

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

GABRIEL LUIZ SALOMÃO  
JEFFERSON MOROVIS DE SOUZA TEIXEIRA  
RAUL HENRIQUE CAMIOTTI RODRIGUES

**APLICAÇÃO DE UM IMPLEMENTO AGRÍCOLA COM  
MOTORIZAÇÃO ELÉTRICA EM PEQUENAS PROPRIEDADES  
RURAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA**

**2017**

GABRIEL LUIZ SALOMÃO  
JEFFERSON MOROVIS DE SOUZA TEIXEIRA  
RAUL HENRIQUE CAMILOTTI RODRIGUES

**APLICAÇÃO DE UM IMPLEMENTO AGRÍCOLA COM  
MOTORIZAÇÃO ELÉTRICA EM PEQUENAS PROPRIEDADES  
RURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de conclusão de curso 2, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: **Professor Ednilson Soares Maciel**

**CURITIBA  
2017**

Gabriel Luiz Salomão  
Jefferson Morovis de Souza Teixeira  
Raul Henrique Camilotti Rodrigues

## **APLICAÇÃO DE UM IMPLEMENTO AGRÍCOLA COM MOTORIZAÇÃO ELÉTRICA EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro(a) Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 20 de novembro de 2017.

---

**Prof. Emerson Rigoni, Dr.**  
**Coordenador de Curso**  
**Engenharia Elétrica**

---

**Profa. Annemarien Gehrke Castagna, Mestre**  
**Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso**  
**De Engenharia Elétrica do DAELT**

### **Orientação**

---

Prof. Ednilson Soares Maciel, Mestre  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### **Banca Examinadora**

---

Prof. Jaime Favretto  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Joaquim Eloir Rocha  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Roberto Candido  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## RESUMO

SALOMÃO, Gabriel L.; RODRIGUES, Raul H. C.; TEIXEIRA, Jefferson M. S. **Aplicação de um implemento agrícola com motorização elétrica em pequenas propriedades rurais**. 2017. 68 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação – Curso de Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

O desenvolvimento da tecnologia no âmbito de implementos agrícolas no Brasil, sempre teve como foco os grandes produtores, não evoluindo nas mesmas proporções para atender a agricultura familiar. Para este pequeno agricultor grandes tratores são muito custosos e ineficientes. Já o motocultivador tem como objetivo de realizar trabalhos rurais de pequeno porte e atualmente a maior parte deles é suprido por energias não-renováveis em um motor de combustão interna. Este processo têm uma eficiência muito baixa, sendo que a maior parte da energia é desperdiçada e não é convertida em trabalho. Uma alternativa é a substituição por uma motorização elétrica. A energia que alimenta este sistema pode ser fornecida pela concessionária de energia, ou através de geração distribuída. Foi avaliado e especificado as partes constituintes do implemento elétrico e então a construção do protótipo utilizando um motoredutor conectado a um inversor e ao analisador de energia, e também a estrutura que sustenta todo o sistema. Posteriormente foram definido os métodos experimentais que viabilizaram a comparação entre os dois motocultivadores. Após os experimentos, foi possível coletar dados suficientes para a comparação efetiva do consumo específico, verificando uma redução de 33 vezes de consumo para o funcionamento do motocultivador elétrico desenvolvido em relação ao motocultivador a combustão interna. E também outras vantagens de custo de operação, ergonomia e impacto ambiental.

**Palavras-chave:** Motocultivador elétrico. Sustentabilidade de pequenas propriedades rurais. Consumo específico. Aplicação rural. Objetivos de desenvolvimento sustentável.

## ABSTRACT

SALOMÃO, Gabriel L.; RODRIGUES, Raul H. C.; TEIXEIRA, Jefferson M. S. **Application of an agricultural implement with electric motorization in small rural properties**. 2017. 68. p Trabalho de conclusão de curso (Graduação – Curso de Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

The development of technology in the field of agricultural implements in Brazil has always focused on large producers, not evolving in the same proportions to attend family farming. For this small farmer, large tractors are very costly and inefficient. On the other hand, the motorcultivator aims to carry out small-scale rural work and today most of it is supplied by non-renewable energies in an internal combustion engine. This process has a very low efficiency, and most of the energy is wasted and not converted into work. An alternative is the replacement by an electric motorization. The energy that feeds this system can be supplied by the power distribution company, or through distributed generation. The design of the constituent parts of the electric implement was evaluated and specified, and then the prototype was constructed using a gearmotor connected to an inverter and the energy analyzer, as well as the structure that supports the entire system. Subsequently, the experimental methods that enabled the comparison between the two cultivators were defined. After the experiments, it was possible to collect sufficient data for the effective comparison of the specific consumption, verifying a 33 times reduction in consumption for the operation of the developed electric motorcultivator in relation to the motorcultivator with internal combustion. And also other advantages of operation cost, ergonomics and environmental impact.

**Keywords:** Eletrical motocultivator. Sustainability of small rural properties. Specific consumption. Rural application. Sustainable development goals.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Motocultivador Kawashima ER28.....                    | 41 |
| Figura 2 - Display do inversor CFW08.....                        | 43 |
| Figura 3 - Estrutura motocultivador elétrico.....                | 44 |
| Figura 4 - Analisador de energia Minipa ET-5060C.....            | 45 |
| Figura 5 - Conjunto motoredutor.....                             | 46 |
| Figura 6 - Cocheiras para equinos.....                           | 47 |
| Figura 7 - Bancada.....  | 48 |
| Figura 8 - Experimento com o protótipo elétrico.....             | 49 |
| Figura 9 - Baia 2 antes de realizar o experimento.....           | 49 |
| Figura 10 - Baia 2 depois de realizar o experimento.....         | 50 |
| Figura 11 - Experimento com o Motocultivador Kawashima ER28..... | 51 |
| Figura 12 - Baia 3 antes de realizar o experimento.....          | 51 |
| Figura 13 - Baia 3 depois de realizar o experimento.....         | 52 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Comparativo do consumo energético diário per capita.....   | 18 |
| Tabela 2 - Poder calorífico em Joules e Calorias de combustíveis..... | 19 |
| Tabela 3 - Classificação de tratores pela potência.....               | 22 |
| Tabela 4 - Fatores de serviço.....                                    | 30 |
| Tabela 5 - Resultados obtidos com os motocultivadores.....            | 59 |

## LISTA SIGLAS

|      |  |
|------|--|
| ANP  | Agência Nacional do Petróleo                   |
| BEN  | Balanco Energético Nacional                    |
| CA   | Corrente Alternada                             |
| CC   | Corrente Contínua                              |
| EPE  | Empresa de Pesquisa Energética                 |
| EPI  | Equipamento de Proteção Individual             |
| INEE | Instituto Nacional de Eficiência Energética    |
| ISO  | International Organization for Standardization |
| NBR  | Norma Brasileira Regulamentadora               |
| ODS  | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável       |
| ONU  | Organizações das Nações Unidas                 |
| PDE  | Plano Decenal de Expansão de Energia           |
| NR   | Norma Regulamentadora                          |
| NBR  | Norma Brasileira                               |
| SIN  | Sistema Interligado Nacional                   |



## LISTA DE ACRÔNIMOS

|         |   |
|---------|---|
| ADENE   | Agência de Desenvolvimento do Nordeste                            |
| ANEEL   | Agência Nacional de Energia Elétrica                              |
| CONAERG | Congresso Internacional de Ergonomia Aplicada                     |
| COPEL   | Companhia Paranaense de Energia                                   |
| MRT     | Sistema Monofilar com Retorno por Terra                           |
| PDE     | Plano Decenal de Expansão de Energia                              |
| SOBER   | Sociedade Brasileira De Economia Administração E Sociologia Rural |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 11 |
| 1.1 TEMA DE PESQUISA.....                                  | 11 |
| 1.1.1 Delimitação do Tema.....                             | 12 |
| 1.2 PROBLEMA E PREMISSAS.....                              | 13 |
| 1.3 OBJETIVOS.....   | 14 |
| 1.3.1 Objetivo Geral.....                                  | 14 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos.....                           | 14 |
| 1.4 JUSTIFICATIVA.....                                     | 15 |
| 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....                       | 16 |
| 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....                             | 16 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO.....                                | 17 |
| 2.1 MOTOCULTIVADOR.....                                    | 21 |
| 2.1.1 Aplicações.....                                      | 22 |
| 2.1.2 Características construtivas.....                    | 23 |
| 2.1.2 Limitações de operação devido à fatores humanos..... | 24 |
| 2.2 MOTORIZAÇÃO ELÉTRICA.....                              | 26 |
| 2.2.1 Fator classe de isolamento.....                      | 28 |
| 2.2.1.3 Grau de proteção.....                              | 28 |
| 2.2.1.4 Fator de serviço.....                              | 29 |
| 2.2.1.4.1 Regime de serviço.....                           | 31 |
| 2.3 TIPOS DE ACIONAMENTOS.....                             | 32 |
| 2.3.1 Critérios de seleção.....                            | 32 |
| 2.3.2 Acionamentos do inversor.....                        | 33 |
| 2.4 TIPOS DE FONTES DE SUPRIMENTO.....                     | 34 |
| 2.4.1 Bateria elétrica.....                                | 34 |
| 2.3.2 Manutenção da bateria.....                           | 36 |
| 2.4.2 Energia fotovoltaica.....                            | 38 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS.....                                 | 39 |
| 3.1 MATERIAIS.....   | 40 |

|  |    |
|--|----|
| 3.1.1 Materiais utilizados no experimento com o motocultivador a combustão interna ..... | 40 |
| 3.1.2 Materiais utilizados no experimento com o motocultivador elétrico.....             | 41 |
| 3.1.2.1 Inversor CFW08.....  | 42 |
| 3.1.2.2 Estrutura.....   | 43 |
| 3.1.2.3 Analisador de energia.....   | 44 |
| 3.1.2.4 Motoredutor.....   | 45 |
| 3.2 LOCAL DO EXPERIMENTO.....  | 46 |
| 3.3 MÉTODO.....  | 47 |
| 3.3.1 Experimento realizado com o protótipo elétrico.....                                | 47 |
| 3.3.2 Experimento realizado com o motocultivador a gasolina.....                         | 50 |
| 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....  | 53 |
| 4.1 ANÁLISE DO CONSUMO ESPECÍFICO DO MOTOCULTIVADOR A COMBUSTÃO.....                     | 53 |
| 4.2 ANÁLISE DO CONSUMO ESPECÍFICO DO PROTÓTIPO ELÉTRICO.....                             | 55 |
| 4.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.....   | 58 |
| 5 CONCLUSÃO.....   | 61 |
| 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....  | 62 |
| REFERÊNCIAS.....   | 63 |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA DE PESQUISA

A força animal ou humana é ainda muito utilizada para a produção agrícola de pequenas lavouras.

A tração animal continuou e ainda continua atuando, para manter a intensa ocupação de terra, evitar o desemprego e permitir a continuidade de produção na agricultura, enquanto se introduz, paulatinamente, a motomecanização no campo (Beretta, 1988, p. 10, 11).

Contudo, usar tração animal acaba sendo demorado e ineficiente, fora o desgaste físico exagerado do produtor. Em alguns casos utiliza-se máquinas que são abastecidas através de fontes de energia não-renováveis<sup>1</sup>. Estas energias, em um cenário mais amplo, não apresentam grande eficiência no processo de pequenos produtores devido a fatores como: alto custo de operação e agressividade ao meio ambiente. Além disso, essas máquinas liberam gases poluentes diretamente no operador. Por isso deve-se buscar um equilíbrio na forma de energia obtida e seu gasto energético (VON HERTWIG BITTENCOUT, 2005).

Para haver desenvolvimento, é necessário o consumo de energia<sup>2</sup>, impactando diretamente o meio ambiente. Segundo Goldemberg e Lucon (2007), “nada impede que o uso de tecnologias modernas e eficientes seja introduzido logo no início do processo de desenvolvimento, acelerando com isso o uso de tecnologias eficientes.”

Na grande maioria dos estados do Brasil, existiram dificuldades com a distribuição de terras entre pequenos produtores e grandes latifundiários. Desde que a tecnologia alcançou o meio rural, os proprietários de grandes fazendas que tinham os meios financeiros para adquirir o moderno maquinário de produção, aumentaram

---

<sup>1</sup> Não renováveis: Energias provenientes principalmente do carvão, petróleo, gás natural e energia nuclear. Elas existem em quantidades limitadas na natureza e são consideradas sujas pois sua utilização é a causa direta de danos ao meio ambiente.

<sup>2</sup> A energia que está em quase todos os trabalhos que exercemos. É ela que põe as máquinas e fábricas a funcionar, ilumina as cidades, abastece os carros, comboios, aviões. Tudo o que está ao nosso redor exige uma certa quantidade de energia para se desenvolver e existir.

consideravelmente em proporção ao agricultor de pequeno porte. Poucas medidas governamentais tiveram força para alterar o quadro de desigualdade no país (ALMEIDA; SERRA, 2012). Segundo Serra (2001, p. 49), isso desenvolve duas classes distintas: “uma constituída de proprietários de terras, na condição de empresários rurais ou na condição de latifundiários, outra constituída de empregados rurais”. Conseqüentemente, o mercado de máquinas de pequeno porte ficou longe de ver o mesmo desenvolvimento que as de grande porte.

A eficiência do processo dos pequenos produtores, na produção de alimentos, é um dos pontos cruciais para se alcançar a maior rentabilidade possível por hectare. Porém, na maioria das vezes, como apresenta Goldemberg e Lucon (2007) eles carecem de recursos e de tecnologia para melhorar esse processo em pequenas propriedades. Neste âmbito, o engenheiro eletricitista pode contribuir, visando relacionar o conhecimento técnico adquirido, envolvendo variáveis fundamentais como o meio ambiente, economia e energia.

### 1.1.1 Delimitação do Tema

No setor rural existe a possibilidade de utilizar diversos tipos de energia elétrica (solar, hidroelétrica, bioquímica, eólica). No entanto, a mais utilizada é a energia fornecida da concessionária. Já em máquinas, como microtratores, usados por pequenos produtores, a forma dominante de energia é derivada combustíveis fósseis.

O estudo que será realizado neste trabalho utiliza conhecimentos técnicos de engenharia elétrica com o objetivo de especificar e desenvolver um implemento utilizando a energia elétrica para lavrar a terra.

O principal ponto a ser analisado serão dados de valores médios de consumo de energia.

## 1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

A maior parte dos problemas que cercam pequenos produtores estão relacionados aos custos de aquisição e manutenção de todos os equipamentos. Embora as máquinas elétricas e tratores sejam objetos de estudos há muito tempo, pouco se evoluiu para combinar todo esse conhecimento no âmbito comercial destes produtores rurais.

A grande dificuldade será combinar dados, principalmente da literatura, e organizá-los de tal forma a convencer que o uso da máquina elétrica de pequena potência, é mais viável para o produtor do que as existentes de motor à combustão quanto ao menor consumo de energia.

Espera-se que os incentivos fiscais cresçam ainda mais conforme se evidencie as vantagens da utilização de energias renováveis para o futuro do meio ambiente. Estes incentivos acabam reduzindo consideravelmente o custo da máquina, para que ela se torne mais competitiva na hora da compra.

Em um contato mais próximo já feito por outros estudos, têm-se alguns problemas já esperados de dificuldades de aceitação de novas tecnologias e utilização delas.

Levar alternativas a o campo também não é tarefa fácil. Primeiro porque, como já mencionamos, o agricultor nem sempre está disposto a aceitá-las. No entanto, o problema mais grave parece se concentrar na deficiência de assistência técnica que possa atender e acompanhar as demandas do meio rural (WESZ JUNIOR et al., 2008, p. 15 e 16).

Levando em consideração todos esses aspectos, seria possível uma substituição do implemento agrícola de combustão interna por um elétrico de forma eficaz?

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal do trabalho é o desenvolvimento de um implemento agrícola que se utiliza de fontes de energia mais limpas.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Coletar dados de consumo específico de motocultivadores em artigos e sites;
- Traçar parâmetros a ser seguidos para análise desses dados;
- Identificar problemas nos motocultivadores acionados por motores de combustão interna;
- Especificar os materiais utilizados, motorização, tipos de acionamentos, tipos de fontes de energia e potência do protótipo (implemento elétrico);
- Produzir um protótipo;
- Análise de consumo específico do protótipo (implemento elétrico) e de um motocultivador a combustão interna;
- Comparar dados coletados do protótipo com os coletados do motocultivador a combustão interna.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Para que exista uma maior diversificação nos objetos de estudo, a academia deve se apoderar de dificuldades existentes e oportunidades promovedoras de soluções em um âmbito muito maior do que as áreas específicas dos cursos em questão. Este implemento abrange desafios para várias áreas assim como controle, mecânica, agrícola e social.

No ano de 2015, a ONU (organização das nações unidas) estabeleceu 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) para promover uma melhoria na qualidade de vida do ser humano e reduzir o impacto negativo das atividades humanas no meio ambiente (UN, 2017). Dentre os objetivos propostos, o objetivo 2 em específico determina o fim da fome, alcançar a segurança alimentar, melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável, sendo esse último uma das motivações deste trabalho.

Segundo Fedrizzi (1997) o uso da eletricidade, além de ter uma vasta aplicação a necessidade humana atual, é associada muitas vezes à uma sociedade avançada tecnologicamente. No Brasil há disponibilidade de energia elétrica através de fontes renováveis ou não renováveis. Na matriz elétrica, a energia que é gerada através de usinas hidrelétricas tem um peso muito grande. Contudo, ainda assim, o Brasil é dependente do petróleo e seus derivados. O relatório síntese do Balanço Energético Nacional (BEN) 2016 evidencia que 58,8% da oferta interna de energia são de fontes não renováveis, e 37,3% das fontes não renováveis são de origem do petróleo e derivados (BRASIL, 2016).

No âmbito rural, a dependência de motores à combustão interna, que na maioria das vezes são abastecidos por combustíveis derivados do petróleo ainda sobrepõe-se ao uso do motor elétrico. Mousazadeh et al. (2011), diz que os tratores agrícolas são responsáveis por grande parcela na poluição do ar.

Este é um cenário que torna questionável o uso desta fonte de energia para alimentar estes tratores e microtratores fundamentado no desenvolvimento sustentável. Por essa razão a criação desse implemento é de relevância, visto que



além do aprimoramento no conhecimento técnico para o avanço na tecnologia, se busca uma alternativa sustentável para pequenos produtores.

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente foram buscadas informações já existentes na literatura sobre motocultivadores em geral e seu consumo específico de energia. A identificação destas características são fundamentais para a produção do protótipo elétrico.

Depois de coletadas essas informações, o objetivo será definir a melhor forma de disposição de todos os equipamentos. A partir disso será definidas técnicas para construção e análise prática de desempenho.

A comparação dos dados coletados pela análise prática do novo implemento com a de um motocultivador a combustão interna viabilizam a fácil compreensão das informações.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) será composto dos seguintes capítulos:

1. Introdução: apresentação da proposta de trabalho, explicando o propósito, os objetivos e procedimentos metodológicos;
2. Referencial teórico: revisão bibliográfica da pesquisa;
3. Materiais e métodos: todos os materiais utilizados assim como a sua construção;
4. Análise dos resultados: comparação entre a tecnologia existente e o implemento criado;
5. Conclusão: serão tiradas as devidas conclusões sobre a utilização do protótipo e suas consequências;

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo retrata alguns parâmetros energéticos e conceitos fundamentais dos equipamentos que já existem no mercado, algumas restrições elétricas e mecânicas de operações e, também, algumas tecnologias que já são utilizadas em aplicações similares.

No 48º Congresso da SOBER (Sociedade Brasileira de Economia Administração e Sociologia Rural) os profissionais da área indicam que:

Como agenda de estudos, destaca-se a necessidade de trabalhos voltados para o levante histórico de empresas de menor porte [...] estudo sobre as tendências do mercado de produtos agrícolas, como novas máquinas, tecnologias de gestão integrada, tecnologias de *water management*, tecnologias limpas, entre outras; e por último, potencial de novos entrantes neste mercado (VIAN; ANDRADE JÚNIOR, 2010, p. 19).

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em conjunto com a Agência de Desenvolvimento do Nordeste (ADENE) nos Procedimentos de Elaboração de Balanços Energéticos (SUDENE, 2005) categoriza as energias em: primárias<sup>3</sup> e secundárias<sup>4</sup>. Segundo a Companhia Paranaense de Energia (Copel), as primárias são produzidas diretamente pela natureza e as secundárias são aquelas que passaram por algum centro de transformação (COPEL, 2008).

Os microtratores são implementos que já existem no mercado e que, na maioria das vezes tem um motor a combustão interna acoplado, transformando a energia derivada dos combustíveis fósseis em energia secundária para então ser convertida em mecânica. Essa transformação tem rendimento baixo, sendo na ordem de 25% a 35%. Liljedahl (1989 apud RODRIGUES et al., 2008).

A John Deere, uma das principais fabricantes de implementos agrícolas do mundo, em um artigo feito por Kamphorst (2003, p. 1) define como medir o consumo de um implemento agrícola sendo que “o consumo de combustível gasto nas operações agrícolas, está diretamente proporcional à quantidade de energia

---

<sup>3</sup> Exemplos de energias primárias: Petróleo, gás natural, xisto, carvão mineral, energia hidráulica, lenha, resíduos de madeira e os produtos da cana.

<sup>4</sup> Exemplos de energias secundárias: Óleo diesel, óleo combustível, gasolina (automotiva e de aviação), gás liquefeito de petróleo - GLP, nafta, querosene (iluminante e de aviação), gás de xisto, eletricidade, carvão vegetal, álcool etílico (anidro e hidratado).

solicitada pela máquina (KWh), que serve de parâmetro para medir o trabalho de uma máquina no campo.” e que a partir deste parâmetro, pode-se calcular o consumo específico, e outros parâmetros que adequam-se melhor para uma análise comparativa (Kamphorst, 2003).

O consumo humano de energia per capita tem um crescimento exponencial, pois o ser humano utiliza mais energia para se alimentar, como também para realizar atividades mais complexas como: comércio, transporte e criar tecnologias. Uma maneira de dar sustentabilidade para essa tendência, é a substituição por máquinas e processos mais eficientes e também com a utilização de fontes energias renováveis.

Na Tabela 1 tem-se um comparativo entre o consumo de energia per capita do ser humano ao longo de sua existência.

**Tabela 1 - Comparativo do consumo energético diário per capita**

| Homem                                   | Consumo diário per capita (kcal/kwh)                 |
|---|--|
| Primitivo (só alimentação, sem o fogo). | 2.000/ 2,3   |
| Caçador                                 | 6.000/ 7   |
| Agrícola primitivo                      | 12.000/ 14   |
| Agrícola avançado                       | 20.000/ 23   |
| Industrial (Inglaterra, 1975)           | 77.000/ 89,5   |
| Tecnológico (USA, 1970)                 | 230.000/ 267,5<br>(40% indústria,<br>30% transporte) |

**Fonte: Adaptado de MACIEL e CORAIOLA [2010]**

Segundo Mialhe (1996 apud NASCIMENTO et al., 2016), os tratores agrícolas têm seu desempenho avaliado pelo consumo de combustível e força de tração. Para conseguir executar as atividades em certos períodos, deve-se estudar

as capacidades de campo, teórica, efetiva e operacional, de modo a minimizar os erros na realização das operações a campo. Cortez et al. (2011 apud NASCIMENTO et al., 2016).

Os produtores precisam diminuir suas perdas para serem sustentáveis. O combustível contribui enormemente para o consumo específico de energia e é classificado como um custo operacional, posto que é medido por uma certa área ou tempo trabalhado no campo. O valor de poder calorífico de alguns combustíveis viabiliza calcular a energia demandada por uma hora de trabalho (GRUPO CULTIVAR, 2016).

**Tabela 2 - Poder calorífico em Joules e Calorias de combustíveis.**

| COMBUSTÍVEL                | PODER CALORÍFICO |            |
|----------------------------|------------------|------------|
|                            | em KJ/kg         | em kcal/kg |
| Gás liquefeito de petróleo | 49030            | 11730      |
| Gasolina isenta de álcool  | 46900            | 11220      |
| Gasolina com 20% de álcool | 40546            | 9700       |
| Óleo diesel                | 44851            | 10730      |
| Carvão                     | 28424            | 6800       |
| Lenha                      | 10550            | 2524       |
| Álcool combustível         | 27200            | 6507       |

**Fonte: Adaptado de ESTAÇÃO CIÊNCIA [20--].**

Para efeito dos cálculos, a gasolina será utilizada como referência. Contudo, se observa que seu poder calorífico tem um valor próximo ao do diesel.

De acordo com Mialhe (1996 apud ARAÚJO 2013, p.22), uma forma de calcular o consumo específico pode ser através da fórmula 1.

$$CEM = MC / (PA \times HT) [kg / (kW \times h)] \quad (1)$$

onde:

CEM - consumo específico de combustível [kg / (kW x h)];

MC - massa de combustível consumida [kg];

PA - potência ativa do implemento [kW];

HT - horas trabalhadas [h].

Isolando a massa de combustível consumida por hora trabalhada, tem-se a equação 2:

$$MC / HT = CEM \times PA [kg/h] \quad (2)$$

Usando como exemplo o Motocultivador Toyama à gasolina 7HP TT65A tem-se que seu consumo específico de combustível é de 0,395395 [kg / (kW x h)]. Considerando que cada 1 [HP] corresponde a 0,7457 [kW], então a potência ativa do motocultivador em Watts é de 5,2199 [kW]. Substitui-se os valores de potência ativa calculado e consumo específico de combustível na equação 2:

$$MC / HT = 0,395395 \times 5,2199 [kg/h] \quad (3)$$

Como resultado, tem-se a massa de combustível consumida por hora de funcionamento do implemento que é de 2,0618605 [kg / h].

Multiplicando o resultado pelo poder calorífico da gasolina:

$$Potência = (Poder\ calorífico \times MC) / HT [kJ/h] \quad (4)$$

Utilizando 46900 [kJ / kg] para o poder calorífico, encontram-se a potência que o motocultivador disponibiliza na ponta do eixo por hora de operação:

$$Potência = 96701,25 [kJ/h] \quad (5)$$

Considerando um rendimento de 30% na transformação de energia fóssil para mecânica de motores a combustão interna, verifica-se que o motocultivador precisar fornecer 322337,5 [J] de energia na entrada, e tendo uma perda de 225636,25 [J] que não foram convertidas em trabalho a cada hora trabalhada com este implemento. Um implemento com motorização elétrica é uma alternativa ao motor de combustão pois tem um maior rendimento na transformação de energia. Liljedahl (1989 apud RODRIGUES et al., 2008).

O consumo de energia em relação ao volume ou à área trabalhada geram indicadores de desempenho. Estes podem ser utilizados para comparação entre diferentes produtos mas que possuam tipologias e funções semelhantes (CONSERVAÇÃO DE ENERGIA, 2006).

Um estudo bibliográfico de cada elemento básico de um veículo elétrico em particular será realizado. De acordo com Bottura e Barreto (1989), os elementos básicos de um veículo elétrico são:

- Fonte de energia;
- Controle;
- Conversor;
- Motor;
- Transmissão.

A seguir esses elementos e aspectos gerais de motocultivadores serão abordados de forma mais clara para, no final, se ter uma melhor compreensão do implemento agrícola elétrico como um todo.

## 2.1 MOTOCULTIVADOR

Segundo Seabra (2008), a população rural brasileira a partir do século XIX reduziu consideravelmente. As atividades e tecnologias agrícolas necessitam de agilidade e produtividade para compensar esta redução.

Para Márquez (1990), novas tecnologias no setor agrícola potencializaram o trabalho no meio rural e com isso aumentou consideravelmente a produtividade, melhorando o rendimento das áreas de cultivo.

Dentre estas tecnologias, foi considerado o trator como o principal pivô da modernização do setor agrícola, que no Brasil, começou em meados da década de 60 Schlosser (1998 apud SCHLOSSER, 2002, p.1).

A Norma Regulamentadora 12 sobre segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, define motocultivador como um equipamento motorizado de duas rodas utilizado para tracionar implementos diversos, desde preparo de solo até colheita. Caracteriza-se pelo fato de o operador caminhar atrás do equipamento durante o trabalho (NR12, 2016 ,p.39).

### 2.1.1 Aplicações

De acordo com Da Silveira e Sierra (2010), a eficiência energética poderia ser mais uma informação a ser considerada na hora da escolha de um microtrator, sendo tão importante quanto ao preço, potência, conforto, facilidade de manobra, manutenção e o tipo.

Segundo Silveira (2001 apud ARAÚJO 2013, p. 15), os tratores podem ser classificados pela potência, como mostra a Tabela 3.

**Tabela 3 - Classificação de tratores pela potência**

| Potência (em cv) |           |
|------------------|-----------|
| Pequenos         | até 27    |
| Leves            | 28 a 49   |
| Médios           | 50 a 58   |
| Semipesados      | 58 a 100  |
| Pesados          | 100 a 165 |

**Tabela 3 - Classificação de tratores pela potência**

| Potência (em cv) |              |
|------------------|--------------|
| Super-pesados    | acima de 165 |

Fonte: Silveira (2001 apud ARAÚJO 2013, p. 15)

O motocultivador se enquadra na classificação pequeno, de até 27 cv, que inicialmente era usado apenas para capinar. Para essa função se acopla uma enxada rotativa. Porém, nos dias de hoje essa máquina conta com uma maior diversidade de operações, conseqüente dos novos implementos e acessórios (GRUPO CULTIVAR, 2016).

Para pequenos produtores “podem ser empregados para dar suporte aos diferentes sistemas de produção, principalmente em área com espaço restrito, como jardins, estufas, galpões, aviários, fábricas, etc” Nagasaki; Nonaka (1999 apud RODRIGUES et al 2008). O aparelho é usado também para trabalhos agrícolas em menor escala podendo destruir ervas daninhas, quebrar a superfície do solo, amontoar e arejar a terra ou ainda misturar os resíduos orgânicos. Além disso reduz o esforço do usuário (GRUPO CULTIVAR, 2016).

### 2.1.2 Características construtivas

Segundo Ribas et al. (2010), uma das partes constituintes do microtrator é a transmissão que pode ser de vários tipos. Nas transmissões de tipo mecânica, a caixa de câmbio pode ser classificada, em engrenagem deslizante e sincronizada. Na transmissão mecânica do tipo engrenagem deslizante, a marcha é selecionada antes do início do trabalho, segundo o critério do operador, sendo necessária a parada do trator para que se efetue a troca de marchas. Na transmissão mecânica do tipo sincronizada, qualquer marcha pode ser selecionada com o trator em



movimento, pois anéis próprios acertam a velocidade de giro das engrenagens a serem acopladas.

De acordo com Ribas et al. (2010) na faixa de potência menor ou igual a 37kW, o tipo de transmissão engrenagem deslizante está presente em 83% dos tratores e apenas 17% são do tipo sincronizada.

Nos motocultivadores comerciais além de sua potência, várias outras características são classificadas em uma faixa de valor. Por exemplo, o peso varia de 200 Kg à 450 Kg, a caixa de marchas pode apresentar até 5 velocidades, sendo 4 velocidades à frente e uma à ré, e em sua maioria, são alimentados por diesel - monocilíndricos. Um regime de funcionamento entre 2000 e 3600 rotações por minuto, com capacidade volumétrica entre 250 a 500 centímetros cúbicos. (GRUPO CULTIVAR, 2016).

### 2.1.2 Limitações de operação devido à fatores humanos

Com o avanço tecnológico nos últimos anos, vários setores da economia sofreram consequências. A mecanização na agricultura foi um deles. Este setor deu um salto considerável na eficiência dos seus procedimentos, e isso contribuiu positivamente tanto para grandes produtores, quanto para a agricultura familiar. Os pequenos tratores foram os principais protagonistas desse avanço. Porém, com o advento dessas máquinas houve também consequências negativas como: riscos à saúde e vida dos agricultores.

No 1º CONAERG (Congresso Internacional de Ergonomia Aplicada) profissionais da área enfatizam os riscos à saúde na agricultura familiar.

No Brasil, há diversos problemas de ordem ocupacional e operacional considerando-se a utilização de máquinas e equipamentos agrícolas, principalmente quando se refere aos utilizados na agricultura familiar. Com base nos riscos que operadores de equipamentos mecânicos estão expostos quando se refere à vibração, analisou-se a vibração nas mãos de operadores de um motocultivador que estão expostos nas atividades de trabalho. (SCHUTZER; DOS SANTOS; DE PONTES JUNIOR, 2016).

Para tal análise, utilizou-se a norma ISO 5349:2001 e Diretiva Europeia 2002/44/EC.

A norma ISO 5349 (INTERNATIONAL..., 2001) lista os fatores que influenciam nas vibrações mecânicas transmitidas a mão. Pode servir também como um guia para medição e avaliação da exposição humana à essas vibrações:

- O espectro da frequência da vibração em termos de aceleração;
- A intensidade da vibração;
- O tempo de exposição por dia de trabalho;
- O padrão de exposição temporária e o método de trabalho (isto é, duração e frequência do trabalho e intervalos de descanso);
- A magnitude e a direção das forças aplicadas pelo operador com suas mãos à ferramenta ou aos instrumentos de trabalho;
- A postura da mão, braço e a posição do corpo durante a exposição (ângulos do pulso, cotovelo e juntas do ombro);
- Tipos de maquinário vibratório ou ferramenta manual.

A Diretiva Européia 2002/44/EC (2002) que estabelece o Nível de Ação, e que propõe um Nível de Ação em vibração nas mãos e braços em relação ao tempo em que o operador pode estar exposto, para uma jornada de trabalho de 8 horas diárias, sem que haja prejuízo à saúde.

O tempo para que não haja prejuízo à saúde do operador (Nível de Ação) não atingiu ou ultrapassou, em nenhum teste realizado pelos profissionais do congresso, às 8 horas diárias de trabalho. Isso significa que o operador deve ficar atento para que o tempo não ultrapasse o tempo recomendado pelo Nível de Ação quando for utilizar implementos agrícolas atuais (SCHUTZER; DOS SANTOS; DE PONTES JUNIOR, 2016, p. 10).

Outro fator de risco considerado é o nível de ruído. A Norma Regulamentadora 15 diz que para a intensidade de 85 dB a exposição salubre é de 8 horas diárias e para 115 dB é de apenas 7 minutos (REGULAMENTADORA, 1978).

“O Instituto de Engenharia Agrária da Universidade de Milão desenvolveu um motocultivador acionado por um motor elétrico para pequenas propriedades

obtendo excelentes resultados quanto a minimização da vibração e do ruído.” Innovazione (1992 apud RODRIGUES et al, 2008).

Os equipamentos de proteção individual reduzem o esforço físico, que se em excesso, leva à fadiga, diminuindo a qualidade das funções do operador e aumentando as chances de acidentes de trabalho, que muitas vezes resultam em erros (MÁRQUEZ, 1990).

## 2.2 MOTORIZAÇÃO ELÉTRICA

A motorização elétrica fornece uma vantagem em comparação com o de combustão interna no controle de velocidade. De maneira geral, o controle de velocidade é um fator de suma importância no funcionamento de motores elétricos em quase todas as aplicações utilizadas por estes.

Para uma adaptação que venha a substituir o motor a combustão do motocultivador por um elétrico, pode-se utilizar a caixa de transmissão já existente. Caso não seja possível esta adaptação, ou na condição de construção de um protótipo, será necessário a utilização de um conjunto motor e redutor, utilizado quando se faz necessário fornecer movimento rotativo com torque elevado (DOS SANTOS; AZEVEDO, 2015, p.5).

Segundo Catálogo SEW (2007 apud DOS SANTOS; AZEVEDO, 2015), para a escolha do conjunto motor redutor deve-se avaliar as condições ao qual está inserido e também:

- Rotação de entrada (motor);
- Rotação de saída;
- Fator de redução;
- Torque de saída.

De acordo com Faria (2009, p. 17), os redutores permitem regular as características da fonte de rotação de acordo com a carência do sistema que será acionado, fazendo isso com a menor perda de potência. Os motores elétricos

frequentemente fornecem velocidades de rotação acima dos valores de motocultivadores.

Araújo (2011, p.19) apresenta algumas especificações necessária para a escolha de um redutor, o projeto deve conter informações a respeito dos equipamentos acionadores (motor) e acionados (máquina), e também:

- Tipo de acoplagens;
- Elementos de transmissão;
- Disposição dos eixos do redutor;
- Potência instalada;
- Torque;
- Fator de serviço;
- Local de instalação;
  - Condições do ambiente;
  - Temperatura;
  - Exposição à intempéries naturais;
  - Umidade.

Em relação aos motores, Bottura e Battero (1989) definem que, alguns motores são operados com corrente contínua (CC) e outros com corrente alternada (CA). Os motores elétricos são encontrados em diferentes tamanhos, torque e potência e tudo depende de achar as vantagens de uma alternativa ou outra.

De Oliveira (2009) cita diversas desvantagens de um motor CC em relação a um motor CA, em relação a aplicação e também aos custos:

- Com o surgimento dos inversores de frequência, os motores de indução podem variar sua velocidade com a mesma precisão que um motor de corrente contínua;
- Os motores de corrente contínua são maiores e mais caros que os motores de indução, para uma mesma potência;
- Maior necessidade de manutenção (devido aos comutadores e escovas);
- O conjunto motor de indução + inversor para potências pequenas e médias ainda é mais barato que o motor de corrente contínua.

O motor deve realizar a rotação do eixo e encarregar-se de suportar uma carga variável, sob condições de operação desfavoráveis de excesso de poeira e

vibrações que podem gerar um aumento de temperatura de trabalho fora dos padrões aceitáveis. A escolha do mesmo deve prever esses e outros parâmetros que serão apresentados neste capítulo.

### 2.2.1 Fator classe de isolamento

É a determinação da temperatura máxima de trabalho que o motor pode suportar continuamente sem ter prejuízos em sua vida útil.

A classe de cada motor é em função de suas características construtivas. As classes de isolamento padronizadas pela NBR 7094 (ASSOCIAÇÃO..., 2013) para máquinas elétricas são:

- CLASSE A - 105°C;
- CLASSE E - 120°C;
- CLASSE B - 130°C;
- CLASSE F - 155°C;
- CLASSE H - 180°C.

#### 2.2.1.3 Grau de proteção

Um indicador importante para o motor a ser utilizado é como ele suporta a entrada de corpos estranhos para seu interior, uma vez que no meio agrícola a poeira é constante deve-se analisar esta classificação. A NBR IEC 60529 (ASSOCIAÇÃO..., 2005) normatiza e classifica os motores quanto a essa proteção. A norma define pelas letras IP seguidas por dois algarismos que representam respectivamente:

- 1º algarismo: indica o grau de proteção contra a penetração de corpos sólidos estranhos e contato acidental:
  - 0 - Sem proteção;

- 1 - Corpos estranhos de dimensões acima de 50 mm;
- 2 - Corpos estranhos de dimensões acima de 12 mm;
- 3 - Corpos estranhos de dimensões acima de 2,5 mm;
- 4 - Corpos estranhos de dimensões acima de 1 mm;
- 5 - Proteção contra acúmulo de poeiras prejudiciais ao equipamento;
- 6 - Proteção total contra a poeira.

Uma vez que o motor será utilizado em um ambiente onde a poeira é constante e iminente, o motor ideal deve ter o primeiro algarismo o número seis (proteção total contra a poeira).

- 2º algarismo: indica o grau de proteção contra a penetração de água no interior do equipamento:
  - 0 - Sem proteção;
  - 1 - Pingos de água na vertical;
  - 2 - Pingos de água até a inclinação de 15° com a vertical;
  - 3 - Água de chuva até a inclinação de 60° com a vertical;
  - 4 - Respingos de todas as direções;
  - 5 - Jatos de água de todas as direções;
  - 6 - Água de vagalhões;
  - 7 - Imersão temporária;
  - 8 - Imersão permanente.

O trabalho predefinido para a aplicação do implemento agrícola não pode ser realizado com chuva. O armazenamento do motor deve ser feito em local protegido da chuva, e livre de umidade excessiva. Todos estes parâmetros fazem com que seja necessário um algarismo de grau de proteção de pelo menos número dois (pingos de água na vertical).

#### 2.2.1.4 Fator de serviço

O fator de serviço se trata de uma capacidade de sobrecarga contínua, enquanto a potência nominal é aplicada, ou seja, uma reserva de potência que dá

ao motor uma capacidade de suportar melhor o funcionamento em condições desfavoráveis.

A NBR 7094 (ASSOCIAÇÃO..., 2013) fornece uma tabela que correlaciona o fator de serviço, potência nominal e a velocidade síncrona do motor elétrico. A Tabela 4 apresenta os valores de potências superiores a 0,5 cv da norma regulamentadora, como está a seguir:

**Tabela 4 - Fatores de serviço.**

| Potência  |           | Fator de serviço        |                    |                    |                    |
|-----------|-----------|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| kW        | cv        | Velocidade síncrona rpm |                    |                    |                    |
|           |           | 3600                    | 1800               | 1200               | 900                |
| 0,37      | 1/2       | 1,25                    | 1,25               | 1,25               | 1,15               |
| 0,55      | 3/4       | 1,25                    | 1,25               | 1,15               | 1,15               |
| 0,75      | 1,0       | 1,25                    | 1,15 <sup>1)</sup> | 1,15 <sup>1)</sup> | 1,15 <sup>1)</sup> |
| 1,1 a 150 | 1,5 a 200 | 1,15 <sup>1)</sup>      | 1,15 <sup>1)</sup> | 1,15 <sup>1)</sup> | 1,15 <sup>1)</sup> |

**Fonte: Adaptado de NBR 7094: (ASSOCIAÇÃO..., 2013, p. 26)**

**Notas:**

1) No caso de motores de gaiola polifásicos, estes fatores de serviço se aplicam somente às categorias N e H.

Para preparar adequadamente terras mais sólidas e firmes, ora a sobrecarga é intermitente, ora contínua. Sendo assim, destaca-se a correta seleção prévia do motor para o implemento agrícola devido às características do solo. Caso o solo seja muito resistente e esteja “batido” então deve-se optar por um motor com fator de serviço acima do unitário.

### 2.2.1.4.1 Regime de serviço

O regime de serviço será um limitante de autonomia do sistema. Portanto, deve-se dimensionar o motor de acordo para aumentar o tempo de trabalho diário.

O motor não é um equipamento que pode ser submetido a constantes partidas e paradas, como liga/desliga de uma pisca-pisca. É muito comum que a carga mecânica exigida do eixo seja variável, desde uma situação “sem carga” até situações de sobrecarga. Por isso, é recomendável que haja uma pequena folga de potência, além daquela estabelecida pelo fator de serviço, para vencer pequenas sobrecargas (Franchi, 2009, p. 43).

A NBR 7094 (ASSOCIAÇÃO..., 2013) padroniza os regimes de serviço para os motores, o Quadro 1 apresenta de forma resumida esses regimes.

| Regime de serviço | Características   |
|-------------------|---|
| S1                | Regime contínuo   |
| S2                | Regime de tempo limitado  |
| S3                | Regime intermitente periódico   |
| S4                | Regime intermitente periódico com partida   |
| S5                | Regime intermitente periódico com frenagem elétrica   |
| S6                | Regime de funcionamento contínuo periódico com carga  |
| S7                | Regime de funcionamento contínuo periódico com carga intermitente   |
| S8                | Regime de funcionamento contínuo periódico com mudanças correspondentes de carga e velocidade                 |
| S9                | Regime com variações não periódicas de carga e velocidade variáveis, incluindo sobrecargas                    |
| S10               | Regime com cargas constantes e distintas, incluindo períodos de sobrecarga ou em vazio ou períodos de repouso |

**Quadro 1 - Regimes de serviço para motores de indução.**

**Fonte: Adaptado de NBR 7094 (ASSOCIAÇÃO..., 2013).**



## 2.3 TIPOS DE ACIONAMENTOS

As tecnologias dos inversores possibilitam que um mesmo motor seja alimentado por diferentes fontes de energia. A alimentação a partir de energia fornecida pelas concessionárias de distribuição, utilização de energia fotovoltaica e baterias em uma mesma situação, promovendo a geração distribuída.

De acordo com Franchi (2009), o inversor de frequência é um dispositivo capaz de realizar o controle da velocidade de um motor elétrico, ajuste do torque, redução do consumo de energia em comparação a outros métodos de controle de velocidade, e também converter a alimentação monofásica para trifásica caso necessário.

A alimentação de energia que a concessionária fornece para áreas rurais é na maioria dos casos monofásica, a partir do Sistema Monofilar com Retorno por Terra (MRT). O MRT propicia um fornecimento de energia através de um fio apenas, enquanto o retorno da corrente se faz por terra. É utilizado em regiões com uma densidade populacional baixa e se apresenta predominantemente em zonas rurais (RIBEIRO et al., 2000).

### 2.3.1 Critérios de seleção

Franchi (2009) sugere outros critérios a serem atendidos pelo inversor de frequência, são os seguintes:

- Tipo de carga que o motor estará submetido;
- Necessidade de manter o custo mínimo pela seleção do tamanho do motor e do conversor correto;
- Necessidade de torque de partida;
- A faixa de velocidade mínima;
- Compatibilidade com a tensão da rede de alimentação;

- Condições ambientais em que o motor e o inversor estarão submetidos, como temperatura ambiente, altitude, umidade e poeira;
- Regime de serviço, incluindo o número de partidas e paradas por hora;
- Método de controle;
- Recursos de proteção.

### 2.3.2 Acionamentos do inversor

Os acionamentos elétricos serão todos comandados por botões conectados ao inversor, e terá operações que são utilizadas em motocultivadores atualmente e adicionalmente parâmetros de leitura, regulação, configuração e características nominais do motor que são fornecidas pelo inversor. Segundo Franchi (2009):

- Parâmetros de leitura: Variáveis que podem ser visualizadas no *display*, mas não podem ser alteradas pelo usuário, como por exemplo:
  - Frequência de saída no motor (Hz);
  - Tensão no circuito intermediário (V);
  - Valor proporcional à frequência (ex.: rpm);
  - Corrente de saída no motor (A);
  - Tensão de saída no motor (V);
  - Mensagens de erros / defeitos Torque de carga.
- Parâmetros de regulação: são os valores ajustáveis a serem utilizados pelas funções do inversor de frequência, como, por exemplo, tensão inicial, tempo de rampa de aceleração, tempo de rampa de desaceleração etc.
- Parâmetros de configuração: definem as características do inversor de frequência, as funções a serem executadas, bem como as entradas e saídas, como, por exemplo, parâmetros dos relés de saída e das entradas do inversor de frequência.
- Parâmetros do motor: indicam as características nominais do motor, como, por exemplo, ajuste da corrente do motor, fator de serviço.

## 2.4 TIPOS DE FONTES DE SUPRIMENTO

De acordo com Fritzen (2017), para a bateria fornecer energia para a carga de maneira eficiente, sem que ocorra um descarregamento que comprometa sua vida útil, e também para que o seu recarregamento ocorra sem sobrecarga, é necessário um controle do fluxo de energia. Para isso, se a bateria estiver sendo suprida com uma fonte CC, com uma tensão compatível, esta irá drenar apenas a corrente necessária eficientemente, e a corrente reduz conforme a bateria chega a sua carga máxima. Existem dispositivos que garantem a qualidade deste processo (LINDEN; REDDY, 1995). Para isso utiliza-se um controlador de carga.

Este aparelho também atua como proteção contra curto circuitos e sobrecargas de tensão. Para dimensionar o controlador de carga é necessário conhecer a potência máxima do sistema, considerando o rendimento dos equipamentos, e a tensão de alimentação da bateria (FRITZEN, 2017).

### 2.4.1 Bateria elétrica

A bateria elétrica tem como sua principal função de promover a autonomia do sistema para realizar trabalho. Portanto, avaliar sua capacidade de horas trabalhadas ininterruptamente com o implemento é de fundamental importância, caso esta seja utilizada.

Os requerimentos mínimos dependem diretamente da sua aplicação. Para o implemento agrícola precisa-se dar importância para algumas características de fabricação das baterias que são especificadas por Maria de Fátima et al. (2012) como:

- Tensão - Representa o potencial ou a força eletromotriz de uma célula eletroquímica.

- Corrente - Representa o movimento ordenado de partículas eletricamente carregadas que uma célula eletroquímica pode aplicar sobre um circuito externo.
- Energia específica - Indica a quantidade de energia elétrica que uma célula ou bateria pode armazenar.
- Potência específica - Reflete a capacidade de a bateria fornecer altas taxas de corrente, em regime permanente ou de pico.
- Ciclos de vida - É o número de ciclos de carga/descarga que a bateria pode realizar até que a sua capacidade se reduza ao valor percentual limite em relação ao valor nominal. Altamente recomendado que a bateria consiga atingir pelo menos 1.000 ciclos para aplicação em veículos elétricos.

Visando pouca manutenção, baixo custo e o menor impacto ambiental possível e conciliando todos estes parâmetros pode ser feita a escolha da bateria elétrica adequada para cada aplicação.

Segundo Afonso et al. (2004) as baterias elétricas dividem-se primeiramente em baterias primárias (não recarregáveis) e secundárias (recarregáveis). O objeto de estudo serão as baterias secundárias mesmo estas sendo mais caras inicialmente. Contudo levam a custo final menor pois não são descartadas quando descarregadas.

Estudos feitos por Larminie e Lowry (2003, apud PAULA 2014, p. 40) apontam que da gama de baterias secundárias, “a mais utilizada tecnologia de baterias para veículos elétricos tem sido a de chumbo-ácido”. Segundo Palmer (2008), dentro da gama de baterias de chumbo, ainda existem outras categorias, são elas: arranque, tracionárias, estacionárias:

- Baterias de Arranque – São usadas para dar partida em motores à combustão interna e para fornecer energia ao sistema elétrico do carro quando este não está rodando. Estas baterias são dimensionadas para fornecer potência sem liberar muita energia, pois seu uso prolongado para abastecer o sistema elétrico do carro requer baixa corrente. Já na partida, geralmente é necessária uma corrente de 100 a 400 A;
- Baterias tracionárias – Estas baterias são as que funcionam em regimes mais severos, necessitando de potência, energia e longa vida cíclica,

principalmente quando operam em regimes de descarga profunda. Estas baterias são utilizadas em empilhadeiras elétricas, paleteiras elétricas, equipamentos de movimentação em aeroportos, trens e metrô e veículos elétricos em geral;

- Baterias estacionárias – Estas baterias são especialmente projetadas como fontes de reserva de energia e potência para serem empregadas em centrais telefônicas, centros de computação, centrais elétricas, hospitais, etc. nos casos de falhas das fontes principais de energia.

Segundo Costa (2009), as tracionárias são as mais recomendadas para a tração elétrica em pequenos veículos não rodoviários, por exemplo os caminhões industriais, que são para manobra de cargas (LINDEN; REDDY, 1995).

As baterias recarregáveis de chumbo-ácido realizam suas funções com confiabilidade até mesmo em altas temperaturas, e se carregadas corretamente, podem manter a eficiência e estabilidade durante um longo período de tempo. (LEITMAN; BRANT, 2008, p. 9)

De acordo com Fritzen (2017), para dimensionar a bateria de chumbo-ácido deve-se primeiramente determinar a capacidade da bateria. Este cálculo é feito a partir do valor da quantidade total de energia consumida pelas cargas para o tempo de trabalho com o implemento em relação a tensão da bateria, considerando para a capacidade final o rendimento de todos os equipamentos e características construtivas das baterias.

### 2.3.2 Manutenção da bateria

Segundo Leitman e Brant (2008), as baterias de chumbo-ácido tem uma confiabilidade extremamente alta, e não irão falhar se não forem batidas, derrubadas, completamente descarregadas, ou secarem. As novas baterias seladas não necessitam de qualquer manutenção. Verifica-se então, a necessidade de um bom controle de carregamento das baterias.

Após o término do trabalho a bateria utilizada deve ser imediatamente armazenada em local adequado e carregada, pois este é um procedimento padrão em todas as baterias. A prática ruim de recarregamento é a principal causa de redução de longevidade das baterias (LINDEN; REDDY, 1995).

O recarregamento da bateria pode ser feito a partir da energia fotovoltaica ou pela energia fornecida pela concessionária de distribuição, ambas utilizando reguladores de carga. De forma geral, de acordo com Do Valle (2015, p.10) existem dois métodos para recarregar a bateria, são eles:

- Recarga indutiva: Uma bobina é utilizada para criar fluxo magnético alternado que induz corrente em uma segunda bobina embarcada no dispositivo a ser carregado. Este processo é mais seguro e tem alta durabilidade, contudo, a baixa eficiência e o tempo demandado tornam esse método inviável para uso em grande escala.
- Recarga condutiva: É mais prático pois pode ser realizado por tomadas padrões e é compatível com a conexão do regulador de carga.

Segundo Linden e Reddy (1995, p. 23.75), é muito comum as baterias de chumbo-ácido funcionarem por períodos extremamente longos, e que uma manutenção correta pode garantir essa longevidade. Algumas regras básicas são:

- O carregador corresponder exatamente com os requerimentos de recarregamento;
- Evitar descarregar a bateria após níveis recomendados;
- Manter a bateria limpa;
- Evitar superaquecer a bateria.

Para que a bateria elétrica tenha uma vida útil ainda maior, além da utilização e carregamento corretos deve-se atentar quanto ao correto armazenamento do equipamento. Um ambiente seco, fresco, longe de qualquer fonte de calor e a incidência direta de luz solar diminui consideravelmente a necessidade de troca da bateria. A temperatura ambiente também influencia diretamente o tempo de armazenagem de forma que quanto maior a temperatura, menor o tempo de armazenagem característico das baterias (REDE..., 201-?).

## 2.4.2 Energia fotovoltaica

A ANEEL fornece instruções e outros materiais importantes para toda a comunidade e define que os potenciais benefícios da geração distribuída estimulam sua implementação em larga escala ao SIN, com o objetivo de reduzir custos, expansão dos sistemas, menor impacto ambiental e diversificação da matriz energética. Diversificação que provém de energias como a geração fotovoltaica, que mesmo tendo pequena participação pode mostrar uma crescente contribuição ao longo do tempo (ANEEL, 2016).

De acordo com Fritzen (2017), o sistema solar fotovoltaico deve suprir a energia de todas as cargas e perdas do sistema. Sendo assim, terá que gerar energia elétrica o suficiente para que a bateria esteja completamente carregada para o próximo uso do implemento. Para isso, o intervalo entre uso para trabalho do motocultivador deve ser conhecido.

O fornecimento de energia diária dos painéis é diretamente proporcional a quantidade total de horas diárias de sol do local. Além disso, para aumentar a confiabilidade do sistema, a potência total prevista dos painéis fotovoltaicos deve ser 120% maior que a dimensionada (FRITZEN, 2017).

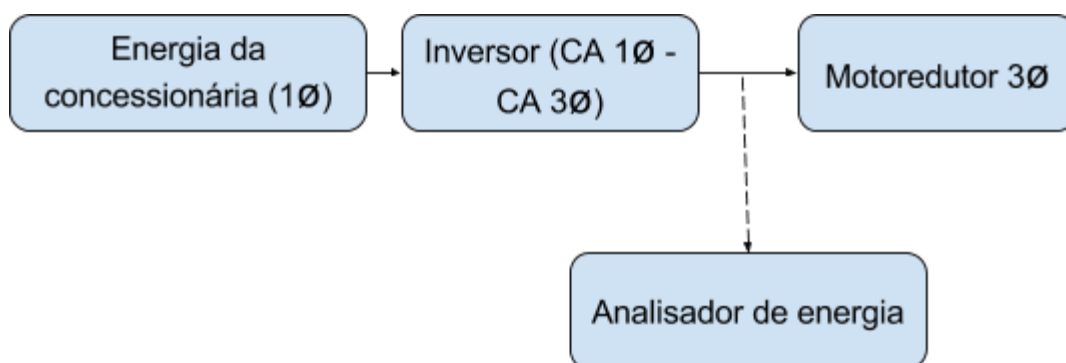
A energia fotovoltaica pode agregar o interesse para o desenvolvimento e disseminação do implemento agrícola com motorização elétrica, pelo fato da eliminação do gasto com a energia, uma vez que instalados os painéis fotovoltaicos, essa seria gratuita. A energia distribuída é contada como um abatimento de carga local nesse caso, e isso é de grande valia pois reduz a necessidade de investimentos em transmissão, distribuição e geração centralizada de energia (Empresa de Pesquisa Energética, 2015).

A geração distribuída traz benefícios como melhoria na transmissão e também redução nas perdas do sistema. Torna-se possível obter maior eficiência energética. Por isso, o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) tem trabalhado para derrubar eventuais imperfeições do mercado que dificultam o desenvolvimento desta forma de geração elétrica (INSTITUTO..., 2017).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Todos os equipamentos devem ser especificados prevendo parâmetros de aplicabilidade como apresentado no referencial teórico, e que atendam o mais próximo possível o objetivo de medição de consumo específico.

O Esquema 1 apresenta os principais equipamentos utilizados para a construção e medição de energia do implemento elétrico. A utilização de equipamentos já existentes e aproximados do ideal teórico reduz consideravelmente os custos. A avaliação direta do desempenho de tratores em condições de campo, é obtida através da instrumentação e monitoramento, permitindo a determinação de fatores diretamente relacionados com a eficiência de trabalho do trator. Cordeiro (2000 apud NASCIMENTO et al., 2016).



**Esquema 1 - Motor trifásico alimentado por energia fornecida pela concessionária.**

**Fonte: Autoria própria.**

Verifica-se também no Esquema 1, a utilização de um motoredutor, analisador de energia, inversor, e a energia que alimenta este circuito proveniente da SIN. Esta disposição promove o menor custo possível, contudo, carece de utilização de energia de alimentação na forma distribuída. No Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 (PDE) da EPE apresenta-se que os maiores e melhores potenciais hidráulicos para geração de energia já estão sendo utilizados, e a



crescente demanda exigirá uma geração de energia alternativas para suprir a demanda nacional nos próximos anos.

### 3.1 MATERIAIS

A seguir, tem-se os materiais utilizados para a realização do experimento, que se dividiu em duas partes, a primeira com motocultivador a combustão interna e a segunda com o protótipo elétrico.

As enxadas rotativa acoplada aos eixos de ambos os motocultivadores foi a mesma para que a comparação de energia requerida, entre ambos, para operar fosse mais precisa. Esta é dividida em dois conjuntos com 8 lâminas cada, com diâmetro de 240 mm e o conjunto inteiro possui 280 mm de comprimento. As lâminas quando em contato com o solo tem uma profundidade de aproximadamente a metade do diâmetro da lâmina.

#### 3.1.1 Materiais utilizados no experimento com o motocultivador a combustão interna

Para o experimento com o motocultivador a combustão interna foi utilizado o modelo motocultivador ER28 da kawashima.



**Figura 1 – Motocultivador Kawashima ER28.**

**Fonte: JATTO, 2017.**

Este modelo possui as seguintes características técnicas, segundo Jatto (2017):

- Motor Kawashima M-3300, monocilíndrico, 2 tempos, refrigerado a ar, gasolina, 1,2hp de potência;
- Rotação das lâminas de 250 rpm;
- Largura de 330 mm;
- Altura de 1180 mm;
- Comprimento de 500 mm.

### 3.1.2 Materiais utilizados no experimento com o motocultivador elétrico

A seguir constam os equipamentos que foram utilizados para montagem do protótipo e também para as medições de grandezas elétricas.

### 3.1.2.1 Inversor CFW08

O inversor escolhido deve suportar a tensão de entrada do meio rural e ser compatível com as especificações do motoredutor escolhido e fornecer a proteção elétrica do sistema.

Parâmetros de leitura não foram utilizados pois o analisador de energia ficou responsável para a coleta dos dados de alimentação do motoredutor.

Os parâmetros de regulação já estavam previamente configurados e atenderam a necessidade da aplicação como por exemplo a partida e desligamento em rampa, frequência em regime de 60Hz.

Os parâmetros de configuração não foram utilizados pois não foi feito uso de relés e botoeiras.

Segundo Sindicato Rural (2015), a maioria das propriedades rurais brasileiras têm como tensão disponível 127V e 254V, que é o caso da propriedade em que o experimento fora realizado. Para solucionar o problema foi utilizado o inversor CFW08 que converteu a alimentação monofásica da rede em trifásica. Dessa forma o motor recebeu tensão e corrente nominal em ligação em triângulo.

- De acordo com o catálogo do fabricante WEG (2017). As principais características do inversor utilizado são:
  - Modelo: CFW080040S2024PSZ;
  - Tensão de alimentação: 200V até 240V - Monofásica;  
Podendo variar de -15% a +10% da tensão nominal viabilizando a utilização do equipamento em 254V que corresponde a tensão fornecida na área rural.
  - Controles: escalar V/F linear, vetorial sensorless e VVC - Voltage Vector Control;
  - Grau de proteção: IP20;
  - Máximo motor aplicável:

Na Figura 2 é apresentado o inversor utilizado no experimento.



**Figura 2 – Display do inversor CFW08.**

**Fonte: Autoria própria.**

### 3.1.2.2 Estrutura

Para compor a estrutura do implemento foi adaptado um carrinho de mão de modo que este pudesse receber o conjunto motoredutor com a melhor disposição. A estrutura tem como material principal o aço coberto por tinta e convertedor de ferrugem em base para pintura.

As dimensões da estrutura são:

- Largura: 58 cm;
- Comprimento: 140 cm;

Na Figura 3 é apresentada a estrutura já pronta utilizada no experimento:



**Figura 3 – Estrutura motocultivador elétrico.**

**Fonte: Autoria própria.**

### 3.1.2.3 Analisador de energia

O analisador de energia da marca Minipa modelo ET-5060C teve como função coletar os dados de consumo de energia, potência ativa e potência reativa do experimento com o protótipo elétrico, assim como, através do software PQLogView, foi possível a obtenção de informações que serviram o propósito de realizar o comparativo proposto pelo estudo.

O analisador fornece as informações em tempo real e podem ser salvas com um intervalo e duração pré-definidos pelo usuário.

Na Figura 4 é apresentado o analisador de energia utilizado.



**Figura 4 – Analisador de energia Minipa ET-5060C.**

**Fonte: Autoria própria.**

### 3.1.2.4 Motoredutor

O conjunto motoredutor tem um motor trifásico de indução gaiola de esquilo, que tem como função realizar o torque e conseqüentemente a rotação do eixo com as lâminas, para efetivamente trabalhar a terra.

Primeiramente foi adquirido um conjunto motoredutor trifásico para poder entregar no eixo de saída velocidade e torque adequado para que a terra fosse trabalhada. Um eixo de encaixe foi utilizado de modo a receber a mesma enxada rotativa do motocultivador à combustão interna conforme a Figura 1.

Dados de placa do motor:

- Trifásico - 220 V;
- Corrente: 3,82 A;
- Potência: 0,75kW;
- Classe de isolamento: F;
  - 155°C;
- Grau de proteção: IPW55S;
  - Proteção contra acúmulo de poeiras prejudiciais ao equipamento;
  - Jatos de água de todas as direções e do clima;
- Rotação: 1720 RPM;

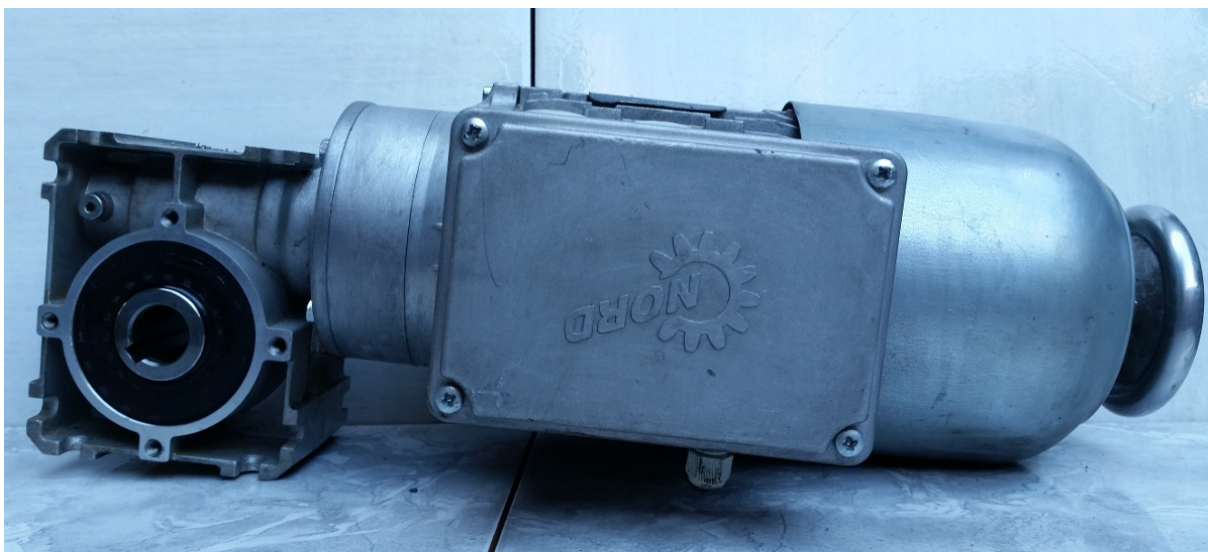
- $\cos \phi$ : 0,74.

O redutor utilizado possui uma relação de redução: 1:15. Modificando a rotação de 1720 RPM para 114 RPM.

Dados de placa do redutor:

- Grau de proteção: IPW55S;
- Classe de isolamento: F;

Na Figura 5 é apresentado o motoredutor utilizado no experimento.



**Figura 5 – Conjunto motoredutor.**

**Fonte: A autoria própria.**

### 3.2 LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado em camas de cocheiras para equinos, que é uma das aplicações dos motocultivadores atuais. Cada baia possui aproximadamente 9 m<sup>2</sup> de área com uma profundidade de aproximadamente 0,20 m. Com um volume total de aproximadamente 1,8 m<sup>3</sup>.





**Figura 6 – Cocheiras para equinos.**

**Fonte: Autoria própria.**

### 3.3 MÉTODO

O método se dividiu em duas etapas, na primeira onde foram feitas duas coletas de dados de aproximadamente 10 minutos trabalhados com o protótipo elétrico e a segunda onde realizou-se uma coleta de dados com o motocultivador a combustão interna pelo mesmo período de tempo.

#### 3.3.1 Experimento realizado com o protótipo elétrico

Depois de todos os equipamentos configurados em um único sistema adequadamente conforme o Esquema 1, o motocultivador elétrico foi testado em campo, e coletados os dados de consumo pelo analisador de energia.

Primeiramente foram feitas as conexões elétricas entre todos os equipamentos. O inversor, analisador de energia e o computador foram conectados na energia elétrica. O motoredutor foi conectado nos terminais do inversor. O



notebook então foi conectado pela porta serial RS-232 ao analisador de energia para realizar a comunicação e efetivamente a coleta dos dados.

A Figura 7 apresenta os principais materiais na coleta dos dados do experimento. O computador na extrema esquerda, o analisador de energia no meio, e na extrema direita o inversor de frequência. Estes dois últimos já especificados na lista de materiais.



**Figura 7 – Bancada.**

**Fonte: Autoria própria.**

Foram feitos dois testes com o protótipo elétrico em baias diferentes, porém com solos com condições semelhantes de compactação. Cada teste teve aproximadamente 10 minutos de trabalho.



**Figura 8 – Experimento com o protótipo elétrico.**

**Fonte: Autoria Própria.**

As Figuras 9 e 10 mostram, respectivamente, antes e depois de uma das baias onde foram realizados o experimento com o protótipo elétrico.



**Figura 9 – Baia 2 antes de realizar o experimento.**

**Fonte: Autoria própria.**



**Figura 10 – Baia 2 depois de realizar o experimento.**

**Fonte: A autoria própria.**

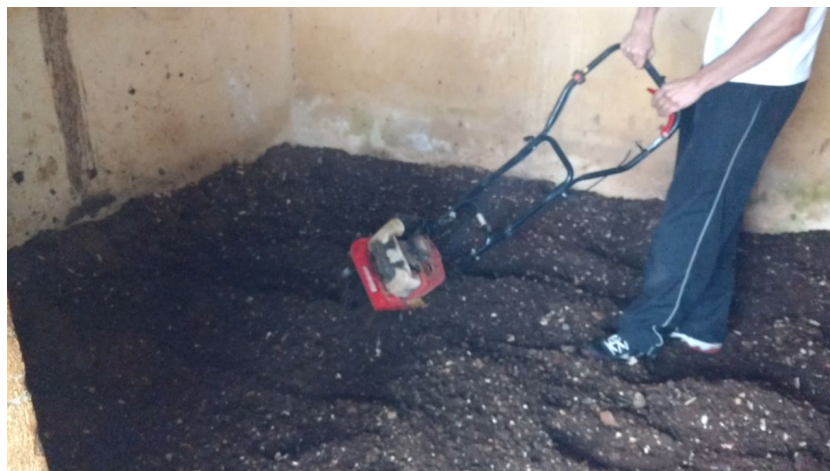
Ao final de cada baia ser finalizada os dados do analisador de energia foram devidamente registrados no computador utilizando o *software* PQLogView e manipulados posteriormente para análise dos dados.

### 3.3.2 Experimento realizado com o motocultivador a gasolina

Para poder operar com o motocultivador a combustão interna, o mesmo teve seu tanque de combustível esvaziado e inserido 200 ml de mistura combustível, que seriam de 1/6 da medida necessária para trabalhar o implemento por uma hora. A proporção utilizada na mistura recomendada pelo fabricante é de 25:1, sendo então para 200 ml de mistura combustível, 192 ml de gasolina e 8 ml de óleo lubrificante.

A Figura 11 demonstra a realização do experimento em uma 3ª baia, onde verifica-se que os 200 ml da mistura combustível resultaram em aproximadamente 9 minutos e 58 segundos. Através dessas informações, é possível realizar o cálculo para comparação do consumo do motocultivador elétrico em relação ao a combustão interna.





**Figura 11 – Experimento com o Motocultivador Kawashima ER28.**

**Fonte: Autorial Própria.**

As Figuras 12 e 13 mostram, respectivamente, antes e depois da baia onde foi realizado o experimento com o motocultivador Kawashima ER28.



**Figura 12 – Baia 3 antes de realizar o experimento.**

**Fonte: Autorial própria.**



**Figura 13 – Baia 3 depois de realizar o experimento.**

**Fonte: Autoria própria.**

Os valores foram documentados para posterior análise comparativa com o protótipo elétrico.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão tratados os dados obtidos nos testes com os motocultivadores. Inicialmente será feita uma análise entre a energia requeridas com os motocultivadores de modo a determinar qual implemento requer a menor quantidade energética para operar um espaço de terra e pelo mesmo intervalo de tempo e então será feita uma análise comparativa do consumo específico de energia.

Em um segundo momento uma comparação entre o custo de operação, a partir dos combustíveis usados nos experimentos como: preço da gasolina e óleo, e também da energia elétrica disponível na propriedade rural.

Apesar de terem sido utilizados as mesmas condições de tempo, clima, solo e também a mesma enxada rotativa na realização do experimento com ambos implementos, é necessário ressaltar que o objetivo do experimento não é determinar com exatidão o gasto de energia necessário para realizar o trabalho, mas sim verificar se um motocultivador a combustão interna que se classifica em uma certa categoria de peso e potência pode ser substituído por um com motorização elétrica e qual seria a viabilidade de tal implemento através da análise de dados como o consumo energético.

### 4.1 ANÁLISE DO CONSUMO ESPECÍFICO DO MOTOCULTIVADOR A COMBUSTÃO

Como foi verificado anteriormente, foi necessário usar 0,200 litros de mistura combustível para trabalhar uma baía por aproximadamente 10 minutos. Desses 0,200 litros, 0,192 litros são de gasolina e o restante é óleo, seguindo a proporção recomendada pelo fabricante.

O primeiro passo para calcular o gasto energético do equipamento é definir o valor da densidade da gasolina para assim calcular a massa de combustível da

mistura. Tendo como base as informações disponibilizadas através da Sindipetróleo (2015, p. 4), a ANP (Agência Nacional do Petróleo, gás natural e biocombustíveis), define que a gasolina possui um valor de densidade variando entre 0,73 kg/L e 0,77 kg/L. Para os cálculos foi adotado o valor de 0,75 kg/L.

$$V o l u m e = M a s s a / D e n s i d a d e \quad (6)$$

Sendo assim, para 0,192 litros de gasolina consumido no experimento, e utilizando a equação (6), obtém-se 0,144 kg de massa de combustível.

Utilizando a Tabela 2 onde tem-se que o poder calorífico, em kJ/kg, da gasolina isenta de álcool é de 46900 kJ/kg, podemos calcular a energia consumida pelo motocultivador durante o experimento através da multiplicação da massa do combustível pelo poder calorífico da gasolina.

Substituindo estes valores na equação (4) do capítulo 2 tem-se que o motocultivador utilizado no experimento requereu:

$$E n e r g i a = 6753 [kJ] \quad (7)$$

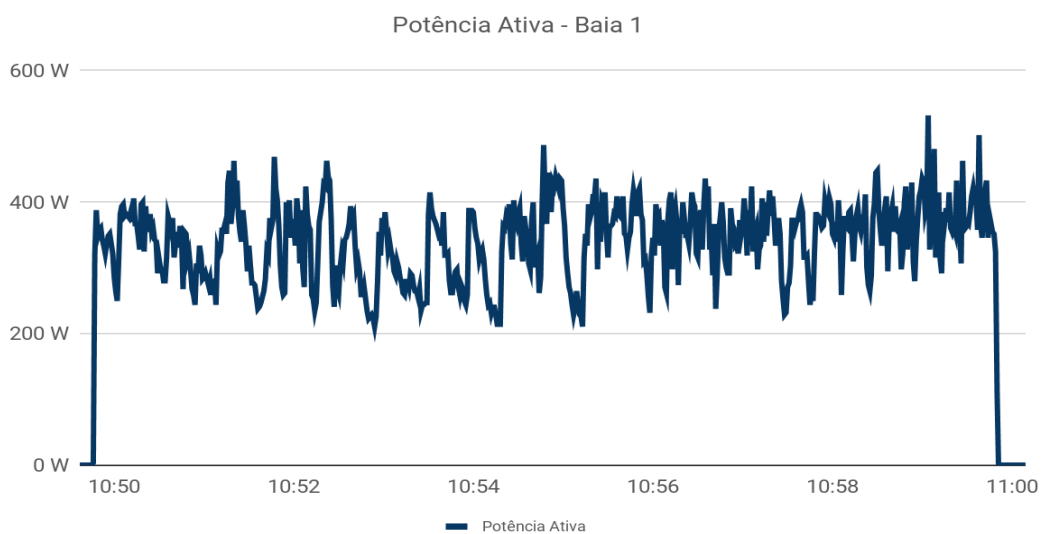
O consumo específico pode ser calculado pela energia necessária para realizar determinada tarefa (CONSERVAÇÃO DE ENERGIA, 2006). Para o motocultivador a gasolina a relação da energia requerida para 10 minutos de trabalho pelo volume total do local trabalhado, resulta em um consumo específico de 3751,6 kJ/m<sup>3</sup>.

Em uma análise com relação ao custo do combustível para a operação do equipamento, leva-se em conta, para fins de cálculo, o valor da gasolina adquirida de R\$ 3,69 o litro e o óleo de R\$ 9,00 o litro. Lembrando que em 10 minutos de experimento foram utilizados 0,192 litros de gasolina e 0,008 litros de óleo, calcula-se um gasto de R\$ 0,78048 da mistura combustível para 10 minutos de operação. Ampliando o raciocínio para uma hora trabalhada, o custo de combustível utilizado seria de R\$ 4,68288.

## 4.2 ANÁLISE DO CONSUMO ESPECÍFICO DO PROTÓTIPO ELÉTRICO

Quanto ao experimento com o motocultivador elétrico, foi utilizado um analisador de energia que fornece em seus relatórios diversos parâmetros, sendo alguns mais interessantes para a análise do consumo específico como: potência ativa. Outros também serão apresentados de forma mais detalhada a seguir.

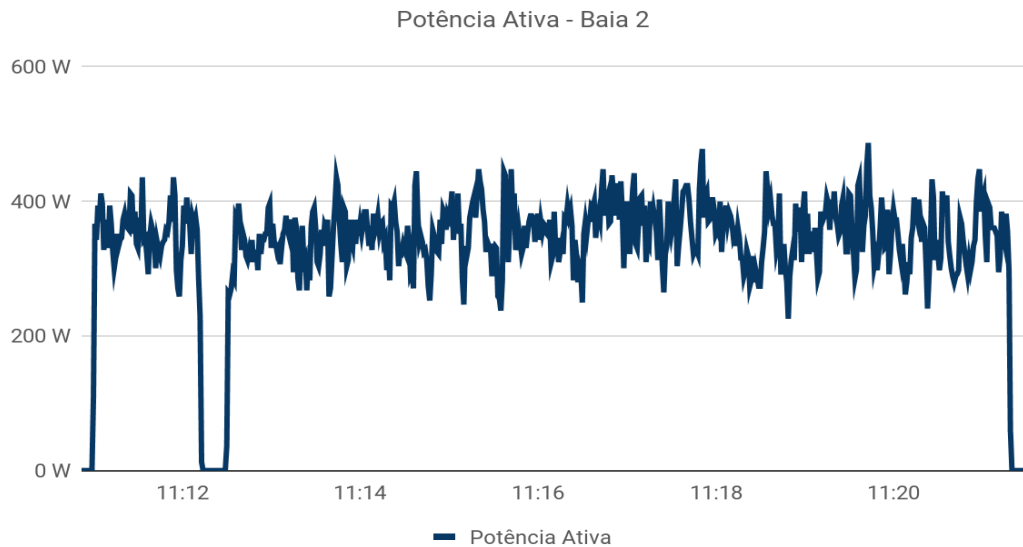
Os gráficos de potência ativa refletem diretamente a característica da carga em questão, uma vez que existe uma variação de carga. A potência ativa também varia proporcionalmente, pois o motor elétrico exige uma corrente maior para poder compensar o incremento de carga no eixo do rotor.



**Gráfico 1 – Potência ativa instantânea demandada pelo motocultivador elétrico na baia 1.**

**Fonte: Autoria própria.**





**Gráfico 2 – Potência ativa instantânea demandada pelo motocultivador elétrico na baía 2.**

**Fonte: A autoria própria.**

A partir dos dados de potência ativa coletados no analisador de energia e dos gráficos 1 e 2 das baias, tem-se que na baía 1, em 10 minutos de funcionamento, o motocultivador elétrico teve uma potência ativa média de 0,33977 kW, e na baía 2 para o mesmo espaço de tempo a potência ativa média foi de 0,34889 kW. Calculando a média destes valores, o implemento possui uma potência ativa média de 0,34433 kW. Verifica-se com esses resultados, que mesmo com uma variação constante de carga, o motocultivador elétrico possui pequena variação de consumo médio de potência.

Com isso, o próximo passo é transformar a potência encontrada pelo motocultivador elétrico em energia. Para obter esse valor multiplica-se a potência ativa média de cada baía do motocultivador elétrico pelo tempo em segundos de operação desejada. Tem-se para a baía 1 que 0,33977 kilowatts multiplicado por 600 segundos resulta em 203,862 kJ. Para a baía 2, pelo mesmo tempo de operação, o resultado é de 209,334 kJ. Calculando com a potência média destes dois valores, tem-se 206,598 kJ.

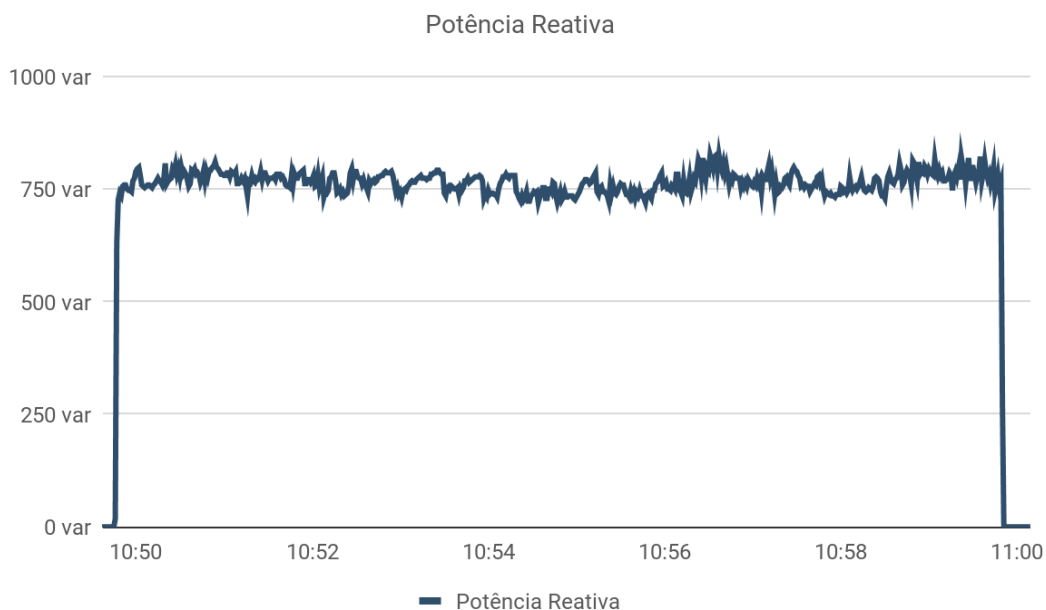
O consumo específico pode ser calculado em relação a energia requerida para tempo de 10 minutos pelo volume total da área trabalhado, que é de 1,8 m<sup>3</sup>,

resultando a um consumo específico de  $113,2566 \text{ kJ/m}^3$  para a baia 1. Analogamente para a baia 2 o consumo específico tem como resultado em  $116,2966 \text{ kJ/m}^3$ . Para o valor médio das baias tem-se  $114,7766 \text{ kJ/m}^3$ .

Para o cálculo do custo operacional através da tarifa de energia elétrica da baia 1, multiplica-se  $0,33977 \text{ kWh}$  pelo o custo da energia elétrica em reais, que é de R\$ 0,70 por kWh. O valor calculado para uma hora de operação é de R\$ 0,2378.

Para a baia 2 multiplica-se  $0,34889 \text{ kWh}$  pelo mesmo custo da energia elétrica, que é de R\$ 0,70 por kWh, obtendo para uma hora de operação R\$ 0,2442. Usando o valor médio encontramos um custo de operação de R\$ 0,2410.

Através do Gráfico 3, que mostra a potência reativa no tempo, podemos extrair que a tensão do motocultivador elétrico teve uma pequena variação. Também, tem-se que a maior parte dos pequenos produtores rurais não pagam excedentes de energia reativa fora dos padrões aceitos pela concessionária.

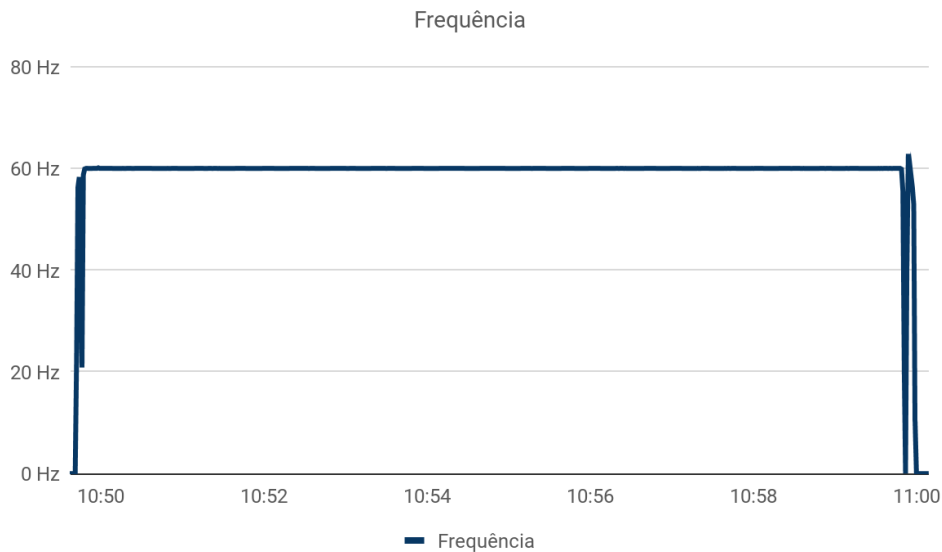


**Gráfico 3 – Potência reativa instantânea demandada pelo motocultivador elétrico na baia 1.**

**Fonte: Autoria própria.**

Com relação a velocidade do equipamento, tem-se o controle através da frequência de saída do inversor. No caso em específico ajustamos essa frequência

em 60 hertz, como apresenta o Gráfico 4. Verifica-se que a frequência permaneceu em 60 hertz em praticamente todo o tempo de trabalho, exceto nos intervalos de aceleração e desaceleração do motocultivador, que aconteceram apenas em momentos de início e fim de trabalho.



**Gráfico 4 – Frequência do motocultivador elétrico na baia 1.**

**Fonte: Autoria própria.**

Sendo assim, conclui-se que a velocidade do implemento elétrico permaneceu em seus valores nominais mesmo com a variação de carga e potência.

#### 4.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Para um comparativo mais adequado entre ambos motocultivadores e dentro do objetivo proposto pelo trabalho, dois parâmetros foram analisados individualmente. Como principal entre eles tem-se o consumo em KJ, e em uma análise secundária o custo em reais do combustível requerido para funcionamento dos equipamentos, sendo ele a mistura combustível ou a eletricidade.

**Tabela 5 - Resultados obtidos com os motocultivadores.**

| Modelo                                    | Consumo específico<br>(kJ/m <sup>3</sup> ) | Custo operacional<br>(R\$/hora) |
|---|--|---------------------------------|
| Baia 3 - Motocultivador ER28              | 3751,6                                     | 4,68                            |
| Baia 1 -Protótipo motocultivador elétrico | 113,2566                                   | 0,2378                          |
| Baia 2 -Protótipo motocultivador elétrico | 116,2966                                   | 0,2442                          |
| Média - Protótipo motocultivador elétrico | 114,7766                                   | 0,2410                          |

**Fonte: Autoria própria.**

Levando em consideração o consumo energético dos implementos, tem-se que o motocultivador elétrico possui um consumo específico de aproximadamente 33 vezes menor que o movido a combustível fóssil. Esse consumo é calculado dividindo o valor do consumo específico, em kJ/m<sup>3</sup> no caso à combustão, pelo mesmo valor encontrado no contexto elétrico, desconsiderando as perdas do inversor utilizado.

Para a comparação no âmbito dos combustíveis, primeiramente foi multiplicado o volume da mistura utilizado (gasolina e óleo) pelo seu valor real de mercado, tendo o custo de R\$ 4,68288 para cada hora de trabalho. Esses cálculos já foram explicados no início do capítulo 4. Analogamente, foi multiplicado a potência ativa do motocultivador elétrico pelo custo real da energia elétrica aplicado ao consumidor do tipo B 2, que é o caso do consumidor rural segundo a ANEEL (2010, p.4). O resultado com o valor médio foi de R\$ 0,2410 para o mesmo espaço de tempo. Sendo assim, o motocultivador elétrico tem um custo de operação, em reais, aproximadamente 19 vezes menor que o motocultivador de combustão interna.

No motocultivador a combustão ocorre a queima da gasolina, que segundo Guarieiro (2011, p.3) gera alguns gases poluentes como: monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos não queimados. Esses gases, além de

agravar o efeito estufa provocando o aquecimento global também causam problemas respiratórios, enquanto que no protótipo elétrico não ocorre emissão de gases localmente.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou uma análise comparativa do consumo energético entre um motocultivador à combustão interna e um motocultivador elétrico proposto. Para tanto, foi realizada uma revisão teórica que forneceu informações necessárias para a escolha dos equipamentos do protótipo, definiu métodos comparativos e elucidou diversas informações sobre os motocultivadores agrícolas já existentes.

Com base nas análises de resultados, verificou-se então que a utilização da motorização elétrica é não somente viável e eficaz, como também foi obtido através da coleta de dados um consumo específico de energia para funcionamento pelo motocultivador elétrico de aproximadamente 33 vezes inferior ao motocultivador a combustão interna para situações de trabalho semelhantes. Para se obter um valor de consumo específico de energia mais exato é recomendável realizar ensaios em laboratório.

Quanto ao custo financeiro para operação dos motocultivadores, verificou-se um gasto 19 vezes menor do protótipo em relação ao motocultivador movido à combustão interna.

Comprova-se então um melhor rendimento do motocultivador elétrico em relação ao motocultivador à combustão interna, tanto no âmbito energético como em custo de operação. Ao contrário dos motocultivadores existentes no mercado, o protótipo elétrico pode fazer uso tanto do sistema interligado nacional, que possui em sua maioria energia provinda de fontes renováveis, como também de geração distribuída. Vale ressaltar que a energia distribuída, que vem sendo fomentada como uma solução para a crise energética, viabiliza um meio para que o ser humano possa realizar o trabalho agrícola, agredindo de forma menos impactante o meio ambiente.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista os resultados apresentados no trabalho e com objetivo de dar continuidade com o desenvolvimento do protótipo, sugere-se os seguintes pontos a serem estudados:

- Dimensionamento de baterias e inversores para alimentação do protótipo;
- Utilização de energia fotovoltaica ou outra renovável para carregamento das baterias;
- Viabilidade econômica do protótipo para inserção no mercado;

## REFERÊNCIAS

AFONSO, Júlio Carlos et al. **Baterias de lítio: novo desafio para a reciclagem.** Ciência Hoje, v. 35, n. 205, 2004.

ALMEIDA, Ana Claudia Silva; SERRA, Elpídio. **CONCENTRAÇÃO DE TERRAS NO BRASIL—UM OLHAR ACADÊMICO SOBRE O PROCESSO**, 2012.

ANEEL. **Geração distribuída**, 2016. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset\\_publisher/cegkwavjwf5e/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritredirect=false](http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/cegkwavjwf5e/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritredirect=false)>. Acesso em: 22 mar. 2017.

ANEEL. **Superintendência de regulação econômica**, 2010. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20\(2\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20(2).pdf)>

ARAÚJO, Karla Lúcia Batista. **Desempenho operacional e energético de um microtrator em função da lastragem, velocidade de deslocamento e pressão de inflação dos pneus.** 2013. Tese de Doutorado.

ARAÚJO, Rodrigo. **Análise de Falha Aplicada a Redutores de Velocidade com Perda de Lubrificante por Vazamento.** Instituto Superior de Tecnologia, São João Del Rei, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR IEC 60529:2005: Graus de proteção para invólucros de equipamentos elétricos (código IP). Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 7094: Máquinas elétricas girantes - Motores de indução - Especificação . Rio de Janeiro, 2013.

BERETTA, Claudio Catani. **Tração animal na agricultura.** NBL Editora, 1988.

BOTTURA, Celso Pascoli; BARRETO, Gilmar. **Veículos elétricos.** Ed. da UNICAMP, 1989.

BRASIL, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2016—Ano base 2015: Relatório Síntese.** Rio de Janeiro, EPE, 2016.



CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **Eficiência energética de instalações e equipamentos**, 3. ed. Eletrobrás/Procel, Editora da EFEL, p. 169, Itajubá, 2006.

COPEL. **Conceituação**, 2008 Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2fhpcopel%2froot%2fpa\\_gcopel2.nsf%2f0%2f7507b0aba2e082ff0325740f00649745](http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2fhpcopel%2froot%2fpa_gcopel2.nsf%2f0%2f7507b0aba2e082ff0325740f00649745)>. Acesso em: 01 abr. 2017.

COSTA, Washington da. **Metodologia para conversão de veículos equipados com motores a combustão interna para tração elétrica: aplicação de motor síncrono de ímã permanente com fluxo magnético radial a um furgão**. 2009. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro.

DA SILVEIRA, Gastão M.; SIERRA, Jacinto G. Eficiência energética de tratores agrícolas fabricados no Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 14, n. 4, 2010.

DE OLIVEIRA, J. G. S. M. **Materiais usados na construção de motores elétricos**. Seminário Técnico, PUCRS, 2009.

DIRETIVA 2002/44/ CE do Parlamento Europeu e do Conselho (25/06/2002), Jornal Oficial das Comunidades Europeias. L177/13 a 19, 06.07.2002

DO VALLE, Helena Bento Martins. **Aplicação do conceito vehicle-to-grid para nivelamento de carga e suprimento de pico de demanda**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DOS SANTOS, Gabriel Araujo; AZEVEDO, Janyelif Fonseca. **DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS DA MÁQUINA DE UMA BANCADA DE ENSAIOS DE FADIGA POR FLEXÃO**. Porto Alegre, RS, 2015.

ESTAÇÃO CIÊNCIA, **A Energia e as Transformações Químicas**, [20--]. <[http://www.eciencia.usp.br/arquivoEC/exp\\_antigas/igepeq.html](http://www.eciencia.usp.br/arquivoEC/exp_antigas/igepeq.html)>. Acesso em: 13 de Maio de 2017.

FARIA, Iolanda Balcky. **Seleção de um redutor de engrenagens para um agitador e planejamento das ações de manutenção**. 2009. Tese de Doutorado. FCT-UNL.

FEDRIZZI, Maria Cristina. **Fornecimento de água com sistemas de bombeamento fotovoltaicos**. 1997. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FRANCHI, Claiton Moro. **Inversores de frequência: teoria e aplicações**. Editora Érica Ltda, 2ª edição, São Paulo, 2009.

FRITZEN, Paulo Cícero. **Notas de aula no curso de geração de energia no Bacharelado em Engenharia Elétrica. Promovido pela UTFPR**. Curitiba, 2017.

Instituto Nacional de Eficiência Energética. **O QUE É GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**. Disponível em: <[http://www.inee.org.br/forum\\_ger\\_distrib.asp](http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp)>. Acesso em: 01 Mai 2017.

International Organization for Standardization 5349 (1986). **Guidelines for the measurements and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibrations**, Geneva, 2001.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energia e meio ambiente no Brasil. Estudos avançados**, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.

GRUPO CULTIVAR. **Características e uso de microtratores e motocultivadores**. 2016. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/artigos/multitarefa>>. Acesso em: 19 mai. 2017.

GUARIEIRO, Lilian LN; VASCONCELLOS, Pérola C.; SOLCI, Maria Cristina. **Poluentes Atmosféricos Proveniente da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão**. Revista Virtual de Química, v. 3, n. 5, p. 4, 2011.

JATTO. **Enxada Rotativa Gasolina 2 Tempos ER28 Kawashima**, 2017. <<https://www.jatto.com.br/enxada-rotativa-gasolina-motocultivador-aracao>>. Acesso em: 02 de Novembro de 2017.

KAMPHORST, José Sidnei. **Quanto gasta seu trator**, 2003. Disponível em: <[http://www.grupocultivar.com.br/ativemanager/uploads/arquivos/artigos/m24\\_quantogasta.pdf](http://www.grupocultivar.com.br/ativemanager/uploads/arquivos/artigos/m24_quantogasta.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2017.

LEITMAN, Seth; BRANT, Bob. **Build your own electric vehicle**. McGraw-Hill, Inc., 2008.

LINDEN, David; REDDY, Thomas B. Basic concepts. **Handbook of Batteries**, p. 1200, 1995.

MACIEL, Ednilson Soares; CORAIOLA, José Alberto. **Transformadores e motores de indução**. Curitiba: Base, 2010. 224 p. ISBN 9788579055652.

MARIA DE FÁTIMA, N. C. et al. **Bateria de lítio-íon: conceitos básicos e potencialidades**. Cad. CPqD Tecnologia, v. 8, n. 2, p. 59-72, 2012.

MÁRQUEZ, L. **Solo tractor'90**. Madrid: Laboreo, p. 146-207, 1990.

MATERGI. **Motocultivador toyama à gasolina 7hp tt65a**. 2017. Disponível em: <<http://www.matergi.com.br/rocadeira-toyama-tbc43xp-my-41-5cc-2-5hp-2020.html>>. Acesso em: 15 mai. 2017.

NASCIMENTO, Elivania Maria Sousa et al. **DESEMPENHO OPERACIONAL DE UM CONJUNTO MICROTRATOR-ROTOENCANTEIRADOR EM FUNÇÃO DA ROTAÇÃO DO MOTOR E MARCHA DE TRABALHO**. Nucleus, v. 13, n. 2, p. 291-300, 2016.

REGULAMENTADORA, NORMA. NR 12. **Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**. Elaboração Portaria, 3214/1978.

\_\_\_\_\_. NR 15. **ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES**. Elaboração Portaria, 3214/1978.

MOUSAZADEH, Hossein et al. Life-cycle assessment of a Solar Assist Plug-in Hybrid electric Tractor (SAPHT) in comparison with a conventional tractor. **Energy conversion and Management**, v. 52, n. 3, p. 1700-1710, 2011.

PALMER, Rodrigo Venzke. **Estudo da sulfatação durante a formação de placas positivas empastadas de bateria de chumbo-ácido**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.

PAULA, Vanderson Rabelo de. **Viabilidade operacional do uso da energia elétrica como fonte de potência em tratores agrícolas**. 2014

Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2015.

REDE DE TECNOLOGIA AVANÇADA. **Manual técnico baterias seladas estacionárias chumbo-ácido reguladas por válvula (vrla)**, [201-?]. Disponível em: <<http://www.rta.com.br/arquivos/Manual-Baterias-Rev.01.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2017.

RIBAS, Rodrigo Lampert et al. **Transmissões presentes em tratores agrícolas no Brasil**. *Ciência Rural*, v. 40, n. 10, p. 2206-2209, 2010.

RIBEIRO, Fernando Selles et al. **O método dos elementos finitos na análise do aterramento do sistema monofilar com retorno por terra**. In: Proceedings of the 3. Encontro de Energia no Meio Rural. 2000.

RODRIGUES, Denílson Eduardo et al. Desempenho de um microtrator utilizando-se motores com diferentes alternativas energéticas-DOI: 10.4025/actascitechnol.v28i1.1286. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 28, n. 1, p. 55-63, 2008.

SCHLOSSER, José Fernando et al. Antropometria aplicada aos operadores de tratores agrícolas. **Ciência Rural**, v. 32, n. 6, p. 983-988, 2002.

SCHUTZER, Victor Manieri; DOS SANTOS, João Eduardo Guarnetti; DE PONTES JUNIOR, Bento Rodrigues. **ASPECTOS ERGONÔMICOS E AVALIAÇÃO DA VIBRAÇÃO NOS MEMBROS SUPERIORES NOS OPERADORES DE MOTOCULTIVADOR**. *Blucher Engineering Proceedings*, v. 3, n. 3, p. 723-733, 2016.

SEABRA, G. **Terra: questões ambientais globais e soluções locais**. João Pessoa: editora Universitária da UFPB, 2008.

SERRA, Elpídio. **Reflexões sobre a origem da crise agrária no Norte do Paraná.** em: Boletim de Geografia DGE-UEM, v.19, n.01, p. 45 – 58, Maringá, 2001.

SINDICATO RURAL. **REDE RURAL MONOFÁSICA 254/127V**, 2015. Disponível em:  
<<http://sindicatouralangelica.com.br/noticias/rede-rural-monofasica-254-127v/imprimir>>. Acesso em: 03 Novembro de 2017.

SINDIPETROLEO. **TABELAS DE DENSIDADE**, 2015. Disponível em:  
<<http://www.sindipetroleo.com.br/portal/storage/tabelas-de-densidade.pdf>>. Acesso em: 09/11/2017.

SUDENE. **Procedimentos de elaboração de balanços energéticos**, 2005. Disponível em:  
<[http://siteantigo.sudene.gov.br/conteudo/download/pe\\_procedimentos\\_elaboracao.pdf](http://siteantigo.sudene.gov.br/conteudo/download/pe_procedimentos_elaboracao.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2017.

UN, **Sustainable development goals**, 2015. Disponível em:  
<<http://www.un.org/sustainabledevelopment/hunger/>>. Acesso em: 01 dez. 2017.

VIAN, Carlos Eduardo Freitas; ANDRADE JÚNIOR, Adilson Martins. **Evolução histórica da indústria de máquinas agrícolas no mundo: origens e tendências.** In: Trabalho apresentado no Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Campo Grande, MS. Available at: Accessed on: March. 2010. p. 2015.

VON HERTWIG BITTENCOURT, Henrique. **A matriz energética no desenvolvimento sustentável de pequenas propriedades rurais.** Conclusiones del curso. Florianópolis, 2005.

WEG, **Automação Inversores de Frequência**, 2017. <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-inversores-de-frequencia-10525554-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 02 de Novembro de 2017.

WESZ JUNIOR, Valdemar João et al. **A produção de soja em pequenas propriedades familiares na Região das Missões/RS.** In: 46th Congress, July 20-23, 2008, Rio Branco, Acre, Brasil. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 2008.