

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

GUILHERME EDUARDO ZINKOSKI

**DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICA PARA COMPOSIÇÃO DE FONTES DE
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2021**

GUILHERME EDUARDO ZINKOSKI

**DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICA PARA COMPOSIÇÃO DE FONTES DE
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**Development of a technique for the composition of electric power generation
sources**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Cesar Augusto Portolann.

PATO BRANCO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es).

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Desenvolvimento de técnica para composição de fontes de geração de energia elétrica**, do aluno **Guilherme Eduardo Zinkoski** foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° **274** de 2021.

Fizeram parte da banca os professores:

César Augusto Portolann

Gustavo Dagios Dal Molin

Santo Tiveroli Filho

A Ata de Defesa assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela vida, por tudo o que tenho e tudo o que sou.

Agradeço ao professor César Augusto Portolann pela oportunidade, disponibilidade de orientação e por compartilhar sua sabedoria, trazendo ensinamentos que levarei para a vida.

Agradeço à minha família, por sempre estar ao meu lado e me sustentar, independente das circunstâncias que ocorreram, em especial à minha avó Lurdes, que sempre foi o pilar da família e serviu de inspiração.

Agradeço à minha namorada Cristina por estar ao meu lado durante praticamente todo o curso me trazendo amor, calma e paz nos momentos mais complicados.

Agradeço aos meus amigos e colegas pela parceria, pelos momentos de descontração e principalmente pelos momentos onde precisei de cada um para chegar até aqui.

EPÍGRAFE

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”. (Marthin Luther King)

RESUMO

ZINKOSKI, Guilherme; E. DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICA PARA COMPOSIÇÃO DE FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma forma alternativa para composição de fontes de geração de energia elétrica em uma propriedade rural na região do Sudoeste do Paraná. Especificamente é apresentada uma abordagem utilizando o método de despacho econômico de geradores já muito difundido, através da utilização de curvas de custo e potência em uma metodologia que aborda custos fixos de implantação, variáveis de geração e também uma análise de impacto econômico-ambiental.

Palavras-chave: Geração de Energia. Avicultura. Fontes Renováveis. Despacho Econômico. Impactos Ambientais.

ABSTRACT

ZINKOSKI, Guilherme; E. DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICA PARA COMPOSIÇÃO DE FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

This work presents the development of an alternative form for the composition of sources of electric power generation in a rural property in the Southwest of Paraná region. Specifically, an approach is presented using the method of economic dispatch of generators that is already widespread, through the use of cost and power curves in a methodology that addresses fixed costs of implementation, generation variables and also an analysis of environmental and economic impact.

Keywords: Power generation. Poultry farming. Renewable sources. Economic Dispatch. Environmental impacts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo de energia no Brasil em 2027.	24
Figura 2: Geradores ligados a um barramento ao qual está conectada uma carga. .	26
Figura 3: Geradores abastecendo uma carga através de uma interligação..	28
Figura 4: Modelo de instalação solar fotovoltaica para geração de energia solar....	33
Figura 5: Unidade de geração de energia elétrica.....	36
Figura 6: Micro Central Hidrelétrica construída no parque Barigui.	39
Figura 7: Gerador de energia elétrica por queima de biomassa.....	43
Figura 8: Gerador diesel de 15kW comercializado.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fatura mensal de energia elétrica de um aviário modelo dark house.	30
Quadro 2: Custos por kW instalado em usina solar fotovoltaica	34
Quadro 3: Despesas de operação e manutenção de uma instalação solar fotovoltaica.	34
Quadro 4: Valor da fatura equivalente ao período de não geração do módulo solar fotovoltaico.	35
Quadro 5: Relação entre custo e potência instalada em uma unidade eólica.	37
Quadro 6: Valores para operação e manutenção de uma unidade eólica.....	38
Quadro 7: Multa equivalente aplicada a unidade geradora de 10kW por poluição sonora.	38
Quadro 8: Relação entre custo e potência de uma MCH.	40
Quadro 9: Valores estimados de operação e manutenção em uma MCH.	41
Quadro 10: Valor a ser pago à concessionária quando a geração de uma MCH atinge 20% da capacidade mensal.....	41
Quadro 11: Relação entre custo e potência instalada de uma unidade geradora de eletricidade através da queima de biomassa.	44
Quadro 12: Custos de operação e manutenção de uma unidade geradora de eletricidade através da queima de biomassa..	45
Quadro 13: Emissão de gases do efeito estufa ocorridos pela geração de eletricidade através da queima de biomassa.	45
Quadro 14: Relação entre custo e potência de um gerador diesel de energia elétrica.	47
Quadro 15: Custos de operação e manutenção de um gerador diesel.	47
Quadro 16: Emissão de gases do efeito estufa gerados por um gerador diesel.	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO.....	12
2.1 FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS	12
2.2 ENERGIA SOLAR.....	12
2.3 ENERGIA EÓLICA.....	13
2.4 ENERGIA HÍDRICA	14
2.5 BIOMASSA	15
2.6 FONTES DE ENERGIA NÃO RENOVÁVEL.....	16
2.7 PETRÓLEO.....	16
2.8 FORMAÇÃO DE CUSTOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	17
2.8.1 CUSTOS GLOBAIS	17
2.8.2 CUSTOS DE INVESTIMENTO	18
2.8.3 CUSTO MARGINAL.....	19
2.8.4 CUSTOS OPERACIONAIS.....	20
2.9 VALORAÇÃO DOS RECURSOS AMBIENTAIS	20
2.9.1 METODOLOGIA DE VALORAÇÃO ECONOMICA.....	21
2.9.2 METODOLOGIAS DE VALORAÇÃO ECONOMICA AMBIENTAL	22
2.10 DEMANDA ENERGÉTICA	23
2.11 FUNÇÃO CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	24
2.12 METODOLOGIA DE DESPACHO ECONOMICO DE GERADORES	25
2.12.1 DESPACHO SEM PERDAS DE TRANSMISSÃO	25
2.12.2 DESPACHO COM PERDAS DE TRANSMISSÃO.....	27
3. DEMANDA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UM AVIÁRIO	29
4. CUSTOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	30
4.1 ENERGIA SOLAR.....	32
4.2 ENERGIA EÓLICA.....	35
4.3 MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA	39

4.4	BIOMASSA	42
4.5	GERADOR DIESEL	45
5.	FUNÇÃO CUSTO E POTÊNCIA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .	48
5.1	ENERGIA SOLAR.....	49
5.2	ENERGIA EÓLICA.....	50
5.3	MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA	50
5.4	BIOMASSA	51
5.5	GERADOR DIESEL	51
6.	MÉTODO DE ESCOLHA DE FONTES PARA A DEMANDA DE UM AVIÁRIO..	52
7.	CONCLUSÃO.....	55
	REFERÊNCIAS.....	57

1. INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira é muito diversificada. Os recursos naturais e tecnológicos que estão presentes no país abrem espaço para uma vasta gama de possibilidades para geração de energia elétrica. A localização geográfica e as proporções do território possibilitam que tanto fontes não renováveis que utilizam combustíveis fósseis quanto fontes renováveis com tecnologias mais avançadas possam compor a matriz energética do Brasil. Em alguns lugares do país não é possível aproveitar todo o potencial de geração de energia elétrica por falta de algum recurso, entretanto, a região Sudoeste do Paraná pode ser considerada privilegiada, uma vez que, das fontes de geração conhecidas e utilizadas atualmente, com algum investimento, a região pode explorar e usufruir de todas.

A região Sudoeste do Paraná se trata de uma região que tem grande parte da sua economia movida pela agricultura, avicultura e pecuária, onde significativa parcela da população reside em área rural e devido à dificuldade em realizar a manutenção em linhas de transmissão rurais, muitas alternativas diferentes de geração de energia elétrica têm sido instaladas em propriedades rurais, com grande aplicação em aviários, devido a necessidade de luz e controle de temperatura para o desenvolvimento adequado das aves. Por essa necessidade, muitos dos avicultores da região acabam se deparando com dificuldades para suprir sua demanda energética, principalmente quando se trata da ampliação ou instalação de novas unidades de aviários. Nessa situação, faz-se necessário o planejamento energético para que se encontre a maneira mais eficiente e economicamente viável para solucionar o problema.

Este trabalho tem o intuito de utilizar uma metodologia de formação de curvas de custo das fontes solar, eólica, hidrelétrica, biomassa e combustível fóssil utilizadas na geração de energia elétrica, com a finalidade de realizar uma análise de otimização custos e de recursos para a geração de eletricidade suficiente para suprir a demanda energética de um aviário (em outras palavras, dadas várias fontes de energia elétrica existentes na propriedade, relaciona-se elas de forma crescente de custos, permitindo escolher as mais promissoras) e, assim, auxiliar no planejamento energético para ampliação e instalação de novos aviários. Para tal situação, o trabalho tem por objetivos realizar o levantamento da demanda

energética mensal de um aviário de modelo comumente instalado na região, com os padrões exigidos pelas empresas parceiras dos avicultores, realizar o levantamento dos custos para instalação, manutenção, operação e custos relacionados à falta de geração de energia e/ou custos causados por impactos ambientais (sobretudo por emissão de gases do efeito estufa e poluição sonora), realizar a formação de equações de custo em relação a potência instalada de geração e por fim, fazer uso da metodologia de despacho econômico de geradores para realizar os cálculos de otimização e com isso escolher a alternativa mais adequada para suprir a demanda energética de um aviário.

Com estes estudos e análises, espera-se contribuir para o desenvolvimento de um dos setores mais importantes da economia regional, encontrando uma alternativa que minimize as dificuldades energéticas das áreas rurais, que seja viável economicamente, mas sem deixar de lado as questões de desenvolvimento sustentável, que é de suma importância para a manutenção e evolução das gerações futuras.

O trabalho se organiza através de um desenvolvimento teórico, que busca trazer explicações e conceitos necessários para o entendimento das metodologias utilizadas, de uma breve análise sobre o modelo de aviário comumente instalado na região Sudoeste do Paraná, com o intuito de fazer o levantamento da demanda energética deste modelo, do levantamento dos custos para cada fonte de energia abordada no trabalho, da construção das funções de custo de cada fonte de energia abordada no trabalho e por fim, da aplicação da metodologia de despacho econômico para encontrar o resultado final da análise e realizar as conclusões.

2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

2.1 FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS

As fontes de energia enquadradas nessa classificação são as consideradas inesgotáveis, ou seja, são aquelas que se renovam continuamente enquanto são utilizadas. Dentre as fontes de energia renováveis mais comumente utilizadas para geração de energia elétrica pode-se destacar a solar, eólica, hídrica, biomassa, oceânica e geotérmica.

Algumas dessas fontes sofrem com inconstâncias quando utilizadas em seu potencial de geração de eletricidade, tais inconstâncias comprometem a geração e utilização das mesmas. Pode-se citar a falta de vento para energia eólica, a não geração no período da noite pela energia solar e períodos de estiagem quando se trata da energia hídrica.

Embora possam sofrer com esses problemas, as fontes de energia renovável têm se mostrado eficientes. Não somente pelo fato de serem consideradas energias limpas e emitirem menos gases do efeito estufa do que as fontes fósseis, mas também por se tornarem viáveis economicamente. Por tais fatores, as fontes renováveis têm conseguido boa inserção no mercado mundial de energia elétrica.

2.2 ENERGIA SOLAR

A energia solar é uma fonte inesgotável que pode ser utilizada tanto na forma de luz quanto calor. Para o contexto da energia elétrica a forma mais utilizada é a geração através do aproveitamento da luz, denominada geração fotovoltaica, embora possa ser utilizado o calor para mover usinas heliotérmicas.

A geração fotovoltaica se dá através de células solares fotovoltaicas, que são capazes de transformar a energia luminosa, oriunda do sol ou outra fonte de luz, em energia elétrica.

Normalmente a utilização dessa fonte se dá através de módulos, que nada mais são do que a associação de várias células com essa capacidade. Tal associação pode ser tanto em série para obter-se uma maior tensão entre os terminais quanto em paralelo, onde há uma adição de corrente para o mesmo valor de tensão aplicado na célula.(BETTONI, LUCAS. GAPSKI, ANDERSON LUIS. YONAMINI, 2015)

Existem diversos materiais semicondutores que são utilizados na construção das células solares fotovoltaicas, tais como silício, arsenieto de gálio, telureto de cádmio ou diselenieto de cobre e índio (SANTOS, 2011), porém o material mais utilizado é o silício cristalino, com cerca de 95% de todas as células solares fotovoltaicas existentes no mundo.

Apesar de apresentar resultados já satisfatórios e relevantes para a geração de energia elétrica, a indústria produtora desses equipamentos está sempre em busca de novas tecnologias para melhorar a eficiência e capacidade de produção das células e módulos de geração. (BETTONI, LUCAS. GAPSKI, ANDERSON LUIS. YONAMINI, 2015)

A constante expansão do mercado e os incentivos governamentais para a geração de energia solar fotovoltaica têm tornado essa opção cada vez mais viável economicamente, além das características ambientais destacadas pelas fontes renováveis.

Quanto à utilização, apesar de não se encontrar nas condições ideais para a geração de energia através das células fotovoltaicas, a região sudoeste do Paraná ainda pode usufruir dessa forma de geração. Por se tratar de uma região localizada próxima do trópico, os índices de luz solar são satisfatórios para a utilização de painéis fotovoltaicos.

2.3 ENERGIA EÓLICA

A energia eólica é obtida através do movimento das massas de ar, o qual é conhecido como vento. Para transformar a energia eólica em energia elétrica são utilizados aerogeradores, que são movidos por hélices que se movimentam de

acordo com o vento no local onde são instaladas. Essas hélices têm comprimento de até 80 m e se encontram em torres de até 150 m de altura.

Na maioria dos casos, a geração de eletricidade através da energia eólica acontece nos parques eólicos, que são um conjunto de aerogeradores instalados em uma mesma região, desta forma a geração se dá equivalente a uma usina.

Para a instalação desses parques faz-se necessário que existam no local ventos suficientes para a geração, com constância e velocidade capazes de mover as hélices e gerar a energia esperada. Segundo a EPE, as regiões sul e nordeste do país são as mais indicadas para esse tipo de instalação.

Quando se encontram nos lugares apropriados, os parques eólicos apresentam ótimo desempenho na geração de energia elétrica, se tornando uma solução bastante viável economicamente. Durante sua operação, as usinas eólicas não poluem a atmosfera, porém deve-se tomar cuidado com seu local de instalação, uma vez que as hélices oferecem risco às aves e os ruídos gerados pelos aerogeradores podem causar problemas em cidades próximas.

2.4 ENERGIA HÍDRICA

As centrais hidrelétricas (CH) são uma forma de aproveitamento da energia hídrica como forma de geração de energia elétrica. Nesse tipo de geração, as águas do rio movem turbinas que transformam a energia potencial em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica.

Trata-se uma fonte de energia variável durante todo o ano, uma vez que seu aproveitamento depende do volume de água que percorre o rio naquele momento, sendo assim sua eficiência pode ficar comprometida em períodos de estiagem.

Podem-se classificar as centrais hidrelétricas em CH a fio d'água e CH de reservatório, sendo que a escolha para instalação de cada modelo depende das condições geológicas e topográficas do local em estudo. Levando em consideração a região sudoeste do Paraná, as condições de instalação se curvam para a CH a fio

d'água, uma vez que essa região conta com chuvas regulares e potencial hídrico interessante, quando comparado à outras regiões do país.

As CHs a fio d'água são utilizadas quando a vazão de estiagem do rio é igual ou superior a descarga necessária para atingir a potência demandada a ser instalada. (MAGALHÃES, 2009)

Para este tipo de CH, o volume de reservatório é desprezível, e se faz necessário um sistema de adução para conduzir a descarga de água necessária. Com essa característica, o vertedouro funcionará quase que em tempo integral e o impacto ambiental causado em sua instalação é mínimo quando comparado às PCHs de reservatório. A instalação de CHs a fio da água dispensa alguns estudos, como o de regularização de vazões e facilita outros, como a concepção de tomada d'água (MAGALHÃES, 2009), tornando essa alternativa menos complexa e mais atrativa para pequenas demandas energéticas.

2.5 BIOMASSA

O termo biomassa corresponde à toda matéria vegetal e orgânica existente. Durante sua decomposição, essa matéria produz gases que podem ser utilizados para a produção de energia.

Existem também alternativas onde ocorre a combustão da própria biomassa para aproveitamento do calor, que é utilizado para aquecer água e gerar vapor em alta pressão, podendo assim, acionar turbinas e geradores elétricos.

Segundo a EPE, no Brasil, a biomassa mais utilizada para a geração de energia elétrica é oriunda da cana-de-açúcar, plantada e processada principalmente nas regiões Sudeste e Centro-oeste.

Mesmo com essa predominância na utilização da cana-de-açúcar, destacam-se diversas fontes de biomassa, como a soja, resíduos agrícolas, lenha e até excremento animal.

Considerando a região Sudoeste do Paraná, identifica-se que os maiores potenciais para geração se dão através da queima de lenha e no aproveitamento da soja e da cama de aviário na produção de biogás.

2.6 FONTES DE ENERGIA NÃO RENOVÁVEL

As fontes de energia não renováveis têm esse nome por se tratarem de recursos que são finitos ou esgotáveis no meio ambiente. Isso ocorre pelo fato da maioria dessas fontes ter reposição muito lenta, pois seu processo de formação é resultado de milhões de anos em temperatura e pressão específicas.

Dentre as fontes de energia não renovável destacam-se o carvão, mineral, petróleo, gás natural e a nuclear. Embora sejam finitas ou esgotáveis, as maiores preocupações e discussões são causadas pela emissão de gases do efeito estufa gerados pela queima dos combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural) ou pela radiação e difícil descarte dos materiais utilizados na geração nuclear.

Apesar dos problemas apresentados, as fontes de energia não renovável são responsáveis por grande parte da energia produzida no mundo. Isso se deve ao alto rendimento, custo atrativo, geração de empregos e pelo fato de toda a infraestrutura para geração e distribuição já estar construída.

2.7 PETRÓLEO

O petróleo foi formado há milhões de anos, a partir do depósito de matéria orgânica submetida a condições específicas de temperatura e pressão. Ocorre em região denominada bacias sedimentares, que são mais baixas e planas que o terreno ao redor e por isso permitem o depósito de matéria orgânica.

Os maiores produtores de petróleo no mundo são Rússia, Arábia Saudita, Estados Unidos e Iraque (EPE). No Brasil, o petróleo tem sido produzido principalmente no litoral da região Sudeste, em grandes profundidades e abaixo das camadas de sal encontradas no subsolo marinho.

Embora o principal uso do petróleo seja na produção de combustíveis que são responsáveis por mover a maioria dos veículos do planeta, esses subprodutos são muito utilizados para a geração de energia elétrica, sobretudo para funcionamento de geradores de pequeno porte.

Muitas empresas, hospitais e propriedades rurais que necessitam de energia elétrica constante, têm como forma alternativa de eletricidade um gerador movido a diesel ou a gasolina, que são subprodutos do petróleo.

2.8 FORMAÇÃO DE CUSTOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Na formação dos custos para geração de energia elétrica faz-se necessária a aplicação de conceitos básicos sobre a teoria de custos, uma vez que a tarifação de energia e até mesmo a análise para implementação de um projeto para suprir uma demanda energética passam pela análise de preços.

Dentro da teoria dos custos, encontram-se conceitos necessários para que seja possível distinguir e comparar projetos de geração entre si, no âmbito do estudo, do planejamento e expansão do sistema elétrico. Para isso, são condicionados os custos praticados pelo mercado.

2.8.1 CUSTOS GLOBAIS

Conforme visto, em geral, a energia elétrica pode ser obtida através de variadas fontes tecnológicas, cada uma com suas próprias características que se transformam em distintos custos de implantação dos empreendimentos, o que acarreta uma competitividade entre projetos.

De acordo com a CPFL energia, o planejamento do sistema de geração abrange aspectos econômicos e de garantia de atendimento ao mercado, que

refletem à análise de qualidade do serviço e seu custo, indicando ainda, que os componentes fundamentais dos custos de uma usina são:

- Investimento na usina.
- Juros durante a construção da usina.
- Investimentos em transmissão.
- Juros durante a construção da transmissão.
- Operação e manutenção.
- Custos de combustível.

Nesse sentido, segundo ainda a CPFL Energia, é de extrema relevância que ao se pensar na implantação de uma unidade geradora faça-se uma previsão dos custos de construção dessa unidade, que deve ser utilizado como suporte às tomadas de decisão do empreendedor.

2.8.2 CUSTOS DE INVESTIMENTO

Na geração de energia elétrica, os custos de investimentos ocorrem durante a aplicação do projeto e se dão de acordo com os desembolsos nesse período. De maneira direta, o cálculo dos custos de investimentos pode ser calculado com a equação (1) (RAUBER, 2005):

$$CI = \frac{I \cdot FRC}{PI \cdot FC_{m\acute{a}x} \cdot 8760} \quad (1)$$

Em que:

I = Investimento considerando os juros da construção;

PI= Potência instalada (MW);

$FC_{m\acute{a}x}$ = Fator de capacidade máxima contínuo na usina, que representa a relação entre a energia média máxima que pode ser produzida no período crítico do sistema e a energia teórica máxima que pode ser produzida operando a usina na base de carga com a potência instalada;

8760= Número de horas no ano;

FRC= Fator de recuperação de capital.

Com essa equação, pode-se visualizar a importante relação entre o custo do investimento e o fator de capacidade de uma unidade geradora, fato que influencia a expectativa de receita do investidor pela produção de energia elétrica.

2.8.3 CUSTO MARGINAL

Segundo a CPFL Energia, ao se considerar a produção de energia elétrica, pode-se conceituar o custo marginal como sendo o acréscimo de custo total do sistema de geração, para abastecer um incremento do mercado de energia. Em outras palavras, pode-se descrever como sendo a derivada da função custo total de produção em relação ao mercado atendido.

O custo marginal em um sistema de geração subdivide-se em três características diferentes: curto, longo e muito longo prazo, onde cada uma apresenta as seguintes definições:

- Custo marginal de curto prazo: é o acréscimo de custo por unidade produzida, onde esse acréscimo pode ser atendido pelas unidades já existentes, não se fazendo necessária a adição de novas fontes geradoras
- Custo marginal de longo prazo: é o acréscimo de custo por unidade produzida, onde além de uma operação mais intensa do sistema, permite-se a incorporação de novas fontes geradoras.
- Custo marginal de muito longo prazo: trata-se do valor presente dos custos marginais futuros de expansão do sistema em um período de 30 anos.

Com isso, avalia-se que se o sistema estiver trabalhando em equilíbrio, o custo marginal de curto e longo prazo serão iguais, que caracteriza o sistema trabalhando no ponto de custo médio mínimo. (RAUBER, 2005)

2.8.4 CUSTOS OPERACIONAIS

Os custos operacionais se caracterizam pelo desembolso necessário para a operação e funcionamento da unidade geradora, seja com combustível, materiais, pessoal, manutenção, etc.

De acordo com CPFL Energia, considera-se que o custo operacional compõe todos os custos considerados variáveis, com adição de uma parcela do custo fixo. Além disso, considera-se custo operacional todo recurso de produção que exige desembolso da empresa para sua recomposição.

Portanto, o custo operacional fica estreitamente ligado ao preço do combustível e ao nível de produção da unidade geradora. Onde, quanto maior a necessidade de geração, maior será o valor do custo operacional agregado.

Além disso, leva-se em consideração nos custos operacionais outros fatores, como por exemplo pausas não programadas para manutenção ou indisponibilidade da unidade geradora, onde o valor agregado ao custo operacional está relacionado ao valor em reais da quantidade de energia que o gerador deixou de gerar.

2.9 VALORAÇÃO DOS RECURSOS AMBIENTAIS

A maioria dos recursos ambientais são de natureza pública, não contém valor definido no mercado e possuem livre acesso ao ser humano. Essas características tornam os recursos ambientais suscetíveis ao uso inconsciente e descontrolado.

A forma com que são abordados faz com que, na maioria dos casos, os recursos ambientais não tenham seus custos levados em consideração durante a elaboração e execução de um projeto. Por esse motivo, propõem-se na literatura, uma política de valoração dos recursos ambientais, com o propósito de que valores econômicos sejam capazes de internalizar o custo da degradação ambiental nas obrigações dos desenvolvedores de cada projeto.

O principal objetivo da valoração econômica trata-se em estimar valores econômicos para os recursos ambientais, utilizando-se de um mercado hipotético para cada um desses bens. A ideia consiste em mensurar a preferência dos indivíduos sobre as alterações em seu ambiente e não simplesmente em transformar o bem ambiental em um produto de mercado (REIS, 2001).

Apesar dos resultados dos estudos de valoração econômica serem limitados e contarem com determinado grau de empiricismo, tal análise se faz extremamente necessária ao abordar análises completas de determinados assuntos, seja em análises de custo benefício, elaboração de prioridades nacionais, estudos de desenvolvimento sustentável, etc. (MAIA, 2002)

2.9.1 METODOLOGIA DE VALORAÇÃO ECONOMICA

De acordo com Reis (2001), os principais recursos utilizados para priorizar a alocação dos recursos ambientais são a análise custo-benefício (ACB), a análise custo-utilidade (ACU) e a análise custo-eficiência (ACE).

Considerando a análise custo-benefício, aborda-se a comparação entre os custos e benefícios associados aos impactos das decisões tomadas, ao longo do tempo, em termos dos seus valores monetários. Esta é a técnica mais utilizada atualmente e a comparação entre tais custos e benefícios é o que permite analisar a viabilidade da ação.

Dentro da análise custo-benefício todos os efeitos dos impactos são unificados através da escala monetária e para isso, existem três opções de indicadores no tempo. O valor presente líquido (VPL), a relação benefício custo (B/C) e a taxa interna de retorno (TIR). Mesmo com a possibilidade de todas as opções indicarem inequivocamente a viabilidade de uma ação, o ordenamento das ações pode variar de indicador para indicador (REIS, 2001)

A análise custo-utilidade tem como objetivo integrar critérios econômicos e ecológicos, não se prendendo em utilizar uma única medida de valor monetário de um determinado benefício. Dessa forma, os indicadores são calculados para valores econômicos e critérios ecológicos como vulnerabilidade, grau de ameaça, representatividade e criticalidade.

Cada indicador conta com um peso absoluto e cada ação a ser tomada leva em consideração a magnitude desses indicadores. Portanto, o problema metodológico é enfatizado na dificuldade em encontrar escalas coerentes e aceitáveis para a definição da importância relativa de cada um dos diferentes critérios.

A análise custo-eficiência é caracterizada por ordenar as opções apenas pelo critério ecológico. Nessa análise, considera-se várias opções disponíveis para alcançar uma prioridade já estabelecida, e com isso, compara-se os custos dessas opções em atingir seus objetivos. Desta forma, busca-se a opção que assegura os resultados desejados com o menor custo agregado.

No âmbito dessa dissertação, o foco se faz na análise de custo-benefício e na mensuração dos valores monetários associados a custos e benefícios ambientais.

2.9.2 METODOLOGIAS DE VALORAÇÃO ECONOMICA AMBIENTAL

Mesmo não existindo um padrão universalmente aceito para classificação dos métodos de valoração econômica dos recursos ambientais, os métodos utilizados para a obtenção de resultados tratam-se da quantificação dos danos e da quantificação da variação do bem estar. Para isso, faz-se necessário a apresentação de critérios utilizados para tais quantificações.

A quantificação dos danos baseia-se na relação entre a causa e o efeito de um dano ambiental, com o propósito de oferecer medidas objetivas dos danos resultantes das diversas causas.

Para análise e quantificação dos danos, faz-se necessário o uso de funções denominadas “funções dose-resposta” e “funções de danos”, que são obtidas através de dados de estudo de campo e de procedimentos experimentais controlados (REIS, 2001).

Determinada a função dose-resposta faz-se a estimação da variação do dano em termos da variação de um ativo e a seguir valora-se o dano ocorrido a partir do preço de mercado desse ativo.

A quantificação do bem-estar está relacionada ao conceito microeconômico de excedente do consumidor. Nesse caso, considera-se a diferença

entre o que o consumidor está disposto a pagar por um ativo e o preço que ele realmente paga para adquirir esse ativo.

Enquanto considera-se a teoria econômica, a noção de dano ou benefício que se baseia na preferência de cada indivíduo, se manifesta através dos conceitos de disposição a pagar (DAP) para evitar uma perda ou para obter um benefício, e de disposição a receber (DAR) ou a aceitar (DAA) para sofrer uma perda ou para perder um benefício.

De outra forma, podemos subdividir os métodos para a valoração econômica dos recursos ambientais em dois grupos: os métodos diretos e os métodos indiretos.

Para os métodos diretos, procura-se obter o valor diretamente sobre as preferências de cada indivíduo, utilizando-se de mercados hipotéticos ou de bens complementares para obter a DAP de cada indivíduo.

Para os métodos indiretos, busca-se obter o valor dos recursos ambientais através da relação entre esses recursos e o valor de mercado dos produtos afetados pelas alterações ambientais ou seu bem substituto. (MAIA, 2002)

Como cada um desses métodos de valoração de recursos ambientais apresenta suas limitações, a escolha de cada método depende de cada caso. Deve-se atentar para o objetivo da valoração, eficiência do método escolhido para o caso em estudo e principalmente para as informações disponíveis para o estudo.

2.10 DEMANDA ENERGÉTICA

O aumento da produção nas indústrias de alimentos, roupas, equipamentos, computadores, celulares e demais fatores que movem a economia, assim como o maior consumo de energia nas lojas responsáveis pelo comércio desses produtos e nas residências das pessoas que os utilizarão é denominada demanda energética.

A demanda energética é caracterizada por utilizar toneladas equivalentes em petróleo (tep) como unidade de energia. Tal unidade de medida é utilizada para que faça possível a soma entre diferentes fontes energéticas, como por exemplo, Watts (W) para energia elétrica, metros cúbicos (m³) ou Joules (J) para gás.

Como o intuito do trabalho está relacionado com o suprir a demanda de energia elétrica em um aviário, procura-se seguir o foco da demanda energética para a demanda de energia elétrica.

A demanda de energia elétrica se caracteriza pela quantidade de energia elétrica que precisa ser gerada por um ou mais geradores/usinas para que seja possível suprir as necessidades de energia elétrica de um ambiente ou do mercado.

A empresa de pesquisa energética (EPE) mostra, em seu estudo de demanda energética de cada setor econômico, que o setor agropecuário será, em 2027, responsável por cerca de 4% do consumo de energia no Brasil. Como mostra a figura 1.

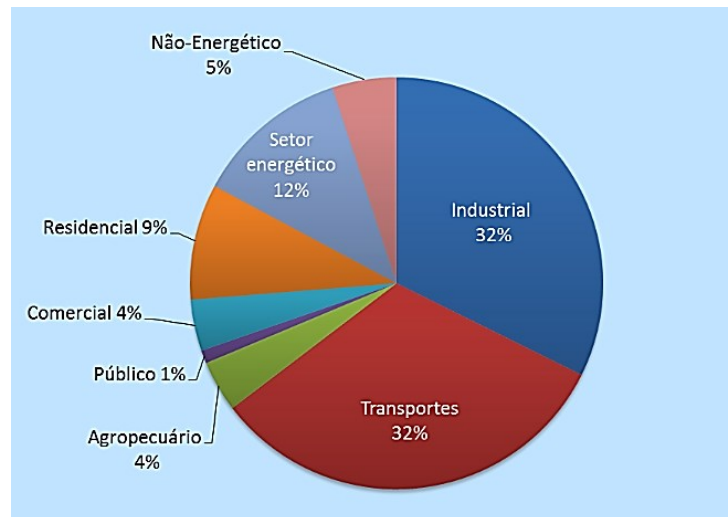


Figura 1: Consumo de energia no Brasil em 2027.
Fonte Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

2.11 FUNÇÃO CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA

A função custo é um dos principais instrumentos de tomada de decisão e está estreitamente relacionada com os gastos efetuados por uma empresa, indústria, loja ou pessoa na aquisição de algum produto. Geralmente a função custo possui duas partes, uma fixa e outra variável, onde a parte fixa está relacionada com os investimentos iniciais para se iniciar o processo de produção e a parte variável depende da quantidade produzida.

Segundo Colodetti (2014), ao se considerar os insumos produtivos, pode-se estimar uma função com o objetivo de minimizar os custos para a otimização da

eficiência de produção. Ao analisar o caso da geração de energia elétrica, a função custo apresenta as mesmas características que para o meio empresarial, onde sua presença é fundamental na otimização dos custos para se atender uma demanda específica.

Enquanto a parcela fixa da função custo para a geração de energia elétrica se encontra nos valores relacionados com o processo de construção e instalação da unidade geradora, a parcela variável se relaciona com os gastos na compra de insumos, manutenção e outros fatores – como o ambiental – que se acumulam de acordo com a quantidade de energia gerada.

2.12 METODOLOGIA DE DESPACHO ECONOMICO DE GERADORES

O termo “despacho” de geradores é utilizado para a ação de alocação de carga (potência ativa) de geradores em uma determinada usina, para entrar em operação, para atender uma determinada demanda de energia elétrica em um sistema elétrico.

Um determinado gerador pode ter sua potência de saída ajustada com o propósito de satisfazer uma estratégia ótima de operação. Essa estratégia é avaliada conforme uma dada função objetivo, no qual os elementos de controle podem ser combustível, perda ativa, nível de água em um reservatório, etc. (Damasceno, 2016).

2.12.1 DESPACHO SEM PERDAS DE TRANSMISSÃO

Trata-se de uma maneira com menor rigor matemático para abordar o problema de despacho econômico de geradores. Neste caso, considera-se as unidades geradoras ligadas em paralelo para atender uma carga que está ligada nos seus terminais.

Esse problema tem como característica o fato de que não são consideradas perdas no sistema, uma vez que, por não haver linhas de transmissão, as perdas são iguais a zero. Tal esquema pode ser visto na figura 2.

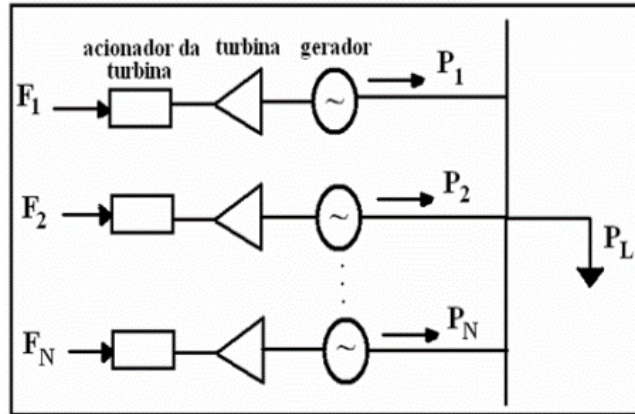


Figura 2: Geradores ligados a um barramento ao qual está conectada uma carga.
Fonte Damasceno 2016

Observando a imagem, pode-se perceber que cada gerador i fornece uma potência respectiva, P_i . A potência de cada gerador é dependente da curva custo, F_i , de cada gerador. Uma curva característica para uma unidade i tem o formato dado pela equação 2:

$$F = a + bP + \frac{1}{2}cP^2 \quad (2)$$

Onde as constantes a , b e c são coeficientes conhecidos e a potência de saída é limitada pela faixa de operação do gerador.

O problema de otimização tem como objetivo a minimização dos custos para gerar as potências necessárias para atender a carga P_L , desde que os geradores funcionem dentro de seus limites operacionais. Dessa forma, a formulação do problema de otimização pode ser descrita como segue:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \quad (3)$$

Sujeito a

$$-P_L + \sum_{i=1}^N P_i = 0 \quad (4)$$

$$P_{mi} \leq P_i \leq P_{Mi}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (5)$$

Neste problema, tem-se apenas uma restrição de igualdade, portanto, considera-se apenas um multiplicador de Lagrange λ . No caso específico para a resolução do problema abordado pelo trabalho, não são considerados limites para a as fontes a serem escolhidas, desta forma a desigualdade (5) não necessita ser aplicada.

Para resolver o problema, procede-se inicialmente como se os limites de operação de cada gerador fossem atendidos. É o equivalente a dizer que todas as variáveis associadas as desigualdades fossem iguais a zero. Neste caso, a Lagrangeana é:

$$L(P, \lambda) = F_1(P_1) + F_2(P_2) + \dots + F_N(P_N) - \lambda[-PL + \sum_{i=1}^N P_i] \quad (6)$$

As condições de otimização para esse problema são:

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{\partial F_i}{\partial P_i} - \lambda = 0 \Rightarrow \lambda = \frac{\partial F_i}{\partial P_i}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

$$-\frac{\partial L}{\partial \lambda} = -PL + \sum_{i=1}^N P_i = 0 \quad (8)$$

Se o conjunto solução desse problema for tal que as restrições de operacionais de potência sejam atendidas, então esse conjunto é solução para o problema de otimização. Caso contrário, faz-se necessário avaliar as restrições violadas, incorporando-as ao sistema, bem como as respectivas variáveis de desigualdade.

2.12.2 DESPACHO COM PERDAS DE TRANSMISSÃO

Para avaliar a metodologia de despacho de geradores com perdas de transmissão, faz-se necessário levar em consideração, de alguma forma, as perdas entre as interconexões entre o gerador e a carga.

Esta metodologia traz os resultados para mais próximos da realidade, uma vez que geralmente existem conexões e/ou linhas de transmissão entre a carga e o gerador. Mesmo assim, trata-se de uma análise simplificada, não levando em consideração diversos outros fatores presentes em aplicações reais.

A figura 3 representa o esquema de ligação a ser abordado por essa metodologia, no qual se tem uma carga Pl conectada à um barramento afastado por uma linha de transmissão em relação ao barramento de geração.

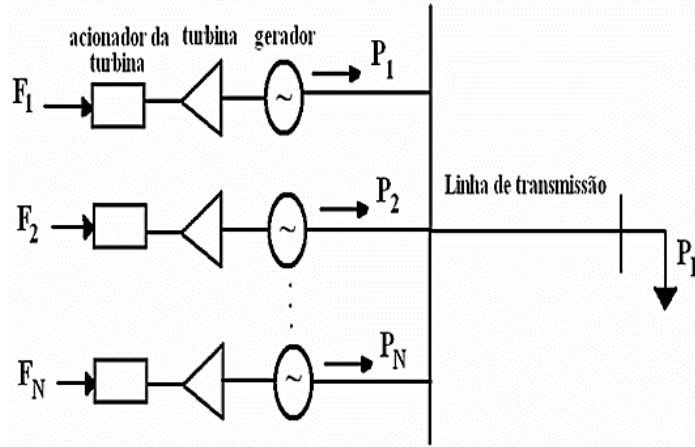


Figura 3: Geradores abastecendo uma carga através de uma interligação.
Fonte: Damasceno, 2016.

O modelo utilizado para os geradores, com relação ao custo de produção de energia, é o mesmo utilizado na metodologia sem perdas de transmissão. Entretanto, desenvolve-se um modelo que leve em consideração as perdas de transmissão e incorpore esse fator no problema otimizado (FREITAS, 2016)

Uma forma simplificada de levar em consideração as perdas de transmissão se dá através de uma função da potência gerada por cada unidade geradora. Tal abordagem pode ser descrita pela equação (9).

$$Pp(P) = \sum_{i=1}^N di \cdot Pi^2 \quad (9)$$

Onde, Pp é a perda ativa no sistema e di é o coeficiente que depende das características do sistema de interconexão.

A equação do balanço de potência ativa envolve a geração necessária para suprir a carga e as perdas de transmissão. Tal equação, gera uma restrição de igualdade para o problema otimizado que pode ser vista na seguinte equação.

$$-Pl - Pp(P) + \sum_{i=1}^N Pi = 0 \Rightarrow -Pl - \sum_{i=1}^N diPi^2 + \sum_{i=1}^N Pi = 0 \quad (10)$$

O problema de otimização para esse caso, requer a construção da seguinte lagrangeana:

$$L(P, \lambda) = F1(P1) + F2(P2) + \dots + FN(PN) - \lambda[-PL - \sum_{i=1}^N diPi^2 + \sum_{i=1}^N Pi = 0 \quad (11)$$

Para essa situação, as condições de otimização, sem restrições de desigualdade, são:

$$\frac{\partial L}{\partial Pi} = \frac{\partial Fi}{\partial Pi} - \lambda + \lambda \frac{\partial Pi}{\partial Pi} = 0 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (12)$$

$$-\frac{\partial L}{\partial \lambda} = -PL - Pp + \sum_{i=1}^N Pi = 0 \quad (13)$$

O sistema de equações formado pelas equações (12) e (13) é não linear, para resolve-lo faz-se necessário a utilização de algum método que leve em conta tal característica, como por exemplo, o método de Newton-Raphson. Para a resolução por esse método é necessário que se estime uma solução inicial, sendo uma alternativa interessante a escolha da solução para o caso sem perdas.

3. DEMANDA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UM AVIÁRIO

Para este trabalho fez-se uma abordagem com levantamento de demanda energética in loco aproximada. Os dois modelos convencionais para aviário de frango são o de pressão positiva e o de pressão negativa e, como a demanda energética para um aviário de pressão negativa é maior, utiliza-se os dados de instalação desse modelo.

Na região sudoeste do Paraná o modelo comumente adotado é o americano, denominado "dark house". No aviário dark house, preza-se pelo pouco contato com o produtor para evitar o estresse das aves e, portanto, praticamente todas as funções do aviário são controladas automaticamente, seja luminosidade, temperatura, umidade, alimentação, etc. (Canal Rural, 2015)

Apesar de um maior investimento inicial e maior custo de manutenção, o modelo dark house tem se mostrado uma alternativa viável economicamente, uma vez que devido as características do aviário, obtém-se resultados interessantes produtivamente falando, muito disso pelo menor consumo de ração, redução da mortalidade, redução do tempo total do alojamento em até dois dias e a maior densidade de animais no galpão.

Um dos principais custos para manutenção desse modelo de aviário está na fatura de energia elétrica. Como a maioria das funções do aviário são controladas automaticamente, esse modelo consome muito mais energia do que o modelo de pressão positiva.

Para um exemplar típico instalado na região sudoeste do Paraná, com 100 metros de comprimento e 12 metros de largura, com alojamento de até 15.600 aves, a demanda de energia elétrica é de aproximadamente 2150 kWh por lote produzido. Como cada lote é entregue em 42 dias, a demanda de energia elétrica mensal é de aproximadamente 1535,71 kWh.

Considerando o subgrupo B2 (tarifa branca) da concessionária COPEL que enquadra os consumidores ligados a agricultura e apresenta (em janeiro de 2020 e sem considerar impostos) tarifação de 0,71650 R\$/kWh para períodos de ponta, 0,46135 R\$/kWh para períodos intermediários e 0,33764 R\$/kWh para períodos fora de ponta, estima-se que a fatura mensal de energia elétrica de um aviário modelo dark house com as características citadas estará em torno dos R\$603,67, e utilizando a cotação atual do dólar \$140,39 como mostra o quadro 1.

Período	Número de horas (h)		Fatura mensal (\$)	Fatura total mensal (\$)
	Dias úteis	Feriados/Fins de semana		
Ponta	3	0	10,53	140,39
Intermediário	2	0	24,52	
Fora de Ponta	19	24	105,34	

Quadro 1: Fatura mensal de energia elétrica de um aviário modelo dark house. Fonte: autoria própria

4. CUSTOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Com o intuito de tornar o trabalho mais eficiente e uniforme com relação aos custos, a maior parte dos custos apresentados nesse capítulo são baseados em estudo realizado pela EIA Independent Statistics & Analysis, onde são abordadas

estimativas de custos de capital para geração de energia elétrica. O estudo é datado do ano de 2016 e tem como principal objetivo projetar as características e custos de desenvolvimento e geração das principais fontes de geração de energia elétrica.

As estimativas foram desenvolvidas através de exercícios de custeio, usando uma metodologia comum entre as tecnologias estudadas. Cada tecnologia é representada por uma instalação genérica de tamanho e configuração específicas, em um local onde não possuem restrições ou requisitos de infraestrutura incomum.

Sempre que possível, as estimativas de custo foram com base em informações sobre projeto, configuração e construção do sistema derivadas de informações reais ou projetadas, usando premissas genéricas para taxas de mão-de-obra e materiais.

Quando as informações não estavam disponíveis, utilizou-se metodologias mais genéricas de modelos de representação e custos que são responsáveis pelas taxas atuais de mão-de-obra e materiais necessárias para concluir a construção de uma instalação genérica, bem como premissas consistentes para os contratos entre o proprietário do projeto e o empreiteiro da construção.

Os custos específicos para cada tipo de instalação foram divididos para incluir:

- Custos civis e estruturais: subsidio para preparação do local, drenagem, instalação de serviços subterrâneos, fornecimento de aço estrutural e construção de edifícios.
- Fornecimento de equipamentos mecânicos e instalação: Equipamentos principais, incluindo entre outros, caldeiras, purificadores de gases de combustão, torres de resfriamento, geradores de turbinas a vapor, módulos fotovoltaicos, etc.
- Elétrica, instrumentação e controle: transformadores, aparelhagem, controle de motor, centrais de distribuição, sistema de controle distribuídos e outras mercadorias elétricas.
- Custos de projeto indireto: engenharia, mão-de-obra e materiais distribuíveis, horas extra de trabalho e incentivos, custos de andaimes, inicialização e comissionamento do gerenciamento da construção e taxas para contingencia.

- Custos do proprietário: Custos de desenvolvimento, estudos preliminares de viabilidade e engenharia, estudos de licenças ambientais, honorários legais, custos de seguro, imposto sobre a propriedade, construção e custos de interconexão elétrica.

Além dos custos específicos, o estudo abrange metodologias que permitem encontrar custos de operação e manutenção e a quantidade emitida de gases nocivos ao meio ambiente de cada uma das tecnologias abordadas.

Para as fontes de energia que não estão presentes no estudo da EIA Independent Statistics & Analysis, busca-se levar em consideração os mesmos critérios avaliados pela empresa, para que um mesmo padrão oriente a dissertação.

Através da quantidade de gases nocivos ao meio ambiente encontrada pelo estudo, é possível encontrar um dos custos chaves para o desenvolvimento da metodologia proposta, que é o custo relacionado à emissão destes gases. Quando o gerador não possui quantidade significativa na emissão de gases nocivos, utiliza-se os fatores de custos causados por falta de geração e custos relacionados à poluição sonora.

4.1 ENERGIA SOLAR

A instalação solar fotovoltaica utiliza matrizes de módulos fotovoltaicos de rastreamento de eixo único montados no solo que convertem diretamente a radiação solar incidente em corrente contínua, que pode ser convertida para corrente alternada. A figura 4 mostra um exemplo de instalação de sistema solar fotovoltaico instalado em estrutura de solo.



Figura 4: Modelo de instalação solar fotovoltaica para geração de energia solar.
Fonte: Solar Volt Energia.

Ao considerarmos os custos com equipamentos e sistemas mecânicos, o principal investimento se dá através da armação de metal utilizada para a sustentação dos módulos e caixas combinadoras, onde são conectados circuitos em série individuais dos painéis antes de serem alimentados nos inversores.

Levando em consideração os custos com a parte elétrica e controle, cabe ressaltar que o maior valor investido fica por parte do inversor de frequência e do seu próprio sistema de controle. Todavia, existem custos significantes em relação aos módulos fotovoltaicos, fiação, aterramento e em alguns casos, faz-se necessário até o uso de um transformador. (EIA, 2016)

Por se tratar de uma região rural, considerada remota, o valor de diárias de serviço costuma ser mais elevado em relação a mão-de-obra e fretes, devido a longa distância entre o empreendimento e a área urbana. Aumentando assim, os custos do proprietário. O quadro 2 mostra a relação entre o custo e a potência instalada para uma planta solar fotovoltaica.

Categoria de custos	Valor (\$/KW)
Material estrutural e instalação	261,95
Fornecimento de equipamentos mecânicos e instalação	1199,35
Fornecimento e instalação elétrica/controlado	449,7
Projetos indiretos	112,2
Custos EAC antes da contingência e taxa	2023,2
Contingencia e taxas	202,3
Total do projeto EAC	2225,55
Custos do proprietário	445,1
Custo total do projeto	2670,65

Quadro 2: Custos por kW instalado em usina solar fotovoltaica
Fonte: Adaptado de EIA

Os cálculos dos custos médios de geração se fazem através de um empreendimento de 20MW de potência. Essa instalação se encontra muito acima do valor necessário para a demanda solicitada (em torno de 20kW), todavia, com realização de orçamentos realizados na região, entende-se que a diferença entre a relação entre custo e potência instalada de ambos os empreendimentos é insignificante para o propósito do estudo.

A manutenção e operação de uma instalação solar fotovoltaica, incluem entre os itens significativos a manutenção periódica do inversor e lavagem periódica com água do painel. De uma maneira geral, a maioria dos operadores de instalações fotovoltaicas não consideram os custos de operação e manutenção de forma variável. O quadro 3 mostra as despesas de operação e manutenção de uma instalação solar fotovoltaica.

Valores estimados de manutenção	Valor (\$/kW)
Valores fixos de operação e manutenção	23,4
Valores variáveis de operação e manutenção	0

Quadro 3: Despesas de operação e manutenção de uma instalação solar fotovoltaica.
Fonte: Adaptado EIA.

A placa de 20kW projetada para a propriedade rural tem capacidade de geração média de 2400kWh por mês, quantia superior aos 1535,71kWh por mês que são necessários para a demanda do aviário. Entretanto, a geração solar fotovoltaica

é capaz de gerar energia apenas durante o dia, sendo necessária a compra de energia da concessionária no período da noite.

Utilizando uma escala média de 12h de geração e 12h sem geração do painel solar fotovoltaico, pode-se esperar que no período com geração, o sistema gerador é capaz de produzir 432,15kWh-mês de crédito para o proprietário do aviário, porém, para manter o aviário pelo período da noite são necessários 767,86kWh-mês.

A diferença entre os créditos gerados durante o período de geração e a demanda necessária para manter o aviário funcionando durante a noite deve ser paga à concessionária de energia. Com isso, a não geração do painel solar fotovoltaico no período da noite implica em um custo adicional, como mostra o quadro 4:

Pot. Gerador(kWh-mês)	Consumo(kWh-mês)	Diferença (kWh-mês)	Diferença (kWh-hora)	Crédito (kWh-mês)	Demanda de energia à noite (kWh-mês)	Demanda a ser paga (kWh-mês)	Valor (\$)
2400	1535,71	864,29	1,20	432,15	767,86	335,71	26,99

Quadro 4: Valor da fatura equivalente ao período de não geração do módulo solar fotovoltaico.
Fonte: Autoria própria

4.2 ENERGIA EÓLICA

As turbinas de geração de energia eólica são suportadas por uma torre de aço cônica, mais larga na base e afunilada em diâmetro logo abaixo das hélices. Para se firmar a torre no chão, faz-se necessária a construção de uma resistente fundação.

As hélices estão presas no topo da torre e com elas estão acoplados os principais componentes mecânicos da turbina eólica, que inclui gerador de velocidade variável, transmissão e o sistema de rolamento.

A figura 5 mostra um exemplo de unidade tipo torre de geração de energia eólica com potência estimada de 10kW instalado em zona rural.



Figura 5: Unidade de geração de energia elétrica.
Fonte: Mundo da Elétrica

A energia é gerada pelas turbinas eólicas e depois convertida com uso de um transformador em corrente contínua e em seguida é entregue a um sistema de coleta na base de cada turbina.

Para o sistema de controle e componentes elétricos, os custos principais se dão pela necessidade de gerador de indução e por conversores CA/CC/CA que fornecem a saída de energia elétrica trifásica com frequência de 60Hz.

Como o vento se trata de uma fonte renovável de combustível, os requisitos externos mais significativos para a construção dos custos, se dá pelo fornecimento e construção da unidade geradora, uma vez que o valor aumenta devido a região ser considerada “remota” para fins de mão-de-obra e frete dos materiais. O quadro 5 demonstra a relação entre o custo e a potência instalada para um sistema eólico gerador de energia elétrica.

Categoria de custos	Valor (\$/KW)
Material estrutural e instalação	196,9
Fornecimento de equipamentos mecânicos e instalação	1229,24
Fornecimento e instalação elétrica/controlado	154,5
Projetos indiretos	64,8
Custos EAC antes da contingência e taxa	1645,44
Contingencia e taxas	125
Total do projeto EAC	1770,44
Custos do proprietário	106,23
Custo total do projeto	1876,67

Quadro 5: Relação entre custo e potência instalada em uma unidade eólica.
Fonte: Adaptado EIA.

Os cálculos são baseados em dados para uma usina com capacidade de 100MW de geração, distribuídos entre 56 unidades geradoras de 1.79MW. Entretanto, ao fazer a análise de uma única unidade geradora, com capacidade bem inferior de instalação, conclui-se que a diferença entre o preço estimado por kW para ambos os casos apresenta diferenças insignificantes para o propósito do estudo.

Para a demanda prevista, calcula-se em média uma unidade geradora com 10kW de potência instalada. Tal unidade é capaz de produzir em média 2800kWh de energia por mês, quantidade suficiente para suprir a demanda do aviário. Modelos com essa capacidade possuem em geral pás das hélices com comprimento aproximado de 8m.

Para os custos de operação e manutenção para uma instalação eólica incluem troca da caixa de engrenagem e reparo ou substituição da tecnologia de conversão elétrica. Tais dispositivos necessitam de cuidados e geralmente passam por grandes manutenções a cada 5 ou 7 anos.

Nas recentes experiências de operadores de instalações eólicas, os custos de manutenção e operação de uma unidade geradora não são considerados variáveis, e a relação entre essas despesas por kW instalado é mostrada no quadro 6.

Valores estimados de manutenção	Valor (\$/kW)
Valores fixos de operação e manutenção	39,7
Valores variáveis de operação e manutenção	0

Quadro 6: Valores para operação e manutenção de uma unidade eólica
Fonte: Adaptado EIA.

Como não são queimados nenhum tipo de combustível para a geração de energia elétrica, as emissões atmosféricas dessa forma de geração não são consideradas. Entretanto, um fator que deve ser considerado em unidades eólicas geradoras de energia elétrica é a questão do ruído emitido pelas turbinas.

De acordo com a (NBR 10151) – norma utilizada para avaliação da paisagem sonora de acordo com o zoneamento – em zonas rurais, a pressão acústica ambiente não deve ultrapassar 40dB durante o dia e 35dB durante a noite. Tal norma dificilmente é atendida na presença de um aerogerador nas imediações.

Para valorar o ruído causado por uma usina eólica, utiliza-se do parâmetro utilizado pelo ministério público federal ao multar uma usina termelétrica por poluição sonora. No caso julgado pelo ministério público federal, uma usina com capacidade instalada de 720MW foi multada por poluição sonora no valor de 15,5 milhões de reais.

Levando esse caso em questão, a multa aplicada foi de aproximadamente R\$21,53 por kW de potência instalada. Neste caso, para uma usina de 10kW a multa aplicada pelo ministério público federal deve ser de R\$215,30 que na cotação atual representa \$47,83 como mostra o quadro 7.

Pot. Instalada do gerador (kW)	Multa aplicada (\$/kW)	Total da multa (\$)
10	4,78	47,83

Quadro 7: Multa equivalente aplicada a unidade geradora de 10kW por poluição sonora.
Fonte: Autoria própria

4.3 MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA

Para o aproveitamento da energia hídrica em uma propriedade rural na região Sudoeste do Paraná, se faz suficiente a instalação de uma micro central hidrelétrica (MCH), que de acordo com a resolução da ANEEL 394, de 04/12/98 é caracterizada por uma potência instalada menor que 100kW.

As MCHs têm seu funcionamento semelhante às PCHs, todavia com uma capacidade inferior de geração e com menos questões burocráticas e empecilhos para a instalação – sobretudo com na questão ambiental. Geralmente são construídas com pequenas quedas d'água (inferiores a 50m) e utilizam do sistema a fio d'água, para que seja possível mover a turbina que será responsável pelo funcionamento do gerador de energia elétrica. A figura 6 apresenta um exemplo de micro central hidrelétrica construída no parque Barigui.



Figura 6: Micro Central Hidrelétrica construída no parque Barigui.
Fonte: Bem Paraná

Dentre os principais custos pré-operação de uma MCH, compreendem-se as obras civis (incluindo mão-de-obra e aditivos para áreas remotas) e as taxas de licenciamentos ambientais, tais como obras para tomada d'água, construção da casa de força e recuperação das áreas degradadas.

Vale ressaltar que a parte hidromecânica de uma MCH apresenta também custos considerados elevados, uma vez que a turbina e tubulações necessitam ser produzidas com aço inoxidável, com boa capacidade de resistência à ferrugem.

Pensando nas instalações elétricas e controle, os principais investimentos se dão pela aquisição do gerador, uma vez que é a principal ferramenta na transformação de energia mecânica das turbinas em energia elétrica e pelo sistema de controle PID, capaz de garantir controle na vazão da turbina, obtendo o máximo rendimento e a melhor qualidade de energia gerada. O quadro 8 demonstra a relação entre o custo e a potência instalada para uma micro central hidrelétrica.

Categoria de custos	Valor (\$/KW)
Material estrutural e instalação	205,10
Fornecimento de equipamentos mecânicos e instalação	1280,46
Fornecimento e instalação elétrica/controle	160,94
Projetos indiretos	67,50
Custos EAC antes da contingência e taxa	1714,00
Contingencia e taxas	130,21
Total do projeto EAC	1844,21
Custos do proprietário	110,66
Custo total do projeto	1954,86

Quadro 8: Relação entre custo e potência de uma MCH.

Fonte: Autoria própria.

Os valores listados na relação entre custo e potência de uma MCH foram levantados de acordo com gastos descritos pelo proprietário de uma unidade geradora na cidade de Francisco Beltrão – PR, situada nas imediações de um camping denominado Recanto do Dario e construída com recursos próprios do proprietário do camping.

Enquanto aos custos de operação e manutenção de uma MCH, existe a necessidade de manutenção periódica dos componentes hidromecânicos e eventualmente troca de alguns componentes elétricos, resultando em custos considerados fixos de manutenção e operação são listados no quadro 9.

Valores estimados de operação e manutenção em MCH	Valor (\$/kW)
Valores fixos de operação manutenção	117,59
Valores variáveis de operação e manutenção	0

Quadro 9: Valores estimados de operação e manutenção em uma MCH.
Fonte: Autoria própria

Enquanto à questão ambiental, uma MCH não opera com emissão e gases do efeito estufa, e os órgãos ambientais se certificam de que a área depredada para a construção da unidade seja recuperada, não ocasionando em impactos ambientais significativos.

Analisando a questão de ruído e poluição sonora, uma MCH é construída em leito de rio, onde raramente existem residências próximas, e mesmo que existam, a casa de força onde se encontram a turbina e gerador apresentam bom isolamento acústico, não implicando em danos à população vizinha.

Em contrapartida, um problema a ser considerado em uma MCH trata-se de períodos de estiagem, em casos onde o leito do rio é comprometido a ponto de não ter vazão suficiente para mover a turbina. Em unidades a fio d'água esse tipo de problema não ocorre com frequência, mas trata-se de um risco evidente.

Analisando a média histórica de estiagem, do Instituto das Águas do Paraná, que aborda os anos de 1976 até 2005, pode-se encontrar problemas com estiagem capazes de afetar a geração de eletricidade na região sudoeste do Paraná apenas no mês de março.

Levando em consideração esses dados e estimando um percentual de produção de 20% no mês de março, estima-se que o custo relacionado com a não geração de energia elétrica em uma MCH pode ser descrito conforme o quadro 10.

Pot. Gerador(kWh-mês)	Consumo(kWh-mês)	Pot. gerada com 20% da capacidade (kWh-mês)	Total a ser pago a concessionária (kWh-mês)	Valor (\$)
1800	1535,71	360	1175,71	107,48

Quadro 10: Valor a ser pago à concessionária quando a geração de uma MCH atinge 20% da capacidade mensal. Fonte: autoria própria

O valor a ser pago à concessionária quando a geração de uma MCH atinge 20% da capacidade mensal é calculado levando em consideração os dados de demanda do aviário, as tarifas da concessionária COPEL e a cotação do dólar.

4.4 BIOMASSA

A instalação de biomassa para a geração de eletricidade considerada na aplicação do aviário utiliza madeira como combustível, com umidade máxima de 50%. O mecanismo de biomassa consiste em uma caldeira de leito fluidizado borbulhante, que fluirá para uma turbina a vapor.

O vapor que sai da turbina a vapor será condensado para água em um condensador de superfície concha e tubo e a água resultante será depositada em um reservatório pré-aquecido pelo calor residual e posteriormente terá sua pressão aumentada através de uma caldeira elétrica para aproximadamente 1800 psi.

Depois de sair da bomba de alimentação da caldeira, a água fluirá através de mais dois aquecedores e posteriormente voltará ao reservatório de combustão onde será novamente convertida em vapor e o ciclo será repetido. A figura 7 apresenta um modelo de gerador de energia elétrica que utiliza queima de biomassa:



Figura 7: Gerador de energia elétrica por queima de biomassa.
Fonte: Fimaco.

Todos os reservatórios, caldeiras e condensador compõem os aspectos mais significativos para os gastos com equipamentos mecânicos e instalações, uma vez que são itens essenciais e necessitam de reforço extra para suportarem a temperatura e pressão a qual são submetidos.

A instalação de uma unidade geradora através da queima de biomassa possui um gerador elétrico movido através de uma turbina de vapor e os gastos com as instalações elétricas tem como principal investimento a aquisição desse gerador. Também são levados em conta disjuntores de proteção e o conjunto de manobra, quando necessária a conexão com a rede.

Para o sistema de controle, é utilizado um sistema de controle distribuído, que fornece controle centralizado de instalação, integrando os sistemas de controle fornecidos pela turbina a vapor e o gerador elétrico associado. O quadro 11 demonstra a relação entre o custo e a potência instalada em uma unidade geradora através da queima de biomassa:

Categoria de custos	Valor (\$/KW)
Material estrutural e instalação	306,98
Fornecimento de equipamentos mecânicos e instalação	2019,84
Fornecimento e instalação elétrica/controlado	457,94
Projetos indiretos	991,96
Custos EAC antes da contingência e taxa	3776,72
Contingencia e taxas	377,68
Total do projeto EAC	4154,40
Custos do proprietário	830,88
Custo total do projeto	4985,28

Quadro 11: Relação entre custo e potência instalada de uma unidade geradora de eletricidade através da queima de biomassa. Fonte: Adaptado EIA

Os custos listados e os estudos foram realizados baseados em uma unidade geradora com capacidade de 50MW instalados, todavia, para fins didáticos, os valores da relação \$/kW são proporcionais para uma unidade geradora menor, com capacidade suficiente para a demanda do aviário.

Analisando os custos para manutenção de um sistema gerador de eletricidade através da queima de biomassa, estima-se que os principais custos estão relacionados com manutenção da turbina a vapor e do gerador elétrico, principalmente pelas condições de temperatura e pressão as quais estão submetidos. Tipicamente, faz-se necessária uma revisão em períodos que variam de 6 a 8 anos.

Enquanto aos custos de operação são variáveis e estão relacionados exclusivamente com a compra de combustível para a alimentação da caldeira. Vale ressaltar que muito dificilmente a propriedade rural terá lenha suficiente para a abastecer a caldeira em tempo integral, por isso, faz-se necessária a compra da lenha.

O quadro 12 mostra os custos de operação e manutenção de uma unidade geradora de eletricidade através da queima de biomassa.

Valores estimados de operação e manutenção	Valor (\$/kW)
Valores fixos de operação e manutenção	110,00
Valores variáveis de operação e manutenção	0,42

Quadro 12: Custos de operação e manutenção de uma unidade geradora de eletricidade através da queima de biomassa. Fonte: Adaptado EIA.

A unidade geradora de eletricidade através da biomassa utiliza a combustão do leito fluidizado borbulhante com o propósito de controlar a emissão de gases do efeito estufa, além disso, a escolha da lenha se dá pelo baixo teor de enxofre liberado na combustão.

Todo o sistema gerador é feito com material reforçado e isolado, com o intuito de controlar a emissão de ruídos e não encontramos prejuízos com a questão do não funcionamento da unidade geradora, uma vez que sempre que houver matéria prima, ela estará operando.

Dessa forma, toda a questão ambiental se resume nas emissões de gases do efeito estufa que não é neutralizada pelo leito fluidizado borbulhante, como mostra o quadro 13:

Emissão de gases	Quantidade (ton/mês)	Valor (\$)
NOx	0,453	43,91
SO2	0	0
CO2	1,1	47,3

Quadro 13: Emissão de gases do efeito estufa ocorridos pela geração de eletricidade através da queima de biomassa. Fonte: Adaptado EIA

4.5 GERADOR DIESEL

Um gerador diesel de eletricidade funciona com o princípio básico de operação de um motor de combustão. O ar dentro do gerador é puxado até ser comprimido, para em seguida ser injetado o diesel. Tal combinação gera calor suficiente para o combustível entrar em combustão e fazer o gerador funcionar. A partir desse processo, é transformada a energia necessária para abastecer as cargas alimentadas pelo gerador. A figura 8 apresenta um gerador diesel comumente comercializado:



Figura 8: Gerador diesel de 15kW comercializado.
Fonte: Buffalo.

Os custos relacionados com a parte elétrica para instalação de um gerador a diesel se dão através da aquisição do gerador, do sistema de proteção, do cabeamento e do sistema de manobra, em caso de ligação com a rede.

Para um melhor funcionamento de um gerador diesel, sugere-se que a instalação se dê em um ambiente construído especialmente para sua alocação. Esse ambiente deve ser grande o bastante para proporcionar boa ventilação e facilitar eventuais trabalhos de reparos em torno do gerador. Com isso, a relação entre custos e potência instalada de um gerador diesel podem ser descritos conforme o quadro 14.

Categoria de custos	Valor (\$/KW)
Material estrutural e instalação	9,08
Fornecimento de equipamentos mecânicos e instalação	14,73
Fornecimento e instalação elétrica/controlado	205,97
Projetos indiretos	2,17
Custos EAC antes da contingência e taxa	231,95
Contingência e taxas	5,07
Total do projeto EAC	237,02
Custos do proprietário	39,96
Custo total do projeto	276,98

Quadro 14: Relação entre custo e potência de um gerador diesel de energia elétrica.
Fonte: Autoria Própria

Enquanto aos custos de operação e manutenção de um gerador diesel, estima-se que sejam bastante elevados em relação às demais fontes de energia propostas.

Por se tratar de equipamento que trabalha com combustão e condições de pressão e temperatura bastante elevadas, a vida útil dos seus componentes é bastante reduzida, solicitando manutenção preventiva diária, troca de óleo e filtros a cada 6 meses e a substituição de componentes (como correia) em período de 1 ano.

Analisando os custos considerados variáveis (que estão intimamente ligados a quantidade de energia produzida), percebe-se que estes se tornam bastante relevantes na formação dos custos da unidade geradora, uma vez que para produzir energia elétrica consome-se diesel como combustível. O quadro 15 mostra os custos de operação e manutenção de um gerador diesel.

Valores estimados de operação e manutenção	Valor (\$/kW)
Valores fixos de operação e manutenção	17,50
Valores variáveis de operação e manutenção	1590,72

Quadro 15: Custos de operação e manutenção de um gerador diesel.
Fonte: Autoria Própria

Considerando que se trata de uma fonte de energia que opera 24 horas por dia enquanto estiver sendo abastecida pelo combustível, define-se que não

existem custos de não operação para um gerador diesel, uma vez que as paradas para pausa de manutenção já estão previstas e se encontram nos custos de operação e manutenção.

Enquanto a produção de ruído, os geradores mais modernos contam com sistemas de isolamento acústico do sistema, com o propósito de não ultrapassar os limites legislados de poluição sonora. Outro fator que leva o ruído a ser menos significativo é o fato de a instalação se dar em um ambiente exclusivo para o gerador, tendo paredes que ajudam a abafar os ruídos.

Mesmo com todas as tecnologias e filtros utilizados na geração de energia elétrica através de um gerador diesel, um problema que ainda atinge esse tipo de geração é a emissão de gases do efeito estufa, sobretudo em equipamentos sem a manutenção adequada. Os geradores diesel apresentam emissão de gases do efeito estufa conforme o quadro 16.

Emissão de gases	Quantidade (ton/mês)	Valor (\$)
NOx	0,171	16,59
SO2	0,006	0,822
CO2	0,66	28,38

Quadro 16: Emissão de gases do efeito estufa gerados por um gerador diesel.
Fonte: Autoria própria

5. FUNÇÃO CUSTO E POTÊNCIA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A função custo e potência levada em consideração para este trabalho de conclusão de curso tem o formato da equação característica para a resolução da metodologia de despacho econômico de geradores, como indica a equação 14:

$$F = a + bP + \frac{1}{2}cP^2 \quad (14)$$

Não foi identificada na literatura uma norma a ser seguida ao se abordar questões relacionada a funções de custo, sobretudo pelo fato de cada caso apresentar fatores próprios e únicos quanto ao grau de relevância.

Nesta dissertação utiliza-se uma metodologia considerada coerente para o propósito, onde são levadas em consideração as seguintes definições para os coeficientes da equação:

a: relacionado ao custo de instalação antes do funcionamento da unidade geradora, não dependente da quantidade de energia produzida.

b: proporcional a quantidade de energia produzida pela unidade geradora, onde leva-se em consideração custos com operação e manutenção.

c: coeficiente relacionado com custos dos impactos ambientais e custos de não operação da unidade geradora. Utiliza-se como parâmetros: emissão de gases do efeito estufa, emissão de ruído e não operação da unidade geradora.

5.1 ENERGIA SOLAR

Ao gerar a função custo para a geração de energia solar, temos que para o coeficiente *a* o valor equivalente é o custo inicial por kW instalado para a instalação de um gerador solar, ou seja, $a = 2670,65$. Enquanto que para o coeficiente *b* tem-se o valor representado pela soma dos custos de operação e manutenção por kW em um gerador que utiliza fonte solar, logo, $b = 23,4$. Enquanto que o coeficiente *c* é representado pelos custos de não geração nos períodos noturnos e de menor geração em dias nublados, por isso, $c = 26,99$.

Aplicando tais coeficientes em formato conforme a equação (14), temos que para um gerador solar de energia elétrica, a função custo com os parâmetros estabelecidos adquire os valores apresentados na equação (15):

$$F_{solar} = 2670,65 + 23,4P + 13,50P^2 \quad (15)$$

5.2 ENERGIA EÓLICA

Trabalhando para formar a função custo para geração de energia eólica, temos que o coeficiente a é representado pelo custo inicial de instalação de um gerador eólico, $a = 1876,67$. O coeficiente b recebe o valor dos custos de operação e manutenção de um gerador eólico, ou seja, $b = 39,7$. Enquanto que para o coeficiente c temos os custos relacionados com os impactos ambientais da geração eólica, neste caso, se delimitando aos efeitos de poluição sonora e diluindo o valor de uma multa aplicada para essa situação nos doze meses do ano, obtêm-se que $c = 3,98$.

Considerando tais coeficientes aplicados na equação (14), obtemos a função custo para uma fonte geradora de energia elétrica que utiliza fonte eólica. Tal função pode ser vista na equação (16):

$$F_{eólica} = 1876,67 + 39,7P + 1,99P^2 \quad (16)$$

5.3 MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA

Ao formar a função custo de uma micro central hidrelétrica de geração de energia elétrica, encontramos que o coeficiente a , relacionado com os custos iniciais para gerar energia através deste tipo de usina, tem valor $a = 1954,86$. Considerando os custos de operação e manutenção, obtemos o coeficiente b , que tem seu valor encontrado e atribuído por $b = 117,59$. Enquanto ao coeficiente c em uma central que utiliza energia hídrica para geração de eletricidade, considera-se o impacto de não geração de energia elétrica em meses de estiagem. Considerando o mês de março que, historicamente, apresenta volumes hídricos de 20%, o coeficiente c recebe o valor de 107,48.

Aplicando os coeficientes selecionados na equação (14), obtemos a função custo em uma micro central hidrelétrica, que pode ser descrito conforme a equação (17):

$$F_{hidro} = 1954,86 + 117,59P + 53,74P^2 \quad (17)$$

5.4 BIOMASSA

No processo de formação da função custo para um gerador que utiliza biomassa para geração de energia elétrica, temos que o coeficiente a apresenta valor relacionado ao custo inicial para instalação do gerador, ou seja, $a = 4985,28$. Para o coeficiente b temos a soma dos valores fixos e variáveis para o funcionamento do gerador, obtendo assim $b = 110,42$. Enquanto que para o coeficiente c encontram-se os valores relacionados à emissão de gases do efeito estufa, resultando em $c = 91,22$.

Aplicando os coeficientes na equação (14) chega-se ao resultado da função custo para um gerador que utiliza queima de biomassa para geração de energia elétrica, conforme equação (17):

$$F_{biomassa} = 4985,28 + 110,42P + 45,61P^2 \quad (18)$$

5.5 GERADOR DIESEL

No processo de formação da função custo de um gerador diesel, tem-se que o coeficiente a , que apresenta valor relacionado com o custo inicial de instalação de um gerador diesel, com isso, $a = 276,98$. Para o coeficiente relacionado com os custos fixos e variáveis para operação e manutenção de um gerador diesel obtém-se $b = 1608,22$ e para o coeficiente c , que se está ligado à emissão de gases do efeito estufa encontra-se o valor de 45,8.

Com isso, aplicando os coeficientes na equação (14), temos a função custo para um gerador a diesel de energia elétrica, que se apresenta conforme a equação (18):

$$F_{diesel} = 276,98 + 1608,22P + 22,90P^2 \quad (19)$$

6. MÉTODO DE ESCOLHA DE FONTES PARA A DEMANDA DE UM AVIÁRIO

Para a aplicação do método proposto para escolha de fontes geradoras, considera-se inicialmente que não existem percas de linhas de transmissão para o caso, uma vez que a distancia entre a unidade geradora de energia elétrica e a entrada de energia da unidade consumidora do aviário não deve causar percas que impactem na escolha da melhor fonte de geração.

O primeiro passo para a aplicação do método de escolha de fontes é encontrar a potência necessária para ser utilizada como base de potência instantânea a ser suprida pelos geradores. Para isso, utiliza-se a média de consumo mensal da propriedade em estudo e divide-se pelo número de horas mensais, tendo assim:

$$P_d = \frac{1535,71}{730} = 2,1027kW \quad (20)$$

$$P_d - P_1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 = 0 \quad (21)$$

Tendo a potência que será utilizada como base de cálculo resolvida, é necessário obter as equações para custo de geração de cada uma das fontes que serão utilizadas no estudo, que são descritas conforme as equações 15,16,17,18 e 19.

$$F_{solar} = 2670,65 + 23,4P + 13,50P^2 = P_1$$

$$F_{eólica} = 1876,67 + 39,7P + 1,99P^2 = P_2$$

$$F_{hidro} = 1954,86 + 117,59P + 53,74P^2 = P_3$$

$$F_{biomassa} = 4985,28 + 110,42P + 45,61P^2 = P_4$$

$$F_{diesel} = 276,98 + 1608,22P + 22,90P^2 = P_5$$

Com as funções custo, deve-se aplicar a equação (6) para encontrar a lagrangeana de cada uma das equações que prescrevem os custos de geração das fontes de energia que foram escolhidas para estudo, tendo assim:

$$\frac{dL}{dP1} = 23,4 + 27P1 - \lambda = 0 \rightarrow 27P1 - \lambda = -23,4$$

$$\frac{dL}{dP2} = 39,9 + 3,98P2 - \lambda = 0 \rightarrow 3,98P2 - \lambda = -39,9$$

$$\frac{dL}{dP3} = 117,59 + 107,48P3 - \lambda = 0 \rightarrow 107,48P3 - \lambda = -117,59$$

$$\frac{dL}{dP4} = 110,42 + 91,22P4 - \lambda = 0 \rightarrow 91,22P4 - \lambda = -110,42$$

$$\frac{dL}{dP5} = 1608,22 + 45,8P5 - \lambda = 0 \rightarrow 45,8P5 - \lambda = -1608,22$$

$$\frac{dL}{d\lambda} = 2,1027 - P1 - P2 - P3 - P4 - P5 \rightarrow P1 + P2 + P3 + P4 + P5 = 2,1027$$

Montando uma matriz com as equações tem-se que:

$$\begin{pmatrix} 27 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 3,98 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 107,48 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 91,22 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 45,8 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \\ P5 \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -23,4 \\ -39,7 \\ -111,69 \\ -110,42 \\ -1608,22 \\ -2,1027 \end{pmatrix}$$

E resolvendo o sistema matricial encontra-se a parcela de potência que deve ser atribuída a cada fonte geradora:

$$P1 = 4,779KW$$

$$P2 = 28,325KW$$

$$P3 = 0,324KW$$

$$P4 = 0,461KW$$

$$P5 = -31,786KW$$

$$\lambda = 152,43 \$/KW$$

Com os valores de potência e de λ podemos encontrar o custo de geração de cada fonte geradora, conforme descrito nas equações a seguir:

$$C1 = 3090,80\$$$

$$C2 = 2200,86\$$$

$$C3 = 1998,60\$$$

$$C4 = 5045,60\$$$

$$C5 = -27704,90\$$$

Observando os valores encontrados com a solução do método proposto de escolha de fontes, pode-se perceber que estes valores divergem bastante se comparados com casos onde são analisados geradores de uma mesma fonte geradora, como por exemplo, usinas termelétricas.

Quando tais valores são utilizados com o propósito de escolher apenas uma fonte de geração de energia, apresenta valores que destacam a fonte a ser escolhida, que se trata da fonte com maior potência resultante na solução do sistema de equações. Pela diferença das características e das funções de custos dessas fontes geradoras, os resultados encontrados extrapolam matematicamente os valores considerados para a demanda da propriedade, porém os resultados nos mostram com clareza a composição de geração a ser adotada pela propriedade. Desta forma, a fonte a ser escolhida deveria ser por ordem cronológica: eólica, solar, biomassa, hidroelétrica e por último geração à diesel.

Tendo o método aplicado, deve-se levar em consideração em que os geradores de energia não serão despachados de acordo com os resultados encontrados. Apenas utiliza-se do método conhecido como uma forma a auxiliar e definir a parcela de geração que deve ser aplicada para cada fonte, e com este resultado, poder selecionar uma ou mais fontes alternativas para gerar a energia demandada pela propriedade.

7. CONCLUSÃO

O presente trabalho de conclusão de curso teve por objetivo trazer uma forma alternativa, utilizando o método proposto, para encontrar a composição da geração em uma unidade consumidora, considerando diferentes fontes de geração de energia em um contexto aplicado para uma propriedade rural especializada na criação de frangos na região Sudoeste do Paraná.

Para a aplicação do método, teve-se por necessário a construção das funções custo para cada uma das fontes de geração abordadas: solar, eólica, hidroelétrica, biomassa e diesel. Tal formulação leva em consideração um coeficiente que considera valores de implementação, um coeficiente que considera custos variáveis de produção e outro coeficiente que considera valores relacionados aos custos de falta de geração, poluição sonora e emissão de gases do efeito estufa.

Tendo as equações que representam a função custo de cada fonte utilizada, aplica-se o método de despacho econômico de geradores, que normalmente é aplicado para casos considerando usinas termelétricas, não sendo muito usual sua aplicação para fontes alternativas e renováveis de geração de energia. Por considerar fontes diferentes de geração de energia, que apresentam funções custo com características muito diferentes, era esperado que os valores extrapolassem matematicamente os resultados. Porém, essa extrapolação não impede uma leitura e interpretação dos resultados.

Interpretando os resultados obtidos com a aplicação do método proposto para a escolha dos geradores conclui-se que, para um produtor rural da região Sudoeste do Paraná, com o perfil de consumo de um avicultor que utiliza aviário modelo Dark House, a melhor alternativa para a geração de energia elétrica é a utilização de um gerador eólico. Esta alternativa se mostra confirmada ao analisar-se somente a função custo dessa fonte geradora, que apresenta baixos custos de manutenção e impactos ambientais, quando comparadas com as demais fontes envidas no estudo.

É importante ressaltar que a análise realizada para a determinação dos custos e de suas respectivas funções custo de geração utiliza modelos genéricos das unidades geradoras e, portanto, ao analisar-se plantas com diferentes tamanhos

e características construtivas os resultados encontrados podem e devem ser diferentes.

Outra característica do trabalho que deve ser levada em conta é o tipo de demanda e o local de implantação das unidades geradoras. Se levarmos diferentes tamanhos e tipos de cargas (seja residencial, industrial ou comercial) e diferentes locais de instalação, as características de função de custo se alterarão, encontrando resultados específicos para cada ponto de análise.

Finalmente, como sugestão de trabalhos futuros, a formulação de novas funções custo, contemplando novas fontes de geração de energia com o intuito de comparar e definir a alternativa mais adequada de geração de energia, considerando uma gama maior de possibilidades. Adicionalmente, pode-se encontrar novas funções custo das mesmas fontes de energia citadas neste trabalho, considerando uma atualização de câmbio e valores envolvidos. Por fim, pode-se considerar estes resultados como passo inicial para uma análise mais profunda no que se diz ao método de despacho de geradores, utilizando de outra metodologia para solução e/ou considerando perdas na linha de transmissão.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 10151 2019.

TARIFA HORÁRIA BRANCA - subgrupo B2 - Rural - COPEL

ADMINISTRATION, E.-E. I. **Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants**, EIA, 2016.

Aumento da energia elétrica para avicultores passa de 67% no Paraná.

Disponível em: <https://www-canalrural-com-br.cdn.ampproject.org/v/s/www.canalrural.com.br/noticias/aumento-energia-eletrica-para-avicultores-passa-parana-56977/amp/?uol=1&_js_v=0.1&usqp=mq331AQCKAE=#aoh=15720123585555&referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com&_tf=Font>. Acesso em: 19 jan. 2020.

BETTONI, LUCAS. GAPSKI, ANDERSON LUIS. YONAMINI. **Viabilidade de geração distribuída em uma academia de natação utilizando célula fotovoltaica**, 2015.

COLODETTI, É. **A Função Custo Como Instrumento de Tomada de Decisão**, 2014.

ELETROVENTO. **Gerador Eólico 10kW**. Disponível em: <<http://www.eletrovento.com.br/produto/modelo-elv-h8-0-10-kw/11/>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

ENERGIA, C. **Formação de custos e preços de geração e transmissão de energia elétrica**, 2015.

Empresa de Pesquisa Energética. **Planejamento Energético e a EPE**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/planejamento-energetico-e-a-epe>>. Acesso em: 2 fev. 2020.

FREITAS, F. D. Otimização de Despacho Econômico. In: **Análise de Sistemas de Potência**.

MAGALHÃES, R. N. **Estimação de custos para projetos de pequenas centrais hidrelétricas**, Itajuba, Universidade Federal de Itajuba, 2009.

MAIA, A. G. **Valoração de recursos ambientais**, Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

RAUBER, C. **Custo marginal na indústria de energia elétrica brasileira**, Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

REIS. **Custos ambientais associados a geração elétrica: hidrelétricas versus termelétricas a gás natural**, Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.

SANTOS, F. F. **Utilização de energia fotovoltaica para a eficiência energética de uma moradia**, Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.