

ANA CAROLINA SALA MORENO

**AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DO USO DE
BATERIAS PARA A RACIONALIZAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA EM AVIÁRIOS DE FRANGO DE
CORTE**

CASCADEL
PARANÁ- BRASIL
FEVEREIRO- 2015

ANA CAROLINA SALA MORENO

**AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DO USO DE
BATERIAS PARA A RACIONALIZAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA EM AVIÁRIOS DE FRANGO DE
CORTE**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para a obtenção do título de Mestre.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira

COORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira

CASCADEL
PARANÁ- BRASIL
FEVEREIRO- 2015

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO (CIP)

M842a

Moreno, Ana Carolina Sala

Avaliação técnico-econômica do uso de baterias para a racionalização de energia elétrica em aviários de frango de corte./Ana Carolina Sala Moreno. Cascavel, 2015.

45 p.

Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na
Agricultura

1. Aviário. 2. Energia - Armazenamento. 3. Bateria chumbo-ácido. 4. Bateria de cloreto de níquel e sódio. I. Siqueira, Jair Antonio Cruz. II. Nogueira, Carlos Eduardo Camargo. III. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. IV. Título.

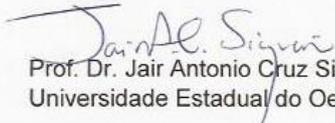
CDD 21.ed. 636.5

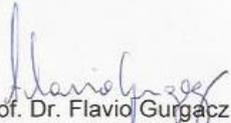
ANA CAROLINA SALA MORENO

“Avaliação Técnico-econômica do uso de baterias para a racionalização de energia elétrica em aviários de frango de corte”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador:


Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Flavio Gurgacz
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Jose Ailton Azevedo dos Santos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/Medianeira

Cascavel, 24 de fevereiro de 2014.

Dedico este trabalho aos meus familiares.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira pelas orientações na elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira pela coorientação e auxílios prestados.

À Fundação Parque Tecnológico Itaipu- Brasil pelo apoio à realização do mestrado.

Aos familiares e amigos, pela compreensão e incentivo para a conclusão do curso.

Acima de tudo, agradeço a Deus pela oportunidade da vida.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------------------------------|---|
| ABEF | Associação Brasileira de Produtores e Exportadores de Frangos |
| Ah | Ampère hora |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| COPEL | Companhia Paranaense de Energia Elétrica |
| cv | Cavalo-vapor |
| H₂O | Água |
| H₂SO₄ | Ácido sulfúrico |
| kg | Quilograma |
| kW | Quilowatt |
| kWh | Quilowatt-hora |
| LED | Diodo Emissor de Luz |
| m | Metro |
| mm | Milímetro |
| Na | Sódio |
| NaAlCl₄ | Tetracloroaluminato |
| NaCl | Cloreto de Sódio |
| Ni | Níquel |
| NiCl₂ | Cloreto de Níquel |
| °C | Graus Celsius |
| Pb | Chumbo |
| PbO₂ | Óxido de Chumbo |
| PbSO₄ | Sulfato de Chumbo |
| PR | Paraná |
| R\$ | Reais |
| SINDIAVIPAR | Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná |
| Ton | Tonelada |
| UBA | União Brasileira de Avicultura |
| V | Volt |
| Vc | Tensão da célula |

| | |
|--------------|-----------------------------|
| Vcc | Tensão de corrente contínua |
| W | Watt |
| Zn-Br | Zinco-Bromo |
| Zn-Cl | Zinco-Cloro |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|--------------------------------------|
| Figura 1: Posicionamento das tecnologias de armazenamento de energia.. | 10 |
| Figura 2: Sistema de armazenamento de energia utilizado para suprimento de horário de pico..... | Erro! Indicador não definido. |
| Figura 3: Sistema de armazenamento de energia usando baterias em um prédio comercial..... | 12 |
| Figura 4: Estrutura de uma bateria de chumbo-ácido. | 14 |
| Figura 5: Estrutura de uma célula de bateria de cloreto de níquel e sódio..... | 16 |
| Figura 6: Sistema de gerenciamento acoplado à bateria. | 17 |
| Figura 7: Banco de baterias. | 18 |
| Figura 8: Vista aérea dos aviários em estudo. | 22 |
| Figura 9: Bateria de cloreto de níquel e sódio..... | 27 |
| Figura 10: Bateria de chumbo-ácido. | 27 |
| Figura 11: Consumo total de energia ativa para os quatro aviários. | 29 |
| Figura 12: Consumo total de energia ativa: indicação por tarifa de energia (%). . | 30 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Produção Mundial de Carne de Frango em 2013..... | 4 |
| Tabela 2: Exportação Mundial de Carne de Frango em 2013..... | 5 |
| Tabela 3: Estados Exportadores de Carne de Frango em 2013 | 6 |
| Tabela 4: Empresas produtoras por região do estado | 6 |
| Tabela 5: Características das baterias | 18 |
| Tabela 6: Dimensionamento dos bancos de baterias..... | 31 |
| Tabela 7: Cálculo do VPL e TIR para o Cenário 1 | 35 |
| Tabela 8: Cálculo do VPL para Cenário 1 com TIR=12% ao ano e tarifa de energia elétrica modificada..... | 36 |
| Tabela 9: Cálculo do VPL e TIR para o Cenário 2 | 37 |
| Tabela 10: Cálculo do VPL para o Cenário 2 com TIR= 12% ao ano e tarifa de energia elétrica modificada..... | 38 |

MORENO, Ana Carolina Sala. MSc. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Fevereiro, 2015; **Avaliação técnico-econômica do uso de baterias para a racionalização de energia elétrica em aviários de frango de corte.** Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira. Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

RESUMO

A energia elétrica é um dos principais insumos utilizados na produção avícola, sendo fundamental para operar e manter os aviários de frango de corte em funcionamento. Um aviário necessita de energia elétrica para alimentar os diversos motores e dispositivos elétricos que compõem os sistemas de iluminação, exaustão, aquecimento, alimentação, entre outros. Visando dar incentivo aos produtores de frangos de corte, especificamente no estado do Paraná, em 2007, foi implantado o Programa Avicultura Noturna, no qual o governo concede descontos na tarifa de energia elétrica para avicultores no período noturno. Neste trabalho foram propostos diferentes sistemas de armazenamento de energia através da utilização de baterias de chumbo-ácido e baterias de cloreto de níquel e sódio para alimentar o conjunto de cargas de quatro aviários situados no município de Francisco Alves-PR, ao longo de um ano de alojamento de aves. Para isto foi estudada a viabilidade de utilização dos sistemas de armazenamento de energia através de banco de baterias no período de tarifa mais elevada e carregamento do banco de baterias no período de tarifa reduzida, que compreende das 21h 30 min às 6 horas (dia seguinte). Para este projeto, os dois sistemas de armazenamento propostos se mostraram inviáveis economicamente, uma vez que o investimento inicial dos bancos de baterias são muito elevados se comparados com os gastos evitados com energia elétrica através do uso destes sistemas.

PALAVRAS-CHAVES: armazenamento de energia, bateria chumbo-ácido, bateria de cloreto de níquel e sódio.

MORENO, Ana Carolina Sala. MSc. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, February, 2015; **Technical-economic evaluation of the use of batteries for electricity rationalization in poultry production.** Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira. Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

ABSTRACT

Electricity is one of the main raw materials used in poultry production and it is central to operate and maintain the poultry farms in operation. An aviary requires electricity to supply the various motors and electrical devices that are part of the lighting systems, exhausting, heating, food, among others. Aiming to provide incentives for poultry producers, specifically in the state of Paraná, in 2007, the Poultry Night Program was implemented, in which the government grants discounts in electricity tariff for poultry farmers at night. In this work it was proposed different energy storage systems by using lead-acid batteries and nickel chloride and sodium batteries for supplying loads of four poultry located in the city of Francisco Alves, PR, over a year. For this, it was studied the feasibility of using energy storage systems with battery bank in the higher tariff period and charging the battery bank in the reduced tariff period, comprising of 9:30 PM to 6:00AM (next day). For this project, the two storage systems proved to be uneconomical, since the initial investments by the battery banks are very high compared with the costs avoided with electricity through the use of these systems.

KEYWORDS: energy storage, lead-acid battery, nickel chloride and sodium battery.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Tema e problema | 2 |
| 1.2 Objetivos da pesquisa | 3 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 4 |
| 2.1 O contexto da avicultura no Brasil e no Mundo..... | 4 |
| 2.2 A avicultura no estado do Paraná | 5 |
| 2.3 A busca pela racionalização de energia elétrica em aviários | 7 |
| 2.4 Armazenamento de energia | 8 |
| 2.5 O uso de baterias na forma estacionária..... | 11 |
| 2.6 As baterias: funcionamento e características..... | 13 |
| 2.7 Avaliação econômica em projetos de racionalização de energia | 20 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 22 |
| 3.1 Material | 22 |
| 3.2 Métodos | 25 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 29 |
| 4.1 Cenário 1..... | 31 |
| 4.2 Cenário 2..... | 33 |
| 5 CONCLUSÕES | 39 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 42 |

1 INTRODUÇÃO

Segundo a ABEF (2014), em 2013 o Brasil ocupou a terceira posição mundial de produção de carne de frango, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e China. Já nas exportações, o Brasil mantém, desde 2004, a posição de maior exportador mundial, tendo terminado 2013 com aproximadamente 3,9 milhões de toneladas embarcadas para mais de cento e cinquenta países.

É notável a importância deste segmento no Brasil, principalmente quando se verifica a presença de um grande número de produtores no interior do país, destacando-se os estados das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

Neste contexto, segundo dados da ABEF (2014), o estado do Paraná representou 29,35% dos abates de frango realizados no país em 2013, ocupando a posição de maior estado exportador de carne de frango do país. Na sequência estiveram os estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal.

Sabe-se que a produção avícola requer a utilização de energia elétrica para suprimento das cargas necessárias para a operação e manutenção dos aviários, sendo que são utilizados muitos motores e dispositivos elétricos para o funcionamento dos sistemas de exaustão, resfriamento, aquecimento, nebulização, alimentação, iluminação, entre outros que compõem os aviários de criação de frangos de corte.

Segundo Calixto e Oliveira (2012), os gastos com energia elétrica representam aproximadamente 10% dos custos de produção de aves de corte.

Neste sentido, os valores dispendidos com a energia elétrica têm sido preocupação constante no segmento de produção avícola, uma vez que produtores rurais deste segmento são enquadrados, especialmente por concessionárias de energia de alguns estados do Brasil, num tipo de tarifação de energia elétrica em que, em determinados horários do dia, o valor da tarifa de energia elétrica é mais elevada.

Especificamente no estado do Paraná, em 2007, foi criado o Programa de Avicultura Noturna pelo governo do estado com a parceria da Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento e a COPEL. Este programa incentiva o aumento da produção agrícola, para avicultores e suinocultores, por meio de desconto tarifário para unidades consumidoras classificadas como rurais, atendidas em baixa tensão.

Segundo a ANEEL (2014), através deste programa os avicultores podem ter descontos na tarifa de energia elétrica utilizada na produção avícola no período noturno, que compreende das 21h 30min às 6h do dia seguinte.

Ao contrário das indústrias que, na medida do possível, procuram deslocar suas cargas para horários em que a tarifa de energia elétrica é mais reduzida, os aviários possuem demandas contínuas por energia elétrica, uma vez que, se os sistemas como o de iluminação, de ventilação, aquecimento, resfriamento e alimentação fossem interrompidos poderiam impactar no desempenho da produção avícola.

Neste contexto, os produtores rurais, em sua maioria, não utilizam outras formas de suprimento de energia elétrica senão a proveniente da concessionária de energia local.

Neste sentido, a possibilidade de utilização de baterias pode representar enorme potencial para atendimento das cargas, sejam parciais ou totais, dos aviários, especialmente nos horários de tarifa de energia elétrica mais elevada.

Este estudo permitirá avaliar aspectos técnicos e econômicos da utilização de baterias de chumbo-ácido e de cloreto de níquel e sódio para o armazenamento de energia elétrica buscando o suprimento de energia elétrica no horário de tarifa de energia elétrica mais elevada e a consequente racionalização de energia em aviários de frango de corte.

Cabe destacar que a racionalização de energia, segundo a ELETROBRAS (2015), contempla o uso eficiente da energia elétrica, o combate ao desperdício, a utilização de equipamentos e sistemas mais eficientes, contribuindo para a preservação do meio ambiente bem como para a redução de custos e investimentos.

1.1 Tema e problema

A busca por alternativas que venham a contribuir com a racionalização da energia elétrica na produção avícola tem se intensificado,

O problema a ser resolvido com a pesquisa é:

- É viável técnica e economicamente a utilização de baterias de cloreto para a racionalização de energia elétrica em aviários de frango de corte?

A utilização de baterias sinaliza uma opção para atendimento energético dos aviários, principalmente nos horários em que o valor da tarifa de energia elétrica é mais elevado, pois pode contribuir para a redução do custo final do quilograma de frango de corte.

1.2 Objetivos da pesquisa

O objetivo geral deste trabalho é pesquisar a viabilidade técnica e econômica da utilização de baterias de chumbo-ácido e de cloreto de níquel e sódio em aviários de forma a buscar a racionalização de energia elétrica. Para isso, definiram-se os seguintes objetivos específicos:

- Analisar e mensurar as curvas de consumo de energia elétrica nos aviários-objeto de estudo ao longo de um ano de alojamento de aves de corte;
- Descrever sobre a tecnologia de baterias de chumbo-ácido e baterias de cloreto de níquel e sódio comerciais passíveis de aplicação na forma estacionária;
- Dimensionar os bancos de baterias para os aviários-objeto de estudo;
- Avaliar os aspectos econômicos relacionados à utilização de cada tecnologia de bateria proposta.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O contexto da avicultura no Brasil e no Mundo

Segundo Giroto e Avila (2003), o desenvolvimento da avicultura no Brasil ocorreu a partir do final da década de 50, nos estados do Sudeste, principalmente, em São Paulo. Posteriormente, na década de 70, período em que houve profunda reorganização do complexo de carnes no Brasil, a atividade se deslocou para a região Sul.

Desde então, a produção de aves no Brasil vem aumentando consideravelmente. Segundo a ABEF (2014), no Brasil, os números da produção de carne de frango fecharam em 12,3 milhões de toneladas, o que representa um crescimento de 6,8% em relação a 2010.

O relatório anual da ABEF (2014) indica que Brasil ocupou, em 2013, a terceira posição na produção mundial de carne de frango, conforme pode ser observado na tabela 1.

Tabela 1: Produção Mundial de Carne de Frango em 2013

| País | Produção de frango (mil ton) |
|----------------|------------------------------|
| Estados Unidos | 16.958 |
| China | 13.500 |
| Brasil | 12.308 |
| União Européia | 9.750 |
| Índica | 3.420 |
| Outros | 28.242 |
| Total | 82.178 |

Fonte: ABEF, 2014.

No mesmo ano, o Brasil ocupou a posição de maior exportador de carne de frango do mundo, seguidos dos Estados Unidos, União Européia, Tailândia, China e outros países. Estes dados podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2: Exportação Mundial de Carne de Frango em 2013

| País | Produção de frango (mil ton) |
|----------------|-------------------------------------|
| Brasil | 3.918 |
| Estados Unidos | 3.354 |
| União Européia | 1.095 |
| Tailândia | 540 |
| China | 415 |
| Outros | 1.409 |
| Total | 10.704 |

Fonte: ABEF, 2014.

Segundo a ABEF (2014) o setor avícola responde por 3,6 milhões de empregos diretos e indiretos, sendo que mais de 300 mil pessoas estão empregadas nas agroindústrias. Representa também a principal atividade econômica em diversas regiões brasileiras.

Isto pode ser verificado ao observar os dados das exportações por estado do Brasil, em 2013, conforme tabela 3. Neste sentido, cabe destaque o estado do Paraná por ser o maior exportador de carne de frango, seguido dos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal.

2.2 A avicultura no estado do Paraná

Conforme apresentado, o Paraná é o maior produtor de ave de corte do Brasil. Segundo anuário da avicultura paranaense de 2014 elaborado pelo SINDIAVIPAR, desde 2009 o Paraná vem mantendo esta posição no ranking nacional.

Cerca de 35 abatedouros de aves e 8 incubatórios estão instalados no estado do Paraná, distribuídos nas diversas regiões do estado, conforme tabela 4.

Segundo o Sindiavipar (2014) os principais destinos da carne de frango produzida no Paraná são: Arábia Saudita, Emirados Árabes, Hong Kong, Japão e China. Ainda, aproximadamente 49% da carne de frango são produtos de corte de frangos e 43% correspondem a frangos inteiros.

Tabela 3: Estados Exportadores de Carne de Frango em 2013

| Estado | Tonelada | % |
|--------------------|------------------|------------|
| Paraná | 1.142.235 | 29,35 |
| Santa Catarina | 936.849 | 24,07 |
| Rio Grande do Sul | 711.318 | 18,28 |
| São Paulo | 246.159 | 6,33 |
| Goiás | 217.220 | 5,58 |
| Mato Grosso | 214.552 | 5,51 |
| Minas Gerais | 185.849 | 4,78 |
| Mato Grosso do Sul | 149.050 | 3,83 |
| Distrito Federal | 73.132 | 1,88 |
| Outros | 15.356 | 0,39 |
| Total | 3.891.721 | 100 |

Fonte: ABEF, 2014.

Tabela 4: Empresas produtoras por região do estado

| Região | Abatedouros | Incubatórios | Produção de frango (cabeças) | % |
|---------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------------|------------|
| Noroeste | 5 | 0 | 125.295.939 | 9 |
| Norte Central | 11 | 1 | 292.601.241 | 20 |
| Norte Pioneiro | 2 | 0 | 88.046.819 | 6 |
| Oeste | 8 | 1 | 476.650.637 | 33 |
| Centro Ocidental | 2 | 0 | 46.930.979 | 0 |
| Centro Oriental | 1 | 1 | 73.636.908 | 5 |
| Sudoeste | 4 | 5 | 315.079.568 | 22 |
| Centro Sul | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sudeste | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Metropolitana de Curitiba | 2 | 0 | 45.248.199 | 3 |
| Total | 35 | 8 | 1.463.490.290 | 100 |

Fonte: SINDIAVIPAR, 2014.

É de se notar que a região oeste do Paraná contribui com 33% da produção de aves de corte do estado, estando, na sequência a região sudoeste do estado e a região norte central.

Visando proporcionar a minimização de custos e incremento da produção e exportação da carne de frango e suína no Estado do Paraná, o governo criou em

2007 o Programa Avicultura Noturna, implementado por meio de cooperação técnica entre a Copel Distribuição e a Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, o qual tem por objetivo incentivar os avicultores paranaenses, cadastrados como consumidores rurais do Grupo B, a utilizar a energia elétrica no período compreendido entre 21h e 30min e 6h do dia seguinte, mediante desconto de 60% na tarifa.

Cabe destacar que a tarifação do Programa de Avicultura Noturna se difere daquela utilizada na indústria, em que os valores são diferenciados conforme o horário do dia, no horário de ponta ou fora de ponta. Nestes casos, a COPEL (2015) define que horário de ponta ou também conhecido por horário de pico é o período composto por três horas diárias consecutivas durante o qual o consumo de energia elétrica tende a ser mais elevado. Para fins de aplicação desta tarifa consideram-se os dias da semana de segunda a sexta-feira, e o período das 18h às 21h. No horário de verão o período se altera para 19h às 22h.

2.3 A busca pela racionalização de energia elétrica em aviários

Segundo Maronezi (2011) a avicultura é altamente dependente de recursos naturais como água e solo e insumos, principalmente ração e energia elétrica. Neste sentido, o uso racional destes irá proporcionar uma longevidade produtiva à criação e vantagens econômicas a serem refletidas no custo de produção.

Segundo Baldin (2013), a atividade avícola requer a utilização intensiva de tecnologias, implicando em grande consumo de energia nos processos para se obter o produto final: a carne de frango.

Especificamente sobre energia elétrica, Nascimento (2011) ressalta que a avaliação do consumo de energia elétrica em instalações de frango de corte é importante em um cenário extremamente competitivo em que está exposta a avicultura industrial brasileira, tanto interna como externamente. Em função disso, o uso de energia elétrica em atividades ligadas à avicultura é imprescindível e cada vez mais se torna necessário o seu uso de forma racional. A redução nos custos energéticos operacionais do investidor avícola inclui necessariamente a avaliação dos gastos com energia elétrica.

2.4 Armazenamento de energia

Segundo Yan et al. (2013) o armazenamento de energia elétrica se refere a um processo de conversão de eletricidade oriunda de uma rede elétrica ou outra fonte em uma forma que pode ser armazenada para a reconversão em eletricidade quando necessário.

Kousksou et al (2013) afirma que a energia elétrica pode ser armazenada diretamente ou indiretamente sob diferentes métodos: mecanicamente pelo bombeamento de água, compressão de ar ou através do incremento de velocidade rotacional para os volantes de energia; quimicamente através da produção e conversão em sistemas químicos como as baterias e baterias de fluxo e; através de campos elétricos e magnéticos em capacitores ou supercondutores magnéticos.

O armazenamento por bombeamento de água é um método de armazenamento e produção de eletricidade para alimentar altos picos de demandas através do bombeamento de água de um reservatório situado num nível mais elevado para um reservatório situado num nível mais baixo. Quando a demanda por energia é alta, a água flui do reservatório mais elevado para o reservatório mais baixo ativando as turbinas para a geração de eletricidade.

O armazenamento por ar comprimido é o método em que a energia é armazenada por meio de um reservatório de ar comprimido. Um dispositivo especial é utilizado para permitir que o gerador e a turbina operem em duas direções, uma para carga e outra para descarga. Durante a carga, o gerador opera no modo motor, para prover energia mecânica para os compressores, os quais enviam o ar comprimido para o reservatório. Durante o processo de descarga, o ar comprimido é utilizado para operar a turbina a combustão. A turbina alimenta o gerador, gerando eletricidade.

O armazenamento de energia sob a forma de hidrogênio é uma outra alternativa, porém, assim como a eletricidade, o hidrogênio precisa ser produzido e transportado. O hidrogênio apresenta a vantagem de poder ser armazenado, e, atualmente, existem quatro principais tecnologias, sendo que duas primeiras apresentam-se mais maduras e outras duas estão em desenvolvimento. São elas: a pressurização do hidrogênio; a adsorção do hidrogênio em hidretos metálicos, a adsorção do hidrogênio em fibras de nanocarbono e a liquefação do hidrogênio. Quando o hidrogênio é produzido, o mesmo pode ser utilizado em células a

combustível, as quais utilizam hidrogênio e oxigênio e convertem em eletricidade e água.

Outra forma de armazenamento são os volantes de energia os quais requerem a rotação de uma massa em dois anéis magnéticos, fazendo fricção em alta velocidade, acoplados em uma máquina elétrica. A energia é transferida do volante quando a máquina opera como um motor, carregando o dispositivo de armazenamento de energia. A energia cinética armazenada num volante de energia é proporcional à massa e ao quadrado da velocidade de rotação. A máxima energia armazenada é limitada pela resistência à tração do material do volante.

As baterias são dispositivos eletroquímicos que tem a habilidade de entregar, na forma de energia elétrica, a energia química gerada por reações eletroquímicas. Estas reações ocorrem dentro de células separadas por eletrodos e imersas por um eletrólito, quando uma carga é conectada aos terminais da célula. A reação envolve a transferência de elétrons de um eletrodo ao outro através de um circuito elétrico. Uma bateria pode ser constituída por células unitárias ou múltiplas células conectadas em série ou em paralelo.

Existem ainda as baterias de fluxo, cuja tecnologia é relativamente nova. Numa bateria de fluxo, a bateria é carregada e descarregada através de uma reação química reversível entre dois eletrólitos líquidos da bateria. Diferentemente das baterias convencionais, os eletrólitos líquidos são dispostos em tanques separados. Nos últimos anos, três tipos de baterias de fluxo foram desenvolvidas até o estágio de comercialização e demonstração, sendo elas, a de vanádio, a de bromo-zinco e a de bromo-polissulfureto.

Outro mecanismo de armazenamento de energia é através de capacitores, os quais permitem armazenar energia elétrica entre duas placas metálicas ou condutoras, separados por um material isolante conhecido como dielétrico, quando uma diferença de potencial é aplicada nos terminais das placas. Já os supercapacitores seguem o mesmo princípio dos capacitores, diferenciando-se apenas quanto ao material isolante que é um eletrólito iônico condutor no qual o movimento do íon é feito por meio de um eletrodo condutor com uma área específica muito grande, proporcionando maiores densidades de energia ao sistema.

Os supercondutores magnéticos permitem que a energia elétrica seja armazenada em um campo magnético sem a conversão nas formas química ou mecânica. O sistema é ativado através da indução de uma corrente contínua em

uma bobina feita por cabos supercondutores de resistência próxima a zero, geralmente feita de filamentos de niobiotitânio que operam a baixas temperaturas.

A figura 1 ilustra os vários tipos de tecnologia de armazenamento de energia já expostos, relacionando a potência do sistema em função da duração do tempo de descarga. EPRI (2010) enfatiza que as faixas de tempo e potência indicadas na figura 1 são ilustrativas e não totalmente definitivas, sendo que alguns exemplos de aplicações podem ser encontrados fora das faixas estabelecidas.

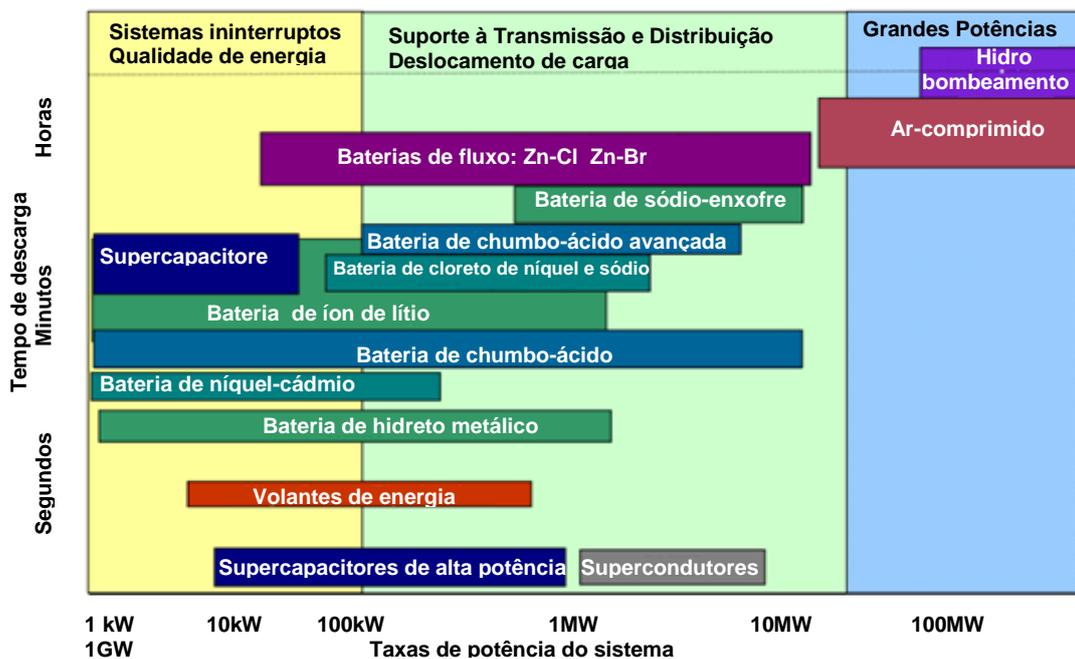


Figura 1: Posicionamento das tecnologias de armazenamento de energia (EPRI, 2010).

Segundo Suberu, Mustafa e Bashir (2014), ao selecionar os sistemas de armazenamento de energia apropriados devem ser considerados a eficiência e a vida útil dos mesmos, uma vez que estes fatores influenciam no custo capital da energia a ser entregue. O custo capital também é um fator muito importante pois quanto menor a eficiência e a vida útil de um sistema de armazenamento de energia, maior a sua inviabilidade econômica para uso.

Outro aspecto a ser considerado é o custo de manutenção e operação do sistema de armazenamento de energia, o qual auxiliará a determinar a necessidade de substituição periódica do sistema.

Segundo Suberu, Mustafa e Bashir (2014), alguns sistemas de armazenamento de energia são mais vantajosos do que outros em relação ao peso por kW, tempo de resposta, condições de descarga, capacidade de armazenamento,

tempo de carregamento, densidade de energia, tempo de descarga de energia, duração do armazenamento além de questões operacionais.

Neste sentido, a determinação e seleção do sistema mais apropriado requer uma análise específica da aplicação a que se propõe alcançar.

2.5 O uso de baterias na forma estacionária

Os sistemas de armazenamento que utilizam baterias são promissores para o gerenciamento da energia do lado da demanda, pois, segundo Yan et al. (2013) este tipo de sistema apresenta eficiências aceitáveis, baixo investimento inicial, baixo custo de manutenção e operação e podem ser modularizados para suprir altas potências.

Segundo Kousksou et al. (2013) uma bateria é um dispositivo eletroquímico que tem a habilidade de entregar, em forma de energia elétrica, a energia química gerada por reações eletroquímicas internas.

Segundo Suberu, Mustafa e Bashir (2014), um sistema de armazenamento de energia pode ser gerenciado pelos consumidores finais e utilizado durante os horários de pico conforme demonstrado na figura 2.

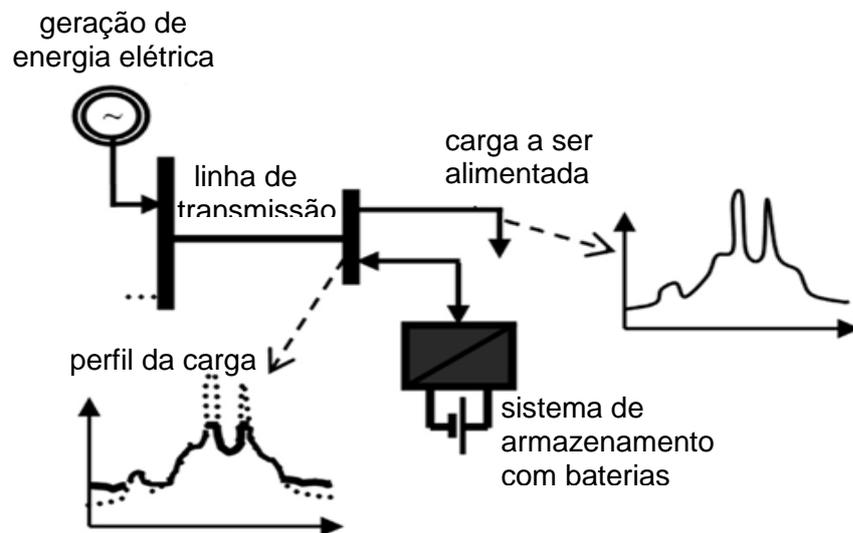


Figura 2: Sistema de armazenamento de energia utilizado para suprimento de horário de pico (Suberu, Mustafa e Bashir, 2014).

Complementa ainda Yan et al. (2013) que os sistemas de armazenamento que utilizam baterias são compostos por três elementos chave que são: o subsistema de armazenamento, o subsistema de conversão de potência e a planta a ser alimentada. O sistema de conversão de potência é composto principalmente por inversor, transformador, chaves, conectores, disjuntores e controladores programáveis.

Segundo Yan et al. (2013), em Beijing, na China, o preço da eletricidade para consumidores comerciais varia de acordo com o horário de utilização. Um sistema de armazenamento de energia pode ser operado durante o horário de pico e ser carregado durante o horário fora de pico. Isto pode ser controlado pelo monitor global de controle do sistema.

A figura 3 demonstra a configuração de um sistema de armazenamento de energia utilizando baterias de chumbo-ácido para um prédio comercial.

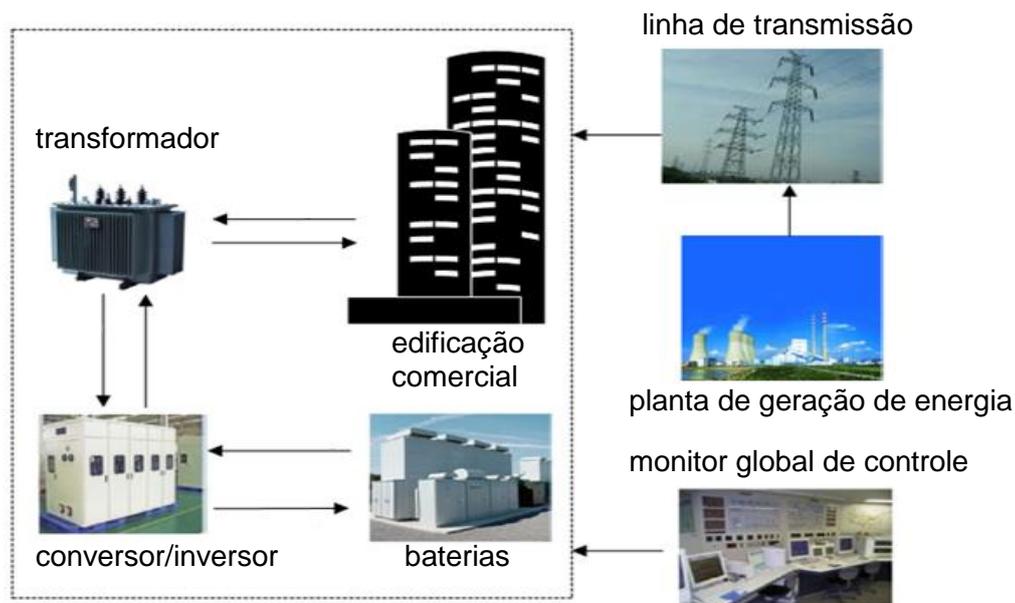


Figura 3: Sistema de armazenamento de energia usando baterias em um prédio comercial (Yan et al., 2014).

Neste contexto, os procedimentos de um sistema de armazenamento de energia utilizando baterias funcionam da seguinte maneira: (1) quando a demanda é baixa e o preço da eletricidade é baixo, como durante a noite, por exemplo, o monitor envia ordem para a bateria ser carregada; (2) as baterias descarregam a energia armazenada para os prédios comerciais durante o horário de pico ou períodos em que a tarifa de eletricidade é alta.

Segundo Yan et al. (2013), o sistema de armazenamento, quando implantado, tem a finalidade de suprir períodos de pico de energia, além de contribuir com a redução da fatura de energia elétrica. Os benefícios provenientes da utilização deste tipo de sistema dependerão de alguns fatores como a eficiência e vida útil do sistema, bem como a duração e a variação da tarifa de energia em determinados horários do dia.

Leadbetter e Swan (2012) indicam que existem inúmeras instalações de sistemas de armazenamento de energia em funcionamento em várias partes do mundo. O maior deles está localizado em Chino, na Califórnia, com 10MW e 40MWh. O sistema foi instalado como um projeto de demonstração e agrega uma grande gama de aplicações como redução de picos de consumo, nivelamento de carga, controle de frequência, controle de potencia reativa e tensão. O sistema opera com 72% de eficiência e utiliza células com 2000 ciclos de vida.

2.6 As baterias: funcionamento e características

Não serão considerados nesta pesquisa todos os tipos de baterias comercialmente existentes. O estudo será restrito à análise da tecnologia de baterias de chumbo-ácido e baterias à base de cloreto de níquel e sódio.

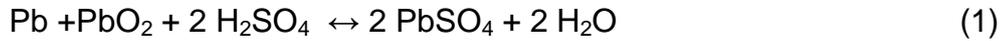
Segundo Battke et al. (2013), de um modo geral, uma bateria funciona da seguinte maneira: quando uma carga é conectada em seus terminais, reações eletroquímicas ocorrem no interior da célula, nas quais os elétrons são transferidos de um eletrodo ao outro através de um circuito elétrico externo. Dependendo da tensão de saída e a capacidade de energia requerida, são necessárias células unitárias ou múltiplas células arranjadas em série ou paralelo ou ambas. Vários tipos de combinações de materiais usados como eletrodos, eletrólitos ou membranas formam uma gama de tipos de baterias.

2.6.1. Baterias de chumbo-ácido

Segundo Akhil et al. (2013), as baterias de chumbo-ácido são as tecnologias de baterias recarregáveis mais antigas, tendo sido originalmente inventada em meados do ano de 1800. O princípio químico é o praticamente o mesmo para todas as baterias de chumbo-ácido. O eletrodo positivo é composto de dióxido de chumbo, PbO_2 enquanto que o eletrodo negativo é composto de chumbo metálico, Pb . O

eletrólito é uma solução de ácido sulfúrico, que normalmente ocupa em torno de 37% do peso quando a bateria está completamente carregada.

Segundo Broussely e Pistoia (2007), a reação que representa o funcionamento da bateria de chumbo-ácido é:



Quando a bateria está descarregada, Pb e PbO₂ são convertidos em PbSO₄ e H₂O. Durante a descarga o ácido sulfúrico é consumido. A redução da concentração de ácido sulfúrico pode ser utilizada para determinar a profundidade de descarga da bateria. Quando a bateria está carregada, a reação é a contrária.

A figura 4 apresenta a estrutura de uma bateria de chumbo-ácido.

Poullikkas (2013) acrescenta que a tecnologia de baterias de chumbo-ácido apresenta baixo custo de produção, entretanto, seu processo de recarga é lento, não podendo ser completamente descarregadas, apresentando um número limitado de ciclos de carga/descarga.

Quanto às questões ambientais desta tecnologia, Poullikkas (2013) complementa que o ácido sulfúrico é altamente tóxico e prejudicial ao meio ambiente.

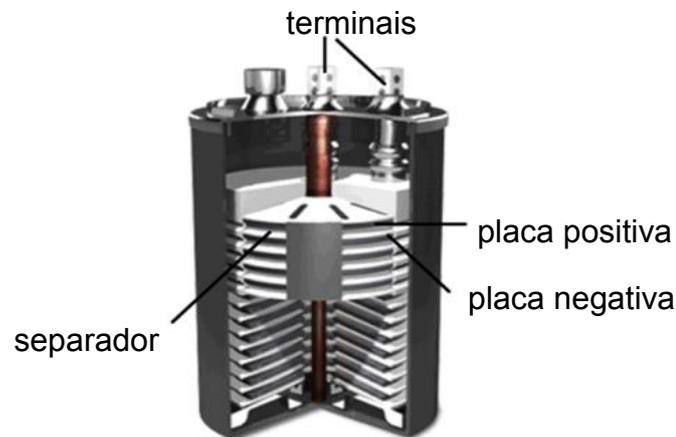


Figura 4: Estrutura de uma bateria de chumbo-ácido (Poullikkas, 2013).

2.6.2 Baterias de cloreto de níquel e sódio

Segundo Dustmann (2004), o princípio da bateria de cloreto de níquel e sódio foi inventado na África do Sul sendo a primeira patente aplicada em 1978. A companhia *Beta Research and Development Ltd* na Inglaterra continuou o desenvolvimento e foi integrada à *jointventure* AEG (mais tarde Daimler) e Anglo American Cor dez anos depois. Na junção foi criada a companhia AEG Anglo Batteries GmbH a qual iniciou a produção piloto de baterias de níquel sódio em 1994.

Depois da imersão da Daimler e Chrysler esta *jointventure* foi extinta e a tecnologia foi adquirida pela empresa MES-DEA, a qual tornou a tecnologia industrial. Atualmente a empresa MES-DEA pertence ao grupo italiano FIAMM Sonic.

Segundo General Electric (2014), em 2007 a empresa *Beta Research and Development*, empresa inglesa pioneira no desenvolvimento de baterias de níquel-sódio nos anos 80, já citada anteriormente, foi adquirida pela General Electric, tendo montado uma fábrica em Nova Iorque e iniciada a produção deste tipo de bateria em 2012.

Segundo Sudworth (2001) uma célula de cloreto de níquel e sódio consiste em um eletrodo negativo de sódio líquido e um eletrodo positivo de níquel e cloreto de sódio, separado por um eletrólito cerâmico condutor de íon de sódio, denominado beta alumina. Daniel e Besenhard (2012) complementam que o eletrólito de beta alumina é normalmente projetado na forma de um tubo, fechado em uma das extremidades.

Sudworth (2001) indica que, para o funcionamento deste tipo de célula ainda é necessário um segundo eletrólito impregnado no eletrodo positivo, denominado tetracloroaluminato, o qual permite um rápido transporte de íons de sódio entre a superfície da beta alumina e a reação interna do eletrodo positivo. O ponto de fusão deste sal é de 157°C, o que determina a temperatura de operação da célula que se dá na faixa de 270° a 350°C.

Dustmann (2004) complementa que a faixa de temperatura de operação deste tipo de bateria se dá devido ao valor da condutividade iônica do sódio que é $\geq 0,2 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ a 260° C.

Segundo Sudworth (2001), as reações da célula são:

Eletrodo positivo:



Eletrodo negativo:



A reação global que representa o funcionamento de uma célula de níquel-sódio é:



A construção da célula é esquematicamente mostrada na figura 5.

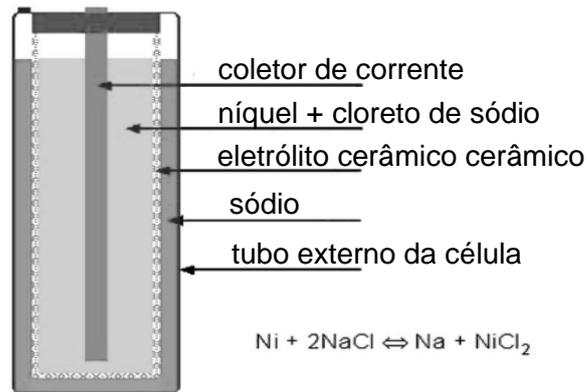


Figura 5: Estrutura de uma célula de bateria de cloreto de níquel e sódio (Sudworth, 2001).

Segundo Daniel e Besenhard (2012), o tubo externo forma o terminal negativo da célula. O espaço entre o tubo externo da célula e o eletrólito cerâmico é preenchido com sódio.

A célula é hermeticamente fechada, através da utilização de um selo vítreo entre o tubo cerâmico e um anel de alfa alumina. Um anel metálico é selado na alfa alumina e outras partes metálicas são conectadas no tubo externo por meio de solda. Um conjunto de várias células forma uma bateria.

Segundo Manzoni et. al (2008), a bateria é controlada por uma unidade eletrônica denominada de sistema de gerenciamento da bateria, o qual provê informações sobre o controle de temperatura, a medição do atual estado de carga, a contagem de ciclos, a supervisão dos limites de corrente e tensão, a folha de dados da bateria, o controle do carregador e dados do protocolo de comunicação.

Neste sentido, Daniel e Besenhard (2012) afirmam que o sistema de gerenciamento da bateria, também denominado controlador, é como o cérebro da bateria, o qual garante que esteja sempre dentro de seus limites de operação.

A figura 6 apresenta o sistema de gerenciamento de uma bateria de cloreto de níquel e sódio acoplado a uma bateria.

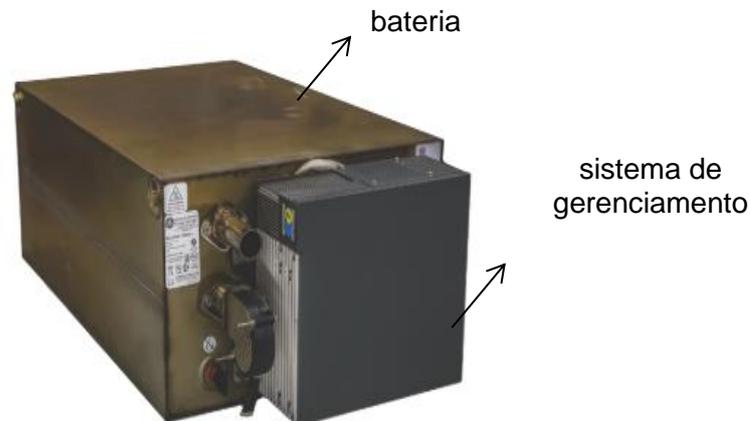


Figura 6: Sistema de gerenciamento acoplado à bateria (GENERAL ELECTRIC, 2015).

Daniel e Besenhard (2012) indicam que no interior da bateria, sistemas de aquecimento e resfriamento são instalados para manter a temperatura interna de operação da bateria.

Segundo a FIAMM (2015), fabricante deste tipo de bateria, a tecnologia apresenta uma série de vantagens ambientais, uma vez que este tipo de bateria é cem por cento reciclável e não emite gases nocivos para o meio ambiente.

Além destes aspectos, outras vantagens estão em poderem ser escaláveis para aplicações em banco de baterias, compatíveis com fornecimento em corrente contínua e inversores bidirecionais e não possuem efeito memória.

Daniel e Besenhard (2012) complementam que este tipo de bateria é livre de manutenção. Em caso de uma falha em uma célula, a bateria pode continuar operando. A razão para isto é que quando uma célula falha, a cerâmica se quebra e o sódio reage com o tetracloroaluminato formando uma esponja de alumínio, a qual aparece na célula entre o tubo externo e o coletor de corrente. A própria célula se fecha nela mesma não prejudicando as demais células ligadas a ela.

A figura 7 demonstra o agrupamento de baterias formando um banco de baterias.



Figura 7: Banco de baterias (GENERAL ELECTRIC, 2015).

Por fim, as baterias de cloreto de níquel e sódio apresentam diferenças em relação às baterias de chumbo-ácido. A tabela 5 apresenta um comparativo das principais características das baterias em estudo.

Tabela 5: Características das baterias

| Características | Bateria de cloreto de níquel e sódio | Bateria de chumbo-ácido |
|--|---|--------------------------------|
| Eficiência (%) | 80-90 | 80-90 |
| Densidade de Energia (Wh/Kg) | ~100 | 20-40 |
| Temperatura de operação interna na carga (°C) | 270-300 | -10 a +40 |
| Temperatura de operação interna na descarga (°C) | 270-300 | -15 a +50 |
| Vida cíclica (ciclos) | ~1000 | 250-500 |

Fonte: Pinho e Galdino (2014)

2.6.3 Dimensionamento de banco de baterias

Segundo Chang (2012) o dimensionamento de um banco de baterias consiste em calcular o número de baterias necessárias para o sistema que será implantado. Para isto, o primeiro passo é realizar o levantamento das cargas a serem alimentadas pelo sistema, a quantidade de dias de autonomia que se deseja que o banco de baterias suporte, a profundidade máxima de descarga da bateria, que indica, em termos percentuais quanto da capacidade nominal da bateria foi retirado

a partir do estado de plena carga. Este cálculo é realizado a partir da seguinte equação:

$$CBB = \frac{L \cdot D}{M} \quad (5)$$

Onde,

CBB é a capacidade do banco de baterias (Ah)

L é o consumo ampère-hora pela carga em um dia (Ah/dia)

D é o número de dias de autonomia;

M é a máxima profundidade de descarga.

Após o cálculo da capacidade requerida do banco de baterias, parte-se para o cálculo do número de baterias a serem conectadas em paralelo através da equação (6).

$$N = \frac{CBB}{CB} \quad (6)$$

Onde,

N é o número de baterias;

CBB é a capacidade requerida do banco de baterias (Ah);

CB é a capacidade da bateria selecionada (Ah)

Adicionalmente, para a utilização da energia armazenada nas baterias, é necessário um inversor, o qual Pinho e Galdino (2014) definem que é um dispositivo eletrônico que fornece energia elétrica em corrente alternada a partir de uma fonte de energia elétrica de corrente contínua. Como as baterias fornecem energia em corrente contínua, para alimentação das cargas elétricas em corrente alternada faz-se necessário o uso do inversor. Segundo os autores, a tensão em corrente alternada de saída do inversor deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequados às cargas a serem alimentadas.

2.7 Avaliação econômica em projetos de racionalização de energia

Segundo Gitman (2002), existem várias técnicas para avaliar a viabilidade econômica de um projeto.

Uma delas é o período de *payback* que é o período de tempo exato necessário para o investidor recuperar o seu investimento inicial em um projeto, a partir das entradas de caixa. Neste caso, o critério de decisão para aceitar ou rejeitar o projeto é o seguinte: se o período do *payback* for menor que o período de *payback* máximo aceitável, aceita-se o projeto, caso contrário, rejeita-se o projeto.

Outra técnica indicada por Gitman (2002) é o valor presente líquido (VPL), a qual considera o valor do dinheiro no tempo. Esta técnica desconta os fluxos de caixa a uma taxa de retorno mínima, também chamada de taxa de desconto ou custo de capital, que deve ser obtida por um projeto. Sprenger (2009) utilizou em seu estudo de viabilidade uma taxa de retorno mínima de 12% ao ano.

Gitman (2002) define que o valor presente líquido é obtido subtraindo-se o investimento inicial (*ii*) do valor presente das entradas de caixa (*Fc*), descontadas a uma taxa de retorno mínima (*k*), conforme descrito na equação (7).

VPL = valor presente das entradas de caixa – investimento inicial

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{Fc}{(1 + K)^t} - ii \quad (7)$$

Neste caso, o critério de decisão de aceitar ou não o projeto é o seguinte: se o VPL for maior ou igual que zero, aceita-se o projeto, caso contrário, rejeita-se. Se o VPL for maior que zero indica que o investidor obterá um retorno maior do que o seu custo de capital.

Por fim, a taxa interna de retorno (TIR) é definida como a taxa de desconto que iguala o valor presente das entradas de caixa ao investimento inicial referente a um projeto. Em outras palavras, é a taxa de desconto que faz com que o VPL de uma oportunidade de investimento se iguale a zero. Matematicamente, a TIR é obtida através da equação (7) para o valor de *k* que torne o VPL igual a zero.

O critério de decisão de aceitar ou rejeitar o projeto é o seguinte: se a TIR for maior que a taxa mínima de atratividade, aceita-se o projeto, caso contrário, rejeita-

se. Esse critério garante que o investidor esteja obtendo pelo menos a sua taxa requerida de retorno.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentada a proposta metodológica para o dimensionamento e a análise de viabilidade econômica para a utilização dos sistemas de armazenamento de energia para os aviários de frango de corte em estudo.

3.1 Material

3.1.1 Localização da unidade de estudo

O experimento foi realizado em quatro aviários de frango de corte localizados na cidade de Francisco Alves-PR, com coordenadas geográficas de 20°02'04" de latitude e 53°52'51" de longitude.

Na figura 8 é apresentada a vista aérea dos aviários em estudo bem como as identificações numéricas de cada aviário.



Figura 8: Vista aérea dos aviários em estudo.

3.1.2 Caracterização da unidade de estudo

3.1.2.1 Características físicas construtivas

Os aviários em estudo, em número de quatro, apresentam as seguintes características físicas construtivas:

Aviários 1 e 2:

Os aviários 1 e 2 têm dimensões de 12 m de largura por 125 m de comprimento e 2,95 m de altura, cobertos com telhas de barro, apresentando muretas laterais com 45 cm de altura, com forração e cortinas laterais, com capacidade para alojamento de 21.000 aves de corte, abatidos com idade de 45 a 48 dias com peso médio de 2,85 Kg.

Aviário 3:

Os aviário 3 tem dimensões de 12,5 m de largura por 150 m de comprimento e 3,15 m de altura, cobertos com telhas de alumínio, apresentando muretas laterais com 40 cm de altura, com forração e cortinas laterais, com capacidade para alojamento de 30.000 aves de corte, abatidos com idade de 45 a 48 dias com peso médio de 2,8 Kg.

Aviário 4:

O aviário 4 tem dimensões de 15 m de largura por 150 m de comprimento e 2,75 m de altura, cobertos com telhas de alumínio, apresentando muretas laterais com 45 cm de altura, com forração e cortinas laterais, com capacidade para alojamento de 35.000 aves de corte, abatidos com idade de 45 a 48 dias com peso médio de 2,8Kg.

3.1.2.2 Características de equipamentos e cargas instaladas nos aviários

Os aviários em estudo possuem os seguintes equipamentos e cargas instaladas:

Aviário 1:

O aviário 1 contém 56 lâmpadas incandescentes de 60 W cada, 6 motores de 1,5 cv cada para alimentação do sistema de exaustão, 4 motores de 1,5 cv cada alimentação do sistema de comedouro, 1 motor de 1,5 cv para alimentação do sistema de bebedouro, 1 motor de 4 cv para alimentar o sistema de aquecimento e 1 motor de 2 cv para alimentar o sistema de nebulização.

Aviário 2:

O aviário 2 contém 56 lâmpadas incandescentes de 60 W cada, 8 motores de 1 cv cada para alimentação do sistema de exaustão, 4 motores de 1,5 cv cada

alimentação do sistema de comedouro; 1 motor de 1,5 cv para alimentação do sistema de bebedouro; 1 motor de 4 cv para alimentar o sistema de aquecimento e 1 motor de 2 cv para alimentar o sistema de nebulização.

Aviário 3:

O aviário 3 contém 66 lâmpadas incandescentes de 60 W cada, 12 motores de 1 cv cada para alimentação do sistema de exaustão, 4 motores de 1,5 cv cada alimentação do sistema de comedouro, 1 motor de 1,5 cv para alimentação do sistema de bebedouro, 2 motores de 0,5 cv para alimentação do sistema de resfriamento, 2 motores de 3 cv cada e 1 motor de 0,5 cv para alimentação do sistema de aquecimento, 1 motor de 3/4 cv para alimentação do sistema de abertura e fechamento de cortinas laterais, 1 motor de 1/3 cv para sistema de abertura e fechamento de janelas laterais e 1 motor de 2 cv para alimentar o sistema de nebulização. Em 10 de março de 2014 foram substituídas as 66 lâmpadas incandescentes de 60 W cada por 98 lâmpadas do tipo LED de 10 W cada.

Aviário 4:

O aviário 4 contém 98 lâmpadas do tipo LED de 10 W cada, 12 motores de 1 cv cada para alimentação do sistema de exaustão, 5 motores de 1,5 cv cada alimentação do sistema de comedouro, 1 motor de 1,5 cv para alimentação do sistema de bebedouro, 2 motores de 0,5 cv para alimentação do sistema de resfriamento, 2 motores de 3 cv cada e 1 motor de 0,5 cv para alimentação do sistema de aquecimento, 1 motor de 3/4 cv para alimentação do sistema de abertura e fechamento de cortinas laterais, 1 motor de 1/3 cv para sistema de abertura e fechamento de janelas laterais e 1 motor de 2 cv para alimentar o sistema de nebulização.

A somatória das cargas instaladas no conjunto de aviários é de aproximadamente 89,4 kW.

3.1.2.3 Dados de Consumo de Energia Ativa da unidade de estudo

A propriedade rural em estudo apresenta padrão de entrada de energia elétrica de 127 V, monofásica sendo enquadrado pela concessionária de energia elétrica local como consumidor Rural/Tarifa Rural Noturna - Criação de frango de corte. Neste tipo de tarifação de energia elétrica, no período de estudo, no horário

que compreende o período das 6 h e 1 min às 21 h e 29 min, o valor do kWh é de R\$ 0,174 e no horário que compreende o período das 21h e 30 min às 6h do dia seguinte, o valor do kWh é de R\$ 0,070, ou seja, o produtor recebe um desconto de aproximadamente 60% no período noturno.

São três entradas de energia independentes, sendo que uma contém um transformador de 15 kVA para alimentar o Aviário 1, a segunda contém um transformador de 25 kVA para alimentar o Aviário 2 e a terceira contém dois transformadores de 25 kVA cada para alimentar os Aviários 3 e 4.

Os aviários em estudo possuem medidores de energia independentes, do tipo eletrônico, monofásico, marca Landis+Gyr, modelo ZMD318 120 V CMt-8055, com medição de energia ativa.

3.2 Métodos

3.2.1 Coleta dos Dados de energia ativa da unidade de estudo

Utilizando-se os medidores de energia elétrica instalados nos aviários, foram coletados semanalmente pelo proprietário, para cada aviário, os valores de energia ativa pela diferença existente na semana anterior e a semana atual, totalizando nove medições por lote, sendo a primeira semana correspondente ao estado vazio e a última semana correspondente ao estado de carregamento das aves.

O estado vazio corresponde ao período em que os aviários estão sendo preparados para o recebimento das aves. O estado de carregamento corresponde ao estado em que as aves estão prestes a serem carregadas nos caminhões que realizam o transporte aos frigoríficos.

Este procedimento foi repetido para os lotes subsequentes, para cada aviário em estudo, de maneira a obter os dados para seis lotes correspondentes a um ano de alojamento de aves, correspondendo um total de duzentas e dezesseis medições.

O período de coleta de dados foi de 25 de maio de 2013 a 09 de maio de 2014. Os períodos correspondentes a cada lote foram:

- Lote 1 – 25 de maio de 2013 a 16 de julho de 2013: 52 dias;
- Lote 2 – 17 de julho de 2013 a 13 de setembro de 2013: 58 dias;
- Lote 3 – 14 de setembro de 2013 a 8 de novembro de 2013: 55 dias;
- Lote 4 – 9 de novembro de 2013 a 10 de janeiro de 2014: 62 dias;

- Lote 5 – 11 de janeiro de 2014 a 10 de março de 2014: 58 dias;
- Lote 6 – 11 de março de 2014 a 09 de maio de 2014: 59 dias.

3.2.2 Análise da curva de consumo de energia ativa dos aviários

Com os dados de consumo de energia ativa de cada aviário foram elaboradas planilhas e gráficos correspondentes ao consumo de energia elétrica ativa para o conjunto de aviários da unidade de estudo

A partir do consumo total de energia ativa, foi calculado o consumo médio diário de energia elétrica (em kWh) para o conjunto de aviários. Este valor foi utilizado como dado de entrada para o dimensionamento dos bancos de baterias.

3.2.3 Dimensionamento dos bancos de baterias

Para o dimensionamento dos bancos de baterias, foram estabelecidos dois cenários de estudo, sendo o primeiro constituído por baterias de cloreto de níquel e sódio e o segundo por baterias de chumbo-ácido, capazes de armazenar energia no horário que compreende das 21 h 30 min às 6 h do dia seguinte e utilização no horário que compreende das 6 h e 1 min às 21 h 29 min. Foi previsto o atendimento total das cargas existentes no conjunto de quatro aviários da propriedade nos períodos mencionados.

No primeiro cenário, foram utilizadas baterias de cloreto de níquel e sódio, modelo ST523, fabricante FIAMM SONIC, com as seguintes características: tensão nominal de operação 620 Vcc, capacidade de corrente nominal de 38 Ah, 240 células, 4500 ciclos a 80% de profundidade de descarga, dimensões de 624 mm de largura, 1023 mm de profundidade e 406 mm de altura.

A bateria adotada para este cenário pode ser verificada na figura 9.



Figura 9: Bateria de cloreto de níquel e sódio.

No segundo cenário, foram utilizadas baterias de chumbo-ácido, modelo, DF4001, fabricante ACDelco Freedom, com as seguintes características: tensão nominal de operação 12 Vcc, capacidade de corrente nominal de 200 Ah (10 horas), vida útil de 1,2 anos a 50% de profundidade de descarga, dimensões de 280 mm de largura, 530 mm de profundidade e 246 mm de altura, peso de 59,90 Kg.

A bateria adotada para o segundo cenário pode ser verificada na figura 10.



Figura 10: Bateria de chumbo-ácido.

Foi avaliada a capacidade técnica de suprimento de energia em função da profundidade de descarga da bateria adotada. A profundidade de descarga gera o potencial de energia útil que será utilizada para suprimento da energia do conjunto de aviários da propriedade.

FIAMM (2015) recomenda um valor máximo de profundidade de descarga de 80% para baterias de cloreto de níquel e sódio.

Pinho e Galdino (2014) recomendam que a profundidade máxima de descarga de baterias estacionárias de chumbo-ácido não devem passar de 50%.

Os cálculos dos dimensionamentos dos bancos de baterias foram baseados nas equações (5) e (6) apresentadas no capítulo 2.

3.2.4 Análise dos aspectos econômicos dos bancos de baterias propostos

Após o dimensionamento dos bancos de baterias foi efetuada a análise dos aspectos econômicos envolvidos em cada tecnologia de bateria adotada no estudo. Posteriormente foi feita a avaliação econômica baseada nos métodos do valor presente líquido e taxa interna de retorno propostos por Gitman (2002), os quais indicaram a resposta sobre a viabilidade da proposta de utilização dos dois tipos de banco de baterias para o conjunto de aviários em estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de consumo de energia ativa foram coletados para cada aviário durante um ano de alojamento de aves.

No período foram alojadas aproximadamente 600.000 aves, sendo que o consumo de energia elétrica ativa em todos os lotes foi de 176.260 kWh, perfazendo um número índice de 0,29 kWh/ave alojada.

A figura 11 apresenta o consumo total de energia ativa em kWh para o conjunto de aviários da propriedade ao longo de um ano de alojamento, que correspondeu a um total de seis lotes de criação de aves de corte.

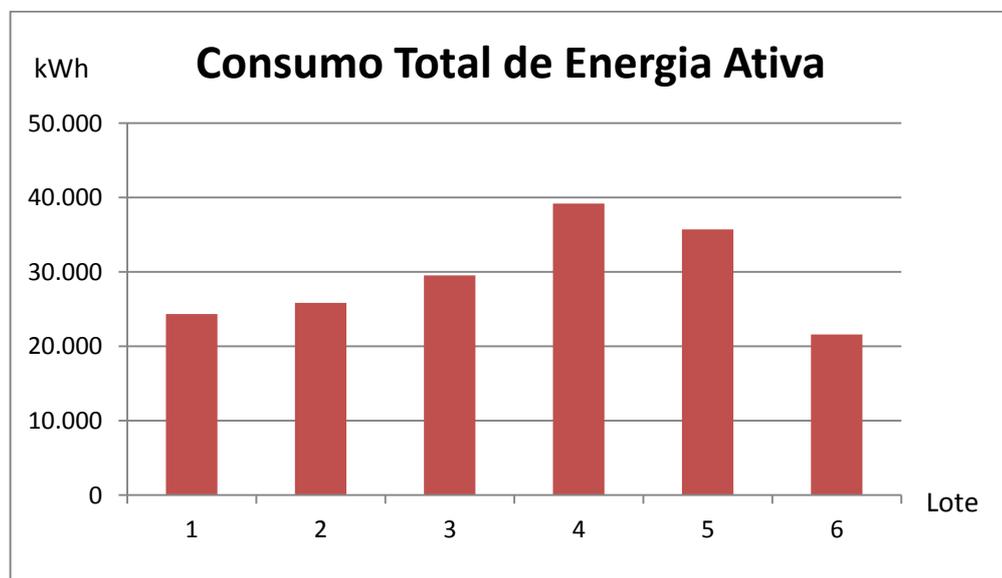


Figura 11: Consumo total de energia ativa para os quatro aviários.

Observa-se que o período que compreendeu aos lotes 4 e 5 foi o que apresentou os maiores valores de consumo de energia ativa. Este período correspondeu aos meses de novembro/13 a março/14. Por se tratarem de meses de clima quente, há um incremento no uso dos motores que alimentam os sistemas de exaustão dos aviários.

A figura 12 representa a distribuição em percentual do consumo de energia ativa, com indicação da tarifa de energia elétrica, para o total de aviários da propriedade ao longo de um ano de alojamento.

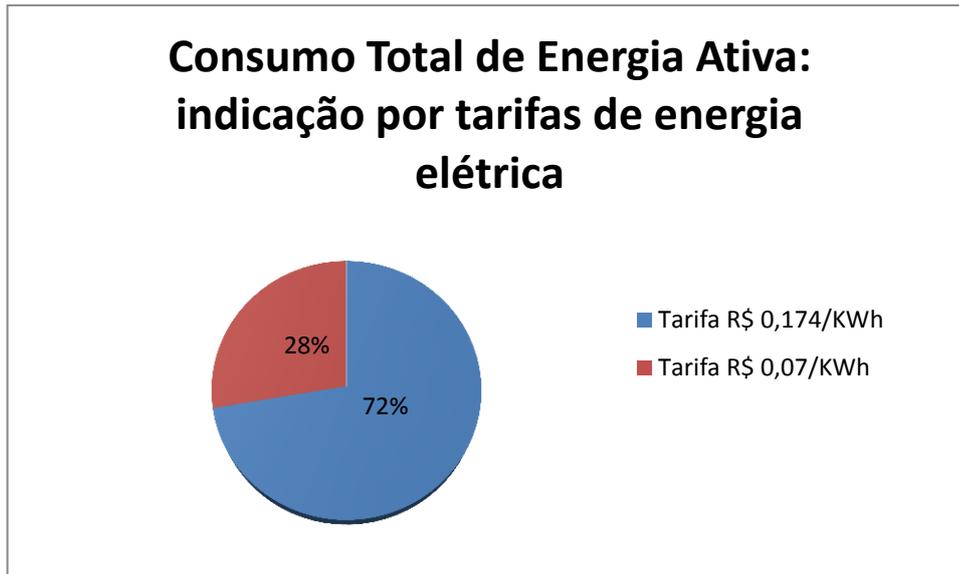


Figura 12: Consumo total de energia ativa: indicação por tarifa de energia (%).

Observa-se que para o conjunto de quatro aviários da propriedade ao longo de um ano de alojamento de aves, em média, 72% do consumo total de energia ativa ocorreu durante o horário em que a tarifa de energia elétrica é de R\$0,174/kWh e 28% durante o horário em que a tarifa de energia elétrica é de R\$0,07/kWh.

O consumo médio diário foi calculado a partir do consumo total de energia ativa para os quatro aviários, 176.260 kWh, dividindo-o pelo número de dias ao longo de um ano de alojamento de aves que foi de 349 dias, resultando em 505,04 kWh/dia.

Para o dimensionamento dos bancos de baterias foram consideradas como cargas totais a ser alimentadas pelo banco o valor de 505,04 kWh/dia. Em cima deste valor foi aplicado o percentual de 72%, que corresponde ao percentual em que a tarifa de energia elétrica custa R\$ 0,174 kWh, resultando em 363,63 kWh, período o qual as baterias seriam utilizadas para alimentar as cargas. Foi considerado que, no período em que a tarifa de energia elétrica custa R\$0,07/kWh as baterias serão carregadas utilizando a rede de alimentação da concessionária de energia elétrica. A partir deste valor, dos dados dos fabricantes das baterias selecionadas e das equações (5) e (6), foram efetuados os cálculos para o dimensionamento dos bancos de baterias para os dois cenários de estudo, cujos resultados são apresentados na tabela 6.

Tabela 6: Dimensionamento dos bancos de baterias

| Dimensionamento | Cenário 1 | Cenário 2 |
|---|--|---|
| Consumo diário das cargas (Ah) <i>Consumo diário das cargas (KWh)</i> $L = \frac{\text{Tensão nominal da bateria (V)}}{\text{Tensão nominal da bateria (V)}}$ | $L = \frac{363,63}{620}$ $L = 586,5 \text{ Ah}$ | $L = \frac{363,63}{12}$ $L = 30.302,5 \text{ Ah}$ |
| Capacidade do banco de baterias (Ah) $CBB = \frac{L \cdot D}{M}$ | $CBB = \frac{586,5 \cdot 1}{0,8}$ $CBB = 733,13 \text{ Ah}$ | $CBB = \frac{30.302,5 \cdot 1}{0,5}$ $CBB = 60.605 \text{ Ah}$ |
| Número de baterias $N = \frac{CBB}{CB}$ | $N = \frac{733,13}{38}$ $N = 19,29$ $N = 20$ | $N = \frac{60.605}{200}$ $N = 303,03$ $N = 304$ |

4.1 Cenário 1

Para o primeiro cenário, os cálculos resultaram em um banco composto por 20 baterias de cloreto de níquel e sódio, sendo que o investimento inicial do banco de baterias seria de R\$ 2.240.000,00, considerando o valor de R\$ 112.000,00 por bateria. Este valor foi considerado como investimento inicial do estudo de viabilidade.

Com a utilização deste banco de baterias, o proprietário teria um custo evitado com energia elétrica de R\$22.081,80. Este valor foi obtido considerando a carga de 363,63 kWh/dia, multiplicando pelo valor de R\$ 0,174/kWh, que é o valor da tarifa de energia elétrica caso o proprietário tivesse que pagar pela energia elétrica no período diurno, e, multiplicando pela quantidade de dias em um ano de alojamento de aves que é de 349 dias para o estudo em questão. O valor do custo evitado com energia elétrica foi considerado como uma entrada de receitas para estudo de viabilidade.

Além disso, foram calculadas as despesas com energia elétrica relativas ao carregamento das baterias no período de tarifa mais baixa e alimentação das cargas dos quatro aviários no período noturno. Estes valores resultaram em R\$ 8.883,48 e

R\$ 3.454,89, respectivamente. O valor de R\$8.883,48 corresponde aos gastos para carregar os 363,63 kWh/dia no período noturno ao longo de um ano de alojamento de aves, calculado através da multiplicação de 363,63 kWh/dia pelo valor de R\$ 0,07/kWh, que é o valor da tarifa de energia elétrica no período noturno, pela quantidade de dias que é de 349. Já o valor de R\$ 3.454,89 foi obtido a partir da diferença entre a média diária total de energia ativa que é de 505,05 kWh e a média de consumo de energia ativa durante o período de tarifa mais elevada que é de 363,63 kWh, resultando em 141,42 kWh, multiplicando pelo valor de R\$ 0,07/kWh que é o valor da tarifa de energia elétrica no período noturno, multiplicando pelo número de dias de 349 referentes a um ano de alojamento de aves.

A partir destes dados e, utilizando-se da equação (7), calculou-se o Valor Presente Líquido, considerando um horizonte de 12 anos, que é o tempo aproximado de vida útil do banco de baterias informado pelo fabricante (2500 ciclos a 80% de profundidade de descarga), uma taxa mínima de atratividade k de 12% ao ano e o resultado obtido foi de -R\$ 2.179.645,59, conforme apresentado na tabela 7.

Nos cálculos não foram considerados reajustes para as tarifas de energia elétrica, custos relativos a outros componentes do sistema de armazenamento de energia tais como inversores, cabeamentos e custos de operação e manutenção do sistema ao longo do horizonte de 12 anos.

O resultado para este cenário demonstra a inviabilidade da proposta de utilização do banco de baterias no período de tarifa mais elevada e seu carregamento no período de tarifa mais baixa, pois, segundo Gitman (2002), para um projeto ser viável, o valor presente líquido deverá ser maior ou igual a zero. No caso em questão, o valor presente líquido resultou em um número negativo, ou seja, o proprietário não recuperaria o seu investimento ao longo do horizonte estabelecido de 12 anos.

Além disso, foi calculada a taxa interna de retorno, considerando o valor presente líquido igual a zero, o investimento inicial, as entradas do fluxo de caixa, que são as diferenças entre os custos evitados com energia elétrica e as despesas com energia elétrica para carregamento das baterias e alimentação das cargas dos quatro aviários no período noturno, resultando em um valor de -30% ao ano. Ainda segundo Gitman (2002), este valor também demonstra a inviabilidade do projeto,

uma vez que para o projeto ser viável, este valor deveria ser maior do que a taxa mínima de atratividade estipulada pelo investidor, no caso, 12% ao ano.

Para este cenário também calculou-se que, para que o investidor obtenha uma taxa interna de retorno de 12% ao ano, o valor da tarifa de energia elétrica deveria ser de R\$ 2,95/kWh no período diurno. Considerando este valor de tarifa de energia elétrica e que o produtor rural tenha os mesmos incentivos na tarifa de energia elétrica no período noturno, ou seja, R\$ 0,07/kWh, o valor presente líquido encontrado foi de R\$ 2.592,01, conforme pode ser observado na tabela 8. Com isto, observa-se que, para as tarifas de energia elétrica praticadas atualmente este tipo de sistema não é atrativo. No caso em estudo, a tarifa atual de energia elétrica deveria passar de R\$ 0,174/kWh para R\$ 2,95/kWh no período diurno para que o investimento inicial fosse compensado ao longo do horizonte de 12 anos.

Por fim, analisando sob o aspecto do custo do banco de baterias, calculou-se que, para obter um Valor Presente Líquido igual a zero, ou seja, para que o investidor pelo menos obtivesse o retorno do investimento sem ter prejuízo, o investimento inicial do banco de baterias não poderia ser superior a R\$ 60.354,41, que é resultado da somatória das entradas do fluxo de caixa. Neste caso, cada bateria deveria reduzir o seu custo dos atuais R\$ R\$112.000,00 para R\$ 3.017,72.

4.2 Cenário 2

Para o segundo cenário, os cálculos resultaram em um banco composto por 304 baterias de chumbo-ácido. Ocorre que, conforme indicação do fabricante ACDelco Freedom, este tipo de bateria tem vida útil de 1,2 anos quando utilizada a uma profundidade de descarga máxima de 50%. Neste caso, o banco de baterias deverá ser trocado a cada 1,2 anos e o investidor terá novos investimentos ao longo do período de 12 anos, que é o horizonte considerado para o estudo de viabilidade. Para o valor do investimento inicial foram consideradas 304 baterias, multiplicadas por um valor de R\$ 922,00 por bateria, multiplicadas por 10, que é o número de bancos de baterias novos ao longo do período de 12 anos, resultando em um valor de R\$ 2.802.880,00. Este valor foi considerado como investimento inicial do estudo de viabilidade.

Para o cálculo do Valor Presente Líquido referente a este cenário, foram utilizados os mesmos valores do Cenário 1 para a taxa mínima de atratividade,

custo evitado com energia elétrica, despesas com energia elétrica para carregamento das baterias e alimentação das cargas dos quatro aviários no período noturno. O resultado obtido para o Valor Presente Líquido foi de -R\$ 2.742.525,59, conforme apresentado na tabela 9.

Também foi calculada a taxa interna de retorno e, neste cenário, o resultado foi de -31% ao ano.

Os dois resultados, Valor Presente Líquido e taxa interna de retorno, demonstram a inviabilidade da utilização do banco de baterias de chumbo-ácido proposto no Cenário 2.

Neste caso, nota-se que o número de baterias é mais elevado em relação ao cenário 1 além dos valores unitários das baterias de chumbo-ácido serem mais baixos do que as baterias de cloreto de níquel e sódio, porém, a vida útil das baterias de chumbo-ácido são menores do que as baterias de cloreto de níquel e sódio, o que requer novos investimentos no decorrer do horizonte de 12 anos. A vida útil das baterias contribuiu para a inviabilidade do projeto.

Verificou-se ainda que o valor da tarifa de energia elétrica para uma taxa interna de retorno de 12% ao ano deveria ser de R\$ 3,70/kWh Considerando este valor de tarifa de energia elétrica e que o produtor rural tenha os mesmos incentivos na tarifa de energia elétrica no período noturno, ou seja, R\$ 0,07/kWh, o valor presente líquido encontrado foi de R\$ 29.293,49, conforme pode ser observado na tabela 10. Com isto, para as tarifas de energia elétrica praticadas atualmente este tipo de sistema não é atrativo. No caso em estudo, a tarifa atual de energia elétrica deveria passar de R\$ 0,174/kWh para R\$ 3,70/kWh no período diurno para que o investimento inicial fosse compensado ao longo do horizonte de 12 anos.

Por fim, analisando sob o aspecto do custo do banco de baterias, calculou-se que, para obter um Valor Presente Líquido igual a zero, ou seja, para que o investidor pelo menos obtivesse o retorno do investimento sem ter prejuízo, o investimento inicial do banco de baterias não poderia ser superior a R\$ 60.354,41, que é resultado da somatória das entradas do fluxo de caixa. Neste caso, cada bateria deveria reduzir o seu custo dos atuais R\$ 922,00 para R\$ 19,85.

Tabela 7: Cálculo do VPL e TIR para o Cenário 1

| ESTUDO DE VIABILIDADE | INVESTIMENTO INICIAL | ANO 1 | ANO 2 | ANO 3 | ANO 4 | ANO 5 | ANO 6 |
|--|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| (-) Banco de baterias (R\$) | 2.240.000,00 | - | - | - | - | - | - |
| (-) INVESTIMENTO DE CAPITAL PRÓPRIO (R\$) | 2.240.000,00 | - | - | - | - | - | - |
| (+) Custo evitado com energia elétrica (R\$) | - | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 |
| (+) RECEITAS LÍQUIDAS (R\$) | - | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 |
| (-) Despesas com energia elétrica para carregamento das baterias (R\$) | - | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 |
| (-) Despesas com energia elétrica para alimentação das cargas no período noturno (R\$) | - | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 |
| (=) RESULTADO DO EXERCÍCIO (R\$) | - | 9.743,42 | 9.743,42 | 9.743,42 | 9.743,42 | 9.743,42 | 9.743,42 |
| (=) RESULTADO/(1+12%)^t onde t=ano(R\$) | - | 8.699,49 | 7.767,40 | 6.935,18 | 6.192,12 | 5.528,68 | 4.936,32 |
| ESTUDO DE VIABILIDADE | - | ANO 7 | ANO 8 | ANO 9 | ANO 10 | ANO 11 | ANO 12 |
| (+) Custo evitado com energia elétrica (R\$) | - | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 |
| (+) RECEITAS LÍQUIDAS (R\$) | - | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 |
| (-) Gastos com energia elétrica para carregamento do banco de baterias (R\$) | - | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 |
| (-) Despesas com energia elétrica para alimentação das cargas no período noturno (R\$) | - | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 |
| (=) RESULTADO DO EXERCÍCIO (R\$) | - | 9.743,42 | 9.743,42 | 9.743,42 | 9.743,42 | 9.743,42 | 9.743,42 |
| (=) RESULTADO/(1+12%)^t onde t=ano (R\$) | - | 4.407,43 | 3.935,21 | 3.513,58 | 3.137,12 | 2.801,00 | 2.500,89 |
| VALOR PRESENTE LÍQUIDO (R\$) | - 2.179.645,59 | TIR | -30%aa | | | | |

Tabela 8: Cálculo do VPL para Cenário 1 com TIR=12% ao ano e tarifa de energia elétrica modificada

| ESTUDO DE VIABILIDADE | INVESTIMENTO INICIAL(R\$) | ANO 1 | ANO 2 | ANO 3 | ANO 4 | ANO 5 | ANO 6 |
|--|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| (-) Banco de baterias (R\$) | 2.240.000,00 | | | | | | |
| (-) INVESTIMENTO DE CAPITAL PRÓPRIO (R\$) | 2.240.000,00 | | | | | | |
| (+) Custo evitado com energia elétrica (R\$) | - | 374.375,27 | 374.375,27 | 374.375,27 | 374.375,27 | 374.375,27 | 374.375,27 |
| (+) RECEITAS LÍQUIDAS (R\$) | - | 374.375,27 | 374.375,27 | 374.375,27 | 374.375,27 | 374.375,27 | 374.375,27 |
| (-) Despesas com energia elétrica para carregamento das baterias (R\$) | - | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 |
| (-) Despesas com energia elétrica para alimentação das cargas no período noturno (R\$) | - | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 |
| (=) RESULTADO DO EXERCÍCIO (R\$) | - | 362.036,90 | 362.036,90 | 362.036,90 | 362.036,90 | 362.036,90 | 362.036,90 |
| (=) RESULTADO/(1+12%)^t onde t=ano (R\$) | - | 323.247,23 | 288.613,60 | 257.690,71 | 230.080,99 | 205.429,46 | 183.419,16 |
| ESTUDO DE VIABILIDADE | - | ANO 7 | ANO 8 | ANO 9 | ANO 10 | ANO 11 | ANO 12 |
| (+) Custo evitado com energia elétrica (R\$) | - | 374.375,27 | 374.375,27 | 374.375,27 | 374.375,27 | 374.375,27 | 374.375,27 |
| (+) RECEITAS LÍQUIDAS (R\$) | - | 374.375,27 | 374.375,27 | 374.375,27 | 374.375,27 | 374.375,27 | 374.375,27 |
| (-) Gastos com energia elétrica para carregamento do banco de baterias (R\$) | - | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 |
| (-) Despesas com energia elétrica para alimentação das cargas no período noturno (R\$) | - | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 |
| (=) RESULTADO DO EXERCÍCIO (R\$) | - | 362.036,90 | 362.036,90 | 362.036,90 | 362.036,90 | 362.036,90 | 362.036,90 |
| RESULTADO/(1+12%)^t onde t=ano (R\$) | - | 163.767,11 | 146.220,63 | 130.554,13 | 116.566,19 | 104.076,96 | 92.925,85 |
| VALOR PRESENTE LÍQUIDO (R\$) | 2.592,01 | TIR | 12%aa | | | | |

Tabela 9: Cálculo do VPL e TIR para o Cenário 2

| ESTUDO DE VIABILIDADE | INVESTIMENTO INICIAL | ANO 1 | ANO 2 | ANO 3 | ANO 4 | ANO 5 | ANO 6 |
|--|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| (-) Banco de baterias (R\$) | 2.802.880,00 | | | | | | |
| (-) INVESTIMENTO DE CAPITAL PRÓPRIO (R\$) | 2.802.880,00 | | | | | | |
| (+) Custo evitado com energia elétrica (R\$) | - | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 |
| (+) RECEITAS LÍQUIDAS | - | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 |
| (-) Despesas com energia elétrica para carregamento das baterias (R\$) | - | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 |
| (-) Despesas com energia elétrica para alimentação das cargas no período noturno (R\$) | - | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 |
| (=) RESULTADO DO EXERCÍCIO (R\$) | - | 9.743,42 | 9.743,42 | 9.743,42 | 9.743,42 | 9.743,42 | 9.743,42 |
| RESULTADO/(1+12%)^t onde t=ano (R\$) | - | 8.699,49 | 7.767,40 | 6.935,18 | 6.192,12 | 5.528,68 | 4.936,32 |
| ESTUDO DE VIABILIDADE | - | ANO 7 | ANO 8 | ANO 9 | ANO 10 | ANO 11 | ANO 12 |
| (+) Custo evitado com energia elétrica (R\$) | - | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 |
| (+) RECEITAS LÍQUIDAS (R\$) | - | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 | 22.081,80 |
| (-) Gastos com energia elétrica para carregamento do banco de baterias (R\$) | - | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 |
| (-) Despesas com energia elétrica para alimentação das cargas no período noturno (R\$) | - | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 |
| (=) RESULTADO DO EXERCÍCIO (R\$) | - | 9.743,42 | 9.743,42 | 9.743,42 | 9.743,42 | 9.743,42 | 9.743,42 |
| (=) RESULTADO/(1+12%)^t onde t=ano (R\$) | - | 4.407,43 | 3.935,21 | 3.513,58 | 3.137,12 | 2.801,00 | 2.500,89 |
| VALOR PRESENTE LÍQUIDO (R\$) | - 2.742.525,59 | TIR | -31%aa | | | | |

Tabela 10: Cálculo do VPL para o Cenário 2 com TIR= 12% ao ano e tarifa de energia elétrica modificada

| ESTUDO DE VIABILIDADE | INVESTIMENTO INICIAL(R\$) | ANO 1 | ANO 2 | ANO 3 | ANO 4 | ANO 5 | ANO 6 |
|--|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| (-) Banco de baterias (R\$) | 2.802.880,00 | | | | | | |
| (-) INVESTIMENTO DE CAPITAL PRÓPRIO (R\$) | 2.802.880,00 | | | | | | |
| (+) Custo evitado com energia elétrica (R\$) | - | 469.555,42 | 469.555,42 | 469.555,42 | 469.555,42 | 469.555,42 | 469.555,42 |
| (+) RECEITAS LÍQUIDAS (R\$) | - | 469.555,42 | 469.555,42 | 469.555,42 | 469.555,42 | 469.555,42 | 469.555,42 |
| (-) Despesas com energia elétrica para carregamento das baterias (R\$) | - | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 |
| (-) Despesas com energia elétrica para alimentação das cargas no período noturno (R\$) | - | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 |
| (=) RESULTADO DO EXERCÍCIO (R\$) | - | 457.217,05 | 457.217,05 | 457.217,05 | 457.217,05 | 457.217,05 | 457.217,05 |
| (=) RESULTADO/(1+12%)^t onde t=ano (R\$) | - | 408.229,51 | 364.490,63 | 325.438,06 | 290.569,70 | 259.437,23 | 231.640,39 |
| ESTUDO DE VIABILIDADE | - | ANO 7 | ANO 8 | ANO 9 | ANO 10 | ANO 11 | ANO 12 |
| (+) Custo evitado com energia elétrica (R\$) | - | 469.555,42 | 469.555,42 | 469.555,42 | 469.555,42 | 469.555,42 | 469.555,42 |
| (+) RECEITAS LÍQUIDAS (R\$) | - | 469.555,42 | 469.555,42 | 469.555,42 | 469.555,42 | 469.555,42 | 469.555,42 |
| (-) Gastos com energia elétrica para carregamento do banco de baterias (R\$) | - | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 | 8.883,48 |
| (-) Despesas com energia elétrica para alimentação das cargas no período noturno (R\$) | - | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 | 3.454,89 |
| (=) RESULTADO DO EXERCÍCIO (R\$) | - | 457.217,05 | 457.217,05 | 457.217,05 | 457.217,05 | 457.217,05 | 457.217,05 |
| RESULTADO/(1+12%)^t onde t=ano (R\$) | - | 206.821,77 | 184.662,30 | 164.877,05 | 147.211,65 | 131.438,98 | 117.356,23 |
| VALOR PRESENTE LÍQUIDO (R\$) | 29.923,49 | TIR | 12%aa | | | | |

5 CONCLUSÕES

No período compreendido entre 25 de maio de 2013 e 9 de maio de 2014 o conjunto de quatro aviários em estudo apresentou um consumo de energia ativa de 176.260kWh, tendo sido alojadas aproximadamente 600.000 aves, resultando em um número índice de 0,29kWh por ave alojada.

De acordo com o programa de tarifação de energia elétrica atual em que o proprietário rural está inserido, denominado Programa de Avicultura Noturna da Companhia Paranaense de Energia Elétrica, em média, 72% da energia ativa consumida ao longo de um ano de alojamento de aves ocorreu durante o período em que a tarifa de energia elétrica custava R\$ 0,174/kWh e 28% da energia ativa consumida durante o período em que a energia elétrica custava R\$ 0,07/kWh. O consumo médio diário de energia ativa da propriedade foi de 505,04 kWh.

Neste estudo, foram propostos dois sistemas de armazenamento de energia, sendo que para o primeiro cenário foi utilizado um banco de baterias de cloreto de níquel e sódio e, para o segundo cenário, um banco de baterias de chumbo-ácido.

Em ambos os cenários, o banco de baterias foi dimensionado para alimentar as cargas dos quatro aviários no período de tarifa de energia elétrica de R\$ 0,174/kWh e carregamento do banco de baterias no período em que a tarifa é de R\$ 0,07/kWh.

Tanto a utilização de banco de baterias de cloreto de níquel e sódio como baterias de chumbo-ácido mostraram-se opções inviáveis economicamente para o conjunto de aviários da propriedade rural em estudo.

De acordo com o projeto realizado para esta pesquisa, o investimento inicial para o sistema de armazenamento de energia com banco de baterias de cloreto de níquel e sódio foi de R\$ 2.240.000,00 e o valor presente líquido foi de -R\$ 2.158.244,70. Já para o banco de baterias de chumbo-ácido, o investimento inicial foi de R\$ 2.802.880,00 e o valor presente líquido foi de -R\$ 2.742.525,59.

O estudo demonstrou que os custos evitados com energia elétrica através da utilização destes sistemas, que foram as entradas do fluxo de caixa para o estudo de viabilidade econômica, na ordem de R\$ 22.081,80 anuais, são consideravelmente baixos se comparados com os investimentos iniciais, o que contribuiu para a inviabilidade do projeto. Aliado a isto, para os sistemas propostos, o proprietário teria

despesas com energia elétrica para o carregamento diário do banco de baterias, mesmo sendo o período das 21 h 30 min às 6 h do dia seguinte o período de tarifa mais baixa.

Apesar da inviabilidade econômica do projeto demonstrada no primeiro cenário, cabe ressaltar a importância da utilização de sistemas de armazenamento de energia com baterias de cloreto de níquel e sódio, quando avaliados sob o aspecto da redução de impactos ambientais, uma vez que os componentes deste tipo de bateria são 100% recicláveis.

Cabe ainda destacar que o Brasil não possui o domínio de produção da tecnologia de baterias de cloreto de níquel e sódio, tendo sido encontradas nesta pesquisa apenas duas empresas fabricantes desta tecnologia no mundo, sendo a General Electric nos Estados Unidos e a FIAMM SONIC na Suíça, o que faz com que os investimentos para este tipo de projeto ainda não sejam atrativos para o Brasil.

Por outro lado, a tecnologia de baterias de chumbo-ácido é bem dominada, tendo o Brasil uma indústria consolidada de produção deste tipo de bateria. No estudo em questão, notou-se que, mesmo as baterias de chumbo-ácido, que se mostraram mais vantajosas em termos de investimentos iniciais, não tornaram viável o projeto, uma vez que, devido à vida útil reduzida, o banco de baterias tem que ser substituído com maior frequência.

Pode-se verificar ainda que, para os dois cenários, somente para estágios em que a tarifa de energia elétrica passasse de R\$ 0,174/kWh para R\$ 2,95/kWh (Cenário 1) e para R\$ 3,70/kWh (Cenário 2), ou então que o custo das baterias fossem inferiores ao atuais é que o investidor teria seu investimento compensado no horizonte de 12 anos.

Por fim, conclui-se que, para os dois cenários de estudo, os investimentos em sistemas de armazenamento de energia com banco de baterias, seja de cloreto de níquel e sódio ou de chumbo-ácido, são relativamente elevados para as propriedades rurais que já são abastecidas por rede de alimentação da concessionária local de energia elétrica.

Estes sistemas de armazenamento de energia podem se tornar mais atrativos para aplicação em locais que não dispõem de rede de alimentação convencional de energia, uma vez que seriam evitados elevados investimentos com infraestrutura de

linhas de transmissão para direcionar a energia elétrica proveniente das usinas hidrelétricas, predominantes no Brasil, até os locais de consumo. Além disso, está a possibilidade da utilização de bancos de baterias similares aos estudados aliados às fontes renováveis de energia como a energia solar fotovoltaica e a energia eólica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEF. História da Avicultura no Brasil. Disponível em: http://www.ubabef.com.br/a_avicultura_brasileira/historia_da_avicultura_no_brasil. Acesso em 27 de maio de 2014.

ACDELCO FREEDOM. Baterias Estacionárias. Disponível em: <http://www.acdelcofreedom.com.br/bateria-estacionarias.aspx#>. Acesso em 18 de janeiro de 2015.

ANEEL. Audiência Pública 2008. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2008/027/apresentacao/copel_-_dfi_last.pdf. Acesso em 27 de maio de 2014.

AKHIL, A. A.; HUFF, G.; CURRIER, A. B.; KAUN, B. C.; RASTLER, D. M.; CHEN, S. B.; COTTER, A. L.; BRADSHAW, D. T.; GAUNTLETT, W. DOE/EPRI 2013 Electricity Handbook in Collaboration with NRECA. California: Sandia National Laboratories, 2013.

A123 Systems (2014) Nanophosphate Lithium Ion Prismatic Pouch Cell AMP20m1HD-A. Disponível em: <http://liionbms.com/pdf/a123/AMP20M1HD-A.pdf>

BALDIN, Vitor. Geração de energia na avicultura de corte a partir da cama de aviário. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

BATTKE, B. et al. A review and probabilistic model of lifecycle costs of stationary batteries in multiple applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 25, p. 240–250, doi:10.1016/j.rser.2013.04.023, 2013.

BROUSSELY, M.; PISTOIA, G. Industrial Applications of Batteries: From Cars to Aerospace and Energy Storage. 1 ed. Elsevier: Netherlands, 2007.

CALIXTO, L.; OLIVEIRA, L. T. D. A avicultura como atividade satisfatória para pequenos produtores com o sistema integrado de produção em um município do norte do Paraná. Cornélio Procópio, 2012.

COPEL. Informações úteis: Tarifas de Energia da COPEL. Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2Fb2f4a2f0687eb6cf03257488005939b9>. Acesso em 3 de maio de 2015.

CHANG, C. A. **Otimização técnico-econômica de um sistema híbrido fotovoltaico-diesel com banco de baterias**. 2012. Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

- CROMPTON, T. R. Battery Reference Book. 3 ed. Newnes: Oxford, 2000.
- DANIEL, C.; BESENHARD, J. O. **Hadbook of Battery Materials**. 2. ed. USA: Wiley-VCH, 2012
- DIVYA, K. C. e ØSTERGAARD, J. Battery energy storage technology for power systems: An overview. **Electric Power Systems Research**, v. 79, n. 4, p. 511–520, doi:10.1016/j.epsr.2008.09.017, 2009.
- DUSTMANN, C.-H. Advances in ZEBRA batteries. **Journal of Power Sources**, v. 127, n. 1-2, p. 85–92, doi:10.1016/j.jpowsour.2003.09.039, 2004.
- ELETROBRAS. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel. Disponível em: <http://www.eletronbras.com/elb/data/Pages/LUMIS0389BBA8PTBRIE.htm>. Acesso em 3 de maio de 2015.
- ELLIS, B. L. e NAZAR, L. F. Sodium and sodium-ion energy storage batteries. **Current Opinion in Solid State and Materials Science**, v. 16, n. 4, p. 168–177, doi:10.1016/j.cossms.2012.04.002, 2012.
- EPRI. Electric Energy Technology Options: A White Paper Primer on Applications, Costs and Benefits. EPRI. Palo Alto, CA, 2010.
- EYER, J.; COREY, G. Energy Storage for the Electricity Grid : Benefits and Market Potential Assessment Guide A Study for the DOE Energy Storage Systems Program., 2010.
- FIAMM SONIC. Energy Storage Solutions. Disponível em: http://fiamm.com/media/215334/20141024_st523_datasheet_eng-web.pdf. Acesso em 12 de janeiro de 2015.
- GENERAL ELECTRIC. Durathon Brochure. Disponível em: <http://geenergystorage.com/energy-management/brochures>. Acesso em 17 de junho de 2014.
- GENERAL ELECTRIC. Durathon DCKWh Series Technical Specifications. Disponível em <http://geenergystorage.com/energy-management/technical-specifications>. Acesso em 12 de janeiro de 2015.
- GIROTTTO, A. F.; AVILA, V. S. Sistemas de Produção de Frangos de Corte. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Ave/ProducaodeFrangodeCorte/Importancia-economica.html>. Acesso em 02 de junho de 2014.
- GITMAN, L. J. Princípios de Administração Financeira. 7. ed. São Paulo: Harbra, 2002.

KOUSKSOU, T. et al. Energy storage: Applications and challenges. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 120, p. 59–80, doi:10.1016/j.solmat.2013.08.015, 2014.

JANNUZZI, G. M. **Políticas Públicas Para Eficiência Energética e Energia Renovável no Novo Contexto de Mercado: Uma Análise da Experiência Recente dos EUA e do Brasil**. São Paulo: Autores Associados, 2000.

LEADBETTER, J. e SWAN, L. Battery storage system for residential electricity peak demand shaving. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 685–692, doi:10.1016/j.enbuild.2012.09.035, 2012.

LEADBETTER, J. e SWAN, L. G. Selection of battery technology to support grid-integrated renewable electricity. **Journal of Power Sources**, v. 216, p. 376–386, doi:10.1016/j.jpowsour.2012.05.081, 2012.

LONGO, S. et al. Life cycle assessment of storage systems: the case study of a sodium/nickel chloride battery. **Journal of Cleaner Production**, doi:10.1016/j.jclepro.2013.10.004, 2013.

MANZONI, R.; METZGER, M.; CRUGNOLA, G. Zebra Electric Energy Storage System: from R&D to Market. HTE, 2008.

MARONEZI, L. **Impactos ambientais da criação de frangos de corte no sistema de integração na pequena propriedade rural**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (tecnologia em Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Camargo, 2011.

MULDER, G. et al. The dimensioning of PV-battery systems depending on the incentive and selling price conditions. **Applied Energy**, v. 111, p. 1126–1135, doi:10.1016/j.apenergy.2013.03.059, 2013.

NAIR, N.-K. C. e GARIMELLA, N. Battery energy storage systems: Assessment for small-scale renewable energy integration. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 11, p. 2124–2130, doi:10.1016/j.enbuild.2010.07.002, 2010.

NASCIMENTO, L. A. B. **Análise energética na avicultura de corte: estudo de viabilidade econômica para um sistema de geração de energia elétrica eólico-fotovoltaico conectado a rede**. Pato Branco, 2011.

PEARRE, N. S. e SWAN, L. G. Technoeconomic feasibility of grid storage: Mapping electrical services and energy storage technologies. **Applied Energy**, p. 2–11, doi:10.1016/j.apenergy.2014.04.050, 2014.

PINHO, J. T. e GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014.

POULLIKKAS, A. A comparative overview of large-scale battery systems for electricity storage. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 778–788, doi:10.1016/j.rser.2013.07.017, 2013.

EPRI. Electricity Energy Storage Technology Options. California: Electric Power Research Institute, 2010.

REIS, L. B. **Geração de Energia Elétrica**. 1. ed. Barueri: Manole, 2003.

SINDIAVIPAR. Anuário Paranaense da Avicultura 2014. Disponível em <http://www.sindiavipar.com.br/pdfs/folder-2014.pdf>. Acesso em 02 de junho de 2014.

SPRENGER, H. E. Viabilidade do uso de biogás de ETE para alimentação de células a combustível de ácido fosfórico. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2009.

SUDWORTH, J. The sodium/nickel chloride (ZEBRA) battery. **Journal of Power Sources**, v. 100, n. 1-2, p. 149–163, doi:10.1016/S0378-7753(01)00891-6, 2001.

TOMALSQUIM, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

UBA. Relatório Anual 2012. Disponível em: <http://www.ubabef.com.br/files/publicacoes/41c30a0f46702351b561675f70fae077.pdf>. Acesso em 27 de maio de 2014.

YAN, X. et al. Techno-economic and social analysis of energy storage for commercial buildings. **Energy Conversion and Management**, v. 78, p. 125–136, doi:10.1016/j.enconman.2013.10.014, 2014a.

YAN, X. et al. Techno-economic and social analysis of energy storage for commercial buildings. **Energy Conversion and Management**, v. 78, p. 125–136, doi:10.1016/j.enconman.2013.10.014, 2014b.

YEKINI SUBERU, M.; WAZIR MUSTAFA, M. e BASHIR, N. Energy storage systems for renewable energy power sector integration and mitigation of intermittency. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 35, p. 499–514, doi:10.1016/j.rser.2014.04.009, 2014.