

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE
DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECÔNOMICA DE SISTEMA HÍBRIDO
COMPOSTO POR ENERGIA EÓLICA E BIODIESEL**

João Victor Fernandes Ferreira

Graco de Souza Santos

São Paulo

2017

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE
DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECÔNOMICA DE SISTEMA HÍBRIDO
COMPOSTO POR ENERGIA EÓLICA E BIODIESEL**

Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Graduação em Engenharia

João Victor Fernandes Ferreira
Graco de Souza Santos

Orientador: Demetrio Cornilius Zachariadis

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

São Paulo
2017

Catalogação-na-publicação

Ferreira, João Victor Fernandes e Santos, Graco de Souza
Geração de energia pela integração de sistema eólico com mini
usinas de biodiesel / J. V. F. Ferreira e G. S. Santos - São Paulo,
2017.
80 p.

Trabalho de Formatura – Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Sistemas energéticos 2. Sistema eólico integrado a sistema
de biodiesel 3. Modelagem 4. Simulação I. Universidade de São Paulo.
Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

RESUMO

O trabalho em questão tem como objetivo mostrar as viabilidades técnicas e financeiras da implantação de um sistema de geração de energia pela integração de sistema eólico com mini usinas de biodiesel. Para tal, é realizada a modelagem e simulação do sistema com parâmetros factíveis ao projeto em questão, a fim de verificar a possibilidade de sua instalação em regiões que não são abastecidas pela rede elétrica nacional, favorecendo assim o desenvolvimento econômico e social de comunidades locais que têm oportunidade de produzir biodiesel como fonte de sustento e renda.

ABSTRACT

The objective of this work is to show the technical and financial viability of the implementation of an energy generation system by the integration of a wind power system with mini biodiesel plants. For this it is done the modeling and system simulation to feasible parameters to the project in question in order to verify the possibility of installation in areas that are not supplied by the national grid, thus promoting economic and social development of local communities that have the opportunity to produce biodiesel as a source of livelihood and income.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produtividade Média do Dendê.....	23
Tabela 2 – Custo de Produção do Dendê.....	24
Tabela 3 – Custo Maquinário para Síntese Dendê.....	25
Tabela 4 – Parâmetros de cálculo de potência das regiões	29
Tabela 5 – Dados eólicos extraídos da ferramenta auxiliar.	30
Tabela 6 – Resposta da primeira simulação do sistema para os casos exemplos.....	31
Tabela 7 – Área colhida dos maiores estados brasileiros produtores de dendê.....	38
Tabela 8 – Parâmetros de Cálculo de Potência de Tailândia.....	39
Tabela 9 – Parâmetros de Cálculo de Potência de Valença.	30
Tabela 6 – Resposta da segunda simulação do sistema para os casos exemplos.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição de Weibull. Retirado de http://www.portalaction.com.br/probabilidades/613-distribuicao-weibull	03
Figura 2 – Distribuição Log-Normal. Retirado de http://www.portalaction.com.br/probabilidades/613-distribuicao-weibull	03
Figura 3 – Potencial eólico estimado das regiões brasileiras. Retirado de http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Pote ncial%20Eolico%20Brasileiro.pdf	05
Figura 4 – Fluxograma da produção de biodiesel. Retirado de Parente, 2003.....	05
Figura 5 – Processo de obtenção de biodiesel. Retirado de Medrano, 2007	06
Figura 6 – Diagrama de blocos do sistema	09
Figura 7 – Relação entre frequência e velocidade do vento na Distribuição de Weibull, levando em conta diferentes valores de k. Retirado de http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Pote ncial%20Eolico%20Brasileiro.pdf	11
Figura 8 - Componentes turbina eólica eixo horizontal. Retirado de http://www.pucrs.br/ce-eolica/faq.php?q=10	12
Figura 9 - Movimentos em relação aos eixos x,y,z de uma turbina eólica. Retirado de Araújo, A.M. (UFPE), 2011	13
Figura 10 - Curva característica de potência de um aerogerador. Retirado de Enercon, 2007	16
Figura 11 - Distribuição de Weibull e potência gerada.....	17
Figura 12 – Turbina Aeolos-H da Aeolos. Retirado do catálogo do fabricante.....	20

Figura 13 - Turbina SWT-2.5-120 da Siemens. Retirado de https://www.siemens.com/global/en/home/markets/wind/turbines-and-services/swt-2-625-120.html	21
Figura 14 – Turbina AGW 100 da WEG. Retirado do catálogo do fabricante.	21
Figura 15 – Fluxograma do processo industrial	25
Figura 16 – Diagrama de Blocos da Ferramenta.....	30
Figura 17 – Energia Utilizada x Porcentagem da Área Total x Lucro Acumulado (São Paulo).....	30
Figura 18 – Energia Utilizada x Porcentagem da Área Total x Lucro Acumulado (Natal).....	32
Figura 19 – Lucro x Anos x Porcentagem de Área Total (São Paulo).....	33
Figura 20 – Lucro x Anos para 25% da Área Total (São Paulo).	33
Figura 21 – Lucro x Anos para 50% da Área Total (São Paulo).	34
Figura 22 – Lucro x Anos para 75% da Área Total (São Paulo).	34
Figura 23 – Lucro x Anos para 100% da Área Total (São Paulo).....	35
Figura 24 – Lucro x Anos x Porcentagem de Área Total (Natal).....	35
Figura 25 – Lucro x Anos para 25% da Área Total (Natal).....	36
Figura 26 – Lucro x Anos para 50% da Área Total (Natal).....	36
Figura 27 – Lucro x Anos para 75% da Área Total (Natal).....	37
Figura 28 – Lucro x Anos para 100% da Área Total (Natal).....	37
Figura 29 - Energia Utilizada x Porcentagem da Área Total x Lucro Acumulado (Valença e Tailândia).....	40
Figura 30 – Lucro x Tempo (Valença - BA).....	41
Figura 31 - Lucro x Tempo (Tailândia - PA).....	41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1. Comportamento dos Ventos	2
2.2. Potencial Eólico	4
2.3. Biodiesel	5
2.4. Programas de Incentivo ao Biodiesel.....	6
2.5. Geradores Estacionários a Diesel.....	7
2.6. Sistemas Híbridos.....	8
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E MODELAGEM	8
3.1. Vento	9
3.2. Sistema Eólico.....	11
3.3. Gerador	17
3.4. Biodiesel	18
3.5. Sistema de Transmissão.....	19
4. OBJETIVO	19
5. VIABILIDADE TÉCNICA	20
5.1. Turbina eólica.....	20
5.2. Gerador	22
6. VIABILIDADE ECONÔMICA.....	23
7. PROGRAMA.....	28
8. SIMULAÇÃO E RESULTADOS	30
8.1. Simulação I	30
8.2. Simulação II	38
9. CONCLUSÃO	42
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
11. ANEXOS	46

1. INTRODUÇÃO

A energia eólica tem sua origem na energia cinética contida em massas de ar que se movimentam (ventos). Desde os primórdios até o século XIX, essa energia era utilizada apenas para conversão em energia mecânica, como na moagem de grãos e bombeamento de fluídos. As primeiras tentativas realizadas para transformação dessa energia em energia elétrica não tiveram grande relevância no panorama energético mundial. Somente no século seguinte, em meados de 1970 com a crise internacional do petróleo, e com a crescente preocupação da civilização com os impactos impostos sobre o meio-ambiente, foi que a energia eólica obteve atenção e investimentos suficientes para efetivamente ter sua tecnologia desenvolvida e seus equipamentos aplicados em escala global.

A avaliação do potencial eólico de uma região requer trabalhos sistemáticos de coleta e análise de dados, como por exemplo, a velocidade e o regime de ventos de uma região específica. No Brasil, esse potencial eólico pode ser considerado relativamente grande, com uma grande presença de planaltos e planícies, principalmente na Região Nordeste do país.

Do mesmo modo que o choque do petróleo de 1970 incentivou a evolução da energia eólica, ele também foi fator determinante no desenvolvimento dos biocombustíveis. O biodiesel emergiu nesta década no Brasil, inclusive com programas de incentivo, como o Pró-Diesel. Apesar disso, o governo decidiu intensificar os investimentos em etanol, o que postergou a efetiva viabilidade do biodiesel como alternativa de matriz energética para o final dos anos 90 e início dos anos 2000.

Ao contrário de outros países que implementaram políticas de biodiesel, o Brasil tem como exclusividade não somente o desenvolvimento de um mercado de biocombustível, mas também a utilização desse mercado para promover políticas sociais de inclusão de pequenos agricultores rurais.

Com esse rápido painel geral para situar a energia eólica e o biodiesel no cenário brasileiro, indica-se como objetivo do trabalho a elaboração de uma ferramenta para análise de um projeto de geração distribuída de energia integrando turbinas eólicas e pequenas usinas de biodiesel. Para isso, será necessário desenvolver, modelar e simular a operação desse sistema de geração de energia, além de estudar sua viabilidade técnica e econômica e sua integração com a comunidade local. Desse modo, será possível

analisar a possibilidade de reverter o investimento realizado na construção do projeto em desenvolvimento social e econômico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Comportamento dos Ventos

Devido ao aquecimento desigual da Terra pelo Sol, há a formação dos ventos. Tal formação se dá devido aos deslocamentos de massas de ar, sendo conduzidas das regiões de maior pressão para as de menor pressão. Segundo Custódio (2010), a inclinação do eixo de rotação da Terra em relação a órbita do Sol é de $23^{\circ} 45'$. Dessa forma, as regiões próximas ao equador tem maior incidência de calor em relação às regiões polares. Assim, o ar quente das regiões tropicais tende a subir, enquanto a massa de ar frio provinda das regiões polares se desloca e substitui a massa de ar de maior temperatura. (CRESESB, 2008).

Massas de ar presentes no solo são aquecidas de maneira mais rápida do que as massas presentes no oceano, possibilitando que o ar se desloque no sentido do mar para terra. Tal movimento é conhecido como brisa marinha. Ao fim do dia, a temperatura do solo decai de maneira mais rápida que a do mar, possibilitando o processo inverso ao anteriormente explicado, chamado de brisa terrestre. (LEITE, 2005)

A velocidade do vento pode variar ao longo do tempo, no entanto, a mesma apresenta comportamento sazonal, ou seja, apresenta comportamento semelhante para períodos de tempos iguais, podendo ser suscetível a influências de clima e possíveis obstáculos geográficos. Assim, segundo (CUSTÓDIO, 2010), o vento pode ser estudado segundo uma análise probabilística pela distribuição da frequência.

A maioria dos estudos se concentra no ajuste dessas distribuições estatísticas aos dados de velocidade do vento (GARCIA et al., 1998). Os resultados destes indicam também a distribuição de Weibull como a que se ajusta de forma mais correta a estes dados. Além dessa distribuição, muitos estudos utilizam também a distribuição Log-Normal como uma ferramenta de parâmetro confiável.

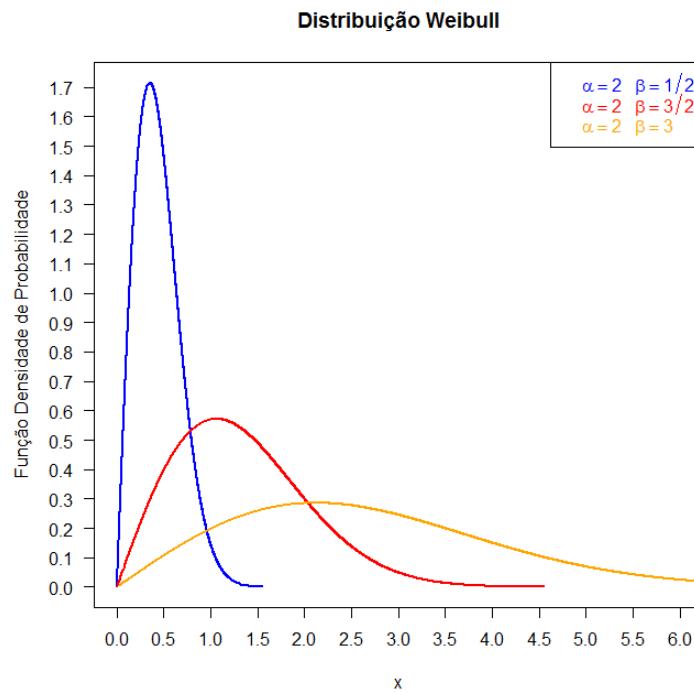


Figura 1 - Distribuição Weibull (Fonte: Site Portal Action)

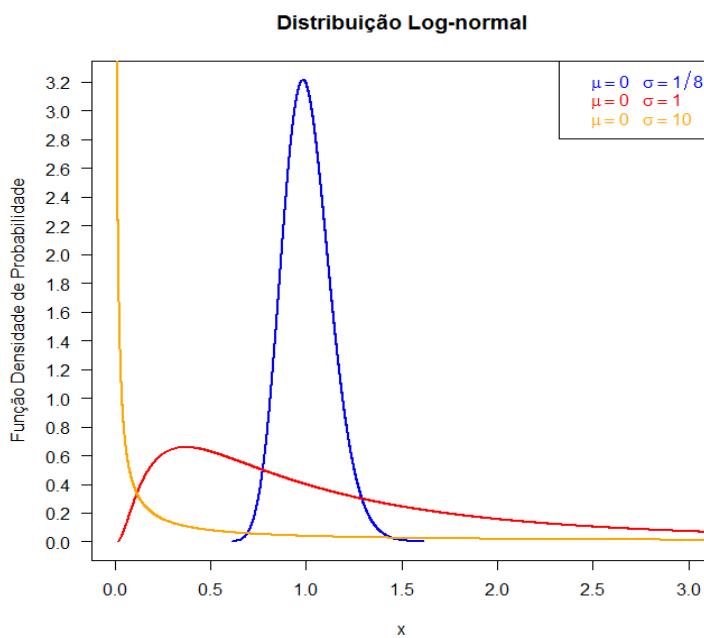


Figura 2 - Distribuição Log-normal (Fonte: Site Portal Action)

2.2. Potencial Eólico

O potencial eólico para ser mensurado exige um conhecimento detalhado do comportamento dos ventos, como por exemplo, sua intensidade e direção. Além disso, é necessário também analisar fatores que influenciam o regime dos ventos na localidade do projeto, entre eles o relevo, a rugosidade do solo e outros obstáculos distribuídos ao longo da região. “Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m², a uma altura de 50 metros, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s”(GRUBB; MEYER, 1993). Segundo a Organização Mundial de Meteorologia, essas condições especificadas são atendidas em apenas 13% da superfície terrestre, se tornando um fator limitante desse tipo de energia.

Atualmente, existem pelo menos duas formas de instalação para geração de energia eólica: *Onshore* (terrestre) e *Offshore* (marítimo). Cada uma dessas formas poderá ter várias subdivisões, classificando-as de acordo com a capacidade de produção ou de acordo com a finalidade de distribuição. A energia então produzida é direcionada a uma estação próxima para, então, ser retransmitida ou para um sistema de transmissão maior (se estiver ligada ao Sistema Interligado Nacional, denominado *Ongrid*) , ou para uso local (denominado *Offgrid*), como comunidades rurais sem acesso a rede nacional de energia.

O princípio de funcionamento, reduzido à um modelo simplista, é baseado em pás(que são movimentadas pelo vento) ligadas a um eixo central que gera um campo magnético, em um local da estrutura, que acaba sendo convertido em energia elétrica. Turbinas eólicas modernas se dividem em dois grupos básicos: eixo horizontal e eixo vertical. Turbinas eólicas de eixo horizontal tipicamente possuem duas ou três lâminas. Estas turbinas eólicas de três pás são operadas “contra o vento”, com as lâminas de frente para o vento. Outros modelos são instalados “a favor do vento”, mas o princípio de funcionamento é o mesmo.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), o Brasil possui 248 megawatts (MW) de capacidade instalada de energia eólica. O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, elaborado pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), mostra um potencial bruto de 143,4 GW, demonstrando o subaproveitamento que a energia eólica ainda sofre no país e a alternativa importante que ela pode se tornar para a diversificação da matriz energética no país. O maior potencial foi identificado nas

regiões Nordeste (75,0 GW), Sul (22,8 GW), e Sudeste (29,7 GW).



Figura 3 - Potencial eólico estimado das regiões brasileiras. (Cresesb,2001)

2.3. Biodiesel

Os processos utilizados para a obtenção do biocombustível são baseados no metanol e no etanol, e com uma estrutura simplificada, podem-se avaliar os insumos necessários para a sua produção e verificar como o óleo de fato é o item com maior peso no refino do biodiesel. Verifica-se que a produção através do etanol é mais produtiva, sendo necessária uma quantidade menor de óleo para obter-se a mesma quantidade de biodiesel.

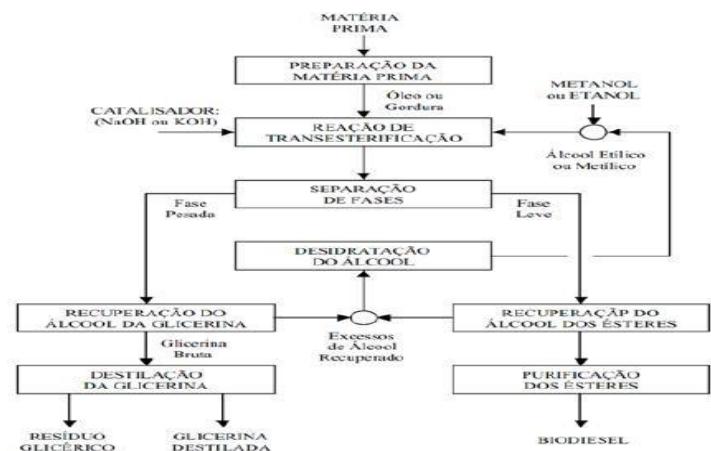


Figura 4 - Fluxograma da produção de biodiesel. (Parente, 2003)

Processo Metílico					
<i>Insumo</i>	<i>litros</i>	<i>%</i>	<i>Produto</i>	<i>litros</i>	<i>%</i>
Óleo	1012	87.0%	Biodiesel	1000	86.0%
Metanol	139	12.0%	Glicerina	104	8.9%
Catalisador	12	1.0%	Metanol	48	4.1%
Insumo total	1163		Fertilizantes	11	0.9%
			Produto total	1163	

Processo Etilico					
<i>Insumo</i>	<i>litros</i>	<i>%</i>	<i>Produto</i>	<i>litros</i>	<i>%</i>
Óleo	953	81.9%	Biodiesel	1000	86.0%
Etanol	198	17.0%	Glicerina	104	8.9%
Catalisador	12	1.0%	Metanol	48	4.1%
Insumo total	1163		Fertilizantes	11	0.9%
			Produto total	1163	

Figura 5 - Processo de obtenção de biodiesel. (Medrano, 2007)

“Pelas semelhanças de propriedades fluidodinâmicas e termodinâmicas, o biodiesel e o diesel de petróleo possuem propriedades similares, especialmente quando consideradas sob os aspectos de combustibilidade em motores do ciclo diesel. Portanto, os desempenhos e os consumos são praticamente equivalentes, com pouca ou nenhuma necessidade de modificação ou adaptação dos motores para funcionar regularmente com um ou com o outro combustível” (DEMIRBAS et al, 2003 apud GALANTE, 2012). Desse modo, podemos considerar que qualquer equipamento ou processo envolvendo o diesel de petróleo pode ser substituído sem perdas efetivas pelo biodiesel.

2.4 Programas de Incentivo ao Biodiesel

Alguns programas de incentivo ao biodiesel já foram implementados no Brasil.

- **Pró-Diesel**

Na década de 80, a Crise do Petróleo tomava conta do cenário mundial. Visando a reduzir as importações de petróleo e a dependência energética, e promover o desenvolvimento de alternativas energéticas nacionais, foi implementado o programa Pró-Diesel (DECRETO N. 17.758).

O programa tinha como objetivo a substituição de óleo diesel por derivados de tri-acilglicerídeos, como por exemplo, óleos vegetais, utilizando por meio de incentivos à pesquisas e desenvolvimento de novos combustíveis alternativos.

Em 1986, o preço do petróleo voltou a se estabilizar, culminando com o abandono do programa Pró-diesel por parte do governo nacional.

- **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)**

Após o desinteresse do governo em relação ao Prodiesel, os anos 2000 trouxeram novo impulso aos biocombustíveis, como por exemplo, o apelo mundial para redução da emissão de CO₂ proposto pelo Protocolo de Kyoto, além do interesse do governo em reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Assim, foi elaborado em 2004 um projeto estabelecendo as diretrizes para implementação de uma política de estímulo ao desenvolvimento do mercado de biodiesel no Brasil: o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB). Esse programa ficou sob tutela da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), que deveria regular e fiscalizar as atividades relacionadas à produção, qualidade, distribuição, revenda e comercialização do biodiesel.

Foi esse projeto que decretou o que de fato é o chamado biodiesel:

"Biodiesel: biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil."

Do ponto de vista social, a inclusão traçada pelo PNPB ficou longe de ser alcançada, dado que a infraestrutura necessária para um pequeno produtor ainda é excludente, se for comparado com grandes agricultores já estabelecidos. Em relação à viabilidade econômica, identifica-se uma dependência entre a variação da taxa de câmbio, o preço do barril de petróleo e a viabilidade financeira do programa. Em suas pesquisas, ainda mostram que o projeto nacional de biodiesel depende da estruturação da cadeia produtiva, entre eles no setor logístico e no fornecimento de insumos.

2.5. Geradores Estacionários a Diesel

Geradores estacionários a diesel são basicamente constituídos de um motor diesel acoplado a um alternador, sendo este último destinado a geração de energia elétrica. O sistema é normalmente utilizado em regiões sem ligação com a rede de distribuição de eletricidade. (NAG, 2001)

Segundo Slack apud Nfaoui (1994), o uso em carga reduzida e o número de ignições contribuem para restringir a utilização desse sistema, já que esses aspectos acarretam na diminuição da vida útil da máquina, baixam o rendimento e elevam os

custos de manutenção. Assim, para evitar esse tipo de despesa, é recomendado que o sistema opere com mais de 40% de sua capacidade nominal.

Outro problema recorrente no que diz respeito ao uso de geradores estacionários a diesel está na dificuldade de determinar as dimensões a partir da carga demandada, quando utilizado de forma independente na geração de energia para pequenas comunidades. (CESAR, 2014)

Morash apud Nfaoui afirma que um motor a diesel tem consumo específico de aproximadamente 30%, sendo assim, é necessária 30% da carga nominal apenas para suprir as perdas internas. Portanto, devido a baixa eficiência energética quando operando em carga reduzida, há um maior gasto de energia nessa configuração em relação a operar a máquina à carga nominal.

2.6. Sistemas Híbridos

Os sistemas são considerados híbridos quando apresentam diversas formas de obtenção de energia, como por exemplo, turbinas eólicas, geradores à diesel, painéis fotovoltaicos, entre outros. O uso de distintos meios de geração de energia elétrica, acarreta em uma maior complexidade do sistema, requisitando a otimização de cada fonte, a fim de garantir uma maior eficiência. A potência desses tipos de sistemas varia entre 10 kW e 200 kW.

A utilização de um sistema híbrido do tipo eólico/diesel em locais dependentes do fornecimento de energia elétrica proveniente de geradores a diesel, pode apresentar fator de economia de combustível à custos bem atraentes devido a presença dos geradores eólicos.

De maneira geral, sistemas híbridos são implementados em sistemas de médio e grande porte para o atendimento de uma grande demanda. Tais sistemas trabalham com cargas alternadas, requisitando o uso de inversores para o funcionamento (FERNANDES, 2005).

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E MODELAGEM

O sistema híbrido eólico-diesel estudado pode ser dividido em 7 blocos, que são analisados e modelados separadamente. São eles: vento, sistema eólico, gerador, sistema de transmissão, sistema de distribuição, biodiesel e consumidor. A relação

entre cada bloco segue o diagrama de blocos representado abaixo.

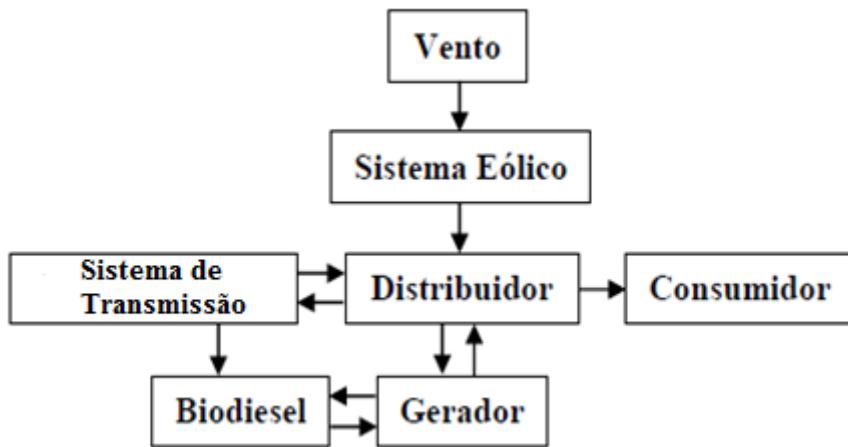


Figura 6 - Diagrama de blocos do sistema (Autor)

3.1. Vento

A exploração do potencial eólico de uma região deve ser sempre precedida pela medição do recurso eólico. Erros nas medições de vento no local em avaliação podem comprometer todo o empreendimento eólico.

Além da medição, a análise dos dados é uma etapa essencial, que deve ser executada por pessoal qualificado e utilizando ferramentas computacionais específicas. Neste trabalho, o potencial eólico será definido a partir da ferramenta MesoMap, que consiste em um conjunto integrado de modelos de simulação atmosférica, bases de dados meteorológicos e geográficos, redes de computadores e sistemas de armazenamento.

Essa ferramenta traz algumas vantagens em relação a outros métodos de análise de dados. O MesoMap obtém representatividade para grandes áreas continentais sem a necessidade de dados anemométricos de superfície efetivamente medidos – característica importante para regiões como o Norte e o Centro-Oeste brasileiro, onde medições consistentes e confiáveis são escassas. Além disso, ele modela importantes fenômenos físicos que não são considerados em outros modelos, como ventos convectivos, brisas marinhas e ventos térmicos decorrentes de montanhas.

Diversos dados geográficos e meteorológicos são utilizados como entrada para a ferramenta. Os principais geográficos são dados de topografia, uso do solo, e vegetação. Já os dados meteorológicos são provenientes de análises de temperatura

sobre a terra e os oceanos.

Entre os principais resultados da ferramenta, destacam-se os mapas temáticos por códigos de cores, que permitem visualização rápida do conjunto de dados. A velocidade média é o indicador mais simples da qualidade do potencial eólico e o mais usual em estimativas de geração elétrica a partir de dados de desempenho de turbinas eólicas disponíveis. Ela é resultante da média das velocidades horárias de vento geradas no MesoMap, a 50m de altura, para todos os dias de simulação:

$$\bar{v} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n v_i \quad (1)$$

N : Número total de horas simuladas

v_i : Velocidade horária

A densidade de potência eólica é outro indicador usado em estudos de potencial energético. Representa a potência cinética média do vento que flui através de uma unidade de área sempre perpendicular à sua direção, ao longo do ano. É função da densidade do ar e do cubo das velocidades médias horárias de vento, representada por:

$$\bar{P} = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N p_i v_i^3 \quad (2)$$

Além dos mapas temáticos, o MesoMap produz uma grande variedade de arquivos de dados numéricos, que detalham todos os principais parâmetros estatísticos relativos ao vento em cada elemento da malha geográfica. Essas distribuições estatísticas podem ser combinadas para fornecer a distribuição total das freqüências de cada local. A distribuição de Weibull, a distribuição Log-Normal e a distribuição Beta são as mais recomendadas. As distribuições de Weibull e Log-Normal tem sido as mais utilizadas para ajuste de velocidades do vento, conforme constatado em diversos estudos prévios, como os de Justus et al. (1976), e Garcia et al. (1998), embora pouca atenção tenha sido dada ao uso de outras distribuições, como a Beta por exemplo. Devido a uma melhor aderência aos casos mais variados de regimes de ventos, utilizaremos a distribuição de Weibull, dada por:

$$p(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (3)$$

k : fator de forma

Um fator de forma alto indica uma maior constância dos ventos, com menor ocorrência de valores extremos. Os valores de k anuais variam tipicamente entre 2 e 3. Excepcionalmente, durante alguns meses do ano em regiões de ventos alísios, como no Nordeste brasileiro, o fator de forma pode atingir valores mensais superiores a 6.

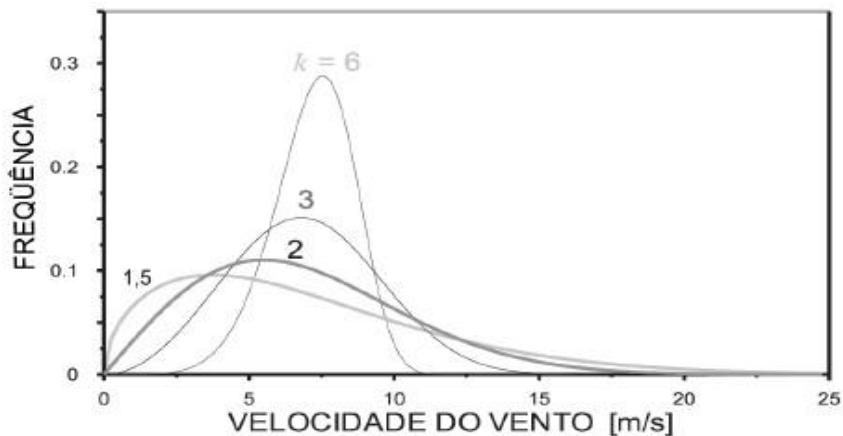


Figura 7 - Relação entre frequência e velocidade do vento na Distribuição de Weibull, levando em conta diferentes valores k (Cresesb,2001)

Apesar de a aderência do ajuste por Weibull ser adequada para a grande maioria dos regimes estatísticos de vento, é importante ressaltar que podem ocorrer discrepâncias significativas com dados reais. Apesar disso, a distribuição de Weibull tem-se provado como um método conveniente de caracterização de recursos eólicos. Em posse dos fatores de forma (k) e de escala (C) e com a densidade média do ar, é possível estimar a produção anual de uma turbina eólica com boa exatidão.

3.2. Sistema Eólico

Em relação ao sistema eólico, já que a análise do vento foi direcionada, temos a análise da turbina em si. Para o nosso estudo, iremos utilizar com turbina integrada uma turbina de eixo horizontal. De acordo com Alvim Filho et al. (2009), os principais componentes da turbina eólica de eixo horizontal estão demonstrados na figura 3.3:

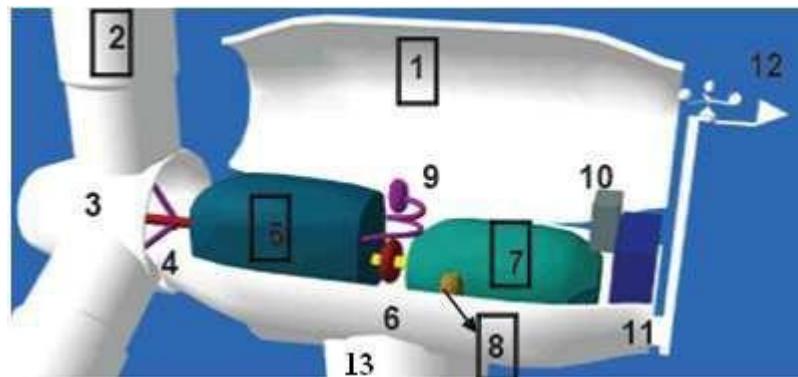


Figura 8 - Componentes turbina eólica eixo horizontal (Fonte: Site PUCRS)

- 1) Nacelle:** É o componente acima da torre, que abriga diversos outros componentes, como o gerador e o sistema de transmissão de potência (eixos, sistemas hidráulicos e etc).
- 2) Pás:** São os aerofólios que capturam a energia do vento e a convertem em energia rotacional no eixo.
- 3) Cubo:** É o componente que recebe as pás e formam o rotor. Transmite a energia captada pelas pás para o eixo;
- 4) Eixo:** Transfere a energia rotacional para a caixa de engrenagens, no caso de geradores convencionais, ou então diretamente para o gerador, no caso de geradores multi-pólos.
- 5) Caixa de engrenagens:** Aumenta a velocidade do eixo entre o cubo do rotor e o gerador.
- 6) Eixo de alta velocidade:** Eixo que possui sistema de freio
- 7) Gerador elétrico:** Usa a energia rotacional do eixo para gerar eletricidade via eletromagnetismo (Lei de Faraday)
- 8) Controlador de orientação:** Move o rotor para alinhá-lo com a direção do vento;
- 9) Sistema hidráulico:** Parte hidráulica da turbina
- 10) Unidade de controle eletrônico:** Monitora o sistema, desliga a turbina em caso de mau funcionamento e controla o mecanismo de ajuste para alinhamento da turbina com o vento;
- 11) Resfriamento:** Mantém a temperatura dos componentes em uma faixa aceitável para seu bom funcionamento
- 12) Unidade de medição:** Medição da velocidade e direção do vento
- 13) Torre:** Sustenta todo o conjunto a uma altura onde as pás possam girar com

segurança e distantes do solo.

Os movimentos da turbina também são de suma importância para o entendimento teórico do projeto. As pás de uma turbina eólica, podem mover-se em relação aos eixos x, y e z, conforme pode ser observado na figura 9.



Figura 9 - Movimentos em relação aos eixos x,y,z de uma turbina eólica

Fonte: Araújo, A. M. (UFPE), 2011.

O movimento de yaw (guinada) tem o objetivo de buscar a melhor direção do vento de forma que seja captada a máxima potência disponível neste fluxo de ar. O movimento de pitch é o movimento de rotação das pás em relação ao seu próprio eixo, de forma a otimizar o ângulo de incidência do fluxo (ângulo de ataque), parâmetro muito importante que deve ser analisado criteriosamente. O ângulo de roll, por sua vez, é o movimento em relação ao eixo da torre.

Para o sistema eólico, o modelo elaborado por Dragos (2009) foi adotado, no qual algumas hipóteses são estabelecidas para a simplificação do estudo, sendo elas:

- Atrito desprezado;
- Ausência de forças cortantes provenientes do vento;
- O fluxo do vento não possui componente rotacional, sendo então estacionário, constante, livre e incompressível.

Dadas tais hipóteses, é possível então observar que a máxima energia elétrica à ser obtida, equivale a energia cinética proveniente da variação entre as velocidades de

entrada e saída do fluxo de vento no sistema. Assim:

$$W = \frac{1}{2} m(v_1^2 - v_2^2) \quad (4)$$

Assim, a potência média pode então ser calculada através da razão entre a energia cinética produzida e a variação de tempo, obtendo-se:

$$\overline{P_{teo}} = \frac{W}{t} = \frac{1}{2} \frac{m}{t} (v_1^2 - v_2^2) = \frac{1}{2} \frac{V\rho}{t} (v_1^2 - v_2^2) \quad (5)$$

Além disso, pode-se considerar que o volume médio de fluxo de ar é dado por:

$$\bar{V} = \frac{V}{t} = A\bar{v} \quad (6)$$

Onde a velocidade média é dada por:

$$\bar{v} = \frac{1}{2}(v_1 + v_2) \quad (7)$$

Dessa forma, a equação da potência teórica produzida pelo sistema pode ser descrita como:

$$\overline{P_{teo}} = \frac{1}{4} A\rho(v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2) = \frac{A\rho v_1^3}{4} \left(1 - \frac{v_2^2}{v_1^2}\right) \left(1 + \frac{v_2}{v_1}\right) \quad (8)$$

Analizando esta última, é possível perceber que para uma determinada razão entre as velocidades de entrada e de saída, obtém-se um ponto de máximo valor, determinando a potência máxima a ser produzida pelo sistema. Para tal valor, resulta em:

$$P_{max} = \frac{8}{27} A \rho v_1^3 \quad (9)$$

Dessa forma, é possível observar que a potência máxima representa uma parcela da potência teórica proveniente da entrada do fluxo de ar, a qual pode ser dada por:

$$P_{vento} = \frac{1}{2} A \rho v_1^3 \quad (10)$$

E assim, obtemos:

$$P_{max} = \frac{8}{27} A \rho v_1^3 = \frac{1}{2} A \rho v_1^3 \cdot 0,59 = P_{vento} \cdot C_p \quad (11)$$

Através da equação apresentada acima, é facilmente observável que a energia cinética não é inteiramente transformada em energia elétrica, sendo esta, uma parcela da potência proveniente do fluxo de ar, representando a eficiência do sistema. Dessa maneira, é notável que a geração de energia elétrica através do fluxo de entrada de vento no sistema eólica é limitada pelo fator de potência (C_p), ou seja, a potência elétrica produzida atinge um valor teórico máximo de 59,26% da potência eólica de entrada, conforme demonstrado anteriormente. Esse fator máximo de potência é denominado de Limite de Betz.

Assim, a potência elétrica pode ser dada por:

$$P_{el} = \frac{1}{2} C_e A \rho v_1^3 \quad (12)$$

Analizando-se a eficiência do sistema, segundo Amarantes (2001), os coeficientes podem ser desmembrados, respectivamente, em:

$$\begin{aligned} C_e &= C_p \eta \\ A &= \pi \frac{D^2}{4} \end{aligned} \quad (13)$$

E por fim, obtemos a expressão que representa o funcionamento do sistema eólico:

$$P_{el} = \frac{1}{2} \pi \frac{D^2}{4} \rho v_1^3 C_p \eta \quad (14)$$

No gráfico abaixo, pode-se observar a variação do fator de potência para cada velocidade do vento, refletindo no comportamento da potência eólica gerada pelo aerogerador.

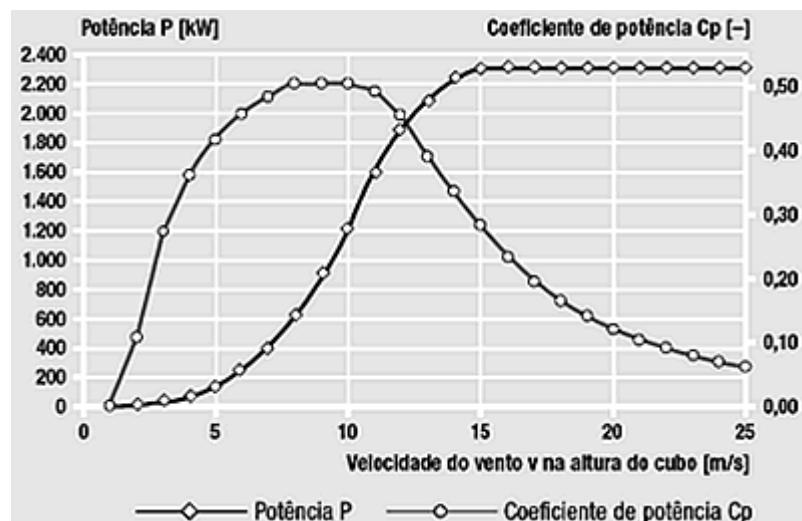


Figura 10 - Curva característica de potência de um aerogerador (Fonte: ENERCON, 2007)

Através das curvas características do aerogerador, pode-se concluir que, por mais que a potência elétrica varie exponencialmente com a velocidade, a mesma é limitada pelo fator de potência, permanecendo aproximadamente constante após uma dada velocidade de vento.

Aliando a distribuição anual de frequências de velocidades de Weibull com a curva característica de potência de um aerogerador, obtemos distribuição de densidade de potência produzida para cada velocidade dentro do período de um ano.

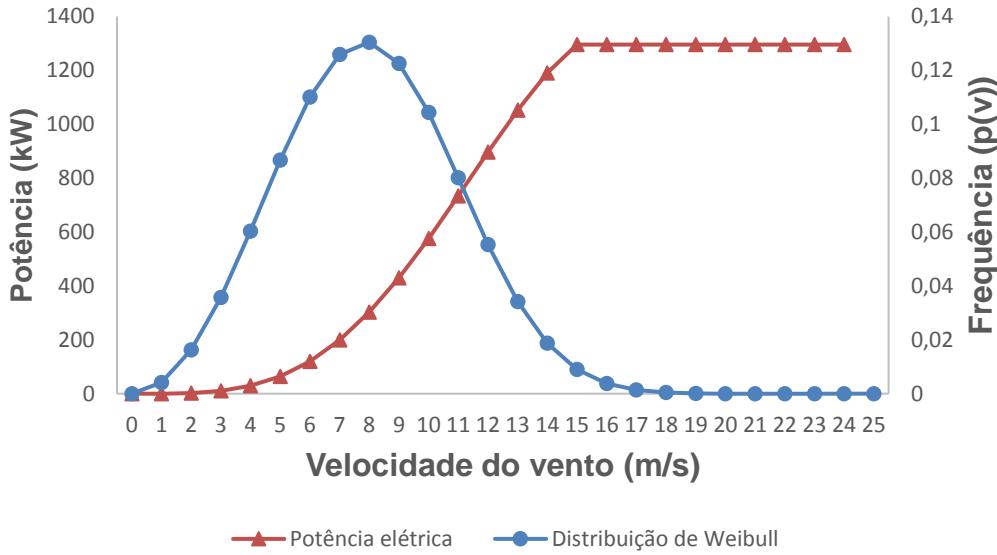


Figura 11 – Distribuição de Weibull e potência gerada.

O gráfico apresenta a frequência observada para cada potência. Dessa forma, faz-se:

$$P_{total} = \int p(v) P_{el}(v)$$

Como o período analisado na distribuição de vento é de 1 ano, temos que a energia elétrica total produzida é dada por:

$$E_{total} = P_{total} \Delta t$$

Onde:

$$\Delta t = 1 \text{ ano} = 8760 \text{ h}$$

3.3. Gerador

O gerador tem como principal função suprir a demanda de energia caso a produção através do sistema eólica seja insuficiente. No entanto, como esse estudo não possui a intenção de focar-se neste subsistema, o mesmo será modelado a partir do princípio de modelo linear de “caixa preta”, assim como proposto por Cesar (2014).

O modelo linear de “caixa preta” deixa as características internas do subsistema a um segundo plano, focando-se apenas nas variáveis de entrada e de saída. No presente trabalho, a variável de entrada resume-se a demanda de potência elétrica extra, enquanto a saída corresponde ao consumo de diesel. Vale ressaltar que, como explicado anteriormente, o emprego de biodiesel no lugar do diesel comum, não resultaria em mudanças significativas para o projeto.

Segundo o modelo de Hunter (1994), o sistema do gerador não gera potência que possa ser de fato aproveitada, quando operando em marcha lenta. Além disso, o aparato consome um equivalente à 30% do combustível quando opera à potência nominal. Logo:

$$m_f = 0,3 \times m_{nom} + \frac{(P_{ger} - P_{lenta}) \times 0,7 \times m_{nom}}{(P_{nom} - P_{lenta})} \quad (15)$$

Onde:

$$P_{lenta} = 0 \quad (16)$$

Assim, através da potência nominal demandada e o respectivo consumo de combustível, é possível obter a quantidade consumida de biodiesel para a geração de energia elétrica extra.

3.4. Biodiesel

O subsistema “Biodiesel” pode ser analisado segundo sua utilidade dentro do sistema total. Neste trabalho, o subsistema será dividido então, entre 2 funções diferentes, sendo uma delas representante do consumo de biodiesel pelo gerador estacionário, e a segunda, por sua vez, indicando a produção líquida de biodiesel a ser disponibilizada para a comercialização. Vale ressaltar que a produção líquida refere-se a parcela resultante da produção total do biodiesel menos a parcela demandada pelo gerador.

O biodiesel pode ser extraído de diversas espécies vegetais como girassol, amendoim, mamona, soja, algodão, canola, babaçu, macaúba, coco, dendê, entre outras. Atualmente 75% da produção de biodiesel ocorre pelo cultivo da soja, 20% através de gordura animal e o restante de diversas fontes vegetais, destacando-se entre elas o dendê, palmeira de origem africana que chegou ao Brasil no século XIV e se adaptou muito bem no litoral sul da Bahia.

O dendê apresenta a maior produtividade de óleo, com um percentual de 20-22% de óleo de palma e com rendimento entre 4 e 6 ton/ha, o que corresponde a aproximadamente a 1,5 vezes a produtividade do óleo de coco, e mais de 10 vezes em

relação ao óleo de soja. Além disso, sua produção é distribuída ao longo de todo ano, e em áreas distintas do território nacional, o que reduz o efeito da sazonalidade no seu cultivo. Por fim, o seu plantio não compete com outras culturas destinadas a fins alimentares.

O Brasil possui o maior potencial mundial para a produção de biodiesel a partir do dendê, chegando a quase 70 milhões de hectares aptos à essa cultura. O Pará, maior produtor nacional de dendê (70% da produção), representa a maior parte dessas terras, seguidas por Bahia e Amapá.

A Bahia participa com aproximadamente 1 milhão, sendo o único estado do nordeste brasileiro com condições climáticas favoráveis (clima quente e úmido) para o plantio do dendezeiro, principalmente no litoral Sul do estado, desde o Recôncavo Baiano até os Tabuleiros Costeiros do Sul da Bahia.

A produção total de biodiesel se dá através de diversas etapas que transformam o dendê no produto final. São elas: o cultivo do dendê, a extração de óleo a partir dos grãos, a síntese do biodiesel a partir do óleo produzido. Cada uma dessas etapas representam fatores que multiplicam a entrada desse subsistema, no caso, a massa de dendê.

3.5. Sistema de Transmissão

Este bloco tem, por sua vez, a função de fornecer/receber a energia elétrica faltante/excedente do sistema, já considerando a produção de energia eólica e dos geradores de biodiesel, e dar suporte ao funcionamento do sistema híbrido proposto.

4. OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que viabilize a análise da possível implantação do sistema na propriedade. Dessa forma, a simulação tem como fim, fornecer dados suficientes para tal análise a partir dos dados de entrada.

É de suma importância estabelecer um local, bem como os equipamentos necessários, além da sua viabilidade econômica para embasar o estudo e a modelagem do sistema, a fim de retirar os parâmetros necessários para a simulação

factível do projeto.

5. VIABILIDADE TÉCNICA

5.1. Turbina eólica

Para a análise, serão consideradas turbinas de dimensões classificadas em pequena (até 50 kW), média (50 a 1000 kW) e grande (acima de 1MW), juntamente de seus respectivos parâmetros e custo.

- **Pequeno Porte**

Turbina Aeolos-H da Aeolos, com as seguintes especificações:

Potência Nominal (kW): 50
 Coeficiente de potência (C_p): 0,59
 Rendimento (η): 0,9
 Diâmetro do rotor: 18 m
 Custo: R\$ 750.000,000



Figura 12 – Turbina Aeolos-H da Aeolos (Catálogo do Fabricante)

- **Médio Porte**

Turbina AGW-100 da WEG, com as seguintes especificações:

Potência Nominal (kW): 95

Coeficiente de potência (Cp): 0,59

Rendimento (η): 0,9

Diâmetro do rotor: 24,4 m

Custo: R\$ 1.425.000,00



Figura 13 – Turbina AGW-100 da WEG (Catálogo do Fabricante)

- **Grande Porte**

Turbina SWT-2.5-120 da Siemens, com as seguintes especificações:

Potência Nominal (kW) : 2500

Coeficiente de potência (Cp): 0,59

Rendimento (η): 0,9

Diâmetro do rotor: 120 m

Custo: R\$ 26.250.000,00



Figura 14 - Turbina SWT-2.5-120 da Siemens (Catálogo do fabricante)

Em relação à área ocupada, estudos aerodinâmicos comprovam que os

aero geradores devem estar distribuídos pelo terreno de forma que o funcionamento de cada aero gerador não seja afetado pelas perturbações aerodinâmicas das unidades vizinhas. Isso implica que a disposição das turbinas respeite uma distância mínima entre elas de 5 vezes o comprimento das pás. Assim, podemos admitir que a área requerida por um conjunto de turbinas é de 0.08 a 0.13 km²/MW.

5.2. Gerador

O gerador também foi classificado segundo suas dimensões. Além disso, o mesmo só entrará em funcionamento a partir do momento em que o abastecimento energético proveniente do sistema eólico não for mais suficiente para atender a demanda da propriedade. Neste caso a produção de energia elétrica é gerada através da queima do biodiesel fornecido pela moenda.

Para a definição dos parâmetros dos geradores a diesel, os seguintes modelos foram considerados:

- **Pequeno porte**

Gerador de energia a diesel trifásico B 3.3. - Cummins

Especificações	
Potência máxima (kW)	42,8
Consumo máximo (l/h)	10
Potência nominal (kW)	40
Consumo nominal (l/h)	7,5
Custo (R\$)	20.000

- **Médio porte**

Gerador de energia à diesel trifásico 65kW – ND65000ES3 – Nagano.

Especificações	
Potência máxima (kW)	65
Consumo máximo (l/h)	13
Potência nominal (kW)	58,5
Consumo nominal (l/h)	10
Custo (R\$)	35.000

- **Grande porte**

Gerador de energia à diesel trifásico 125kW – TDMG125SE3 – Toyama.

Especificações	
Potência máxima (kW)	125
Consumo máximo (l/h)	13
Potência nominal (kW)	106
Consumo nominal (l/h)	10
Custo (R\$)	60.000

6. VIABILIDADE ECONÔMICA

Após serem definidas as especificações técnicas do sistema híbrido, a viabilidade econômica surge como fator essencial na análise de implementação do problema.

Como base para o estudo dos custos relacionados à cultura do dendê, este trabalho utiliza os dados do Centro de Referência da Cadeia de Produção de Combustíveis para a Agricultura Familiar.

Como premissa inicial, são consideradas as produtividades médias anuais estimadas pela Suframa, definida pela tabela abaixo:

Tabela 1. Produtividade Média do Dendê (Suframa)

Premissas - Produtividade Média	
Ano 1	8000 kg/ha
Ano 2	14000 kg/ha
Ano 3	18000 kg/ha
Ano 4	20000 kg/ha
Ano 5	23000 kg/ha
Anos 6-13	25000 kg/ha
Anos 14-25	13833 kg/ha

Em relação ao custos de produção, têm-se o custo de preparo de área, realizado no primeiro ano de implantação, compreendendo as fases de: (a) limpeza mecanizada e manual do terreno, através da derrubada/queima da vegetação, e abertura de estradas de serviço; (b) semeadura com Pueraria javanica, uma puerária que tem adaptabilidade comprovada aos solos tropicais, conservando a umidade do terreno e promovendo a rápida recuperação microbiológica do solo, depauperado após o desmatamento e a queima; (c) demarcação e piqueteamento; (d) abertura e enchimento das covas com adubos químicos (NPK) e orgânico; e (e) retirada dos piquetes.

São incluídos também os custos relacionados a tratos culturais, fase que compreende: (a) o período de crescimento vegetativo da planta (desde o plantio até o 50

ano de implantação), no qual são realizadas periodicamente as operações de coroamento, drenagem, rebaixamento da cobertura de leguminosas, adubação NPK + micronutrientes e tratos fitossanitários; e (b) o período de produção comercial da planta, no qual dá-se continuidade ao coroamento, drenagem, rebaixos, podas, adubação e tratos fitossanitários, além da polinização por insetos, objetivando incrementar a produção de frutos nos cachos.

Por último temos a colheita, praticada durante o ano todo, usando-se tesouras de poda e sacos de coleta para acondicionar os cachos de frutos frescos-CFF.

Pela Suframa, os custos relacionados à produção definidos acima podem ser, para uma propriedade de 824 hectares, estimados conforme a distribuição mostrada na tabela abaixo :

Tabela 2. Custo de Produção do Dendê

Especificação	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6-13	Ano 14-25
Custos Fixos	246,729	246,729	246,729	246,729	238,592	238,592	238,592
Mão de Obra Indireta (MOI)	21,105	21,105	21,105	21,105	21,105	21,105	21,105
Despesas Administrativas	30,455	30,455	30,455	30,455	30,455	30,455	30,455
Seguros	7,726	7,726	7,726	7,726	7,726	7,726	7,726
Depreciação	125,033	125,033	125,033	125,033	125,033	125,033	125,033
Manutenção/Conservação	41,210	41,210	41,210	41,210	41,210	41,210	41,210
Tributos e Encargos Fixos	9,451	9,451	9,451	9,451	1,702	1,702	1,702
Diversos	11,749	11,749	11,749	11,749	11,361	11,361	11,361
Custos Variáveis	1,065,161	1,014,269	1,200,969	1,261,304	1,270,782	1,278,660	798,119
Mão de Obra Direta (MOD)	266,740	278,118	378,096	378,096	378,096	378,096	378,096
Materiais e Insumos	720,822	642,911	708,280	760,148	760,148	761,632	337,577
Tributos e Encargos Variáveis	26,877	44,942	56,979	62,998	72,025	78,044	44,441
Diversos	50,722	48,298	57,614	60,062	60,513	60,888	38,005
TOTAL	1,311,890	1,260,998	1,447,698	1,508,033	1,509,374	1,517,252	1,036,711

Considerando-se o nível de produção e custo médio para os 25 anos, como demonstrado nas tabelas acima, temos que :

$$Custo_{plantação} = 0,13 \frac{R\$}{kg\ dendê} \quad (17)$$

Após a determinação do custo de produção de dendê, é necessário avaliar o custo da síntese do dendê e sua transformação em óleo de palma.

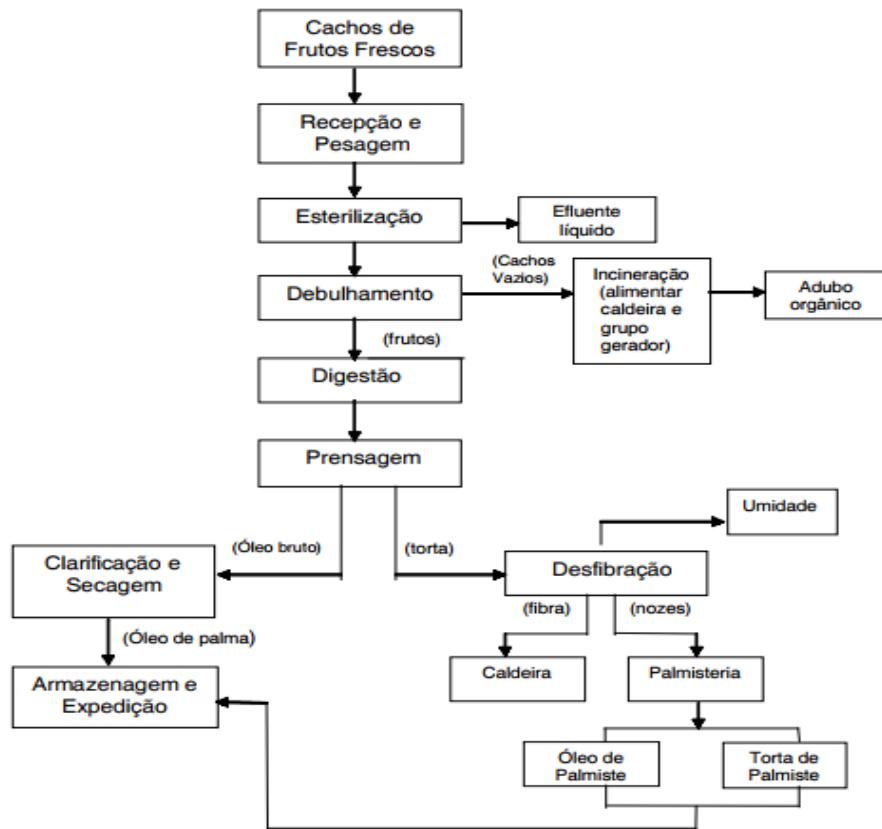


Figura 15. Fluxograma do Processo Industrial

Para a projeção do custo processual esquematizado acima, foram utilizados os dados da SUFRAMA, especificados para uma propriedade com capacidade sintetizar 38 mil toneladas de dendê por ano.

Tabela 3. Custo Maquinário para Síntese do Dendê

Custo Maquinário para Síntese do Dendê				
Equipamento	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Valor Total
Sistema de Recepção e Pesagem dos CFF	Conjunto	1	546,000	546,000
Máquina Esterilizadora de CFF (Autoclave)	Unidade	1	807,000	807,000
Máquina Debulhadora de CFF	Unidade	1	712,000	712,000
Sistema de Digestão e Prensagem de CFF	Conjunto	1	1,243,000	1,243,000
Máquina Clarificadora	Unidade	1	167,000	167,000
Máquina Desfibriladora	Unidade	1	358,000	358,000
Máquina Quebradora de Nozes	Unidade	1	521,000	521,000
Sistema Armazenador de Óleo	Conjunto	1	925,000	925,000
Sistema de Extração de Óleo/Torta de Palmiste	Conjunto	1	675,000	675,000
Caldeira adaptada a resíduos no processo	Unidade	1	1,800,750	1,800,750
Equipamentos Laboratoriais (controle de qualidade)	Conjunto	1	14,000	14,000
Pecas e Materiais de Reposição	Conjunto	1	236,000	236,000
TOTAL			8,004,750	8,004,750

Além disso, temos o custo dos insumos (vapor, metilato de sódio, metanol,

água), que adicionam custo de 0,005R\$/ kg de dendê.

Com esses dados, é possível determinar o investimento necessário para a síntese do biodiesel a partir do dendê:

$$Custo_{síntese} = Investimento + Custo\ Insumos = 8.004.750\ R\$ + 0,005 \frac{R\$}{kg\ dendê} \quad (18)$$

A partir do fluxograma do processo industrial, nota-se a produção de outros dois subprodutos na cadeia do dendê, que podem ser revertidos em renda para o produtor: o óleo de palmiste e a torta de palmiste. Os coeficientes técnicos, segundo a SUFRAMA, dos produtos da síntese do dendê podem ser definidos como:

- Coeficiente p/ produção de 1kg de Óleo de Palma – 4,5kg de CFF de Dendê
- Coeficiente p/ produção de 1kg de Óleo de Palmiste – 50 kg de CFF de Dendê
- Coeficiente p/ produção de 1kg de Torta de Palmiste – 33 kg de CFF de Dendê

Utilizando como premissa as seguintes hipóteses:

- Produção anual de óleo de palma: 60% capacidade instalada
- Produção anual de óleo de palmiste: 25% capacidade instalada
- Produção anual de torta de palmiste: 15% capacidade instalada

Resulta-se na seguinte produção anual (kg):

Óleo de Palma	5,066,667
Óleo de Palmiste	190,000
Torta de Palmiste	172,727

Segundo a SUFRAMA, os preços estimados dos subprodutos são :

- Para o óleo de palmiste, 1,30 R\$/kg
- Para a torta de palmiste, 0,5 R\$/kg

A receita dos subprodutos será:

$$Receita_{subprodutos} = \frac{Capacidade\ de\ Produção * Produção_{subproduto} * Preço_{subproduto}}{Coeficiente_{subproduto}} \quad (19)$$

$$Receita_{subprodutos} = 38.000.000 * \left(\frac{(0,25*1,3)}{50} + \frac{(0,15*0,5)}{33} \right) = 0,01 \frac{R\$}{kg\ dendê} \quad (20)$$

A partir do que foi feito nesta seção, pode-se determinar o custeio da cadeia produtiva do biodiesel, desde a plantação do dendê, até o seu processamento:

$$Custo_{produção} = Custo_{plantação} + Custo_{síntese} - Receita_{subprodutos} \quad (21)$$

Para a receita obtida através da venda de biodiesel, utilizam-se os dados compilados pela ANP/ABIOVE – Coordenadoria de Economia e Estatística, que divulgou o preço médio dos leilões de 2017 como sendo aproximadamente 2,35 R\$/litro de biodiesel. Convertendo o biodiesel em óleo de palma através de sua densidade média de 0,87 g/cm³, e convertendo novamente o óleo de palma em CFF de Dendê através de seu coeficiente já apresentado, obtém-se a receita de biodiesel em função do dendê:

$$Receita_{biodiesel} = 0,45 \frac{R\$}{kg\ dendê} \quad (22)$$

Por fim, podemos definir o custo/receita da energia elétrica provinda do sistema de transmissão, dentro da categoria B2-Rural, segundo a Eletropaulo:

- Tarifa de uso do Sistema de Distribuição (TU) – 0,12652 R\$/kWh
- Tarifa de Energia (TE) – 0,16721 R\$/kWh

Com isso, é possível definir que:

- Custo energia elétrica sistema de transmissão: TE+TU = 0,29373 R\$/kWh
- Receita energia elétrica sistema de transmissão: TE-TU = 0,04069 R\$/kWh

A viabilidade econômica do produtor pode ser determinada, enfim, pelo preço de venda do biodiesel, descontado por seu custo de produção, pelo custo de investimento energético, representado pelas turbinas e geradores (incluindo custo médio de 10% de manutenção), e pelo valor do custo/receita de energia elétrica do sistema de transmissão.

$$\text{Lucro}_{\text{produtor}} = \text{Receita}_{\text{biodiesel}} - \text{Custo}_{\text{produção}} - \text{Custo}_{\text{energético}} \pm \text{Custo}_{\text{elétrico}} \quad (23)$$

Se,

- $\text{Lucro}_{\text{produtor}} > 0$, o projeto é viável economicamente.
- $\text{Lucro}_{\text{produtor}} < 0$, o projeto não é viável economicamente.

7. PROGRAMA

A ferramenta computacional em questão foi desenvolvida através do software SciLab, para conciliar a viabilidade técnica com a viabilidade econômica do projeto detalhadas no itens anteriores, retornando a combinação de equipamentos que atendem aos requisitos técnicos mínimos para o funcionamento da propriedade, e que possam gerar o maior lucro possível para os parâmetros de entrada a qual ele está sujeito.

Os parâmetros de entrada utilizados são:

- Tamanho total da propriedade
- Local onde a propriedade está instalada

Além disso, foram utilizadas as categorias dos diferentes modelos de turbinas e geradores de acordo com suas especificações, organizadas no item 4.2, para orientar o programa a retornar qual o melhor tipo do equipamento em questão a ser utilizado na construção do projeto.

Através da área da propriedade, conseguimos obter a área de plantação de dendê, e com os parâmetros de energia demandada por metro ao quadrado plantado, chega-se na quantidade de energia demandada do projeto.

De acordo com a Embrapa, a estimativa de gasto energético do dendê é de aproximadamente 3.372 Mcal/ha. Convertendo para unidade conveniente, temos que a energia demandada da propriedade pode ser calculada por:

$$E_{\text{demandada}} = 1400 \text{ kJ/m}^2 \quad (24)$$

O segundo parâmetro de entrada se refere às propriedades do vento na região de instalação da propriedade. Para isso, é utilizado uma ferramenta auxiliar da

Cresesb(Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio S. Brito), que consulta a dados oriundos do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (Mesomap). Este programa possibilita a visualização de dados de vento de pontos próximos da coordenada geográfica inserida pelo usuário, como o fator de escala (c) e o fator de forma (k) de Weibull, parâmetros essenciais no cálculo da potência eólica produzida na propriedade.

A consulta dos dados é realizada a partir da coordenada geográfica (latitude e longitude) do ponto de interesse. O formato numérico de entrada da coordenada geográfica pode ser feita em graus decimais (00.00°) ou graus, minutos e segundos ($00^{\circ}00'00''$), conforme a opção selecionada.

Os valores válidos de latitude devem estar na faixa de 12° Norte e 40° Sul e de longitude na faixa de 30° Oeste e 80° Oeste.

A tabela abaixo mostra os resultados para o exemplo de latitude 15° S e longitude 45° O:

Tabela 4. Parâmetros de Cálculo de Potência das Regiões (Cresesb)

Latitude: 15° S Longitude: 45° O		Dados de vento a 50 m de Altura					
Atlas do Potencial Eólico Brasileiro	Unidade	Dez-Fev	Mar-Mai	Jun-Ago	Set-Nov	Anual	
velocidade média do vento	m/s	4,34	5,04	6,59	5,92	5,47	
fator c		4,9	5,69	7,41	6,68	6,18	
fator k		2,29	2,12	2,72	2,21	2,19	
densidade de potência	W/m ²	85	142	261	221	177	

Ao indicar as coordenadas do local da propriedade, serão retornados os parâmetros acima, possibilitando o usuário *inputar* os valores dos parâmetros de Weibull na ferramenta, para o cálculo da produção de energia eólica do sistema de turbinas.

Com os dados de entrada, as especificações das turbinas e geradores e através do cálculo da energia demandada pelo projeto, a ferramenta realiza todas as combinações de equipamentos possíveis que atendem os requisitos técnicos mínimos, obtendo o lucro de cada uma delas e por fim, retorna a combinação de maior lucro obtido, conforme esquematizado no diagrama de blocos abaixo.

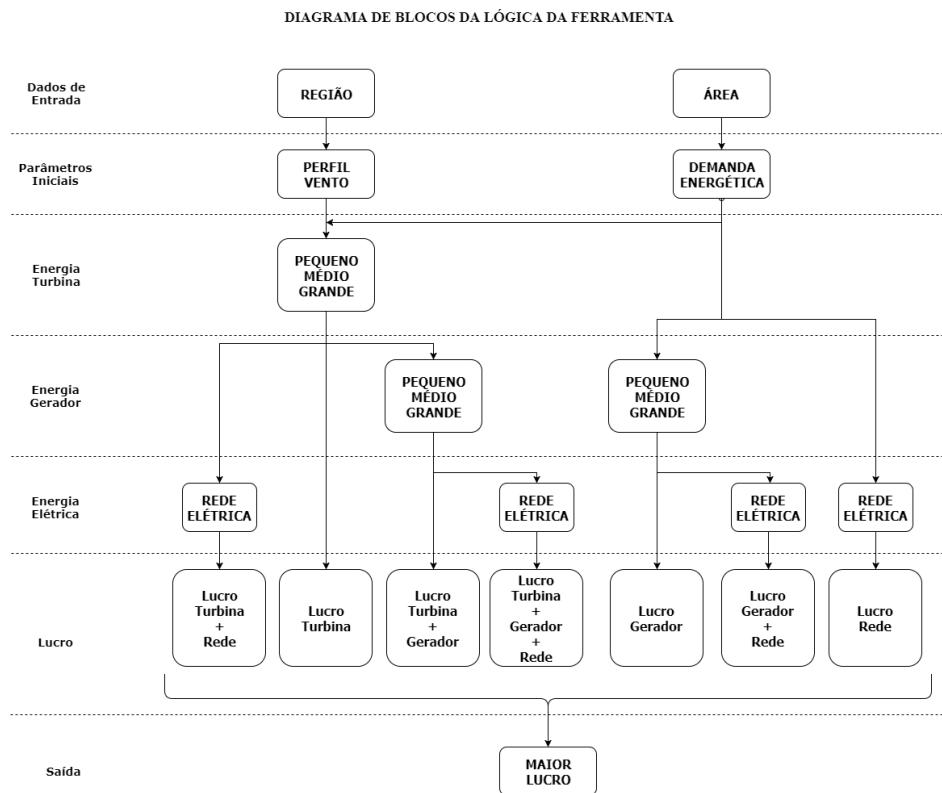


Figura 16. Diagrama de Blocos da Ferramenta

8. SIMULAÇÃO E RESULTADOS

8.1. Simulação I

Para a primeira simulação, foi considerada a situação hipotética de duas propriedades de 1500 hectares, uma localizada em São Paulo e outra em Natal, com disponibilidade de uso total para a instalação dos aerogeradores, e perda de 5% da área total para a plantação de dendê, devido ao isolamento do solo em áreas muito próximas a instalação das turbinas. Vale ressaltar que essa área pode variar conforme a quantidade de turbinas instaladas.

Tabela 5 – Dados eólicos extraídos da ferramenta auxiliar.

Cidade	Latitude	Longitude	Velocidade Média	K (Weibull)	C (Weibull)
São Paulo	23°32'56" S	46°38'20" O	3.5	2.2	4.0
Natal	5°47'42" S	35° 12' 34" O	7.1	2.3	8.0

Após a simulação, o programa informa a combinação ideal de equipamentos. Não estão incluídos equipamentos para obtenção de energia elétrica.

O resultado da simulação está explicitado na Tabela 4 abaixo, para as duas cidades escolhidas.

Tabela 6 – Resposta da primeira simulação do sistema para os casos exemplos.

Cidade	Turbinas	Modelo da Turbina	Geradores	Modelo do Gerador
São Paulo	0	-	0	-
Natal	10	Pequena	0	-

Além da combinação de equipamentos, foram construídos com a ferramenta alguns gráficos que mostram como está relacionado o uso das diferentes formas de energia disponível (eólica, biodiesel e elétrica) em função da porcentagem de área total da propriedade (1500 hectares), bem como a variação do lucro obtido em ambas as cidades simuladas para a avaliação da viabilidade econômica.

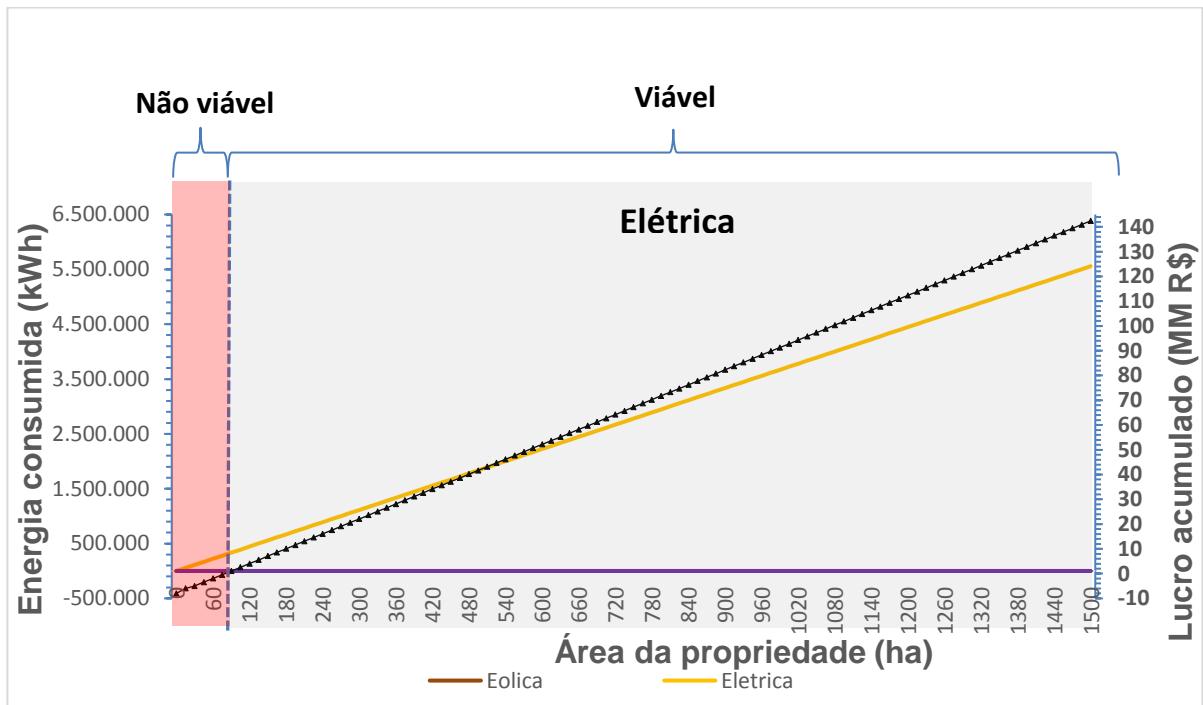


Figura 17. Energia Utilizada x Porcentagem da Área Total x Lucro Acumulado (São Paulo)

Em primeira instância, é notável que o projeto de implantação do cultivo de dendê para a venda de biodiesel, só é viável economicamente para propriedades maiores que 80 ha. Para propriedades menores, percebe-se que haverá um prejuízo ao final de 20 anos.

No gráfico acima podemos observar que o consumo de energia elétrica provinda da rede de distribuição varia linearmente de acordo com a variação da área

da propriedade. Isso se deve ao fato de a cidade de São Paulo possuir velocidades e fatores médios baixos o que acarreta na necessidade de instalação de um número elevado de turbinas para que seja possível atingir a energia demandada pela propriedade.

Sendo assim, o programa conclui que a combinação ótima, ou seja, a combinação de menor custo, para essa localidade é a utilização de apenas energia elétrica da rede, sendo então desconsideradas as instalações de turbinas e geradores.

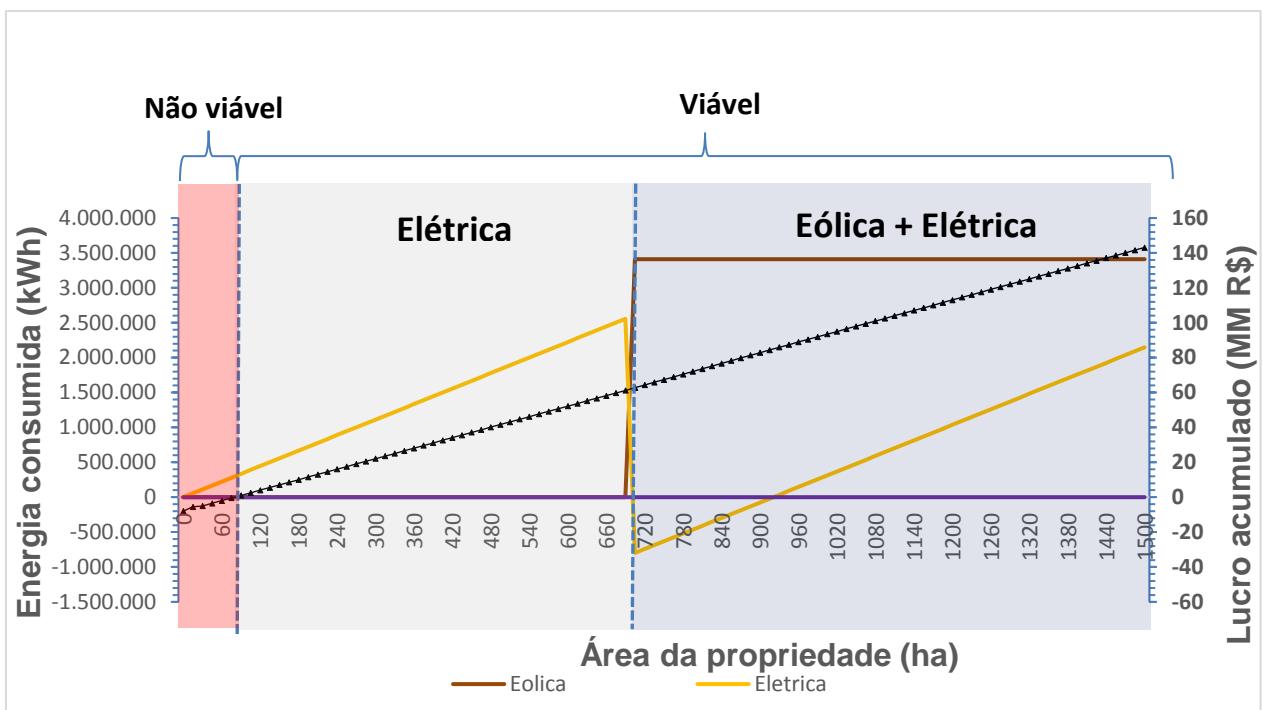


Figura 18. Energia Utilizada x Porcentagem da Área Total x Lucro Acumulado (Natal)

Já para a cidade de Natal, nota-se a apresentação, não só, da curva de energia elétrica, como também da curva de energia eólica. Sendo assim, observa-se que para propriedades de até 675 ha, a ferramenta recomenda a utilização apenas de energia elétrica da rede para o abastecimento do estabelecimento.

Para propriedades maiores, sugere-se a implantação de turbinas eólicas. Dessa maneira, podemos observar que há uma produção de energia superior à demandada, o que é representada pelos valores negativos da curva de energia elétrica. Esta produção de energia extra tende a diminuir à medida que é variada a área da propriedade.

De maneira análoga a São Paulo, é notável que o projeto também só é considerado viável para propriedades maiores que 80 ha. Isso se deve ao fato de que a partir dessa dimensão de cultivo, a receita bruta gerada pela biodiesel é capaz de superar

o alto investimento inicial ao final do período de 20 anos.

Por último, foram construídos gráficos de 3 eixos para as duas cidades para avaliar como se comporta o lucro do projeto ao longo dos anos, variando-se a porcentagem da área total utilizada da propriedade.

- São Paulo - SP:

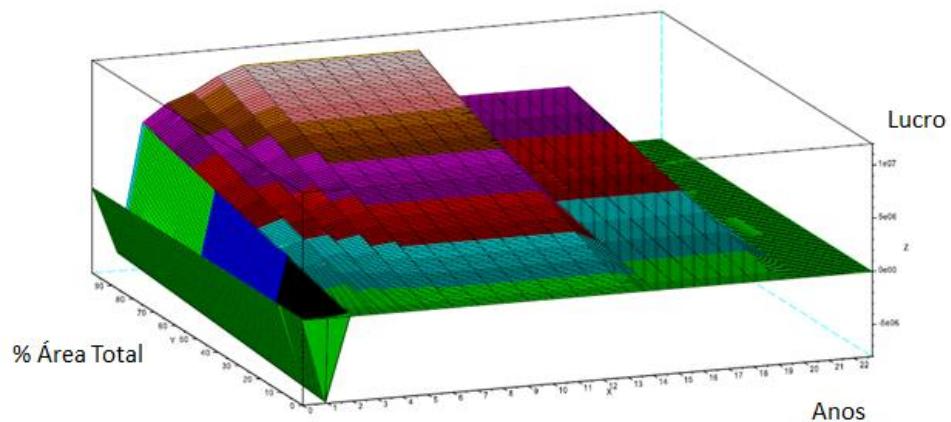


Figura 19. Lucro x Anos x Porcentagem da Área Total (São Paulo)

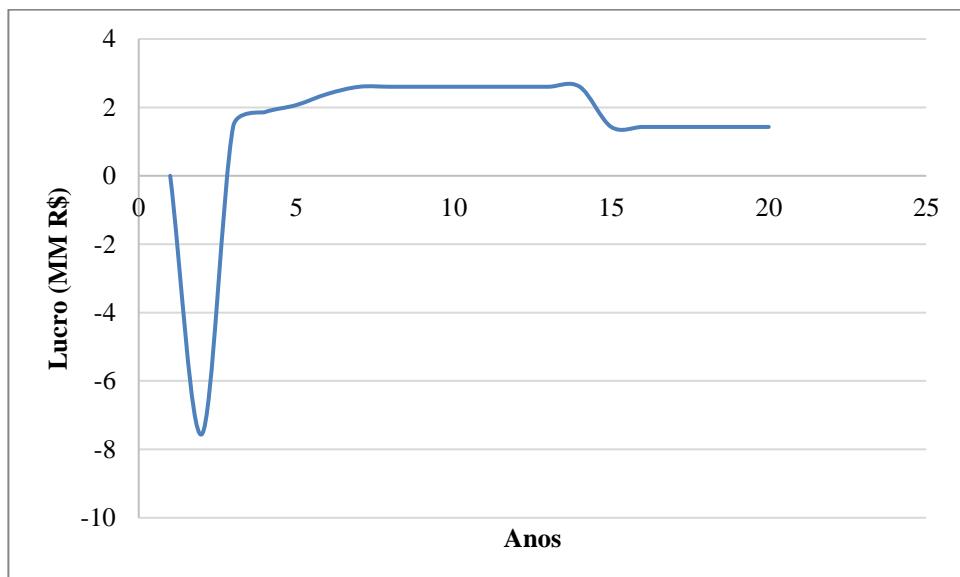


Figura 20. Lucro x Anos para 25% da Área Total (São Paulo)

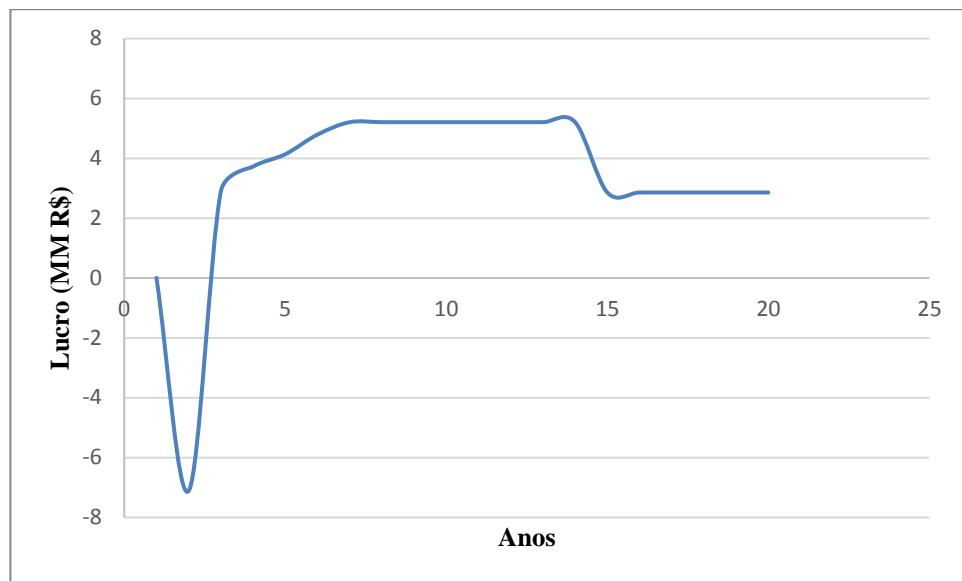


Figura 21. Lucro x Anos para 50% da Área Total (São Paulo)

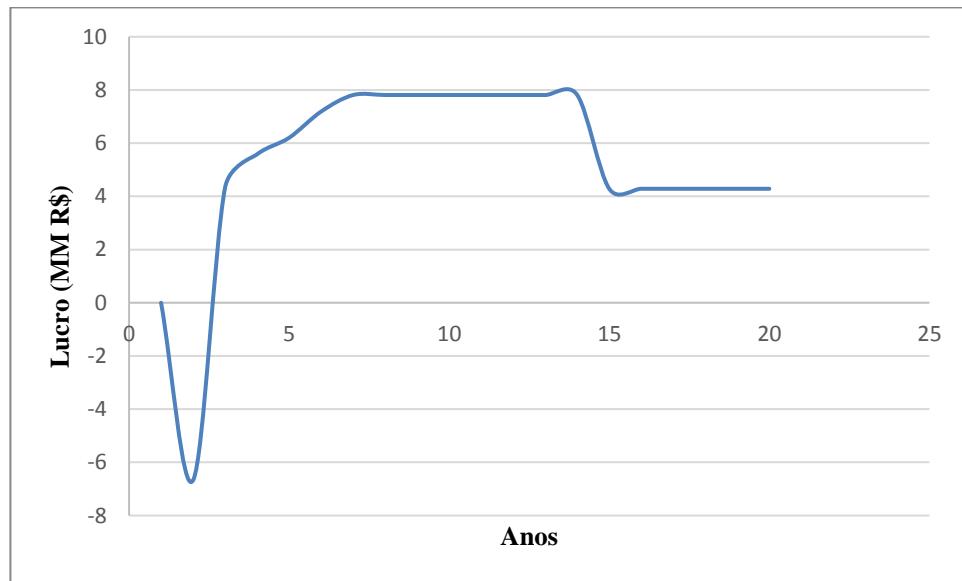


Figura 22. Lucro x Anos para 75% da Área Total (São Paulo)

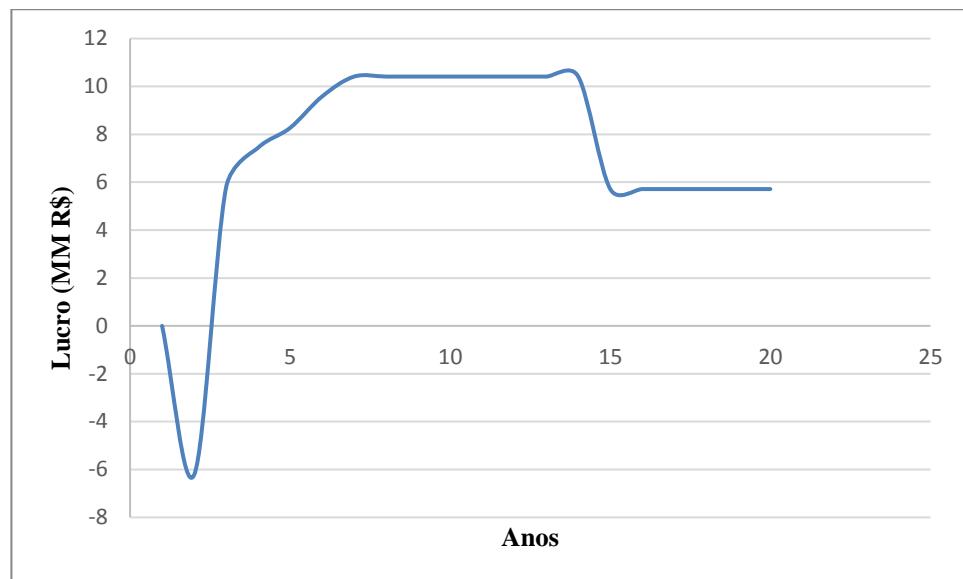


Figura 23. Lucro x Anos para 100% da Área Total (São Paulo)

- Natal – RN:

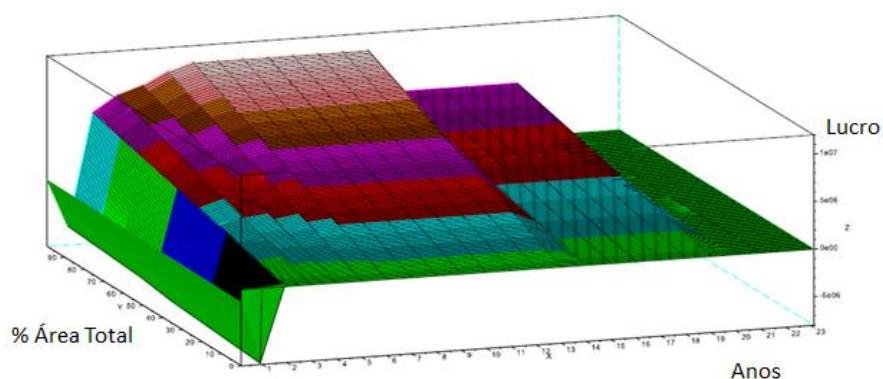


Figura 24. Lucro x Anos x Porcentagem da Área Total (Natal)

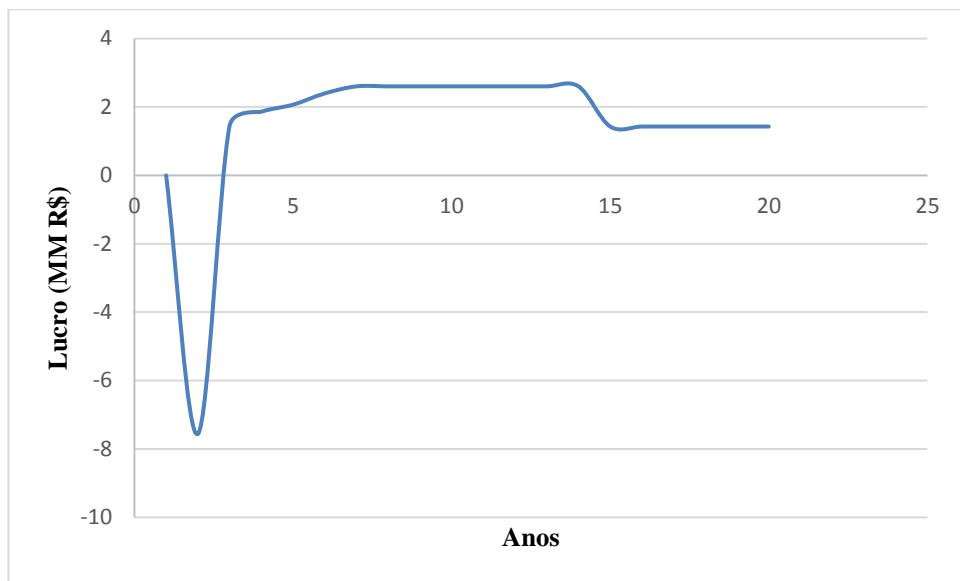


Figura 25. Lucro x Anos para 25% da Área Total (Natal)

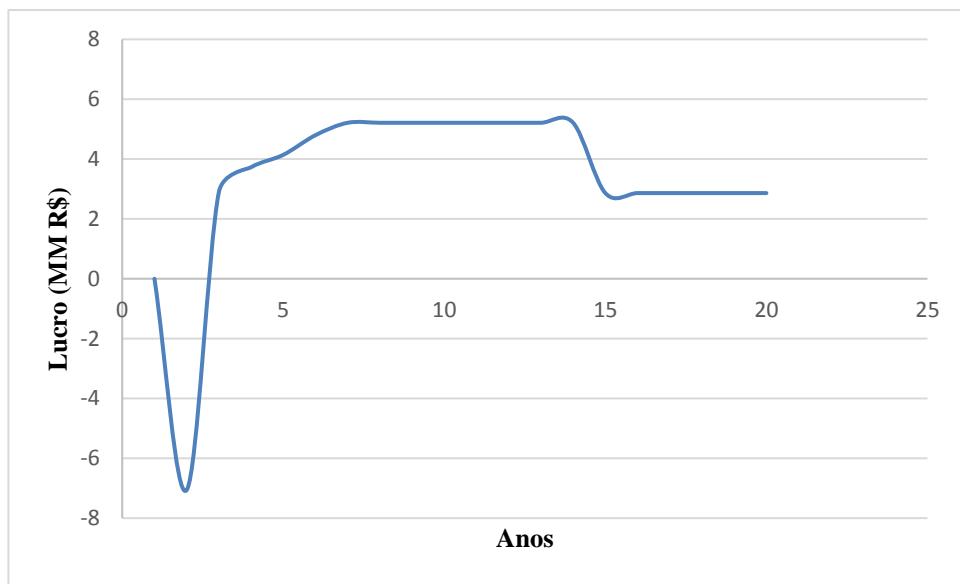


Figura 26. Lucro x Anos para 50% da Área Total (Natal)

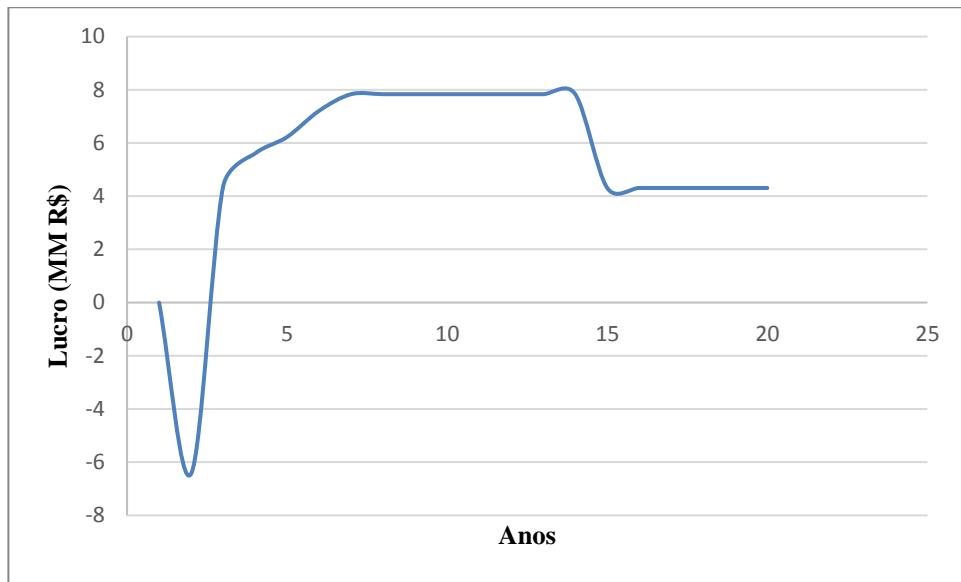


Figura 27. Lucro x Anos para 75% da Área Total (Natal)

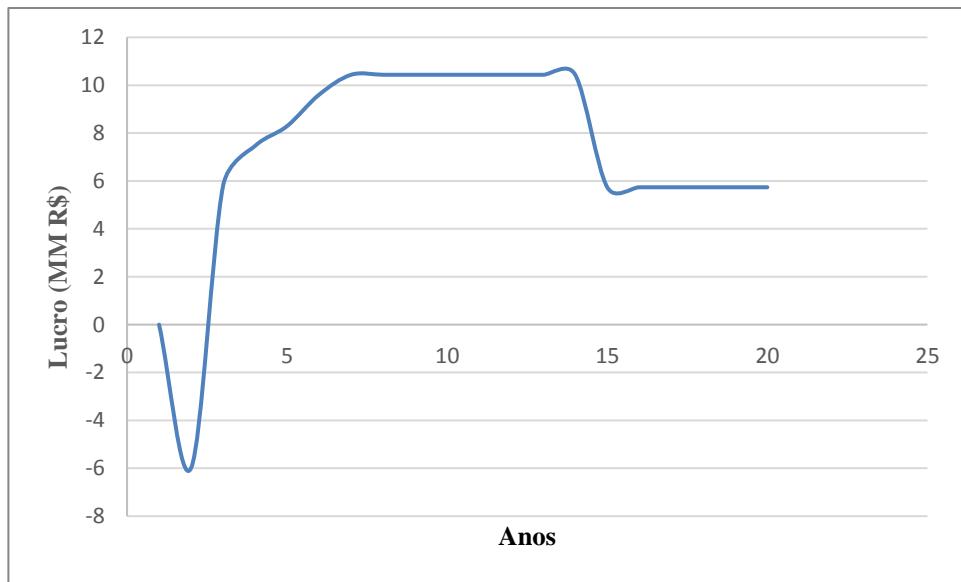


Figura 28. Lucro x Anos para 100% da Área Total (Natal)

No gráfico de lucro obtido pela propriedade, podemos observar as variações do mesmo em relação aos anos de plantio e as dimensões da propriedade.

É de fácil observação que o lucro tem uma tendência crescente quando variadas as dimensões da propriedade. Isso se deve ao fato de que o volume de produção é diretamente proporcional à área de plantio, acarretando em uma maior receita bruta para uma maior área. Além disso, uma vez que os custos variáveis de produção e energia também são diretamente proporcionais, podemos concluir o que é apresentado graficamente.

Já em relação aos anos de plantio, podemos perceber que apesar das alterações de valores conforme as dimensões da propriedade, a curva de lucro segue a mesma tendência. Sendo assim, o lucro é ascendente nos primeiros anos, atingindo um máximo, devido ao atingimento da produtividade máxima do plantio, e posteriormente, decresce até atingir o fim do ciclo da colheita.

Além disso, são notáveis os valores negativos apresentados nos primeiros anos. Isso pode ser explicado devido ao alto investimento inicial para a obtenção de todo equipamento necessário para a produção e manutenção da produção, confrontado com a baixa receita bruta de biodiesel devido à baixa produtividade no primeiro ano em relação aos demais.

Uma vez que a lógica da ferramenta tende a encontrar os valores ótimos para cada caso, e que, são comparadas propriedades iguais e de mesmo tamanho, podemos concluir que ambos os gráficos possuem tendência similares e valores próximos de máximos e mínimos.

8.2. Simulação II

Após os resultados obtidos na primeira simulação, a segunda simulação irá adotar um critério mais restritivo em relação ao local e à área da propriedade, para obtenção de uma análise refinada e mais condizente com o panorama encontrado atualmente no Brasil. As cidades simuladas serão Tailândia (PA) e Valença (BA).

A produção nacional de dendê está concentrada em três estados: Pará, Bahia e Amazonas. De acordo com os dados apresentados na tabela 7, em 2011, a Bahia apresentava a maior área colhida de dendê do Brasil. A partir de 2012, o Pará ampliou sua participação neste setor, superando a Bahia em área colhida.

Tabela 7. Área colhida dos maiores estados brasileiros produtores de dendê. (IBGE)

Estados	2011	2012	2013
Pará	53,968	58,795	54,475
Bahia	54,662	53,943	53,773
Amazonas	450	397	387

O município de Tailândia possui a maior área colhida dentro do estado do Pará, com 19.387 hectares (IBGE), acompanhado por Valença, com maior área colhida na Bahia, com 9.940 hectares (IBGE).

No Pará, a integração da agricultura familiar na cadeia do agronegócio do dendê incentivado para a produção de biodiesel é bastante recente. Este modelo de integração muda radicalmente o modo de trabalhar a agricultura familiar que historicamente na região obedece a uma prática para consumo local. Esta mudança introduz uma agricultura familiar integrada a grandes empresas de agroenergia como a Biopalma, a Petrobras, a Agropalma e a Marborges. A participação da agricultura familiar no agronegócio de dendê no Pará atingiu em 2013, 889 famílias em todo o estado, com uma área plantada total de 26.038 hectares. Usaremos como base de simulação a área média da propriedade desse tipo de produção integrada, que vem tendo uma expansão significativa nos últimos anos. Desse modo, no Pará a propriedade simulada terá área de 30 hectares.

Na Bahia, o agronegócio do dendê apresenta duas vertentes. A primeira, constituída pelos chamados "rodões" (unidades artesanais de extração de óleo), representando a grande maioria das unidades processadoras do óleo, localizadas na região conhecida como Baixo Sul, são responsáveis pela geração de cerca de 3.000 empregos diretos e de parcela considerável da renda regional. O segundo segmento está concentrado em empresas de médio e grande porte que processam a maior parte da matéria-prima produzida no Estado e normalmente controlam os preços pagos ao produtor. Para a nossa simulação, iremos utilizar dados de entrada do primeiro tipo de produção do dendê, que segundo a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira – CEPLAC apresenta 2.991 propriedades agrícolas com média de 10,48 hectares cultivados com o dendê subespontâneo. Portanto, nossa propriedade simulada na Bahia terá como área 10 hectares.

Em relação aos dados eólicos, foram extraídos da ferramenta auxiliar da Cresesb os inputs para as duas cidades:

Tabela 8. Parâmetros de Cálculo de Potência de Tailândia (Cresesb)

Atlas do Potencial Eólico Brasileiro		Dados de vento a 50 m de Altura					
Grandezza	Unidade	Dez-Fev	Mar-Mai	Jun-Ago	Set-Nov	Anual	
velocidade média do vento	m/s	3,41	2,63	4,16	5,28	3,87	
fator c		3,84	2,95	4,69	5,96	4,35	
fator k		1,84	1,68	1,92	2,38	1,78	
densidade de potência	W/m2	51	26	88	148	78	

Tabela 9. Parâmetros de Cálculo de Potência de Valença (Cresesb)

Latitude: 13,370278° S Longitude: 39,073056° O		Atlas do Potencial Eólico Brasileiro					
Grandezas	Unidade	Dez-Fev	Mar-Mai	Jun-Ago	Set-Nov	Anual	
velocidade média do vento	m/s	4,03	3,81	3,94	4,09	3,97	
fator c		4,54	4,29	4,43	4,58	4,46	
fator k		2,62	2,54	2,73	3,05	2,74	
densidade de potência	W/m ²	61	53	56	58	57	

Com a mudança dos dados de entrada, e mantendo as demais premissas semelhantes à primeira simulação, foram construídos novos gráficos para análise do projeto, refletindo o lucro acumulado nos 20 anos simulados, e a utilização anual dos tipos de energias para uma faixa de área de propriedade variando de 0 a 1000 hectares.

Tabela 10. Resposta da segunda simulação do sistema para os casos exemplos.

Cidade	Turbinas	Modelo da Turbina	Geradores	Modelo do Gerador
Valença	0	-	0	-
Tailândia	0	-	0	-

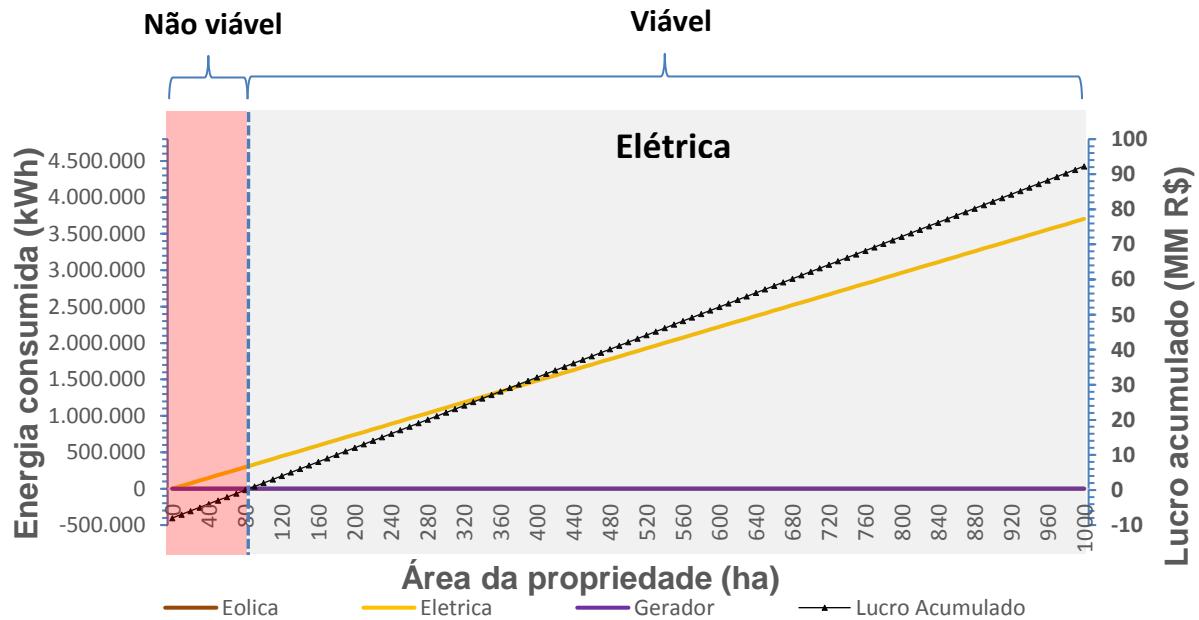


Figura 29. Energia Utilizada x Porcentagem da Área Total x Lucro Acumulado (Valença e Tailândia)

Para ambas as localidades foi obtido o mesmo resultado. Através do gráfico podemos perceber que os perfis de ventos característicos aliados a área disponível não se mostram suficientes para que a instalação de turbinas eólicas fosse recomendada. Sendo assim, observa-se apenas a variação de energia elétrica consumida de acordo com a área variada, e já que são utilizadas as mesmas tarifas elétricas, justificam a obtenção de um gráfico semelhante.

Ao analisarmos as áreas de entrada escolhidas para as regiões (10 e 30 hectares), ambos os casos se mostram inviáveis economicamente, uma vez que as respectivas áreas se encontram na região do gráfico onde se identifica a inviabilidade de projeto (prejuízo acumulado). O prejuízo de Valença fica na casa dos R\$ 7 milhões, enquanto em Tailândia o prejuízo gira em torno dos 5 milhões, números bem próximos do investimento inicial necessário para realizar a síntese do biodiesel (aproximadamente R\$ 8 milhões).

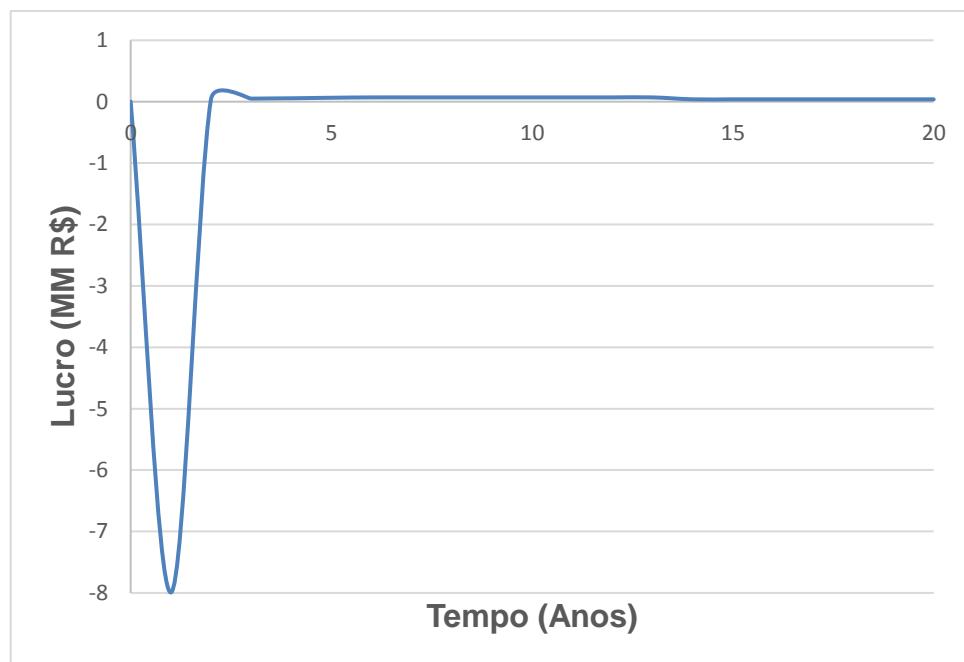


Figura 30. Lucro x Tempo (Valença - BA)

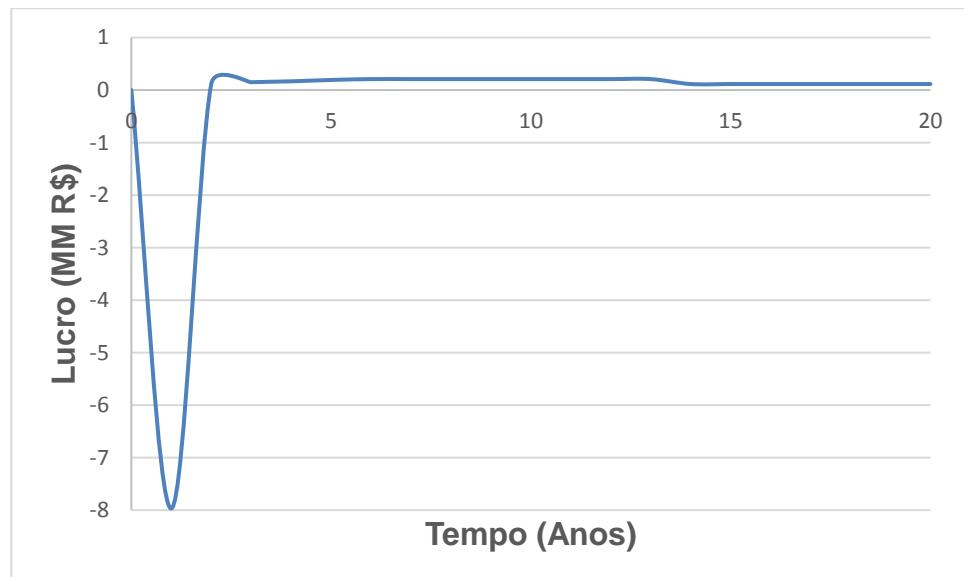


Figura 31. Lucro x Tempo (Tailândia - PA)

Esses resultados reforçam o modelo de produção de biodiesel que é adotado hoje no Pará e na Bahia, com a parceria entre pequenos agricultores e grandes empresas do setor energético. A síntese do biodiesel por si só é um processo caro para o pequeno agricultor, que se concentra apenas na venda do dendê para os grandes empreendedores do setor, que dispondo de uma escala maior de compra/venda, conseguem arcar com os custos da síntese e da energia necessária para vender o biodiesel ao mercado.

9. CONCLUSÃO

A partir da escolha das fontes energéticas a serem utilizadas na simulação de um projeto de geração híbrida, a pesquisa da literatura foi focada nas diferentes de características e restrições de cada tipo de energia, a fim de integrá-las na ferramenta a ser construída de forma mais realista.

Como visto na revisão bibliográfica, a utilização de mais de um tipo de energia como fonte energética para a propriedade simulada dificilmente seria viável em todo território brasileiro. Primeiramente, o cultivo de dendê escolhido devido a grande produtividade de extração de óleo e por não competir com o mercado alimentício, tem como local de adaptação ideal a região Norte e Nordeste. Além disso, os mapas eólicos apresentados mostram o grande potencial eólico concentrado na Região Nordeste.

As análises dos resultados obtidos pela ferramenta reforçam esta visão, ao comparar a junção da viabilidade técnica e econômica de quatro cidades localizadas em regiões com condições distintas (São Paulo, Natal, Valença e Tailândia). A energia do biodiesel não se mostra viável economicamente em nenhuma das duas situações, enquanto somente em Natal pode-se utilizar a energia eólica como alternativa energética à energia elétrica, em decorrência da alta disponibilidade de área para a simulação.

É possível concluir assim, que a região Nordeste é a região mais rentável para a instalação de um projeto de geração híbrida de energia, com a utilização da energia eólica em detrimento da energia do biodiesel.

Apesar disso, ao serem simulados valores de área de propriedades mais condizentes com o padrão médio brasileiro (Valença e Tailândia), nenhum dos resultados indicaram o uso da energia eólica. Não o bastante, os resultados indicaram

a não viabilidade do projeto de venda do biodiesel em propriedades desse porte, confirmando a tendência de produção do biodiesel do dendê nesses estados, que ocorrem com parceria entre pequenos produtores cultivadores da planta, com grandes empreendedores responsáveis pela síntese e venda do combustível.

Em relação à viabilidade do projeto na simulação I, com a combinação ótima de componentes do sistema, o projeto em ambas as cidades possui lucro expressivo, confirmado a viabilidade do projeto, mesmo que em condições e parâmetros distintos para cada uma.

Ainda assim, vale ressaltar que fatores não abordados neste trabalho, como modelamento de subsistemas de armazenamento, e temas não abordados com aprofundamento, como o sistema elétrico, têm influência sobre os resultados obtidos, podendo ser escopo de destaque em trabalhos futuros.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARANTE, O.**, Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 2001.
- ANDERSEN, R. L.** *Sistema de Interligação entre Módulos Geradores de Energia a partir de Células de Combustível do tipo PEM e um Banco de Baterias*. Florianópolis: 2006. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB).** *Energia Eólica - Princípios e Tecnologias*, 2008.
- CESAR, F. R. P.** *Projeto de um Sistema Integrado de Geração de Energia: Turbina Eólica, Mini Usina de Biodiesel e Gerador Estacionário*. Universidade de São Paulo, 2014.
- CUSTÓDIO, R.S.** *Energia Eólica para a produção de Energia Elétrica*, 1^a Edição, Eletrobrás, 2010.
- ENERSUD.** GERAR246 - Manual. 2005.
- FERNANDES, R. T.**, “Supervisão de um Sistema Híbrido Eólico/Diesel usando Lógica Fuzzy” - Dissertação de Mestrado - UFMS, Campo Grande, 2005.
- FILHO, A.**, Aspectos Tecnológicos das Fontes Alternativas de Energia (Energia Eólica), 2009.
- Galante, R. M.** *Modelagem e simulação de um reator tubular contínuo para a produção de biodiesel*. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.
- GARCIA, A.** ; Torres, J. L.; Prieto, E. ; & Francisco, A Fitting Wind Speed Distributions: A Case Study. *Solar Energy*, v. 6, n. 2, p. 139-144, 1998.
- GRUBB, M. J; MEYER, N. I.** *Wind energy: resources, systems and regional strategies*. In: JO-HANSSON, T. B. et. al. *Renewable energy: sources for fuels and electricity*. Washington, D.C.: Island Press, 1993.
- HUNTER, R.; ELLIOT, G.** *Wind-diesel systems: a guide to the technology and its implementation*. Cambridge University Press, 1994.
- LEBID,T.; HENKES, J.**, Óleo de dendê na produção de biodiesel, 2015.
- NAG, P.K.** *Power plant engineering*, 2nd ed. New Delhi: Tata McGraw- Hill Publishers Co. Ltd.; 2001.
- NFAOUI, H.; BURET, J.; SAYIGH, A.A.M., DUNN, P. D.** *Modelling of a wind/diesel system with battery storage for Tangiers*, Morocco. *Renewable Energy*,

1994; 4: 155-157.

TIBOLA, G. *Sistema Eólico de Pequeno Porte para Geração de Energia Elétrica com Rastreamento de Máxima Potência.* Dissertação (Mestre em Engenharia) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

11. ANEXOS

```

//Litoral Norte e Litoral Nordeste(5)
if regiao==5 then
k=3;
vbarra=7
c=8
end

printf("k = %g\n",k)
printf("V media (m/s) = %g\n",vbarra)
printf("Fator de escala (m/s) = %g\n",c)

printf("\n\n")

Atotal=15000000
//porcentagem=50
//Atotal=input("Entre com a área total da propriedade(m^2): ")
//porcentagem=input("Entre com a porcentagem destinada a instalação de turbinas(%): ")
///////////////////////////////
p0=0;dp=1;pf=100;
porcentagem=[p0:dp:pf]

a0=0;da=1;af=100;
ano=[a0:da:af];

for u=[1:length(porcentagem)]

parcela(u)=porcentagem(u)/100;
Lcompra(u)=-1000000000000;
Rmax(u)=-100000000000000;
//parcela=porcentagem/100;
e=2.72;

//Biodiesel

Aplantada(u)=Atotal*parcela(u)*0.95
mtotal(u)=Aplantada(u)*0.34

//Aplantada=Atotal*(1-parcela)
//mtotal=Aplantada*0.5
pBio=0.87

Edemanda(u)=Aplantada(u)*0.39
//Velocidade

v0=0;dv=0.1;vf=25;
v=[v0:dv:vf];

// Turbina Pequena///////////////////////////////
///////////////////////////////
///////////////////////////////
//Parametros Turbina

D=18;//metros
n=0.9;//rendimento turbina
Cturbina=750000;
Atub=4000;

// Weibull

```

```

Etub=0;
for i=[1:length(v)]
    r(i)=v(i)/c
    a(i)=r(i)^(k-1)
    ex(i)=exp(-r(i)^k);
    p(i)=(k/c)*a(i)*ex(i);
    v0(i)=v(i)/25;
    Cp(i)=4*v0(i)*(1-v0(i))^2;
    Pel(i)=Pi*ro*Cp(i)*n*(D^2)*(v(i).^3)/8000
    dP(i)=Pel(i)*p(i)
    Etub=Etub+dP(i);
end

Etotal=Etub*8760

xmax=ceil(parcela(u)*Atotal/Atub);

x0=0;dx=1;xf=xmax;
x=[x0:dx:xf]
for i = [1:length(x)];
    Eeol(i)=Etotal*x(i);
    Ct(i)=Cturbina*x(i);

Eresto(i)=Edemanda(u)-Eeol(i);

//Gerador pequeno///////////////////////////////
//Parametros Gerador

consumo=7.5
mcons=pBio*consumo*8760
Cgerador=20000/10;
Tmodel=1;
Gnom=350400
Ger=0.7*Gnom

//Ger=(Mcomb-0.3*Mnom)*Pnom/(0.7*Mnom);

//Excesso
if Eresto(i)<0 then
    Cel(i)=Eresto(i)*taxaVenda;
    CustoT(u)=Ct(i);

Cmin(i)=Ct(i);
receita(i)=Ct(i)+Cel(i)

Lmin(i)=preco*mtotal(u)-Cmin(i);
Lmax(i)=preco*mtotal(u)-receita(i);

//Cmin
if Lmin(i)>Lcompra(u) then
    Lcompra(u)=Lmin(i)

Xmin(u)=x(i);

```

```

Tmin(u)=Tmodel;
EletricaMin(u)=Eresto(i);
EolicaMin(u)=Eeol(i)
Ctotal(u)=Cmin(i)

nmin(u)=n;
Dmin(u)=D;

end

//Rmax
if Lmax(i)>Rmax(u) then
  Rmax(u)=Lmax(i)
  Xmax(u)=x(i);
Tmax(u)=Tmodel;
EletricaMax(u)=Eresto(i);
EolicaMax(u)=Eeol(i)
Rtotal(u)=receita(i)

nmax(u)=n;
Dmax(u)=D;

end

//Mix
else
  ymax=ceil(mtotal(u)/mcons);

y0=0;dy=1;yf=ymax;
y=[y0 dy:yf]
Gmodel=1;

for j=[1:length(y)];
Eger(j)=Ger*y(j);
Cg(j)=Cgerador*y(j);

Eel(j)=Eresto(i)-Eger(j);

CustoT(u)=Ct(i);
CustoG(u)=Cg(j);
El=Eel(j);

mvenda(j)=mtotal(u)-mcons*y(j)
vendaBio(j)=preco*mvenda(j)

//Cmin
if Eel(j)>0 then

  Celminger(j)=Eel(j)*taxaCompra
  Cminger(j)=Ct(i)+Cg(j)+Celminger(j)
  Lminger(j)=vendaBio(j)-Cminger(j)

  if Lminger(j)>Lcompra(u) then

    Lcompra(u)=Lminger(j)
    Ctotal(u)=Cminger(j);
    Xmin(u)=x(i);
    Ymin(u)=y(j);
    Tmin(u)=Tmodel;
    Gmin(u)=Gmodel;

```

```

EolicaMin(u)=Eeol(i)
EgerMin(u)=Eger(j)
EletricaMin(u)=Eel(j);

nmin(u)=n;
Dmin(u)=D;

end

//Rmax
else
  Celmaxger(j)=Eel(j)*taxaVenda
  Lmaxger(j)=vendaBio(j)-Ct(i)-Cg(j)-Celmaxger(j)

if Lmaxger(j)>Rmax(u) then
  Rmax(u)=Lmaxger(j);
  Xmax=x(i);
  Ymax=y(j);

Rtotal(u)=Ct(i)+Cg(j)+Celmaxger(j)

Tmax(u)=Tmodel;
Gmax(u)=Gmodel;
EolicaMax(u)=Eeol(i)
EgerMax(u)=Eger(j)
EletricaMax(u)=Eel(j);

nmax(u)=n;
Dmax(u)=D;

end

end
//end

end
//Gerador Pequeno//////////Gerador Medio//////////Parametros Gerador

//Parametros Gerador

consumo=10
mcons=pBio*consumo*8760
Cgerador=35000/10;
Tmodel=1;
Gnom=512460
Ger=0.7*Gnom
//Ger=(Mcomb-0.3*Mnom)*Pnom/(0.7*Mnom);

//Excesso
if Eresto(i)<0 then
  Cel(i)=Eresto(i)*taxaVenda;
  CustoT(u)=Ct(i);

  Cmin(i)=Ct(i);
  receita(i)=Ct(i)+Cel(i)

Lmin(i)=preco*mtotal(u)-Cmin(i);
Lmax(i)=preco*mtotal(u)-receita(i);

```

```

//Cmin

if Lmin(i)>Lcompra(u) then
    Lcompra(u)=Lmin(i)

Xmin(u)=x(i);
Tmin(u)=Tmodel;
EletricaMin(u)=Eresto(i);
EolicaMin(u)=Eeol(i)
Ctotal(u)=Cmin(i)

nmin(u)=n;
Dmin(u)=D;

end

//Rmax

if Lmax(i)>Rmax(u) then
    Rmax(u)=Lmax(i)
    Xmax(u)=x(i);
Tmax(u)=Tmodel;
EletricaMax(u)=Eresto(i);
EolicaMax(u)=Eeol(i)
Rtotal(u)=receita(i)

nmax(u)=n;
Dmax(u)=D;

end

//Mix

else
    ymax=ceil(mtotal(u)/mcons);

y0=0;dy=1;yf=ymax;
y=[y0:dy:yf]
Gmodel=1;

for j=[1:length(y)];
Eger(j)=Ger*y(j);
Cg(j)=Cgerador*y(j);

Eel(j)=Eresto(i)-Eger(j);

CustoT(u)=Ct(i);
CustoG(u)=Cg(j);
El=Eel(j);

mvenda(j)=mtotal(u)-mcons*y(j)
vendaBio(j)=preco*mvenda(j)

//Cmin

if Eel(j)>0 then

    Celminger(j)=Eel(j)*taxaCompra
    Cminger(j)=Ct(i)+Cg(j)+Celminger(j)
    Lminger(j)=vendaBio(j)-Cminger(j)

    if Lminger(j)>Lcompra(u) then

```

```

Lcompra(u)=Lminger(j)
Ctotal(u)=Cminger(j);
Xmin(u)=x(i);
Ymin(u)=y(j);
Tmin(u)=Tmodel;
Gmin(u)=Gmodel;
EolicaMin(u)=Eeol(i)
EgerMin(u)=Eger(j)
EletricaMin(u)=Eel(j);

nmin(u)=n;
Dmin(u)=D;

end

//Rmax
else
  Celmaxger(j)=Eel(j)*taxaVenda
  Lmaxger(j)=vendaBio(j)-Ct(i)-Cg(j)-Celmaxger(j)

  if Lmaxger(j)>Rmax(u) then
    Rmax(u)=Lmaxger(j);
    Xmax=x(i);
    Ymax=y(j);

    Rtotal(u)=Ct(i)+Cg(j)+Celmaxger(j)

    Tmax(u)=Tmodel;
    Gmax(u)=Gmodel;
    EolicaMax(u)=Eeol(i)
    EgerMax(u)=Eger(j)
    EletricaMax(u)=Eel(j);

    nmax(u)=n;
    Dmax(u)=D;

  end
  //end

end
end///Gerador Medio//////////Gerador Grande//////////Parametros Gerador

consumo=10
mcons=pBio*consumo*8760
Cgerador=60000/10;
Tmodel=1;
Gnom=928560
Ger=0.7*Gnom

//Ger=(Mcomb-0.3*Mnom)*Pnom/(0.7*Mnom);

//Excesso
if Eresto(i)<0 then

```

```

Cel(i)=Eresto(i)*taxaVenda;
CustoT(u)=Ct(i);

Cmin(i)=Ct(i);
receita(i)=Ct(i)+Cel(i)

Lmin(i)=preco*mtotal(u)-Cmin(i);
Lmax(i)=preco*mtotal(u)-receita(i);

//Cmin

if Lmin(i)>Lcompra(u) then
  Lcompra(u)=Lmin(i)

Xmin(u)=x(i);
Tmin(u)=Tmodel;
EletricaMin(u)=Eresto(i);
EolicaMin(u)=Eeol(i)
Ctotal(u)=Cmin(i)

nmin(u)=n;
Dmin(u)=D;

end

//Rmax

if Lmax(i)>Rmax(u) then
  Rmax(u)=Lmax(i)
  Xmax(u)=x(i);
  Tmax(u)=Tmodel;
  EletricaMax(u)=Eresto(i);
  EolicaMax(u)=Eeol(i)
  Rtotal(u)=receita(i)

nmax(u)=n;
Dmax(u)=D;

end

//Mix

else
  ymax=ceil(mtotal(u)/mcons);

y0=0;dy=1;yf=ymax;
y=[y0:dy:yf]
Gmodel=1;

for j=[1:length(y)];
  Eger(j)=Ger*y(j);
  Cg(j)=Cgerador*y(j);

  Eel(j)=Eresto(i)-Eger(j);

  CustoT(u)=Ct(i);
  CustoG(u)=Cg(j);
  El=Eel(j);

  mvenda(j)=mtotal(u)-mcons*y(j)
  vendaBio(j)=preco*mvenda(j)

```

```

//Cmin
if Eel(j)>0 then

    Celminger(j)=Eel(j)*taxaCompra
    Cminger(j)=Ct(i)+Cg(j)+Celminger(j)
    Lminger(j)=vendaBio(j)-Cminger(j)

    if Lminger(j)>Lcompra(u) then

        Lcompra(u)=Lminger(j)
        Ctotal(u)=Cminger(j);
        Xmin(u)=x(i);
        Ymin(u)=y(j);
        Tmin(u)=Tmodel;
        Gmin(u)=Gmodel;
        EolicaMin(u)=Eeol(i)
        EgerMin(u)=Eger(j)
        EletricaMin(u)=Eel(j);

        nmin(u)=n;
        Dmin(u)=D;

    end

    //Rmax
    else
        Celmaxger(j)=Eel(j)*taxaVenda
        Lmaxger(j)=vendaBio(j)-Ct(i)-Cg(j)-Celmager(j)

        if Lmaxger(j)>Rmax(u) then
            Rmax(u)=Lmaxger(j);
            Xmax=x(i);
            Ymax=y(j);

            Rtotal(u)=Ct(i)+Cg(j)+Celmager(j)

            Tmax(u)=Tmodel;
            Gmax(u)=Gmodel;
            EolicaMax(u)=Eeol(i)
            EgerMax(u)=Eger(j)
            EletricaMax(u)=Eel(j);

            nmax(u)=n;
            Dmax(u)=D;

        end

    end
//end

end
/////Gerador Grande///////////
end//Turbina Pequena///////////
//Turbina Média///////////
//Parametros Turbina

```

```

D=24.4;//metros
n=0.9;//rendimento turbina
Cturbina=1425000;
Atub=10450;//m^2

// Weibull
Etub=0;
for i=[1:length(v)]
    r(i)=v(i)/c
    a(i)=r(i)^(k-1)
    ex(i)=exp(-r(i)^k);
    p(i)=(k/c)*a(i)*ex(i);

    v0(i)=v(i)/25;

    Cp(i)=4*v0(i)*(1-v0(i))^2;

    Pel(i)=Pi*ro*Cp(i)*n*(D^2)*(v(i).^3)/8000
    dP(i)=Pel(i)*p(i)

    Etub=Etub+dP(i);
end

Etotal=Etub*8760

xmax=ceil(parcela(u)*Atotal/Atub);

x0=0;dx=1;xf=xmax;
x=[x0:dx:xf]
for i = [1:length(x)];
    Eeol(i)=Etotal*x(i);
    Ct(i)=Cturbina*x(i);

    Eresto(i)=Edemanda(u)-Eeol(i);

//Gerador pequeno///////////
//Parametros Gerador

consumo=7.5
mcons=pBio*consumo*8760
Cgerador=20000/10;
Tmodel=2;
Gnom=350400
Ger=0.7*Gnom

//Ger=(Mcomb-0.3*Mnom)*Pnom/(0.7*Mnom);

//Excesso
if Eresto(i)<0 then
    Cel(i)=Eresto(i)*taxaVenda;
    CustoT(u)=Ct(i);

    Cmin(i)=Ct(i);
    receita(i)=Ct(i)+Cel(i)

    Lmin(i)=preco*mtotal(u)-Cmin(i);
    Lmax(i)=preco*mtotal(u)-receita(i);

```

```

//Cmin

if Lmin(i)>Lcompra(u) then
    Lcompra(u)=Lmin(i)

Xmin(u)=x(i);
Tmin(u)=Tmodel;
EletricaMin(u)=Eresto(i);
EolicaMin(u)=Eeol(i)
Ctotal(u)=Cmin(i)

nmin(u)=n;
Dmin(u)=D;

end

//Rmax

if Lmax(i)>Rmax(u) then
    Rmax(u)=Lmax(i)
    Xmax(u)=x(i);
Tmax(u)=Tmodel;
EletricaMax(u)=Eresto(i);
EolicaMax(u)=Eeol(i)
Rtotal(u)=receita(i)

nmax(u)=n;
Dmax(u)=D;

end

//Mix

else
    ymax=ceil(mtotal(u)/mcons);

y0=0;dy=1;yf=ymax;
y=[y0:dy:yf]
Gmodel=1;

for j=[1:length(y)];
Eger(j)=Ger*y(j);
Cg(j)=Cgerador*y(j);

Eel(j)=Eresto(i)-Eger(j);

CustoT(u)=Ct(i);
CustoG(u)=Cg(j);
El=Eel(j);

mvenda(j)=mtotal(u)-mcons*y(j)
vendaBio(j)=preco*mvenda(j)

//Cmin
if Eel(j)>0 then

    Celminger(j)=Eel(j)*taxaCompra
    Cminger(j)=Ct(i)+Cg(j)+Celminger(j)
    Lminger(j)=vendaBio(j)-Cminger(j)

if Lminger(j)>Lcompra(u) then

```

```

Lcompra(u)=Lminger(j)
Ctotal(u)=Cminger(j);
Xmin(u)=x(i);
Ymin(u)=y(j);
Tmin(u)=Tmodel;
Gmin(u)=Gmodel;
EolicaMin(u)=Eol(i)
EgerMin(u)=Eger(j)
EletricaMin(u)=Eel(j);

nmin(u)=n;
Dmin(u)=D;

end

//Rmax
else
  Celmaxger(j)=Eel(j)*taxaVenda
  Lmaxger(j)=vendaBio(j)-Ct(i)-Cg(j)-Celmaxger(j)

if Lmaxger(j)>Rmax(u) then
  Rmax(u)=Lmaxger(j);
  Xmax=x(i);
  Ymax=y(j);

Rtotal(u)=Ct(i)+Cg(j)+Celmaxger(j)

Tmax(u)=Tmodel;
Gmax(u)=Gmodel;
EolicaMax(u)=Eol(i)
EgerMax(u)=Eger(j)
EletricaMax(u)=Eel(j);

nmax(u)=n;
Dmax(u)=D;

end
end
//end

end
end///Gerador Pequeno//////////Gerador Medio//////////Gerador Grande

consumo=10
mcons=pBio*consumo*8760
Cgerador=35000/10;
Tmodel=2;
Gnom=512460
Ger=0.7*Gnom

//Ger=(Mcomb-0.3*Mnom)*Pnom/(0.7*Mnom);

//Excesso
if Eresto(i)<0 then
  Cel(i)=Eresto(i)*taxaVenda;
  CustoT(u)=Ct(i);

```

```

Cmin(i)=Ct(i);
receita(i)=Ct(i)+Cel(i)

Lmin(i)=preco*mtotal(u)-Cmin(i);
Lmax(i)=preco*mtotal(u)-receita(i);

//Cmin

if Lmin(i)>Lcompra(u) then
  Lcompra(u)=Lmin(i)

Xmin(u)=x(i);
Tmin(u)=Tmodel;
EletricaMin(u)=Eresto(i);
EolicaMin(u)=Eeol(i)
Ctotal(u)=Cmin(i)

nmin(u)=n;
Dmin(u)=D;

end

//Rmax
if Lmax(i)>Rmax(u) then
  Rmax(u)=Lmax(i)
  Xmax(u)=x(i);
Tmax(u)=Tmodel;
EletricaMax(u)=Eresto(i);
EolicaMax(u)=Eeol(i)
Rtotal(u)=receita(i)

nmax(u)=n;
Dmax(u)=D;

end

//Mix
else
  ymax=ceil(mtotal(u)/mcons);

y0=0;dy=1;yf=ymax;
y=[y0:dy:yf]
Gmodel=1;

for j=[1:length(y)];
Eger(j)=Ger*y(j);
Cg(j)=Cgerador*y(j);

Eel(j)=Eresto(i)-Eger(j);

CustoT(u)=Ct(i);
CustoG(u)=Cg(j);
El=Eel(j);

mvenda(j)=mtotal(u)-mcons*y(j)
vendaBio(j)=preco*mvenda(j)

//Cmin
if Eel(j)>0 then

```

```

Celminger(j)=Eel(j)*taxaCompra
Cminger(j)=Ct(i)+Cg(j)+Celminger(j)
Lminger(j)=vendaBio(j)-Cminger(j)

if Lminger(j)>Lcompra(u) then

Lcompra(u)=Lminger(j)
Ctotal(u)=Cminger(j);
Xmin(u)=x(i);
Ymin(u)=y(j);
Tmin(u)=Tmodel;
Gmin(u)=Gmodel;
EolicaMin(u)=Eeol(i)
EgerMin(u)=Eger(j)
EletricaMin(u)=Eel(j);

nmin(u)=n;
Dmin(u)=D;

end

//Rmax
else
  Celmaxger(j)=Eel(j)*taxaVenda
  Lmaxger(j)=vendaBio(j)-Ct(i)-Cg(j)-Celmager(j)

if Lmaxger(j)>Rmax(u) then
Rmax(u)=Lmaxger(j);
Xmax=x(i);
Ymax=y(j);

Rtotal(u)=Ct(i)+Cg(j)+Celmager(j)

Tmax(u)=Tmodel;
Gmax(u)=Gmodel;
EolicaMax(u)=Eeol(i)
EgerMax(u)=Eger(j)
EletricaMax(u)=Eel(j);

nmax(u)=n;
Dmax(u)=D;

end
//end

end
end///Gerador Medio//////////



//Gerador Grande//////////



//Parametros Gerador

consumo=10
mcons=pBio*consumo*8760
Cgerador=60000/10;
Tmodel=2;
Gnom=928560
Ger=0.7*Gnom

```

```

//Ger=(Mcomb-0.3*Mnom)*Pnom/(0.7*Mnom);

//Excesso
if Eresto(i)<0 then
  Cel(i)=Eresto(i)*taxaVenda;
  CustoT(u)=Ct(i);

  Cmin(i)=Ct(i);
  receita(i)=Ct(i)+Cel(i)

Lmin(i)=preco*mtotal(u)-Cmin(i);
Lmax(i)=preco*mtotal(u)-receita(i);

//Cmin

if Lmin(i)>Lcompra(u) then
  Lcompra(u)=Lmin(i)

Xmin(u)=x(i);
Tmin(u)=Tmodel;
EletricaMin(u)=Eresto(i);
EolicaMin(u)=Eeol(i)
Ctotal(u)=Cmin(i)

nmin(u)=n;
Dmin(u)=D;

end

//Rmax
if Lmax(i)>Rmax(u) then
  Rmax(u)=Lmax(i)
  Xmax(u)=x(i);
  Tmax(u)=Tmodel;
  EletricaMax(u)=Eresto(i);
  EolicaMax(u)=Eeol(i)
  Rtotal(u)=receita(i)

nmax(u)=n;
Dmax(u)=D;

end

//Mix
else
  ymax=ceil(mtotal(u)/mcons);

y0=0;dy=1;yf=ymax;
y=[y0:dy:yf]
Gmodel=1;

for j=[1:length(y)];
  Eger(j)=Ger*y(j);
  Cg(j)=Cgerador*y(j);

  Eel(j)=Eresto(i)-Eger(j);

  CustoT(u)=Ct(i);
  CustoG(u)=Cg(j);

```

```

El=Eel(j);

mvenda(j)=mtotal(u)-mcons*y(j)
vendaBio(j)=preco*mvenda(j)

//Cmin
if Eel(j)>0 then

    Celminger(j)=Eel(j)*taxaCompra
    Cminger(j)=Ct(i)+Cg(j)+Celminger(j)
    Lminger(j)=vendaBio(j)-Cminger(j)

    if Lminger(j)>Lcompra(u) then

        Lcompra(u)=Lminger(j)
        Ctotal(u)=Cminger(j);
        Xmin(u)=x(i);
        Ymin(u)=y(j);
        Tmin(u)=Tmodel;
        Gmin(u)=Gmodel;
        EolicaMin(u)=Eeol(i)
        EgerMin(u)=Eger(j)
        EletricaMin(u)=Eel(j);

        nmin(u)=n;
        Dmin(u)=D;

    end

    //Rmax
    else
        Celmaxger(j)=Eel(j)*taxaVenda
        Lmaxger(j)=vendaBio(j)-Ct(i)-Cg(j)-Celminger(j)

        if Lmaxger(j)>Rmax(u) then
            Rmax(u)=Lmaxger(j);
            Xmax=x(i);
            Ymax=y(j);

            Rtotal(u)=Ct(i)+Cg(j)+Celmaxger(j)

            Tmax(u)=Tmodel;
            Gmax(u)=Gmodel;
            EolicaMax(u)=Eeol(i)
            EgerMax(u)=Eger(j)
            EletricaMax(u)=Eel(j);

            nmax(u)=n;
            Dmax(u)=D;

        end

    end
//end

end
///Gerador Grande///////////
end///Turbina Média/////////

```

```

// Turbina Grande///////////
///////////

//Parametros Turbina

D=120;//metros

n=0.9;//rendimento turbina
Cturbina=26250000;
Atub=325000;//m^2

// Weibull
Etub=0;
for i=[1:length(v)]

r(i)=v(i)/c
a(i)=r(i)^(k-1)
ex(i)=exp(-r(i)^k);
p(i)=(k/c)*a(i)*ex(i);

v0(i)=v(i)/25;

Cp(i)=4*v0(i)*(1-v0(i))^2;

Pel(i)=Pi*ro*Cp(i)*n*(D^2)*(v(i).^3)/8000
dP(i)=Pel(i)*p(i)

Etub=Etub+dP(i);
end

Etotal=Etub*8760

xmax=ceil(parcela(u)*Atotal/Atub);

x0=0;dx=1;xf=xmax;
x=[x0:dx:xf]
for i = [1:length(x)];
Eeol(i)=Etotal*x(i);
Ct(i)=Cturbina*x(i);

Eresto(i)=Edemanda(u)-Eeol(i);

//Gerador pequeno///////////
///////////

//Parametros Gerador

consumo=7.5
mcons=pBio*consumo*8760
Cgerador=20000/10;
Tmodel=3;
Gnom=350400
Ger=0.7*Gnom

//Ger=(Mcomb-0.3*Mnom)*Pnom/(0.7*Mnom);

//Excesso
if Eresto(i)<0 then
    Cel(i)=Eresto(i)*taxaVenda;
    CustoT(u)=Ct(i);

```

```

Cmin(i)=Ct(i);
receita(i)=Ct(i)+Cel(i)

Lmin(i)=preco*mtotal(u)-Cmin(i);
Lmax(i)=preco*mtotal(u)-receita(i);

//Cmin

if Lmin(i)>Lcompra(u) then
  Lcompra(u)=Lmin(i)

Xmin(u)=x(i);
Tmin(u)=Tmodel;
EletricaMin(u)=Eresto(i);
EolicaMin(u)=Eeol(i)
Ctotal(u)=Cmin(i)

nmin(u)=n;
Dmin(u)=D;

end

//Rmax
if Lmax(i)>Rmax(u) then
  Rmax(u)=Lmax(i)
  Xmax(u)=x(i);
Tmax(u)=Tmodel;
EletricaMax(u)=Eresto(i);
EolicaMax(u)=Eeol(i)
Rtotal(u)=receita(i)

nmax(u)=n;
Dmax(u)=D;

end

//Mix
else
  ymax=ceil(mtotal(u)/mcons);

y0=0;dy=1;yf=ymax;
y=[y0:dy:yf]
Gmodel=1;

for j=[1:length(y)];
Eger(j)=Ger*y(j);
Cg(j)=Cgerador*y(j);

Eel(j)=Eresto(i)-Eger(j);

CustoT(u)=Ct(i);
CustoG(u)=Cg(j);
El=Eel(j);

mvenda(j)=mtotal(u)-mcons*y(j)
vendaBio(j)=preco*mvenda(j)

//Cmin
if Eel(j)>0 then

```

```

Celminger(j)=Eel(j)*taxaCompra
Cminger(j)=Ct(i)+Cg(j)+Celminger(j)
Lminger(j)=vendaBio(j)-Cminger(j)

if Lminger(j)>Lcompra(u) then

Lcompra(u)=Lminger(j)
Ctotal(u)=Cminger(j);
Xmin(u)=x(i);
Ymin(u)=y(j);
Tmin(u)=Tmodel;
Gmin(u)=Gmodel;
EolicaMin(u)=Eeol(i)
EgerMin(u)=Eger(j)
EletricaMin(u)=Eel(j);

nmin(u)=n;
Dmin(u)=D;

end

//Rmax
else
  Celmaxger(j)=Eel(j)*taxaVenda
  Lmaxger(j)=vendaBio(j)-Ct(i)-Cg(j)-Celmager(j)

if Lmaxger(j)>Rmax(u) then
Rmax(u)=Lmaxger(j);
Xmax=x(i);
Ymax=y(j);

Rtotal(u)=Ct(i)+Cg(j)+Celmager(j)

Tmax(u)=Tmodel;
Gmax(u)=Gmodel;
EolicaMax(u)=Eeol(i)
EgerMax(u)=Eger(j)
EletricaMax(u)=Eel(j);

nmax(u)=n;
Dmax(u)=D;

end
end
//end

end
end///Gerador Pequeno//////////



//Gerador Medio//////////



//Parametros Gerador

consumo=10
mcons=pBio*consumo*8760
Cgerador=35000/10;
Tmodel=3;
Gnom=512460
Ger=0.7*Gnom

```

```

//Ger=(Mcomb-0.3*Mnom)*Pnom/(0.7*Mnom);

//Excesso
if Eresto(i)<0 then
  Cel(i)=Eresto(i)*taxaVenda;
  CustoT(u)=Ct(i);

  Cmin(i)=Ct(i);
  receita(i)=Ct(i)+Cel(i)

Lmin(i)=preco*mtotal(u)-Cmin(i);
Lmax(i)=preco*mtotal(u)-receita(i);

//Cmin

if Lmin(i)>Lcompra(u) then
  Lcompra(u)=Lmin(i)

Xmin(u)=x(i);
Tmin(u)=Tmodel;
EletricaMin(u)=Eresto(i);
EolicaMin(u)=Eeol(i)
Ctotal(u)=Cmin(i)

nmin(u)=n;
Dmin(u)=D;

end

//Rmax
if Lmax(i)>Rmax(u) then
  Rmax(u)=Lmax(i)
  Xmax(u)=x(i);
  Tmax(u)=Tmodel;
  EletricaMax(u)=Eresto(i);
  EolicaMax(u)=Eeol(i)
  Rtotal(u)=receita(i)

nmax(u)=n;
Dmax(u)=D;

end

//Mix
else
  ymax=ceil(mtotal(u)/mcons);

y0=0;dy=1;yf=ymax;
y=[y0:dy:yf]
Gmodel=1;

for j=[1:length(y)];
  Eger(j)=Ger*y(j);
  Cg(j)=Cgerador*y(j);

  Eel(j)=Eresto(i)-Eger(j);

  CustoT(u)=Ct(i);
  CustoG(u)=Cg(j);

```

```

El=Eel(j);

mvenda(j)=mtotal(u)-mcons*y(j)
vendaBio(j)=preco*mvenda(j)

//Cmin
if Eel(j)>0 then

    Celminger(j)=Eel(j)*taxaCompra
    Cminger(j)=Ct(i)+Cg(j)+Celminger(j)
    Lminger(j)=vendaBio(j)-Cminger(j)

    if Lminger(j)>Lcompra(u) then

        Lcompra(u)=Lminger(j)
        Ctotal(u)=Cminger(j);
        Xmin(u)=x(i);
        Ymin(u)=y(j);
        Tmin(u)=Tmodel;
        Gmin(u)=Gmodel;
        EolicaMin(u)=Eeol(i)
        EgerMin(u)=Eger(j)
        EletricaMin(u)=Eel(j);

        nmin(u)=n;
        Dmin(u)=D;

    end

    //Rmax
    else
        Celmaxger(j)=Eel(j)*taxaVenda
        Lmaxger(j)=vendaBio(j)-Ct(i)-Cg(j)-Celmager(j)

        if Lmaxger(j)>Rmax(u) then
            Rmax(u)=Lmaxger(j);
            Xmax=x(i);
            Ymax=y(j);

            Rtotal(u)=Ct(i)+Cg(j)+Celmaxger(j)

            Tmax(u)=Tmodel;
            Gmax(u)=Gmodel;
            EolicaMax(u)=Eeol(i)
            EgerMax(u)=Eger(j)
            EletricaMax(u)=Eel(j);

            nmax(u)=n;
            Dmax(u)=D;

        end

    end
//end

end///Gerador Medio//////////Gerador Grande//////////Gerador Grande//////////

```

//Parametros Gerador

```
consumo=10
mcons=pBio*consumo*8760
Cgerador=60000/10;
Tmodel=3;
Gnom=928560
Ger=0.7*Gnom
```

//*Ger*=(*Mcomb*-0.3**Mnom*)**Pnom*/(0.7**Mnom*);

//Excesso

```
if Eresto(i)<0 then
  Cel(i)=Eresto(i)*taxaVenda;
  CustoT(u)=Ct(i);
```

```
Cmin(i)=Ct(i);
receita(i)=Ct(i)+Cel(i)
```

```
Lmin(i)=preco*mtotal(u)-Cmin(i);
Lmax(i)=preco*mtotal(u)-receita(i);
```

//*Cmin*

```
if Lmin(i)>Lcompra(u) then
  Lcompra(u)=Lmin(i)
```

```
Xmin(u)=x(i);
Tmin(u)=Tmodel;
EletricaMin(u)=Eresto(i);
EolicaMin(u)=Eeol(i)
Ctotal(u)=Cmin(i)
```

```
nmin(u)=n;
Dmin(u)=D;
```

end

//*Rmax*

```
if Lmax(i)>Rmax(u) then
  Rmax(u)=Lmax(i)
  Xmax(u)=x(i);
Tmax(u)=Tmodel;
EletricaMax(u)=Eresto(i);
EolicaMax(u)=Eeol(i)
Rtotal(u)=receita(i)
```

```
nmax(u)=n;
Dmax(u)=D;
```

end

//*Mix*

```
else
  ymax=ceil(mtotal(u)/mcons);

y0=0;dy=1;yf=ymax;
y=[y0:dy:yf]
Gmodel=1;
```

```

for j=[1:length(y)];
Eger(j)=Ger*y(j);
Cg(j)=Cgerador*y(j);

Eel(j)=Eresto(i)-Eger(j);

CustoT(u)=Ct(i);
CustoG(u)=Cg(j);
El=Eel(j);

mvenda(j)=mtotal(u)-mcons*y(j)
vendaBio(j)=preco*mvenda(j)

//Cmin
if Eel(j)>0 then

    Celminger(j)=Eel(j)*taxaCompra
    Cminger(j)=Ct(i)+Cg(j)+Celminger(j)
    Lminger(j)=vendaBio(j)-Cminger(j)

    if Lminger(j)>Lcompra(u) then

        Lcompra(u)=Lminger(j)
        Ctotal(u)=Cminger(j);
        Xmin(u)=x(i);
        Ymin(u)=y(j);
        Tmin(u)=Tmodel;
        Gmin(u)=Gmodel;
        EolicaMin(u)=Eeol(i)
        EgerMin(u)=Eger(j)
        EletricaMin(u)=Eel(j);

        nmin(u)=n;
        Dmin(u)=D;

    end

    //Rmax
    else
        Celmaxger(j)=Eel(j)*taxaVenda
        Lmaxger(j)=vendaBio(j)-Ct(i)-Cg(j)-Celminger(j)

        if Lmaxger(j)>Rmax(u) then
            Rmax(u)=Lmaxger(j);
            Xmax=x(i);
            Ymax=y(j);

            Rtotal(u)=Ct(i)+Cg(j)+Celminger(j)

            Tmax(u)=Tmodel;
            Gmax(u)=Gmodel;
            EolicaMax(u)=Eeol(i)
            EgerMax(u)=Eger(j)
            EletricaMax(u)=Eel(j);

            nmax(u)=n;
            Dmax(u)=D;

        end
    end
end

```

```

end
//end

end
end///Gerador Grande//////////Turbina Grande//////////SAIDA DO PROGRAMA

//Lcompra=Lcompra-0.73*Aplantada
//Rmax=Rmax-0.73*Aplantada

//ReceitaMin(u)=Lcompra(u)-0.73*Aplantada(u)
//ReceitaMax(u)=Rmax(u)-0.73*Aplantada(u)

//EolicaMinima(u)=EolicaMin;
//EgerMiima(u)=EgerMin;
//EletricaMinima(u)=EletricaMin;
end
//ANO-----
for u=[1:length(porcentagem)]
for a=[1:length(ano)]

if a==1 then
    Lucro(u,a)=0;
    end

if a==2 then
    fat=0.49
    fator(a)=fat;

mDende(u,a)=fator(a)*Aplantada(u)
mux(u,a)=ceil(mDende(u,a)/38000000)

Cfixo(u,a)=8004750*mux(u,a)
Cvar(u,a)=0.115*mDende(u,a)

Lucro(u,a)=(mDende(u,a)*preco/4.5)-Cfixo(u,a)-Cvar(u,a)-Ctotal(u)
end

if a>2 then
    if a<21 then

if a==3 then
    fat= 0.86
end

if a==4 then
    fat= 1.1
end

if a==5 then
    fat=1.22
end

if a==6 then
    fat=1.41
end

```

```

end

if a>6 then
    if a<15 then
        fat=1.53
    else
        fat=0.85
    end
end
//-----

fator(a)=fat
mDende(u,a)=fator(a)*Aplantada(u)
mux(u,a)=ceil(mDende(u,a)/38000000)

Cvar(u,a)=0.115*mDende(u,a)

Lucro(u,a)=(mDende(u,a)*preco/4.5)-Cvar(u,a)-Ctotal(u)*0.1

else
    Lucro(u,a)=0;
end
end
end
end

//plot3d(porcentagem,ano,Lucro)
surf(porcentagem,ano,Lucro)

scf(2)

//plot2d(porcentagem,ReceitaMin,1)
//plot2d(porcentagem,ReceitaMax)
plot2d(porcentagem,EolicaMin,2)
plot2d(porcentagem,EletricaMin,3)
//plot2d(porcentagem,EgerMin,5))

```