energético. A biomassa da agroindústria pode ser utilizada na substituição de energia comprada a vapor ou eletricidade. Entre os setores cujos resíduos gerados em larga escala são possíveis de tratamento, visando aproveitar o potencial energético, merecem destaque a indústria de açúcar e álcool, matadouros e frigoríficos, cervejarias, curtumes, fábricas de doces e conservas, indústria de pesca, beneficiamento da madeira e indústria de papel e celulose (FAVA, 2009),

## D) RESÍDUOS URBANOS

Estes resíduos compreendem os sólidos, como o lixo e os líquidos, como o esgoto. O aproveitamento desses resíduos pode gerar energia e impedir que poluam o meio ambiente (VIANNA et al., 2000).

### **2.10 Desenvolvimento sustentável**

Um sistema sustentável de produção e do uso da biomassa depende dos cuidados adotados em todas as etapas do processo, desde o campo até a atividade final. A sustentabilidade pode ser definida como a possibilidade dos sistemas energéticos se manterem saudáveis, estáveis e produtivos (NOGUEIRA, 2005).

O desenvolvimento sustentável tem a idéia de manter o progresso humano e seu desenvolvimento em todo o planeta e não somente no presente, mas, para as gerações futuras.

O conceito de desenvolvimento envolve a idéia de que devemos atender as nossas necessidades, mas sem comprometer os recursos naturais para que possam ser utilizados pelas gerações futuras para atender as suas futuras necessidades (ROSSETO, 2003).

O desenvolvimento sustentável é a existência de harmonia entre a exploração de recursos naturais e desenvolvimento, utilizando do aprimoramento do desenvolvimento tecnológico com o intuito de visar a sustentabilidade ambiental do desenvolvimento no presente e no futuro, e ao mesmo tempo poder atender as necessidades humanas (ROSSETTO, 2003).

Quando se fala em desenvolvimento sustentável, muitas vezes as pessoas pensam que a palavra desenvolvimento e a palavra meio ambiente se opõem, mas no conceito de desenvolvimento sustentável essas duas palavras estão interligadas e a sua harmonia traz benefício para a vida humana (MAGALHÃES, 2006).

O termo desenvolvimento sustentável começou a ser usada a partir da década de 80, na conferência mundial sobre a conservação e o desenvolvimento da IUCN (OTTAWA, CANADÁ, 1986) e foi considerado um novo paradigma com os seguintes princípios (GUTTERRES, 2003): integrar conservação da natureza e desenvolvimento, satisfazer as necessidades humanas e fundamentais, perseguir equidade e justiça social, buscar a autodeterminação social e respeitar a diversidade cultural e manter a integridade ecológica.

Desenvolvimento sustentável é alcançar a estabilidade dos estoques de recursos, e simultaneamente manter os processos ecológicos necessários a manter a produtividade (fonte) e as funções assimilativas (PEARCE et al., 1988).

Maneira de perceber as soluções para os problemas globais, que não se reduzem apenas à degradação do ambiente físico e biológico, mas que incorporam dimensões sociais, políticas e culturais, como a pobreza e a exclusão social. (BARBIERI, 1997).

## **2.11 Mecanismo De Desenvolvimento Limpo ó Mdl**

A adoção de tecnologias mais limpas colabora com a diminuição da poluição e do efeito estufa, possibilitando a participação do setor no mercado de carbono proposto no Protocolo de Quioto<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Protocolo firmado em Quioto no Japão, segundo o qual os países industrializados reduziriam suas emissões combinadas de efeito estufa em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 entre o período entre 2008 e 2012 (SCMC, p. 1)

O MDL foi a alternativa encontrada pela Convenção-quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas - CQNUMC na Rio-92, para incentivar os países a reduzirem as emissões de gases que contribuem no efeito estufa, principalmente o CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), emitidos principalmente em razão de atividades antrópicas como a queima de combustíveis fósseis, atividades agro-pastoris, lixões e aterros sanitários (FGV, 2002).

Segundo Coelho (2007), para auxiliar os grandes geradores, geralmente dos países desenvolvidos, a cumprir as metas foram formulados mecanismos de flexibilização que se baseiam na compra de Reduções Certificadas de Emissões - RCEs, ou seja, comprar crédito de nações que desenvolvam projetos dentro do MDL. Conseqüentemente formou-se um mercado promissor de compra e venda de carbono.

A Agcert é uma empresa canadense sediada em Dublin ó Irlanda, de capital aberto e atuante na bolsa de valores de Londres, que é especializada na produção e venda de RCEs derivadas de atividades agrícolas, tendo parceria com AES *Corporation* empresa global do setor energético (AGCERT, 2006).

A empresa é líder em projetos MDL na América Latina sendo a única que assume todo o gerenciamento, desde o projeto tecnológico das fazendas até sua comercialização com as indústrias e governos europeus e asiáticos, e seu foco inicial é principalmente a atividade de bovinocultura e suinocultura.

As propriedades que participam do MDL são beneficiadas com um percentual do valor obtido dos RCEs e os proprietários das mesmas têm a vantagem de não realizar qualquer investimento, ou se preocupar com documentações e auditorias inerentes ao projeto.

Segundo Coelho (2007), os projetos nacionais antes de serem enviados à UNFCCC e serem aprovados pela CIMGC, devendo apresentar, além dos benefícios ambientais, preocupações sociais, garantindo a geração de emprego e renda.

Os atuais 88 projetos nacionais registrados podem ser responsáveis pela redução de mais de 15 milhões de toneladas de carbono e movimentar US\$ 150 milhões.

## **2.12 Legislação relacionada a energias renováveis**

A Lei 10.438 de 26 de abril de 2002 é de incentivo às fontes de energias renováveis e dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, criando o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica ó Proinfa e a Conta de Desenvolvimento Energético CDE.

A CDE receberá parte da receita operacional líquida de geradoras (1%), transmissoras (2%) e distribuidoras (0,5%) de energia elétrica, para que seja destinada ao investimento em programas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) no setor elétrico nacional.

E a partir de 2006, a segunda fase do PROINFA prevê que o percentual de recursos a ser enviado pelas distribuidoras, passe a ser de 0,75% de sua receita operacional líquida (BRASIL, 2005a, p. 30) e tem como objetivo garantir que 10% da produção de eletricidade seja de fontes renováveis até 2010 e chegando à 20% em 2020 (WWF-Brasil<sup>6</sup>, 2007).

O Decreto 5.1637 trata da comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões de autorizações de geração de energia elétrica, que em seu escopo contem seis capítulos onde o capítulo 1 trata de regras gerais de comercialização de energia elétrica, o capítulo 2 trata da comercialização de energia elétrica no ambiente de contratação regulada, o capítulo 3 trata da comercialização de energia elétrica no ambiente de contratação livre, o capítulo 4 trata da contabilização e liquidação de diferenças no mercado de curto prazo, o capítulo 5 trata da outorga de concessões e o capítulo 6 trata das disposições finais e transitórias.

### **2.13 Aproveitamento atual de biomassa no Brasil**

Segundo Coelho (2002), a crescente preocupação ambiental que caracterizou a década de 90 criou novos desafios para este século, como a necessidade de inserir o meio ambiente nas políticas e planos de desenvolvimento em âmbito mundial. Neste contexto, merecem especial atenção as regiões onde o extrativismo seja base das atividades econômicas praticadas. No Brasil, esse desafio acentua-se na Região Amazônica, devido à forma não planejada com que são explorados seus recursos naturais e a biomassa disponível na região.

De acordo com Walter (2001), o Brasil é um de poucos países industrializados no mundo em que as fontes de energia renováveis representam uma parte significativa da matriz energética nacional. Segundo o Balanço Energético Nacional 2003, 41% da oferta interna de energia teve origem em fontes renováveis. A hidroeletricidade é a fonte de energia renovável mais importante, contribuindo com 14% do total de energia produzida, seguida por subprodutos da cana-de-açúcar (álcool e bagaço), 12,6% e por madeira (lenha e carvão vegetal), 11,9%. Além disso, outras fontes de energia renovável, como o licor preto e os resíduos agrícolas, representam 2,5% (BRASIL, 2003).

Ainda de acordo com o autor, no que se refere à biomassa, os setores industrial (63,1%) e o residencial (18,6%) são os principais consumidores, seguidos do setor de

transporte (13,3%), correspondente ao álcool combustível. O alto incremento do uso industrial de biomassa, na primeira metade da década de 80, deve-se ao carvão vegetal que substituiu óleo combustível e ao bagaço de cana utilizado na produção de álcool. Ressalta-se que o consumo de biomassa nos setores residencial e agropecuário vem diminuindo em razão da menor utilização da lenha.

Já a oferta média de energia renovável mundial é de 14% do total de energia produzida, sendo a biomassa responsável por 11,5% e a hidroeletricidade por 2,3%, e nos países da OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*) é de 6% (BRASIL, 2003).

Existem regiões no Brasil com geração exclusivamente baseada em óleo diesel, especificamente na região Norte, que não pertencem ao Sistema Interligado, o que corresponde a um gargalo importante na matriz energética da região. O Brasil, além de importar petróleo bruto para refinar, também importa óleo diesel puro para garantir a oferta deste combustível. Desta forma, nestas regiões que, em geral, apresentam o extrativismo ou a agricultura de subsistência como principal atividade econômica, podem ser empregados os resíduos derivados de tais atividades para a produção de energia, visando o atendimento da comunidade local (COELHO et al., 2002).

De acordo com Faccenda (1996), o conhecimento do potencial termodinâmico existente na indústria de processamento de madeira e sua viabilidade econômica de exploração é condição indispensável para um bom planejamento.

A figura 1 mostra que atualmente no Brasil a matriz energética é bem diversificada, os combustíveis fósseis são os mais utilizados principalmente para abastecer o setor de transportes. Na geração de eletricidade a fonte energética mais utilizada é a hidroelétrica. A biomassa é utilizada na produção de etanol como combustível e também na geração de eletricidade com a queima do bagaço da cana, e também através do biogás (GUARDABASSI, 2006).

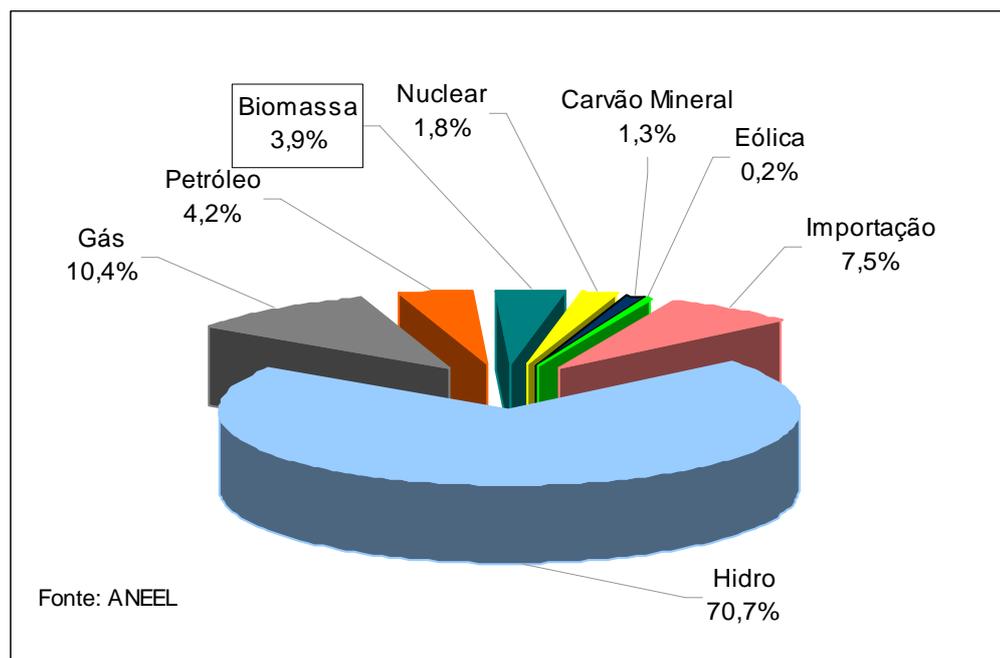


Figura 1 - Oferta de energia primária no Brasil em 2004.

Fonte: ANEEL.

A biomassa é utilizada em diversos setores da economia brasileira, no setor industrial a biomassa é utilizada no setor de papel e celulose, utilizando recursos dendroenergéticos como combustível em processos de gaseificação (VELÁZQUEZ, 2000), no setor de açúcar e álcool são utilizados os sistemas de cogeração (COELHO, 1999) e também no setor de bebidas, nas indústrias que processam sucos de frutas. Nas serrarias são utilizados resíduos de madeira para produção de calor e eletricidade (VARKULYA JR, 2004).

No Brasil, a forma de biomassa mais utilizada é o bioetanol, que é utilizado no setor de transportes, e é um biocombustível obtido através da cana-de-açúcar.

#### 2.14 A geração de energia elétrica utilizando biomassa

Embora a biomassa tenha sido o primeiro vetor energético empregado pela Humanidade e ainda seja uma fonte energética de importância, a produção de eletricidade a partir da biomassa é restrita (WALTER e NOGUEIRA, 1997).

Neste capítulo apresentamos um panorama da utilização da biomassa para geração de energia elétrica no Brasil e os aspectos positivos de uma adoção em larga escala de tecnologias mais eficientes para esse fim.

### 2.14.1 A energia elétrica a partir da biomassa no Brasil

No Brasil a biomassa contribui muito pouco na produção de eletricidade, sendo sua contabilização no Balanço Energético Nacional de ano base 1999 integralmente atribuída a autoprodução apesar de já existir venda de excedentes de energia elétrica das usinas sucroalcooleiras para as concessionárias de distribuição no Estado de São Paulo (NETO, 2001).

Dados do ano de 1999 apresentados no Balanço Energético Nacional indicam que a parcela da geração de energia elétrica a partir da biomassa representou apenas 1,46 % da geração total de eletricidade do país, sendo a participação da lenha de aproximadamente 0,21% e de bagaço de cana-de-açúcar de 1,25 %. A Figura 2 apresenta a evolução da geração elétrica total no Brasil, no período de 1983 até 1999 e a contribuição percentual da geração a partir da biomassa (NETO, 2001).

A participação da lenha no total da autoprodução de energia elétrica regrediu de uma média de 5,5 % na década de 80 para algo em torno de 4,8 % na década de 90 enquanto ao bagaço de cana-de-açúcar manteve-se numa média de 17 % nos dois períodos. Foi mantida a participação média da biomassa responsável por autoprodução de energia elétrica em 22 % por todo o período (NETO, 2001).

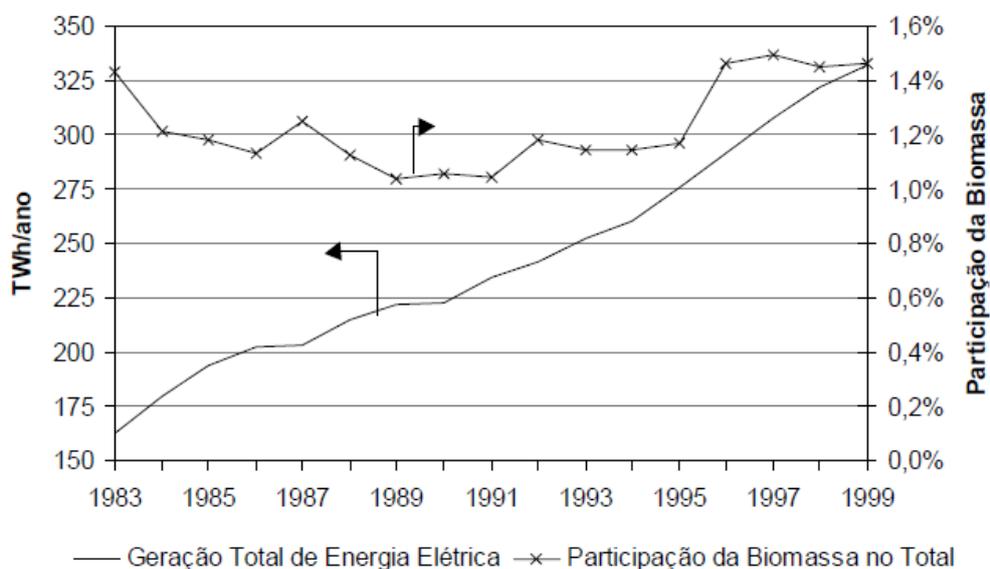


Figura 2 - Geração Total de Eletricidade e Participação da Biomassa.

Fonte: DNPE/SEN/MME (2000) ó Balanço Energético Nacional 2000.

### 2.14.2 Tecnologias utilizadas na geração de energia elétrica a partir da biomassa

Cogeração é a geração simultânea de energia térmica e mecânica a partir de um mesmo combustível (gás natural, resíduos de madeira, casca de arroz, bagaço da cana, palha, ponteiros etc.). A energia mecânica pode ser utilizada como trabalho ou transformada em eletricidade através de geradores; a energia térmica é utilizada como fonte de calor para processos industriais ou no setor de comércio ou de serviços (COELHO, 1999). A figura 3 apresenta o esquema de uma planta de cogeração.

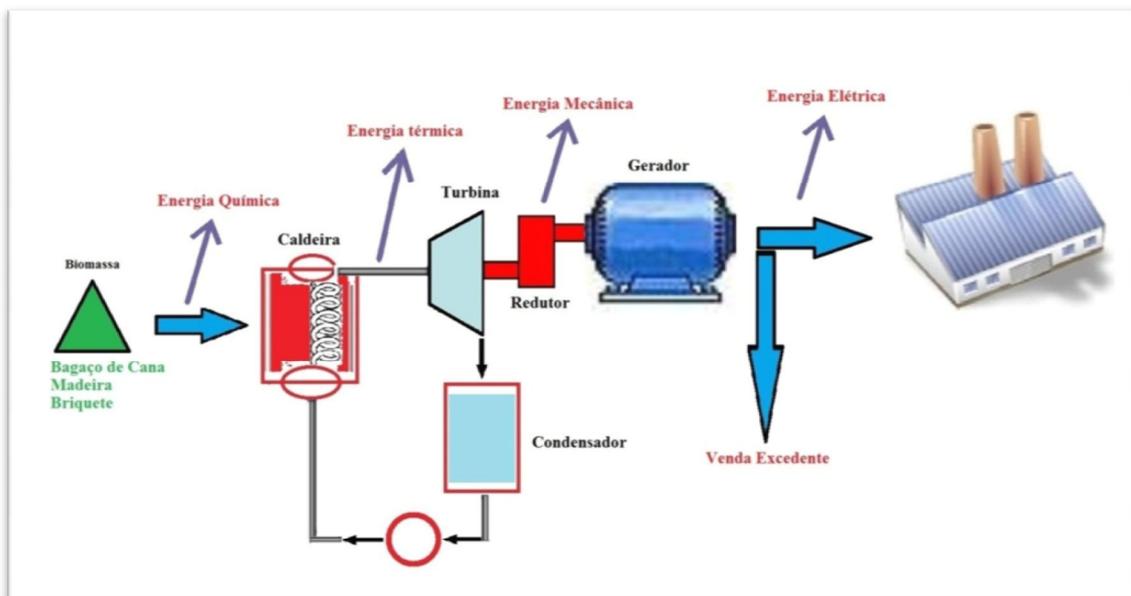


Figura 3 - Esquema de geração de energia a partir da queima de biomassa.  
Fonte: elaborado pelo autor.

A tecnologia de cogeração consagrada no Brasil é a tradicional, do ciclo *topping* (superior) a vapor, em contrapressão, em que a produção de energia mecânica e/ou elétrica ocorre antes da etapa do processo produtivo que utiliza energia térmica. O sistema possui uso final de energia na forma mecânica e térmica (DANTAS FILHO, 2009).

Neste sistema, a biomassa é queimada diretamente em caldeiras e a energia térmica resultante é utilizada na produção do vapor. Este é alimentado nas turbinas de acionamento mecânico do processo e nas turbinas para geração de energia elétrica. Ao sair das turbinas, após a realização do trabalho, o vapor é encaminhado para atender às necessidades térmicas do processo produtivo, conforme apresentado na figura 4 (DANTAS FILHO, 2009).

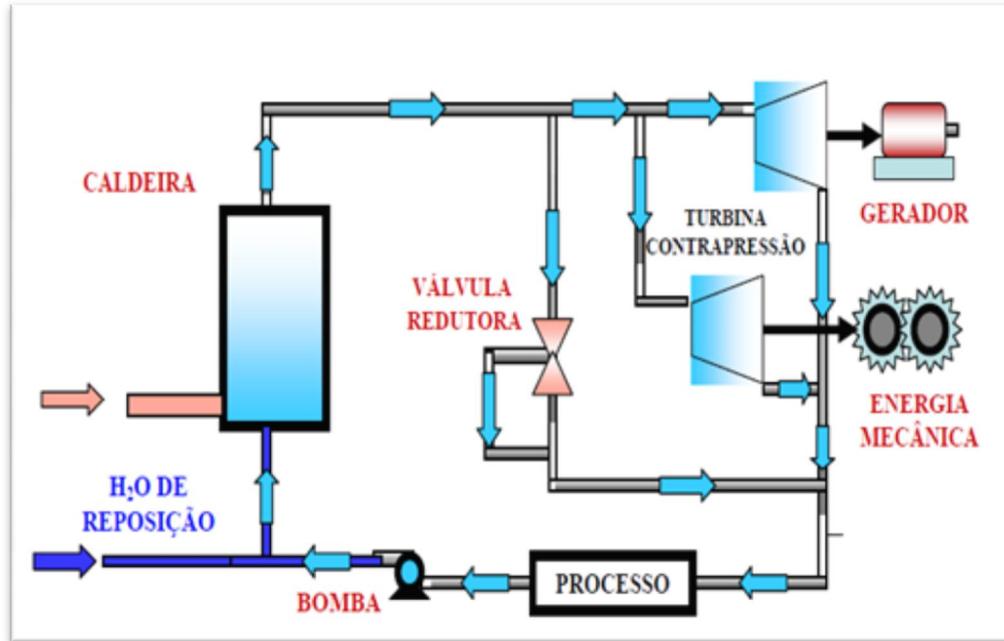


Figura 4 - Esquema produção de vapor e geração de energia.  
Fonte: elaborado pelo autor.

#### 2.14.3 Custos de implantação de Sistemas de Cogeração

A viabilidade econômica das instalações que utilizam a tecnologia de cogeração, bem como a efetiva racionalização de energia, são fortemente afetadas pelo fator de utilização dos equipamentos e pela correta adequação entre as quantidades energéticas fornecidas pela instalação e as quantidades energéticas consumidas pelo processo (TOLMASQUIM *et al.*, 1999).

A instalação de um sistema de cogeração requer, naturalmente, um estudo de viabilidade técnico-econômico prévio no qual os seguintes fatores devem ser considerados (CUNHA, 2000):

- Eficiência das máquinas térmicas;
- Custo de investimento;
- Custo de operação;
- Custo de manutenção;
- Custo de combustível, incluindo análise de tendência de preço ao longo da vida do projeto;
- Disponibilidade de um combustível de reserva;
- Preço da energia elétrica;
- Custo da Demanda Suplementar de Reserva (DSR) ou *back-up*;
- Perfil de operação da planta (base ou *peak-load*);

- Disponibilidade da planta;
- Custos relativos a operação em carga parcial;
- Possibilidade de venda de excedente de energia elétrica e vapor;
- Depreciação;
- Impostos;
- Custo do financiamento;
- Restrições do órgão ambiental;
- Custos de partida e comissionamento;
- Seguro.

De acordo com a tabela 2, os preços das plantas variam consideravelmente, dependendo do escopo de fornecimento, requisitos do local de instalação, área geográfica e condições do mercado. Um fator importante está relacionado ao custo do combustível a ser fornecido para a planta. Outro diz respeito aos custos de mão-de-obra e construção, que podem variar dramaticamente de um local para outro. Plantas mais eficientes, por serem mais complexas, têm custos maiores (recuperadores de calor com três níveis de pressão, turbinas a vapor com múltiplas carcaças, etc.) (NETO, 2001).

Tabela 2 - Custos de Referência para Sistemas Básicos de Cogeração

Parâmetros	Tecnologia			
	Motor Diesel	Motor a gás	Turbina a gás	Microturbina
Faixa de potência (kW)	20 – 10.000+	50 – 5.000+	1.000+	30 – 200
Eficiência <sup>1</sup> % (PCI)	36 – 43%	28 – 42%	21 – 40%	25 – 30%
Investimento da Máquina Térmica (US\$/kW)	125 – 300	250 – 600	300 – 600	350 – 750*
Investimento Total Instalado Operando (US\$/kW)	350 – 500	600 – 1000	650 – 900	600 – 1100
Custo Adicional do Recuperador de Calor (US\$/kW)	-	75 – 150	100 – 200	75 – 350
Custo de O&M (US\$/kW)	0,005 – 0,010	0,007 – 0,015	0,003 – 0,008	0,005 – 0,010

\* Valor Comercial Pretendido

1 - Eficiência da Máquina Térmica

Fonte: Gas Research Institut, (KINCAID, 1999)

#### 2.14.4 Biomassas analisadas

No Brasil os vários setores de produção produzem resíduos que podem ser utilizados como fonte de energia, alguns deles são: os resíduos agrícolas como o bagaço da cana-de-açúcar, resíduos dendroenergéticos, biogás, dentre outros (GUARDABASSI, 2006).

Para este trabalho, foram submetidas aos critérios técnicos as seguintes biomassas:

ÉBagaço de Cana

ÉResíduos de Madeira

ÉBriquetes comerciais (resíduos de madeira, casca de arroz e bagaço de cana)

ÉLixo Urbano

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Metodologia para análise técnica

Inicialmente, de acordo com a tabela 3, cada biomassa será ranqueada com notas que variam de 1 a 5 dependendo do critério estabelecido para este estudo.

Tabela 3 Índices de notas.

ÍNDICE 1	ÍNDICE 2
1 - muito baixo	5 - muito baixo
2 - baixo	4 - baixo
3 - médio	3 - médio
4 - alto	2 - alto
5 - muito alto	1 - muito alto

Fonte: Do autor.

#### Critérios estabelecidos com Índice 1:

- **PCI**  
PCI (Poder Calorífico Inferior) em kcal/kg;  
Alto valor de PCI, maior nota.
- **Densidade**  
Densidade em kg/m<sup>3</sup>;  
Alta densidade, maior nota.
- **Disponibilidade**  
Disponibilidade da biomassa;  
Maior disponibilidade na área, maior nota.

#### Critérios estabelecidos com Índice 2:

- **Custo**  
Custo em R\$/Ton;

Menor custo, maior nota.

- **Umidade**

Umidade média em porcentagem;

Menor umidade, maior nota.

- **Necessidade de pré-processamento**

Necessidade de pré-processamento da biomassa para a queima na caldeira;

Sem pré-processamento, maior nota.

- **Armazenagem**

Se a biomassa considerada requer armazenamento para queima;

Não necessita, maior nota.

- **Sazonalidade**

Sazonalidade da biomassa;

Não há sazonalidade, maior nota.

As faixas de variação de cada parâmetro bem como os dados técnicos de cada biomassa mostradas na tabela 4, foram obtidos através de dissertações de mestrado e teses de doutorado e sites na internet além de trabalhos publicados tais como artigos e revistas.

Tabela 4 - Ranking de notas.

Critérios	Nota				
	1	2	3	4	5
<b>ÍNDICE 1</b>					
PCI (kcal/kg)	0 - 1.000	1.000 - 2.000	2.000 - 3.000	3.000 - 4.000	Acima de 4.000
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	1 - 100	100 - 200	200 - 300	300 - 400	Acima de 400
Disponibilidade	Muito baixa		Média		Muito alta
<b>ÍNDICE 2</b>					
Custo R\$/Ton	Acima de 200,00	150,00 - 200,00	100,00 - 150,00	50,00 - 100,00	1,00 - 50,00
Umidade média (%)	Acima de 40	30 - 40	20 - 30	10 -- 20	0 - 10
Necessidade de pré-processamento	Sim				Não
Armazenagem	Muito alta		Média		Muito baixa
Sazonalidade	Sim				Não

Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.2 Determinação do potencial energético do resíduo de madeira

O modelo de equação usado neste trabalho, bem como no software de simulação foi proposto por Brito et al. (1979), onde conhecendo-se a densidade básica, a umidade e a quantidade (volume) de madeira, pode-se estimar com relativa precisão a quantidade de energia da madeira e, por conversão, a quantidade de energia elétrica possível de se obter. A estimativa é feita utilizando a fórmula estabelecida por Krogh (1979), o qual observou que o poder calorífico inferior da madeira (PCi), dado em quilocalorias por quilograma ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ ), obedece aproximadamente à seguinte equação 1 (Krogh, 1979):

$$PC = 4.590 \text{ ó } (51,9 U) \quad (1)$$

Onde:

PCi = poder calorífico inferior da madeira (em kcal/kg)

4.590 e 51,9 = constantes

U = teor de umidade (em %)

Associando-se essa equação ao volume de madeira (resíduos), à densidade básica média e à umidade média da madeira, pode-se calcular a energia potencial contida nos resíduos por meio da equação 2 (Brito et al., 1979) :

$$E = V Db [4.590 \text{ ó } (51,9 U)] \quad (2)$$

Onde:

E = quantidade de energia (em kcal)

V = volume total dos resíduos não aproveitados (em  $\text{m}^3$ )

Db = densidade básica média (em  $\text{kg/m}^3$ )

4.590 e 51,9 = constantes

U = teor de umidade (em %)

Utilizando a tabela 5(Fatores de Conversão de Energia), é possível obter a quantidade de energia elétrica possível de se obter a partir da energia calorífica obtida.

Tabela 5 - Fatores de Conversão de Energia.

Fatores de conversão para energia					
de » para	Multiplicar por				
	J	Btu	cal	kWh	tep
joule (J)	1,0	947,8 x 10 <sup>6</sup>	0,23884	277,7 x 10 <sup>9</sup>	2,388 x 10 <sup>-11</sup>
British Thermal Unit (Btu)	1,055 x 10 <sup>3</sup>	1,0	252,0	293,07 x 10 <sup>-6</sup>	2,52 x 10 <sup>-8</sup>
caloria (cal)	4,1868	3,968 x 10 <sup>3</sup>	1,0	1,163 x 10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-10</sup>
quilowatt-hora (kWh)	3,6 x 10 <sup>6</sup>	3.412,0	860,0 x 10 <sup>3</sup>	1,0	8,6 x 10 <sup>6</sup>
tonelada equivalente de petróleo (tep)	41,87 x 10 <sup>9</sup>	3968 x 10 <sup>6</sup>	10,0 x 10 <sup>9</sup>	11,63 x 10 <sup>9</sup>	1,0

Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil.

### 3.3 Sistema de geração de energia através das biomassas selecionadas

A geração termelétrica nas usinas de açúcar e álcool é tradicionalmente realizada em ciclos Rankine de contrapressão mostrado na figura 5. Nestes sistemas, a biomassa é queimada diretamente em caldeiras, por isso chamadas caldeiras de queima direta, e a energia térmica resultante é utilizada na produção do vapor. Este vapor acionará uma turbina para geração de energia elétrica e, ao sair da turbina após a realização do trabalho, será encaminhado para atender as necessidades térmicas do processo produtivo (Anexo A).

O uso de biomassa para geração de eletricidade principalmente em plantas que operam utilizando o ciclo Rankine de vapor está ganhando importância, tendo em vista que esta tecnologia já está consolidada e encontra-se em estágio comercial (MENDES, 2009).

O Ciclo de Rankine é um ciclo termodinâmico no que se relaciona o consumo de calor com a produção de trabalho. Como outros ciclos termodinâmicos, a máxima eficiência termodinâmica é dada pelo cálculo de máxima eficiência do Ciclo de Carnot.

O ciclo Rankine é um ciclo de potência que opera com vapor. Este é produzido em uma caldeira a alta pressão para logo ser levado a uma turbina onde produz energia cinética, onde perderá pressão. Seu caminho continua ao seguir para um condensador, onde o vapor remanente muda ao estado líquido. Posteriormente, é succionado por uma bomba que aumentará a pressão do fluido para poder o ingressar novamente à caldeira. Existem algumas melhoras ao ciclo, como por exemplo, agregar sobrecalentadores à saída da caldeira que permitam obter vapor sobrecalentado para que entre à turbina e aumentar assim o rendimento do ciclo.

Os sistemas de geração de vapor não só geram eletricidade, mas também são de grande importância industrial, principalmente para as empresas que necessitam de uma fonte de energia térmica para o processo. O vapor de água quando utilizado como vetor de transporte de energia térmica traz vantagens como baixa agressividade química e a grande capacidade de transportar energia o que justifica a sua grande disseminação.

No processo de geração e de utilização do vapor ocorrem mudanças de fase da água, tanto na vaporização quanto na condensação, que proporcionam grandes variações de volume, resultando em elevado coeficiente de transferência térmica, que, somado à alta densidade energética (calor latente) do vapor, produz elevadas taxas de transferência de energia. Com a avaliação dessas taxas de energia obtém-se o desempenho energético do processo de geração de energia de uma planta a vapor, podendo assim quantificar as perdas em cada equipamento da planta. Embora a análise energética de uma central a vapor possa quantificar as taxas de energia, ela não é apropriada para qualificar as perdas de energia causadas pelas irreversibilidades dos processos térmicos (MENDES, 2009).

Genericamente, o processo de geração de energia de uma central a vapor a biomassa com ciclo fechado inicia com os resíduos de cana ou madeira sendo levados até uma fornalha, juntamente com adição de ar para manter a combustão no interior da fornalha. Os resíduos deste processo são as cinzas e os gases de exaustão que saem pela chaminé (MENDES, 2009).

O ciclo termodinâmico inicia a partir do processo de circulação do fluido de trabalho, normalmente a água, que sai do tanque de condensado, passa pela bomba de alta pressão que eleva a sua pressão antes de entrar na caldeira passando ao estado de líquido comprimido, o fluido recebe calor proveniente da queima da biomassa e passa para um estado de vapor. O vapor então é entregue a turbina que transforma a energia térmica em energia mecânica. Acoplado a turbina está o gerador capaz de transformar energia mecânica em energia elétrica. O vapor que sai da turbina com pressão menor a pressão atmosférica entra no condensador, onde cede calor ao fluido de arrefecimento podendo passar para um estado líquido. Através de uma bomba o fluido de trabalho retorna ao tanque de condensado, fechando assim o ciclo de geração. O fluido de arrefecimento do vapor poderá passar por uma torre de resfriamento onde o calor recebido do vapor é transferido para o meio ambiente, ou ser devolvido ao seu corpo de água original (MENDES, 2009).

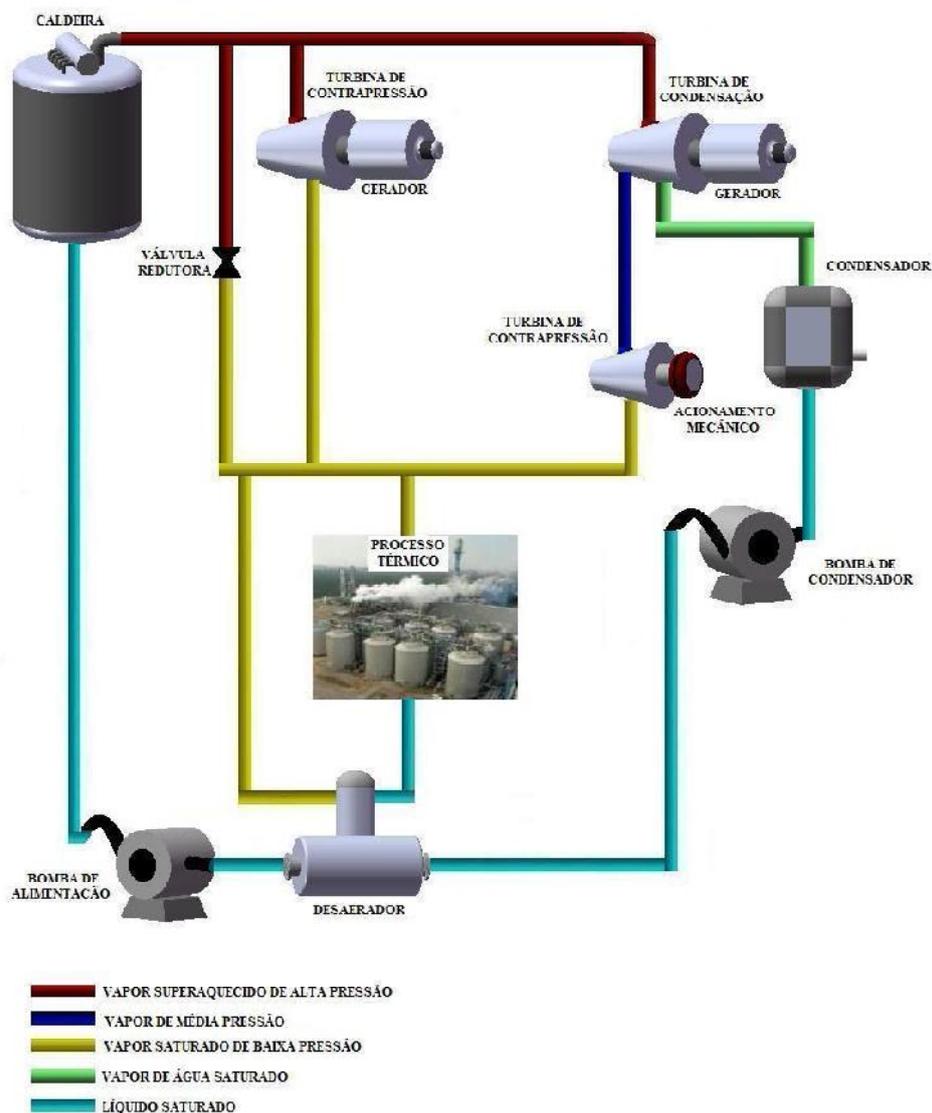


Figura 5 - Ciclo termodinâmico de uma central a vapor.  
 Fonte: Mendes (2009).

### 3.4 Metodologia para análise econômica

O estudo da análise econômica tem como objetivo determinar se o projeto é rentável ou não, ou seja, se o capital investido retorna ao investidor.

Os valores de receitas e despesas determinados permitem compor o fluxo de caixa, que são os valores em unidades monetárias que refletem as entradas e saídas dos recursos e produtos por unidade de tempo que formam uma proposta de investimento (NORONHA, 1981). Para Nogueira (2001), fluxo de caixa é um instrumento gerencial fundamental na tomada de decisões empresariais. Seus objetivos são a coleta e a organização dos dados e o fornecimento de subsídios para análise de desempenho financeiro e para a realização de previsões orçamentárias.

Um ponto fundamental na análise de investimento é a determinação da taxa de desconto a ser utilizada como parâmetro para avaliação econômica de propostas, que é a chamada Taxa Mínima de Atratividade de Retorno (TMAR).

De acordo com Nogueira (2001), a determinação da TMAR faz parte de uma política a ser formulada pela cúpula administrativa das empresas, onde os aspectos que influenciam esta decisão são: disponibilidade e custos dos recursos, horizonte de planejamento do projeto (curto ou longo prazo), oportunidades estratégicas que o investimento pode oferecer e taxa de juros paga no mercado por grandes bancos ou por títulos governamentais, para o montante de dinheiro envolvido. Entretanto, de uma maneira geral, toma-se como base para a análise de investimento o custo do capital da empresa.

Neste trabalho, foi considerada uma Taxa Mínima de Atratividade de Retorno de 10 % ao ano.

O Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Tempo de Retorno do Investimento (*Payback*) estão entre os principais indicadores considerados na análise de projetos (ABREU e STEPHAN, 1982, BUARQUE, 1984).

### **3.5 Valor Presente Líquido (VPL)**

Valor Presente Líquido é a equivalência monetária hoje da soma dos fluxos de caixa futuros, depois de descontado o imposto de renda, de todos os anos de duração do projeto. O método de VPL é um valioso indicador porque reconhece o valor do dinheiro no tempo. Projetos que apresentam VPL positivo são atraentes.

### **3.6 Taxa Interna de Retorno (TIR)**

Taxa Interna de Retorno (TIR) é definida como a taxa de desconto que iguala a zero o VPL dos fluxos de caixa do projeto. A TIR é calculada para determinar se a rentabilidade do projeto excede uma mínima taxa de retorno aceitável, freqüentemente chamada de taxa de atratividade. A vantagem da TIR é que, diferentemente do VPL, seus resultados de porcentagem permitem comparar projetos de tamanhos diferentes com facilidade.

A taxa interna de retorno, apesar de ser consideravelmente mais difícil de calcular à mão do que o VPL (Valor Presente Líquido) é possivelmente a técnica sofisticada mais usada para a avaliação de alternativas de investimentos. Como a TIR é a taxa de desconto que faz

com que o VPL de uma oportunidade de investimento iguale-se a zero (já que o valor presente das entradas de caixa é igual ao investimento inicial), matematicamente, a TIR é obtida resolvendo-se a equação 3 para o valor de k que torne o VPL igual a zero na equação 4 (GITMAN, 2002 *apud* PEREIRA, ALMEIDA, 2008).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (3)$$

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} - I_0 \quad (4)$$

Onde: FC ó valor presente das entradas de caixa;

$I_0$  ó investimento inicial;

k ó taxa de desconto (igual ao custo de capital de empresa);

t ó tempo de desconto de cada entrada de caixa;

n - tempo de desconto do último fluxo de caixa.

### 3.7 Tempo de Retorno do Investimento (Payback)

Um cálculo do tempo de retorno do investimento ou *payback* compara as rendas com os custos e determina o período de tempo exigido para recuperar o investimento inicial. Um período de *payback* simples é calculado freqüentemente sem levar em conta o valor do dinheiro no tempo. Este indicador é freqüentemente usado para analisar oportunidades de investimento que oferecem benefícios incrementais e aplicações de uso final.

### 3.8 Planta de Cogeração usada para simulação dos dados econômicos

Após a determinação das melhores fontes de biomassa para queima em caldeira pela avaliação técnica, estas serão analisadas economicamente sendo submetidas a queima em uma termelétrica composta pelos equipamentos mostrados na tabela 6:

Tabela 6 - Equipamentos para cogeração.

<b>EQUIPAMENTOS</b>	<b>VALOR (R\$)</b>
CALDEIRA - FABRICANTE DEDINI - MODELO AZ 200, 200 T/H VAPOR, 67 KG/CM <sup>2</sup> E ACESSÓRIOS PARA QUEIMA DO RESÍDUO DE BIOMASSA	32.000.000,00
TURBO - GERADOR SIEMENS SST 300 (POTÊNCIA - 40.000 Kw)	8.000.000,00
ACESSÓRIOS - TUBULAÇÃO, ISOLAMENTO, MATERIAIS ELÉTRICOS	250.000,00
PROJETO, CONSTRUÇÃO CIVIL, INSTALAÇÃO, FRETE E MÃO DE OBRA	150.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>40.400.000,00</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

Ressalta-se que investimentos necessários para a implementação de qualquer uma das alternativas de uso (bagaço de cana e resíduos de madeira) são os mesmos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise técnica

Após a formação dos índices de variação, bem como a obtenção dos dados através de outros trabalhos, os dados obtidos são mostrados na tabela 7 a seguir:

Tabela 7 - Dados obtidos.

Critérios	Biomassa			
	Resíduos da Madeira	Bagaço de cana	Briquetes Comerciais	Lixo Urbano
Custo R\$/Ton	15,00 a 45,00	10,00 a 40,00	180,00 a 450,00	30,00
PCI (kcal/kg)	2.500 a 4.600	2.200 a 4.400	4.338 a 4.750	4.030 a 6.300
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	510	100 a 250	500 a 550	150 a 250
Umidade (%)	0 a 50	0 a 50	8 a 12	50
Necessidade de pré-processamento	Não	Não	Sim	Sim
Disponibilidade	Muito alta	Muito alta	Muito baixa	Muito alta
Armazenagem	Médio	Médio	Médio	Nenhum
Sazonalidade de produção	Não	Sim	Não	Não

Fonte: elaboração própria a partir de MORAIS & SILVA (2008), BARBOSA *et al.* (2008), EPE (2008), QUIRINO (1988), GONÇALVES *et al.* (2007), NOGUEIRA (2012), BASQUEROTTO (2010), SILVA & SANTOS (2010), BRITO (1979), MARCHESINI NETO *et al.* (2010), SIMOES *et al.* (2006), SILVA JUNIOR *et al.* (2006) e BRIQUETES SÃO CARLOS (2012)

### 4.2 Considerações sobre os dados técnicos

A tabela 8 mostra as notas obtidas de acordo com cada critério adotado.

Tabela 8 - Notas obtidas.

Critérios	Biomassa			
	Resíduos da Madeira	Bagaço de cana	Briquetes	Lixo Urbano
Custo R\$/Ton	5	5	2	5
PCI (kcal/kg)	5	5	5	5
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	5	3	5	3
Umidade média (%)	5	5	5	1
Necessidade de pré-processamento	5	5	1	1
Disponibilidade	5	5	1	5
Armazenagem	3	3	3	5
Sazonalidade de produção	5	1	5	5
<b>SOMA DAS NOTAS</b>	<b>38</b>	<b>32</b>	<b>27</b>	<b>30</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

Se após a obtenção dos dados a faixa de variação compreender dois ou mais índices de ranking de notas, prevalecerá a maior nota de acordo com o dado técnico considerado.

Para análise posterior, apenas os dois resíduos com maior nota foram considerados, o bagaço de cana e o resíduo de madeira.

Para o cálculo da energia foi considerado para este estudo um volume de 1 m<sup>3</sup> de resíduos não aproveitados; a densidade básica média de 850 kg.m<sup>-3</sup>, uma vez que as espécies de madeira processadas pelas serrarias são, na sua maioria, madeiras de densidade média a pesada; e o teor médio de umidade de 50%, pressupondo que o tempo entre a formação dos resíduos e seu uso para fins energéticos não seria suficiente para reduzir o teor de umidade inicial, de modo que se estima ser a umidade intermediária entre o estado verde e o estado de equilíbrio com o ambiente.

O cálculo foi realizado usando a equação 2:

$$E = 1 * 850 * [4.590 + (51,9 * 50)]$$

Portanto, o total de energia contida nos resíduos não aproveitados gerados será de:

$$E = 1,69 * 10^6 \text{ kcal}$$

Usando a tabela 5 e convertendo a energia E de kcal para kWh (divide-se pelo fator 859,845), chega-se a um total aproximado de 1,94 MWh.

### 4.3 Determinação do potencial energético do bagaço de cana

Leal (2005) estima que o índice de produção do bagaço possa chegar a 280 kg de bagaço por tonelada de cana moída, com 50% de umidade e poder calorífico inferior da ordem de 7.500 kJ/kg (1792 kcal/kg).

Fazendo uma aproximação com a fórmula de Krogh (1979) para o bagaço de cana-de-açúcar para um volume estimado de 1 m<sup>3</sup>, com grau de compactação da ordem de 1.400 kg/m<sup>3</sup>, obtém-se um total de energia nos resíduos do bagaço de cana de aproximadamente 2,5 \* 10<sup>6</sup> kcal.

$$E = 1792 * 1440 = 2.580.480 \text{ kcal}$$

Convertendo a energia E de kcal para kWh (divide-se pelo fator 859,845), chega-se a um total aproximado de 2,92 MWh.

#### 4.4 Análise econômica

Para a alternativa de combustível resíduos de madeira, de acordo com o estudo realizado acima, para se gerar 1,97 MWh de energia, são necessários cerca de 1 m<sup>3</sup> de resíduos de madeira e considerando que sua densidade média é de 850 kg/m<sup>3</sup> com umidade de 50 %, então com uma tonelada de resíduo gera-se cerca de 2,31 MWh. O preço praticado pela tonelada de resíduos de madeira pelas serrarias é em média de R\$ 62,50 (valor obtido em abril/2012).

Para se gerar os 800 MWh pretendidos diariamente, são necessários um total de 346,3 toneladas de resíduos de madeira e um gasto R\$ 21.645,02 por dia.

Para a alternativa de combustível bagaço de cana, de acordo com o estudo realizado acima, para se gerar 2,92 MWh de energia, são necessários cerca de 1 m<sup>3</sup> de resíduos de bagaço de cana e considerando que sua densidade média é de 1.400 kg/m<sup>3</sup> com umidade de 50 %, então com uma tonelada de resíduo gera-se cerca de 2,08 MWh. O preço praticado pela tonelada de do bagaço de cana pelas usinas de álcool é em média de R\$ 17,50 (valor obtido em abril/2012).

Para se gerar os 800 MWh pretendidos diariamente, são necessários um total de 384,61 toneladas de bagaço de cana e um gasto de R\$ 6.730,76 por dia.

Quanto à tarifação do serviço de fornecimento de energia elétrica, foi estabelecido pelo órgão competente (ANEEL) o valor máximo que pode ser repassado do gerador ao consumidor cativo, chamado valor normativo, que varia de acordo com a tecnologia de geração adotada (NETO, 2001). Para a geração e cogeração de energia elétrica a partir da biomassa utilizaremos este valor como referência para os cálculos no modelo de avaliação econômica aqui apresentada, atualmente fixada em R\$ 71,16/MWh (valor obtido em agosto/2012).

Para a elaboração do fluxo de caixa, foram determinados os custos operacionais e as receitas mensais. Para a biomassa madeira, o fluxo de caixa é mostrado na tabela 9 e para a biomassa cana de açúcar, o fluxo de caixa é mostrado na tabela 10.

Tabela 9 - Fluxo de caixa para a biomassa madeira.

<b>Período (mês)</b>	<b>Investimento Inicial (R\$)</b>	<b>Despesa Operacional (R\$)</b>	<b>Receita Mensal (R\$)</b>	<b>FDL (fluxo de caixa líquido diferencial)</b>
0	40.400.000,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	649.350,60	1.707.840,00	1.058.489,40
2	0,00	649.350,60	1.707.840,00	1.058.489,40
3	0,00	649.350,60	1.707.840,00	1.058.489,40
4	0,00	649.350,60	1.707.840,00	1.058.489,40
5	0,00	649.350,60	1.707.840,00	1.058.489,40
6	0,00	649.350,60	1.707.840,00	1.058.489,40
7	0,00	649.350,60	1.707.840,00	1.058.489,40
8	0,00	649.350,60	1.707.840,00	1.058.489,40
9	0,00	649.350,60	1.707.840,00	1.058.489,40
10	0,00	649.350,60	1.707.840,00	1.058.489,40
11	0,00	649.350,60	1.707.840,00	1.058.489,40
12	0,00	649.350,60	1.707.840,00	1.058.489,40
13	0,00	649.350,60	1.707.840,00	1.058.489,40
:	:	:	:	:
60	0,00	649.350,60	1.707.840,00	1.058.489,40

Fonte: Dados do autor.

Tabela 10 - Fluxo de caixa para a biomassa bagaço de cana.

<b>Período (mês)</b>	<b>Investimento Inicial (R\$)</b>	<b>Despesa Operacional (R\$)</b>	<b>Receita Mensal (R\$)</b>	<b>FDL (fluxo de caixa líquido diferencial)</b>
0	40.400.000,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	201.922,80	1.707.840,00	1.505.917,20
2	0,00	201.922,80	1.707.840,00	1.505.917,20
3	0,00	201.922,80	1.707.840,00	1.505.917,20
4	0,00	201.922,80	1.707.840,00	1.505.917,20
5	0,00	201.922,80	1.707.840,00	1.505.917,20
6	0,00	201.922,80	1.707.840,00	1.505.917,20
7	0,00	201.922,80	1.707.840,00	1.505.917,20
8	0,00	201.922,80	1.707.840,00	1.505.917,20
9	0,00	201.922,80	1.707.840,00	1.505.917,20
10	0,00	201.922,80	1.707.840,00	1.505.917,20
11	0,00	201.922,80	1.707.840,00	1.505.917,20
12	0,00	201.922,80	1.707.840,00	1.505.917,20
13	0,00	201.922,80	1.707.840,00	1.505.917,20
:	:	:	:	:
60	0,00	201.922,80	1.707.840,00	1.505.917,20

Fonte: Dados do autor.

Por outro lado, considera-se que grande parte dos investidores deseja um tempo de retorno em cinco anos.

Os resultados dos indicadores de viabilidade econômica são mostrados na tabela 11.

Tabela 31 - Indicadores econômicos do projeto.

FONTE DE BIOMASSA	INDICADORES ECONÔMICOS			
	VPL	TIR	PAYBACK SIMPLES	PAYBACK ECONÔMICO
MADEIRA	R\$ 7.750.091,36	17,26%	3,18	4,14
BAGAÇO DE CANA	R\$ 28.103.330,61	34,61%	2,23	2,72

Fonte: Dados do autor.

#### 4.5 Software de Simulação

O aplicativo batizado de PCEB, Programa de Cogeração utilizando Biomassa, foi idealizado para ajudar futuros investidores do setor energético a vislumbrarem uma planta termelétrica, fornecendo os parâmetros dos equipamentos escolhidos pelo usuário. No Apêndice A é mostrado o código fonte do programa.

O software usa o modelo de equação proposto por Brito et al. (1979) mas é possível inserir qualquer outro modelo para fins de simulação.

O método usado para a validação da equação 2 inserida no software, foi a resolução da equação utilizando dados fictícios e comparando com os dados gerados pelo software de simulação do aplicativo. O método foi aplicado 20 vezes e não houve diferenças significativas entre as duas respostas, tanto a resolvida manualmente quanto a que o software simulou.

Para o desenvolvimento do software, foi necessária a aprendizagem da programação JAVA, já que esta é base da programação em Android, aliada ao XML, linguagem que define todo o layout dos aplicativos escritos em Android.

No menu inicial (Apêndice B), é possível escolher qual o módulo o usuário deseja usar. Foram criados dois módulos, o de projeto e o de manutenção.

No menu de projeto, a primeira etapa o usuário tem a possibilidade de escolher qual o tipo de combustível que será usado para cogerar. Foram propostos apenas dois tipos de resíduos, já que não seria necessário haver mais, ou seja, se os cálculos estiverem corretos para apenas dois tipos de biomassa, a condição será válida para os demais.

Após a escolha do combustível, a próxima etapa é escolher a capacidade da caldeira. Foram disponibilizados valores comerciais de acordo com catálogo da empresa ICAVI (Indústria de caldeiras Vale do Itajaí S/A) (Anexo B).

Depois de escolhida a caldeira, de acordo com a capacidade de geração de vapor é disponibilizada ao usuário a escolha da turbina, seguindo valores comerciais obtidos através de catálogo da empresa SIEMENS (Anexo C).

A próxima etapa é a escolha do gerador em concordância com a potência da turbina selecionada no item anterior, seguindo valores comerciais obtidos através de catálogo da empresa WEG (Anexo D). A tabela 12 mostra os valores e capacidades dos equipamentos usados no projeto.

A figura 6 mostra o fluxograma do software PCEB.

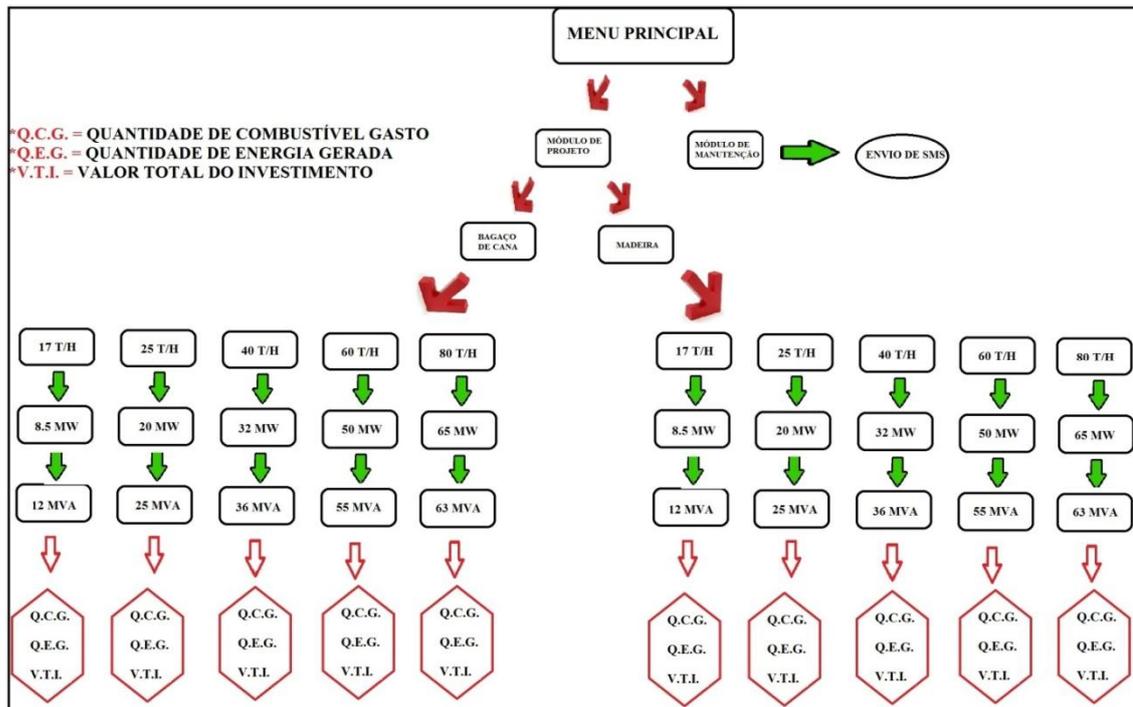


Figura 6 - Fluxograma do Software PCEB.

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 42 - Capacidades e custos dos equipamentos usados no software.

CALDEIRA (ICAVI)	CUSTO (R\$)	TURBINA (SIEMENS)	CUSTO (R\$)	GERADOR (WEG)	CUSTO (R\$)	CUSTO (R\$)
17 T/H	3.000.000	8.5 MW	8.000.000	12 MVA	2.000.000	13.000.000
25 T/H	4.000.000	20 MW	11.000.000	25 MVA	6.000.000	21.000.000
40 T/H	7.000.000	32 MW	14.000.000	36 MVA	8.000.000	29.000.000
60 T/H	10.000.000	50 MW	18.000.000	55 MVA	10.000.000	38.000.000
80 T/H	14.000.000	65 MW	22.000.000	63 MVA	13.000.000	49.000.000

Fonte: Dados dos fabricantes.

Após a escolha das especificações de todos os equipamentos que compõem a unidade cogeneradora, ao clicar no botão de simulação, é informado ao usuário os dados de custo de

investimento da planta, a quantidade de resíduos de biomassa gasto e a quantidade de energia possível de ser gerada diariamente.

No menu de manutenção, o usuário tem a opção de enviar mensagens de texto para outro celular, informando dados obtidos no módulo de projeto.

#### 4.6 Telas do Software PCEB

A figura 7 mostra as telas do módulo de projeto. Em (A) o usuário pode escolher qual fonte de biomassa ele deseja usar, bagaço de cana ou madeira para realizar a simulação. Ao escolher um dos dois combustíveis, o próximo passo é escolher a capacidade da caldeira figura 7 (B). Após a escolha da caldeira, o usuário deve escolher a potência da turbina, figura 7 (C). O passo final é a escolha da capacidade do gerador, figura 7 (D). Foi incluído no módulo de manutenção, um módulo de envio de mensagem, figura 7 (E).

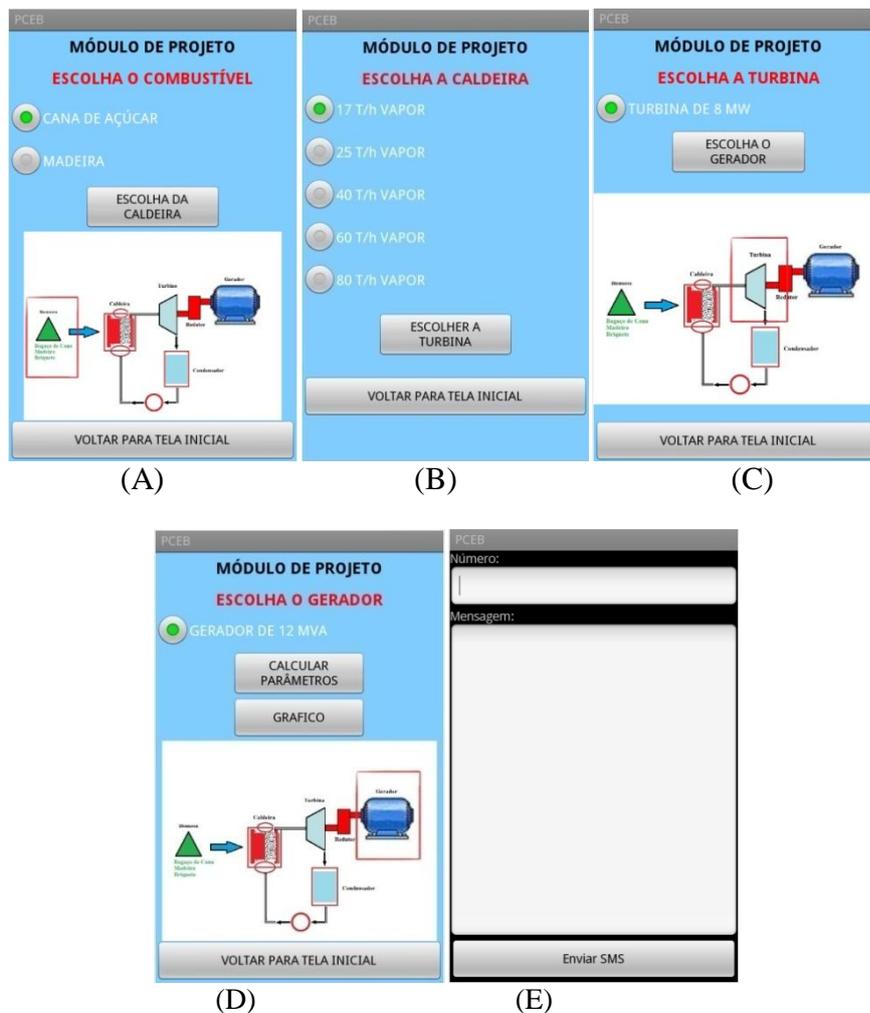


Figura 7 - Telas do módulo de projeto do Software PCEB. (A) Escolha do Combustível, (B) Escolha da caldeira, (C) Escolha da turbina, (D) Escolha do gerador, (E) Módulo de envio de mensagem. Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4.7 Telas de resultados de simulação do software PCEB

Após a escolha dos elementos que compõem o projeto, o usuário ao clicar em calcular parâmetros de acordo com a figura 7 (D), o software informa dados técnicos referente ao consumo de biomassa por hora, a produção total de energia por dia e o investimento total necessário em Reais para a montagem da planta de cogeração. Para efeito de demonstração, os resultados foram simulados com combustível bagaço de cana, caldeira de 17 T/H vapor, turbina de 8,5 MW e gerador de 12 MVA e mostrados na figura 8 (A) e foi gerado o gráfico mostrado na figura 8 (B).

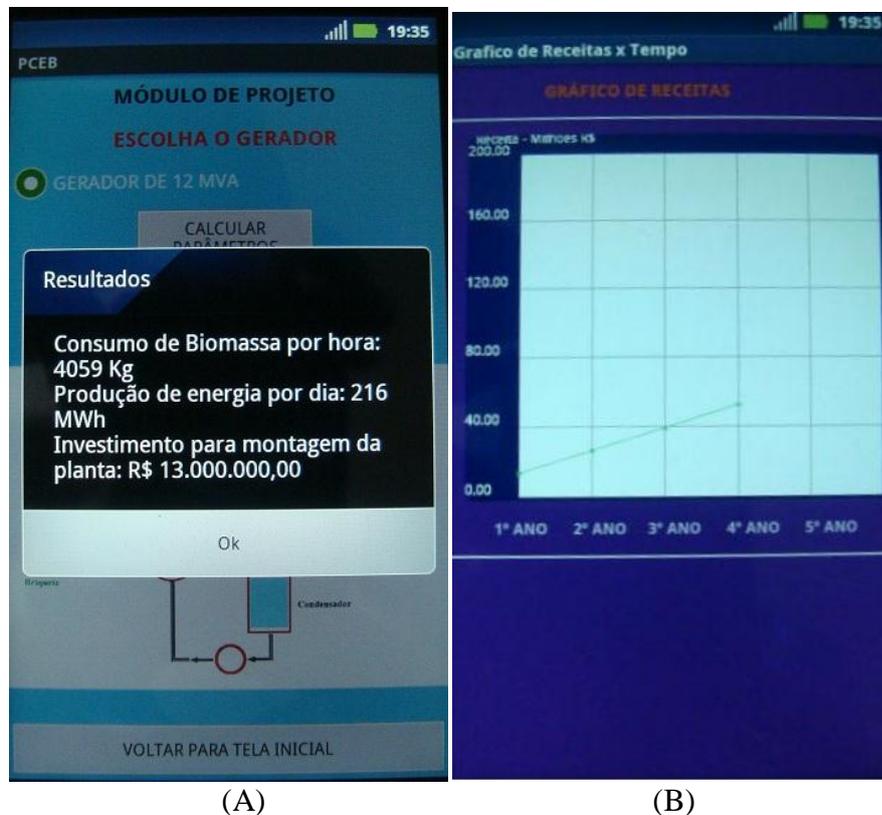


Figura 8 - Telas dos resultados simulados do software PCEB. (A) Dados técnicos do projeto, (B) Gráfico de evolução de receitas X tempo.  
Fonte: elaborado pelo autor.

## 5 CONCLUSÃO

A avaliação técnica mostrou que os resíduos de madeira (serragem e cavaco) apresentaram as maiores notas, seguido do bagaço de cana-de-açúcar. Porém o poder calorífico do metro cúbico do bagaço de cana apresentou níveis maiores do que apresentados pelos resíduos de madeira, apesar da tonelada de resíduo de madeira apresentar um poder calorífico maior quando se trata da massa de cada um, já que a densidade do bagaço de cana é maior devido a sua compactação.

O preço por tonelada dos resíduos de madeira praticado pelos distribuidores é encontrado maior do que a tonelada do bagaço de cana. Provavelmente este aspecto se deve ao fato de que a produção nacional de álcool vem aumentando significativamente. Como consequência, a quantidade de resíduos da cana (bagaço) cresce na mesma proporção.

Este é o fator primordial que faz com que os custos da instalação de uma planta de cogeração a partir dos resíduos de cana de açúcar seja pago na metade do tempo em comparação aos resíduos de madeira caso este combustível fosse utilizado.

O uso da linguagem Google Android possibilitou a criação de um software que pode abranger números consideráveis de usuários, dada a sua popularização e facilidade de acesso por qualquer pessoa que utiliza dispositivos baseados neste sistema operacional.

O software de simulação PCEB demonstra através de uma interface simples, que pode auxiliar tanto pequenos produtores de energia elétrica, como também grandes investidores do setor energético, pois não solicita do usuário muitos dados para a realização da simulação. Além disso, o software trabalha com dados técnicos e custos de acordo com catálogos que os fabricantes de equipamentos fornecem, podendo desta forma oferecer ao investidor facilidade de aquisição dos equipamentos no mercado nacional.

O software é composto por dois módulos, o de projeto e o de manutenção, mas futuramente, é possível inserir quantos módulos necessários for para obtenção de uma ferramenta completa para simulações e busca de informações acerca das biomassas, além de inserção e opção de salvamento de banco de dados para coleta de pontos de coordenadas de latitude e longitude e registro de fotos de locais possíveis de instalação de unidades cogeradoras.

## 6 REFERÊNCIAS

ABREU, P. F. S. P., STEPHAN, C., 1982, **Análise de Investimentos**, 1 ed., Rio de Janeiro, RJ, Editora Campus.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Banco de Informações de Geração**. [www.Aneel.Gov.br](http://www.Aneel.Gov.br) Artigo retirado no dia 20/10/2010.

AQUINO, J. F. S.. **Plataformas de desenvolvimento para dispositivos móveis. Monografia**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro ó PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2007.

ARENARO, A. C.; BASTIAN-PINTO, C. L.; BRANDÃO, L. E. T.; GOMES, L. L.. **Flexibility and Uncertainty in Agribusiness Projects**. In: XXXIV Encontro da ANPAD, 2010, Rio de Janeiro. Anais do XXXIV Encontro da ANPAD, 2010.

BARBIERI, J. C. **Desenvolvimento e Meio Ambiente: as estratégias de mudança da agenda 21**. Petrópolis: Vozes, 1997.

BARBOSA, R. L.; SILVA, F. M. da ; SALVADOR, Nilson ; VOLPATO, C. E. S. **Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel**. Ciência e Agrotecnologia, v. 32, p. 1588-1593, 2008.

BASQUEROTTO, C. H. C. C.. **Cogeração De Energia Elétrica Com Bagaço De Cana-De-Açúcar Comprimido (Briquete)**; FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ARAÇATUBA. Araçatuba, 2010.

BORGES, G.P. **Aproveitamento de Óleos Vegetais Brasileiros como Combustíveis**. Anais Assoc. Quím. Brasil. 3, 206-209, 1944.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço energético nacional**. Brasília, 2003.

BRIQUETES SÃO CARLOS. **A solução em biomassas**. Disponível em: <[www.briquetesaocarlos.com.br](http://www.briquetesaocarlos.com.br)>. Acesso em: 06 ago. 2012.

BRITO, J. O..**Avaliação das características dos resíduos de exploração florestal do eucalipto para fins energéticos**. Ipef, v. 62, p. 1-7, 1979.

BRITO, J. O.; MIGLIORINI, J. A.; BARRICHELO, L. E. G. **Estimativas energéticas para povoamentos florestais**. Piracicaba: IPEF, 1979. 10 p. (IPEF. Circular Técnica, n. 79).

COELHO, S. T. **Mecanismos para implementação da cogeração de eletricidade a partir de biomassa. Um modelo para o estado de São Paulo**. 1999. 278 p. Tese (Doutorado em Energia) ó Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

COELHO, S. T. País busca saídas para o fornecimento de energia na Amazônia. **Informativo CENBIO Notícias**, São Paulo, n. 14, p. 2, 2002. (Edição especial Ulianópolis).

COELHO, S. T. País busca saídas para o fornecimento de energia na Amazônia. **Informativo CENBIO Notícias**, São Paulo, n. 14, p. 2, 2002. (Edição especial Ulianópolis).

COUTO, L. C.; COUTO, L.; BARCELLOS, D. C. ; WATZLAWICK, L. F. . **Vias de valorização energética da biomassa**. Biomassa & Energia (Viçosa), Viçosa, MG, v. 1, n.1, p. 71-92, 2004.

CUNHA, F., 2000, **Co-Geração e Ciclos Combinados**. 1 ed. CEFET/RJ, Rio de Janeiro.

DANTAS FILHO, P. L.. **Análise de Custos na Geração de Energia com Bagaço de Cana-de-Açúcar: um Estudo de Caso em Quatro Usinas de São Paulo** Dissertação (Mestrado ó Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) ó EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo., 2009.

ELETROBRÁS, 1999, **Plano Decenal de Expansão 1999/2008**, GCPS ó Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos, Rio de Janeiro, RJ.

ELETROBRÁS, 2000, **Plano Decenal de Expansão 2000/2009**, GCPS ó Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos, Rio de Janeiro, RJ.

EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). Nota Técnica DEN 06/08: **Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande**, MS. Ministério das Minas e Energia (MME)/Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Rio de Janeiro, Nov. 2008.

FACCENDA, O. **Cogeração e geração independente na indústria sucroalcooleira**. 1996. 140 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) ó Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

FAVA, M. **Uso de biomassa para a produção de energia e desenvolvimento sustentável.** INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Inconfidentes-MG, 2009.

FIGUEIREDO, C. S., 2000, *o*A Conjuntura Atual do Setor Elétrico Brasileiro, *o* Conjuntura Econômica, n. (dez.), pp. 58-60..

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS *o* FGV. Ignez Vidigal Lopes (Coord.) **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo:** Guia de orientação. Rio de Janeiro: FGV, 2002. 90 p.

GOLDEMBERG J. **Biomassa e energia.** Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, Brasil, 2009, acessado em 15/09.

GONÇALVES, J. E. ; SARTORI, M. M. P. ; LEAO, A. L.. **Produção de Energia de Briquetes com Rejeitos de Resíduos Sólidos Urbanos e Resíduos Madeiros.** In: XIV Simpósio de Energia de Produção, 2007, Bauru. XIV Simpósio de Energia de Produção, 2007.

GUARDABASSI, M.P. **Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia perspectivas para países em desenvolvimento** Dissertação (Mestrado *o* Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) *o* EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo., 2006.

GUTTERRES. **Desenvolvimento Sustentável em Curtumes,** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

HILL, K. **Fats and oils as oleochemical raw materials.** Pure Appl. Chem. 72, 1255-1264, 2000.

INFANTE. F. S.; VEIRAS, G. P. **Aprovechamiento de la Biomassa Forestal producida por la Cadena Monte- Industria.** Parte I: Situação actual y evaluación de sistemas de tratamiento. **Revista CIS-Madera,** n. 10, p. 6-25, 2003.

KINCAID, D. E., 1999, **The Role of Distributed Generation in Competitive Energy Markets.** In: GRI-99/0054, Distributed Generation Forum, GRI - Gas Research Institute, Chicago, Illinois.

KRAXNER, F.; NILSSON, S.; OBERSTEINER, M. **Negative emissions from bioenergy use, carbon capture and sequestration (BECS) *o* the case of biomass production by**

**sustainable forest management from semi-natural temperate forests.** Biomass and Bioenergy, v.24, p.285-296, 2003.

KROGH, G. N. E. Tecnologia para queimar madeira. **O Papel.** v. 40, n. 11. nov. 1979. p. 105-108.

LEAL, M. R. L. V. **Importância do álcool combustível na matriz energética brasileira.** Apresentado no workshop o Álcool de Bagaço de Cana-de-Açúcar, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, feb. 2005.

LEITE, A. D., 1997, **A Energia do Brasil**, 1 ed., Rio de Janeiro, RJ, Editora Nova Fronteira.

MACHADO. **O processo histórico do desmatamento do nordeste brasileiro: impactos ambientais e atividades econômicas**, 2006. Dissertação (Mestrado em Gestão e políticas Ambientais)-Universidade Federal de Pernambuco.

MAGALHÃES. **O advogado como protagonista do desenvolvimento sustentável: diagnóstico das estruturas acadêmica e jurisdicional de Fortaleza-CE para formação e atuação deste profissional.** Fortaleza, 2006.

MALIK, R.K.; GREEN, T.H.; BROWN, G.F.; BEYL, C.A.; SISTANI, K.R.; MAYS, D.A. **Biomass production of short-rotation bioenergy hardwood plantations affected by cover crops.** Biomass and Bioenergy, v.21, n.1, p. 21-33, 2001.

MARCHESINI NETO, J.; BALBINOT, R.; MIRANDA, G. M.; SCHIRMER, W. N..**Estudo de Viabilidade de Implantação de Uma Usina de Briquetagem no Município de Palmas, Paraná.** Revista da Madeira, v. v, p. 64-72, 2010.

MARTINS, E..**Contabilidade de Custos** - 9a. Edição - livro texto. 9. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2003. v. 01. 370p .

MENDES, M. E. S. S. **Metodologia Para Análise Exergética-Econômica De Plantas A Vapor Para Geração De Eletricidade Consumindo Resíduo De Biomassa Amazônica.** 2009. 22 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Do Pará, Pará, 2009.

MORAIS, A. S.; SILVA, M. B.. **Avaliação Energética do Bagaço de Cana em Diferentes Níveis de Umidade e Graus de Compactação.** In: XXVIII ENEGEP, 2008, Rio de Janeiro. XXVIII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro: ENEGEP, 2008.

BODDEY, R. M.; MORAIS, R. F.; SOUZA, B. J.; LEITE, J. M.; Soares, L.H.B.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.. **Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 44, p. 133-140, 2009.

MOURA, J. P. ; SELVAM, P. V. P. . **Geração de energia com inovação tecnológica de aproveitamento de biomassa residual**. Bioenergy World Americas, 2006, Congresso Internacional/Bahia, p. 1 - 7, 29 nov. 2006.

MULLER, M.;D.; COUTO, L.; **Avaliação de densidades de plantio e rotação de plantações de rápido crescimento para produção de biomassa**; Viçosa; Minas Gerais; Brasil; 2006.

MÜLLER, Marcelo Dias ; COUTO, L. ; NEVES, J. C. L.. **Produção de Biomassa e Balanço Nutricional de Plantações de Eucalipto Clonal em Diferentes Densidades de Plantio no Município de Itamarandiba-Mg**. Biomassa & Energia (Viçosa), v. 2, p. 91-101, 2005.

NETO, Vicente Corrêa. **Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural**. RIO DE JANEIRO, 2001. 171p. Dissertação (Mestrado) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Rio de Janeiro, 2001.

NOGUEIRA, A. ,**Bagaço da cana será usado para fabricação de papel**. Folha da Região, 25/10/2005. Disponível em:  
<<http://www.folhadaregiao.com.br/materia.php?id=49623>> Acesso em: 19abril 2013.

NOGUEIRA, E. Análise de investimentos. In: BATALHA, M.O. (Org.). **Gestão agroindustrial**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2001. cap. 4, p. 223-288.

NOGUEIRA, L. A. H. et al. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Brasília: ANEEL, 2000. 144 p.

NORONHA, J. F. **Projetos agropecuários**: administração financeira, orçamentação e avaliação econômica. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários õLuiz de Queirozõ, 1981. 274 p.

OTTO, R.B. Gasolina derivada dos óleos vegetais. Bol. Div. Inst. Óleos. 3, 91-99, 1945. Parente, E.J.S. **Biodiesel: Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado**, 1ª ed. Unigráfica, Fortaleza, 2003.

PEARCE, D.W., BARBIER, E., MARKANDIA, A. **Sustainable development and ostbenefit analysis**. London Environmental Economics Centre, 1988.

PEREIRA, W.A.; ALMEIDA, L. S.. **Método manual para cálculo da taxa interna de retorno**. Revista Objetiva, v. 4, p. 38-50, 2008.

PINHEIRO, G.; RENDEIRO, G.; PINHO, J. **Análise da eficiência de uma planta piloto de geração de energia elétrica utilizando biomassa**. Biomassa & Energia, v. 2, n. 3, p. 187-193, 2005.

PINHEIRO, G.; RENDEIRO, G.; PINHO, J. **Resíduos do setor madeireiro: aproveitamento energético**. Biomassa & Energia, v. 1, n. 2, p. 199-208, 2004.

**Plano Decenal de Expansão de Energia 2020**. Disponível em:  
<[http://www.epe.gov.br/PDEE/20120302\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/PDEE/20120302_1.pdf)>. Data de acesso: 05/07/2012

POULALLION, P. L., 1986, **Manual do Gás Natural**. 1 ed. CNI ó Confederação Nacional das Indústrias / COASE ó Conselho para Assuntos de Energia, Rio de Janeiro, Brasil.

QUIRINO, W. F.. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. 1988. 0 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de São Paulo, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: José Otávio Brito.

ROSSETTO, A. M. **Proposta de um sistema integrado de gestão do ambiente urbano (SIGAU) para o desenvolvimento sustentável de cidades**. Florianópolis, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina.

SCHEMBERGER, E. E.; FREITAS, I.; VANI, R.. **A plataforma Android: Configuração do Ambiente Eclipse e um Exemplo de Aplicação**. In: VI ENDITEC - Encontro Nacional de Difusão Tecnológica, 2009, Medianeira - PR. VI ENDITEC, 2009.

SCHUCHARDT, U; RIBEIRO, M.L; GONÇALVES, A.R.A. **A indústria petroquímica no próximo século: como substituir o petróleo como matéria-prima**. Química Nova. 24, 247-251, 2001.

SECRETARIADO DA CONVENÇÃO SOBRE MUDANÇAS DO CLIMA ó SCMC  
Ministério Da Ciência e Tecnologia ó MCT (Trad.) CQNUMC. **Protocolo de Quioto à convenção sobre mudança do clima**. Brasília ó DF: MCT.[s.a.].

SILVA JUNIOR, N. V. ; MEDEIROS JUNIOR, J.S. ; LEVY, S.M.. **Análise da Viabilidade Técnica e Econômica da Reciclagem de Madeira**. In: 3º Encontro de Iniciação Científica do Centro Universitário Nove de Julho (Uninove), 2006, São Paulo. 3º Encontro Iniciação

Científica do Centro Universitário Nove de Julho (Uninove), São Paulo, v. 4, n. especial, p. 97-98, 25 nov. 2006.

SILVA, M. C.; SANTOS, G. O.. **Densidade Aparente de Resíduos Sólidos Recém Coletados**. In: V Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação CONNEPI, 2010, Maceió - AL., 2010.

SIMOES, A. F.; SILVA, C. A.; ROCHA, J. D.; FELFLI, F. F. ; PEREZ, J. M. M.. **Estudo da Viabilidade Técnico-Econômica de uma Fábrica de Briquetes para fins de Geração Energética**. In: AGRENER 2006 - Sexto Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, 2006, Campinas. Caderno de Resumos. AGRENER 2006 GD - Sexto Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural. Campinas: Unicamp, 2006.138p.. Campinas, 2006. p. 81-81.

SOUZA, R. C. R.. **Incentivos ao uso de biomassa para geração de eletricidade na Amazônia**. In: Congresso Brasileiro de Serviços Públicos Concedidos, 2003, Gramado. Congresso Brasileiro de Serviços Públicos Concedidos. Gramado, 2003.

STUPAK, I., ASIKAINEN, A., JONSELL, M., KARLTUN, E., LUNNAN, A., MIZARAITE, D.. **Sustainable utilization of forest biomass for energy - Possibilities and problems: Policy, legislation, certification, and recommendations and guidelines in the Nordic, Baltic, and other European countries**. Biomass & Bioenergy 31 , pp. 666-684, 2007.

TOLMASQUIM, M. T., SUGIYAMA, A., SZKLO, A. S., SOARES, J. B., CORRÊA, V. N., 1999, **Avaliação dos Potenciais Técnico e Econômico e Identificação das Principais Barreiras à Implantação da Cogeração no Brasil em Setores Selecionados**, In: Relatório Final, Convênio PROCEL/ELETRÓBRÁS ó PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

TSUKAMOTO FILHO, A. A. **Fixação do carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado em Minas Gerais**. 2003. 98 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) ó Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

VARKULYA JR., . **Aproveitamento dos resíduos de serraria na geração de energia elétrica no Município de Ulianópolis, Estado do Pará: Estudo de caso para o incentivo à exploração florestal sustentável da Amazônia**. São Paulo, 2004. 159p. Dissertação (Mestrado em Energia) ó Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia , São Paulo.

VELÁZQUEZ, S. M. S. G. **A cogeração de energia no segmento de papel e celulose: Contribuição à matriz energética do Brasil**. 2000. 205 p. Dissertação (Mestrado) ó Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

VIAN, C. E. F. **Agroindústria canavieira: estratégias competitivas e modernização**. Campinas: Átomo & Alínea, 2003, 216p.

VIANNA, VIEIRA, NASCIMENTO. **Manual de Aplicação de Sistemas Descentralizados de Geração de Energia Elétrica para projetos de Eletrificação Rural** ó Energia Biomassa ó versão 1, ano 2000.

WALTER, A. **Biomass energy in Brazil: past activities and perspectives**. Jan/fev. 2001. Disponível em: <<http://www.re-focus.net>>. Acesso em: 14 ago. 2012.

WALTER, A. C. S., 2001, **õGeração de Energia Elétrica a partir de Biomassa no Brasil: Experiências e Perspectivas**. In: O Uso da Biomassa no Brasil Potenciais para uma Política de Desenvolvimento Regional, n. 6, Rio de Janeiro, Set.

WALTER, A. C. S., NOGUEIRA, L. A. H., 1997, **-Produção de Eletricidade a partir da Biomassa**ø In: Universidade do Amazonas, AM, Tecnologias de Conversão Energética da Biomassa, 1 ed., capítulo XI, Manaus, Amazonas, Brasil.

## ANEXO A - GERAÇÃO TERMOELÉTRICA COM CICLO RANKINE

Os principais ciclos termodinâmicos teóricos que originaram as máquinas térmicas atualmente conhecidas são o Ciclo de Carnot, o Ciclo Rankine, o Ciclo Brayton, o Ciclo Otto e o Ciclo Diesel. Todos eles, com exceção do Ciclo Rankine, foram concebidos tendo como fluido de trabalho o ar, por isso chamados ciclos padrão de ar.

Estes ciclos termodinâmicos teóricos são analisados através das variações de temperatura e pressão de um fluido de trabalho, principalmente o vapor d'água e o ar, e os fluxos energéticos de calor e trabalho. Com base nesses resultados teóricos os ciclos reais foram desenvolvidos para os fluidos de trabalho reais através do empirismo e da experimentação de inúmeras variações construtivas que se orientaram pelas relações de temperatura e pressão calculadas para o fluido em cada etapa dos ciclos de forma a obter os maiores rendimentos e potências.

Aqui será apresentado o Ciclo Rankine, referência da tecnologia em estudo.

### O CICLO RANKINE

O Ciclo Rankine é o ciclo ideal para uma unidade motora simples a vapor e compreende os processos termodinâmicos básicos abaixo listados e apresentados no diagrama T-s, figura 7.

- 1 ó 2 : Processo de bombeamento adiabático reversível;
- 2 ó 3 : Processo de troca de calor a pressão constante, na caldeira;
- 3 ó 4 : Processo de expansão adiabática reversível (turbina ou pistão);
- 4 ó 1 : Processo de troca de calor a pressão constante, no condensador;

As indicações QH e QL significam, respectivamente, a transferência de calor do reservatório de alta temperatura para o fluido de trabalho e do fluido de trabalho para o reservatório de baixa temperatura.

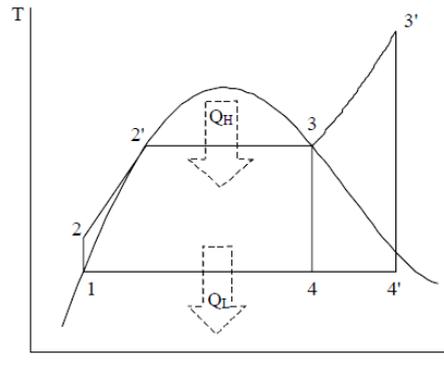


Figura 9 - Diagrama Temperatura ó Entropia do Ciclo Rankine.

O Ciclo de Rankine inclui também a possibilidade de superaquecimento do vapor, como o ciclo 1-2-3-4

Na análise do ciclo considera-se o rendimento como dependente da temperatura média na qual o calor é fornecido e da temperatura média na qual ele é rejeitado. O rendimento do ciclo de Carnot pode ser expresso pela equação 5:

$$\eta_t = \frac{W_{Líquido}}{Q_H} \quad (5)$$

onde  $W_{Líquido}$  é o trabalho mecânico produzido no eixo e  $Q_H$  é a energia fornecida pelo combustível.

O rendimento do ciclo Rankine é significativamente afetado pelas alterações na pressão e temperatura de operação e qualquer medida que eleve a temperatura média na qual o calor é fornecido, como superaquecimento do vapor, o aquecimento regenerativo (entre 2 e 2'), ou reduza a temperatura média na qual ele é rejeitado, como a condensação do vapor em pressão negativa ou vácuo, eleva o rendimento do ciclo.

Esta redução de pressão na condensação produz um efeito prático indesejável que é a redução do título do vapor na saída da turbina, que provoca queda de rendimento e erosão nas palhetas da turbina.

Outra medida que eleva a temperatura média de fornecimento do calor é o aumento da pressão máxima do ciclo. Entretanto, esta alteração contribui também para a redução do título do vapor na saída da turbina.

A alternativa tecnológica que permite aproveitar os benefícios destas medidas é o reaquecimento do vapor, cujo efeito direto sobre a temperatura média de fornecimento não é significativo, mas elimina o risco de comprometimento das palhetas da turbina com umidade.

Em um ciclo real a vapor com turbina o processo 1 ó 2 é o bombeamento da água, chamada neste ponto de condensado, da pressão de condensação até a pressão de geração de vapor na caldeira. Em 2 ó 2 $\phi$  a água passa por aquecimento, que pode ser realizado no interior da caldeira ou em aquecedores externos, no ciclo regenerativo, atingindo a temperatura de vaporização na pressão de trabalho da caldeira. Em 2 $\phi$  3 a água passa do estado de líquido saturado a vapor saturado, recebendo calor do combustível no interior da caldeira. Em 3 ó 4, o vapor se expande na turbina realizando o trabalho útil e em 4 ó 1, o vapor rejeita calor no condensador retornando ao estado líquido para novamente ser bombeado.

Entre os fatores que afastam o ciclo real do ciclo ideal estão: as perdas de carga e de transferência de calor nas tubulações de transporte do vapor e da caldeira, perdas na turbina associadas ao escoamento do fluido de trabalho e a transferência de calor, as perdas na bomba decorrentes principalmente das irreversibilidades associadas ao escoamento do fluido e perdas no condensador, como a redução de temperatura do condensado abaixo da sua temperatura de saturação.

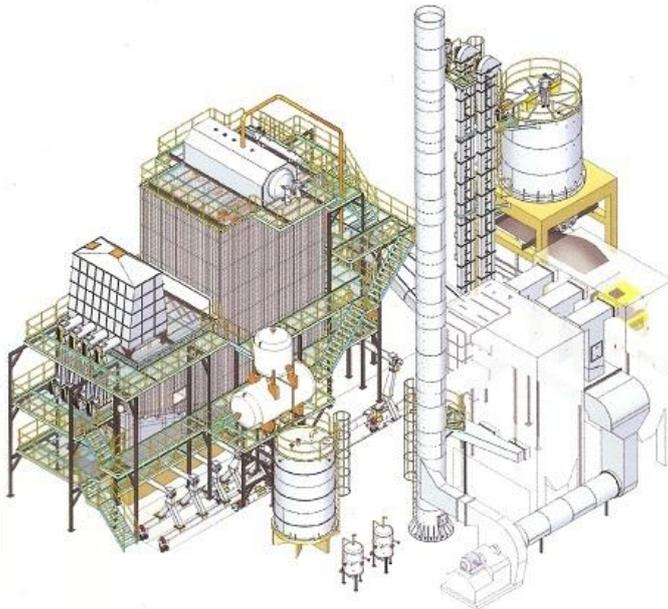
## ANEXO B - CARACTERÍSTICA DAS CALDEIRAS USADAS NO PROJETO - SOFTWARE (VALORES COMERCIAIS Ó CATÁLOGO ICAVI)

### Caldeiras Aquatubulares Watertube Boilers



Caldeiras de 17 a 200 t/h com pressão até 100 bar para plantas de geração e cogeração.

Boilers ranging from 17 to 200 t/h capacity at pressure until 100 bar, for generation and co-generation plants.



T/h	Dimensões Preliminares Preliminary dimension			Calor Total Liberado (estimado) Total Heat Released (estimated)						
	Altura Height	Largura Width	Comprimento Length	21 Bar 310,0°C	25 Bar 320,0°C	30 Bar 335,0°C	42 Bar 420,0°C	65 Bar 455,0°C	80 Bar 480,0°C	100 Bar 510,0°C
17	11.400	3.790	10.050	12.464.000	12.523.600	12.487.888	13.313.965	13.396.782	13.587.494	13.835.655
20	12.500	4.020	11.120	14.663.529	14.733.647	14.691.395	15.663.488	15.760.920	15.985.287	16.277.241
25	13.500	4.270	11.800	18.329.412	18.417.059	18.384.244	19.579.360	19.701.148	19.981.609	20.346.552
30	14.400	4.380	12.700	21.995.294	22.100.471	22.037.093	23.495.233	23.641.379	23.977.931	24.415.862
35	16.000	4.590	14.000	25.661.176	25.783.882	25.709.942	27.411.105	27.581.609	27.974.253	28.485.172
40	17.000	4.900	15.550	29.327.059	29.467.294	29.382.791	31.326.977	31.521.639	31.970.575	32.554.483
50	18.000	5.150	16.420	36.658.824	36.854.118	36.728.488	39.158.721	39.402.299	39.963.218	40.693.103
60	19.400	5.800	17.200	43.990.588	44.200.941	44.074.186	46.990.465	47.282.759	47.955.882	48.831.724
80	20.100	6.200	18.000	58.654.118	58.934.588	58.785.581	62.653.953	63.043.678	63.941.149	65.108.966
100	20.500	6.800	18.900	73.317.647	73.668.235	73.456.977	78.317.442	78.804.598	79.926.437	81.386.207
120	20.750	7.300	19.500	87.981.176	88.401.882	88.148.372	93.980.930	94.555.517	95.911.724	97.663.448

Figura 10 - Características das caldeiras ICAVI.

Fonte: Catálogo de Caldeiras (2012) ó Disponível em: <<http://www.icavi.com.br>>

## ANEXO C - CARACTERÍSTICA DA CALDEIRA USADA NO PROJETO 6 DISSERTAÇÃO (VALORES COMERCIAIS 6 CATÁLOGO DEDINI)

Características Gerais	
TIPO	Aquatubular
PRODUÇÃO DE VAPOR	200 t/h
PRODUÇÃO DE PICO (*)	220 t/h
PRESSÃO DE OPERAÇÃO	67 (bar.a)
TEMPERATURA DO VAPOR	520 (°C)
COMBUSTÍVEL	Biomassa

(\*) Produção de pico: 2 horas para cada 24 horas.



Figura 11 - Dados técnicos da caldeira AZ 200 Dedini.

Fonte: Catálogo de Caldeiras (2012) 6 Disponível em: <<http://www.dedini.com.br>>

## ANEXO D - CARACTERÍSTICA DA TURBINA USADA NO PROJETO DA TERMELÉTRICA - DISSERTAÇÃO (CATÁLOGO SIEMENS)

### SST-300

A SST-300 é uma turbina de carcaça única, para uso com redutores de velocidades, acionando geradores ou acionamentos mecânicos. Com um projeto compacto e flexível, tem alto grau de padronização – usada em aplicações industriais e geração de energia.

Até 50 MW



<p><b>Dados Técnicos</b></p> <p><b>Potência</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Até 50 MW</li> </ul> <p><b>Pressão de entrada</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 120 bar / 1.740 psi</li> </ul> <p><b>Temperatura de entrada</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 520 °C / 968 °F</li> </ul> <p><b>Rotação</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Até 12.000 rpm</li> </ul> <p><b>Extração dupla controlada</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Até 16 bar / 232 psi</li> </ul>	<p><b>Tomada</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Até 60 bar / 870 psi</li> </ul> <p><b>Pressão de escape</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Desde vácuo até 16 bar / 232 psi</li> </ul> <p><b>Área de escape</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 0,28 - 1,6 m<sup>2</sup> / 3,0 - 17,2 pés<sup>2</sup></li> </ul> <p><b>Dimensões Típicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Comprimento 12 m / 39 pés</li> <li>■ Largura 4 m / 13,1 pés</li> <li>■ Altura 5 m / 16,4 pés</li> </ul>	<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Contrapressão / Condensação</li> <li>■ Também disponível para acionamento mecânico</li> <li>■ Módulos da turbina padronizados, periféricos modulares</li> <li>■ Extração dupla</li> <li>■ Escape axial / radial</li> <li>■ Estágio adaptável até 16 bar (extração)</li> <li>■ Projetada como unidade completa</li> <li>■ Reduzido prazo de entrega</li> </ul>
---	--	--

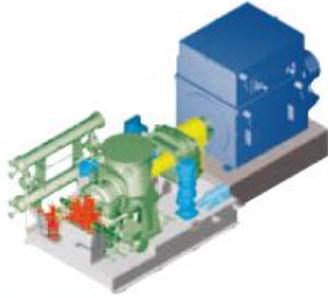
Figura 12 - Dados técnicos do Turbo-gerador SST-300 Siemens.

Fonte: Catálogo Siemens (2012) ó Disponível em: <<http://www.siemens.com.br>>



# Industrial steam turbines

The comprehensive Siemens product range from 2 to 250 megawatts



## SST-100

### up to 8.5MW

The SST-100 is a single-casing turbine, geared for generator drive; pre-engineered including blading as a cost-effective solution. Mainly used for industrial applications.

#### Technical data

- Power output up to 8.5MW
- Inlet pressure up to 65bar/945psi
- Inlet temperature up to 480°C/895°F
- Rotational speed up to 7,500rpm
- Exhaust pressure (back pressure) up to 10bar/145psi
- Exhaust pressure (condensing) up to 1bar/14.5psi
- Exhaust area 0.22m<sup>2</sup>/2.4sq.ft.

#### Typical dimensions

Length: 8m/26ft.  
Width: 3.7m/12.1ft.  
Height: 3.4m/11.2ft.

#### Features

- Back pressure/condensing type
- Package unit design
- Radial exhaust
- Simple design, rigid rotor
- Oil system integrated in base frame
- Separate oil and steam piping



## SST-150

### up to 20MW

The SST-150 is a single-casing turbine, providing geared drive to a 1,500 or 1,800rpm generator and packaged in a skid-mounted design. For power generation, it provides high efficiency together with a very compact arrangement.

#### Technical data

- Power output up to 20MW
- Inlet pressure up to 103bar/1,495psi
- Inlet steam temperature up to 505°C/940°F
- Rotational speed up to 13,300rpm
- Bleed up to 25bar/365psi
- Controlled extraction up to 16bar/230psi
- Exhaust pressure (back pressure) up to 10bar/145psi
- Exhaust pressure (condensing) up to 0.25bar/3.6psi
- Exhaust area 0.28–1.6m<sup>2</sup>/3.0–17.2sq.ft.

#### Typical dimensions

Length: 12m/39ft.  
Width: 4m/13.1ft.  
Height: 5m/16.4ft.

#### Features

- Back pressure/condensing type
- Package unit design
- Pre-engineered turbine modules, modular peripherals
- Single controlled extraction
- Radial exhaust
- Separated oil and steam piping



## SST-200

### up to 10MW

The SST-200 is a single-casing turbine, geared or with direct drive suited to both generator and mechanical drives. Used for industry and power generation applications.

#### Technical data

- Power output up to 10MW
- Inlet pressure up to 110bar/1595psi
- Inlet temperature up to 520°C/970°F
- Controlled extraction up to 16bar/230psi and up to 350°C/560°F
- Bleed up to 60bar/870psi
- Exhaust pressure (back pressure) up to 16bar/230psi
- Exhaust pressure (condensing) up to 0.25bar/3.6psi
- Exhaust area 0.17–0.34m<sup>2</sup>/1.8–3.7sq.ft.

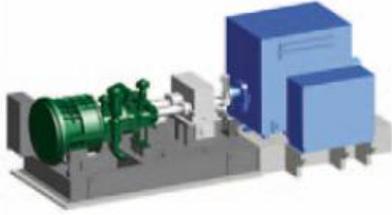
#### Typical dimensions

Length: 4m/13.1ft.\*  
Width: 2m/6.5ft.\*  
Height: 2.5m/8.2ft.\*

\*turbine skid only

#### Features

- Back pressure/condensing type
- Package unit design
- Extensive pre-design
- High-speed, downward/upward exhaust
- Customized steam path
- Short delivery time



### SST-300

#### up to 50MW

The SST-300 is a single-casing turbine, geared for generator drive. It has a compact and flexible design with a high degree of standardization. Used for power generation applications.

#### Technical data

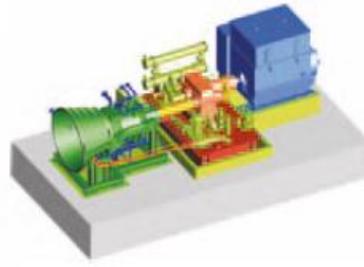
- Power output up to 50MW
- Inlet pressure 120bar/1,740psi
- Inlet temperature 520°C/970°F
- Rotational speed up to 12,000rpm
- Controlled extraction up to 45bar/655psi and up to 400°C/750°F
- Bleed up to 60bar/870psi
- Exhaust pressure (back pressure) up to 16bar/230psi
- Exhaust pressure (condensing) up to 0.3bar/4.4psi
- Exhaust area 0.28–1.6m<sup>2</sup>/3.0–17.2sq.ft.

#### Typical dimensions

Length: 12m/39ft.  
Width: 4m/13.1ft.  
Height: 5m/16.4ft.

#### Features

- Back pressure/condensing type
- Pre-engineered turbine modules, modular peripherals
- Two controlled extractions
- Radial/axial exhaust
- Adaptive stage up to 16bar
- Package unit design
- Customized steam path



### SST-400

#### up to 65MW

The SST-400 is a single-casing turbine, geared for generator drive. It has a compact and flexible design with a high degree of standardization. Used for industry and power generation applications.

#### Technical data

- Power output up to 65MW
- Inlet pressure up to 140bar/2,030psi
- Inlet temperature up to 540°C/1,005°F
- Rotational speed 3,000–8,000rpm
- Controlled extraction up to 45bar/655psi and up to 450°C/840°F
- Bleed up to 60bar/870psi
- Exhaust pressure (back pressure) up to 25bar/365psi
- Exhaust pressure (condensing) up to 0.3bar/4.4psi
- Exhaust area 1.3–3.0m<sup>2</sup>/14.0–32.5sq.ft.

#### Typical dimensions

Length: 18m/59ft.  
Width: 8.5m/28ft.  
Height: 5.5m/18ft.

#### Features

- Back pressure/condensing type
- Pre-engineered turbine modules, modular peripherals
- Two controlled extractions, radial/axial exhaust
- Adaptive stage up to 16bar
- Semi-package unit design
- Customized steam path
- Short delivery time



### SST-500

#### up to 100MW

The SST-500 is a single-casing turbine, geared or with direct drive. It is suited to both generator and mechanical drives to accommodate large volume flows. Typically used as low-pressure casing in two-cylinder applications.

#### Technical data

- Power output up to 100MW
- Inlet pressure up to 30bar/435psi
- Inlet temperature up to 400°C/750°F
- Rotational speed up to 15,000rpm
- Bleed up to 2, at various pressure levels
- Exhaust area 2 x 0.175–3.5m<sup>2</sup>/2 x 1.9–24.8sq.ft.

#### Typical dimensions

Length: 19m/62ft.  
Width: 6m/20ft.  
Height: 5m/16.4ft.

#### Features

- Double-flow condensing turbine
- Standard turbine modules, modular peripherals
- Throttle-controlled
- Highly customized
- Customized steam path

## ANEXO F 6 CARACTERÍSTICA DOS GERADORES USADOS NO PROJETO - SOFTWARE (VALORES COMERCIAIS 6 CATÁLOGO WEG)

### Turbogeradores

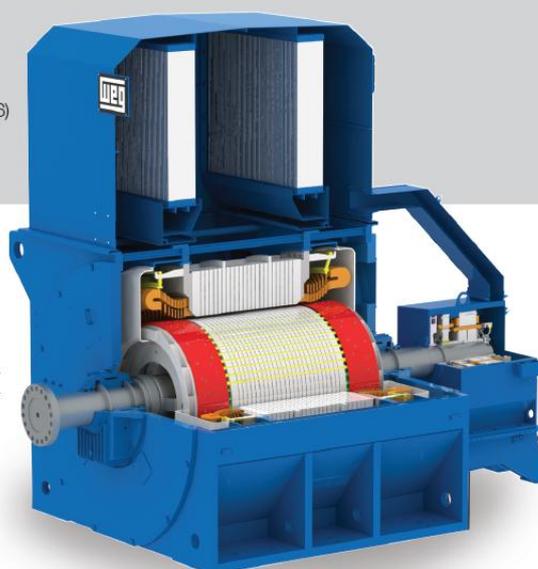
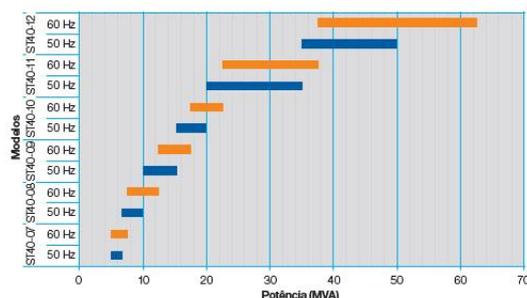
#### ST40

A linha de Turbogeneradores ST40 foi desenvolvida com base na ampla experiência da WEG no segmento de geração de energia através de biomassa, óleo e gás.

Entre as principais melhorias que foram incorporadas à linha ST40 estão o sistema de excitação integrado (excitatriz e retificador) e a otimização do espaço interno da máquina deixando-a mais compacta e com melhor refrigeração da parte ativa do turbogenerador.

#### Características Técnicas

- Potências até 62.500 kVA - 13.800 V - 60 Hz - 1.800 rpm
- Potências até 50.000 kVA - 11.000 V - 50 Hz - 1.500 rpm
- Graus de proteção: IP44, IP54 e IP55
- Formas construtivas: IM1001 ou IM1005 (B3), IM7311 (D5), IM7315 (D6)
- Refrigerações: IC81W ou IC91W
- Elevação de temperatura classe B ou F
- Outras características sob consulta



#### Principais Características e Vantagens

- Excitatriz e retificador integrados aumentando a robustez e harmonia do conjunto de excitação
- Novo sistema de refrigeração do conjunto de excitação por meio de dutos, eficiente e otimizado
- Novos modelos de mancais otimizando o espaço interno
- Opção para utilização do conjunto de excitação com roda de diodos redundante

#### Projetos

Os produtos WEG são projetados com a utilização de modernos *softwares* desenvolvidos em parceria com universidades da Europa, Estados Unidos e do Brasil, garantindo projetos otimizados e máxima eficiência dos produtos.

#### Certificações

A WEG possui um sistema de qualidade certificado de acordo com os requisitos da norma ISO 9001, ISO 14001 e ISO 50001. O sistema de qualidade é auditado e certificado pelo Bureau Veritas Quality Institute. Para atender os mais exigentes mercados, os turbogeneradores WEG possuem certificações das principais entidades mundiais.



Grupo WEG - Unidade Energia  
 Jaraguá do Sul - SC - Brasil  
 Telefone: (47) 3276-4000  
[energia@weg.net](mailto:energia@weg.net)  
[www.weg.net](http://www.weg.net)  
[www.youtube.com/wegvideos](http://www.youtube.com/wegvideos)  
[@weg\\_wr](https://www.instagram.com/weg_wr)

## APÊNDICE A

### A1. PCEB.java

```

package br.com.android;

import android.app.Activity;
import android.os.Bundle;
import android.view.View;
import android.widget.AdapterView;
import android.widget.Button;
import android.widget.RadioGroup;
import android.widget.Spinner;
import android.app.AlertDialog;
import android.content.Intent;
import android.view.View.OnClickListener;

publicclass PCEBActivity extends Activity {

    publicstaticintpci_comb; //guarda o
    podercaloríficodecadabiomassa
    publicstaticintconsumo_comb; // guarda o
    consumodiáriodecadabiomassa
    publicstaticintenergia_prod; // guarda a
    quantidadedeenergíaproduzida
    static String custo; // guarda o
    custodeimplementação do projeto

    publicvoid TelaPrincipal()
    {

        setContentView(R.layout.main);
        //métodoqueabre a tela principal

        final String[] modulos = {"Módulo de
        projeto", "Módulo de manutenção"}; // monta o menu
        demódulos

        ArrayAdapter<String>
        aProjeto; //monta o spinner dosmódulos

        final Spinner sproj; //
        instancia o spinner

        aProjeto = new
        ArrayAdapter<String>(this, android.R.layout.simple_spin
        ner_item, modulos);

        sproj = (Spinner)
        findViewById(R.id.sproj); // abre o spinner

        sproj.setAdapter(aProjeto);

        Button btbio = (Button)
        findViewById(R.id.btbio); // cria o
        botãodeescolhadabiomassa

        btbio.setOnClickListener(new
        View.OnClickListener() // verificase o botãofoiacionado
        {

            publicvoid
            onClick(View arg0) // tratamento do evento do botão
            {

                switch(sproj.getSelectedItemPosition()) //
                verificaqualopção do spinner foiacionada
                {

                    case 0: {

                        biomassa(); // chamada do
                        métodoescolhadabiomassa

                        break;

                    }

                    case 1: { //
                    casotenhapressionado o modulo deprojeto chama o
                    método

                        Intent smsIntent =
                        newIntent(Intent.ACTION_VIEW);

                        smsIntent.setType("vnd.android-dir/mms-
                        sms");

                        smsIntent.putExtra("address", "NUMERO DO
                        TELEFONE");

                        smsIntent.putExtra("sms_body", "MENSAGEM
                        A SER ENVIADA");

                        startActivity(smsIntent);

                        break;

                    }

                }

            });

            Button btsair = (Button)
            findViewById(R.id.btsair); // cria o botãodesafáda do
            programa

            btsair.setOnClickListener(new
            OnClickListener() // verificase o botãofoiacionado
            {

                publicvoid
                onClick(View
                v)
                {

```

```

        finish();
        System.exit(0);
    }
});

```

## A2. Sms.java

```

package br.com.android;

import android.app.PendingIntent;
import android.content.Context;
import android.content.Intent;
import android.telephony.SmsManager;
import android.telephony.SmsMessage;
import android.util.Log;

public class Sms {
    private static final String CATEGORIA =
"livro";

    //Envia sms para o numero indicado
    public void enviarSms(Context context, String
destino, String mensagem) {
        try {
            SmsManager smsManager
= SmsManager.getDefault();

            PendingIntent pIntent =
PendingIntent.getBroadcast(context, 0, new Intent(), 0);

            smsManager.sendTextMessage(destino, null,
mensagem, pIntent, null);

        } catch (Exception e) {
            Log.e(CATEGORIA, "Erro
ao enviar o SMS: " + e.getMessage(), e);
        }
    }
}

```

## A3. EnviarSms.java

```

package br.com.android;

import android.app.Activity;
import android.os.Bundle;
import android.util.Log;
import android.view.View;
import android.view.View.OnClickListener;
import android.widget.Button;
import android.widget.EditText;

public class EnviarSms extends Activity {

    private static final String CATEGORIA =
"livro";

    @Override

    public void onCreate(Bundle icicle)
    {
        super.onCreate(icicle);

        setContentView(R.layout.form_enviar_sms);
        Button btEnviar = (Button)
findViewById(R.id.btEnviar);

        btEnviar.setOnClickListener(new
OnClickListener()
    {
        public void
onClick(View view)
    {
        EditText
numeroText = (EditText) findViewById(R.id.numero);
        EditText
mensagemText = (EditText)
findViewById(R.id.mensagem);

        String
numero = numeroText.getText().toString();
        String
mensagem = mensagemText.getText().toString();

        Log.i(CATEGORIA, "Enviando SMS para
["+numero+"]: " + mensagem);

        Sms
sms = new Sms();

        sms.enviarSms(EnviarSms.this,
numero, mensagem);
    }
}
}

```

## A4. Grafico.java

```

package br.com.android;

import java.util.Vector;
import android.app.Activity;
import android.content.Intent;
import android.graphics.Bitmap;
import android.graphics.Canvas;
import android.graphics.Color;
import android.graphics.Paint;
import android.graphics.Point;
import android.graphics.Rect;
import android.graphics.RectF;
import android.graphics.Typeface;
import android.graphics.Bitmap.Config;
import android.graphics.Paint.FontMetrics;
import android.os.Bundle;
import android.widget.ImageView;

publicclass Grafico extends Activity {

    publicstaticdoubleenergia_diaria = 500;

    publicvoid onCreate(Bundle savedInstanceState) //metodoquerecupera o parâmetropassado
    {
        super.onCreate(savedInstanceState);

        Intent intent = getIntent(); //ê o parâmetropassado
        Bundle params = intent.getExtras();

        if(params!=null)
        {
            energia_diaria = params.getDouble("energia"); //instanciã o parâmtronanovavariável
        }

        staticdoublereceita_anual = energia_diaria*365*71.16/1000000; //calcula a receitaem R$ porano
        staticdoublereceita_anual1 = receita_anual*2;
        staticdoublereceita_anual2 = receita_anual*3;
        staticdoublereceita_anual3 = receita_anual*4;
        staticdoublereceita_anual4 = receita_anual*5;

        static String um = Double.toString(receita_anual); //transforma o valor em String
        static String dois = Double.toString(receita_anual1);
        static String tres = Double.toString(receita_anual2);
        static String quatro = Double.toString(receita_anual3);
        static String cinco = Double.toString(receita_anual4);

        // tabelaquecontémoselementos[label,maxX,maxY]
        staticintdraw_only_this_idx = -1;
        staticint[] drawSizes;

        @Override

        publicvoid onCreate(Bundle savedInstanceState) {
            super.onCreate(savedInstanceState);
            setContentView(R.layout.testy); //abre a tela do gráfico
    }
}

```

```

setTitle("Grafico de Receitas x Tempo"); //seta o título do gráfico

ImageView image = (ImageView) findViewById(R.id.testy_img);

    Bitmap emptyBmap = Bitmap.createBitmap(500, 450, Config.ARGB_8888);

    int width = emptyBmap.getWidth(); //define a largura do gráfico
    int height = emptyBmap.getHeight(); //define a altura do gráfico
    Bitmap charty = Bitmap.createBitmap(width, height, Bitmap.Config.ARGB_8888);

    charty = quicky_XY(emptyBmap);

    image.setImageBitmap(charty); //pegaumaimagemdefundo (grid) e plotanatela
}

publicstatic Bitmap quicky_XY(Bitmap bitmap)
{
    // códigoquedesenha o gráficonatela
    Bitmap output = Bitmap.createBitmap(bitmap.getWidth(),
    bitmap.getHeight(), Config.ARGB_8888);
    Canvas canvas = newCanvas(output);

    finalint color = 0xff0B0B61;
    final Paint paint = new Paint();
    final Rect rect = new Rect(0, 0, bitmap.getWidth(), bitmap.getHeight());
    final RectF rectF = new RectF(rect);
    finalfloat roundPx = 12;

    // desenhaos cantos do gráfico
    paint.setAntiAlias(true);
    canvas.drawARGB(0, 0, 0, 0);
    paint.setColor(color);
    canvas.drawRoundRect(rectF, roundPx, roundPx, paint);

    // desenha o gráficonatela

    // setaosrótulosmanualmente
    String[] cur_elt_array = new String[4];
    cur_elt_array[0]="Receita";
    cur_elt_array[1]="Milhões R$";
    cur_elt_array[2]="100"; // max
    cur_elt_array[3]="0"; //min

    Vector labels = newVector();
    labels.add(cur_elt_array);

    draw_the_grid(canvas,labels);

    // vetorquearmazenaos pontosdecoordenadas

    Vector data_2_plot = newVector();

    data_2_plot.add(um) ;
    data_2_plot.add(dois) ;
    data_2_plot.add(tres) ;
    data_2_plot.add(quatros) ;
    data_2_plot.add(cinco);

    plot_array_list(canvas , data_2_plot , labels , "the title" , 0);

    canvas.drawBitmap(bitmap, rect, rect, paint);

    return output;
}

```