



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

JOÃO CARVALHO DE SANTANA

**ESTUDO DA APLICABILIDADE DE BATERIAS CHUMBO-
ÁCIDO EM SISTEMA COM ALTERNADOR INTELIGENTE
ASSISTIDA POR BMS**

Campina Grande, Paraíba
Outubro de 2013

JOÃO CARVALHO DE SANTANA

ESTUDO DA APLICABILIDADE DE BATERIAS CHUMBO-
ÁCIDO EM SISTEMA COM ALTERNADOR INTELIGENTE
ASSISTIDA POR BMS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Karcus Marcelus Colaço Dantas.

Campina Grande, Paraíba
Outubro de 2013

Dedico este trabalho aos meus pais e à minha futura esposa, que sempre me apoiaram, principalmente nos momentos de maior dificuldade.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por tudo de bom que acontece comigo e principalmente por ter me dado os pais maravilhosos que tenho.

Agradeço a meus pais, Manoel e Meire, por ter me proporcionado uma boa educação, por estarem sempre presentes e pelo apoio em momentos difíceis que foi de suma importância para que hoje eu esteja onde estou.

Agradeço também a Juliana Sardinha, meu grande amor, por toda sua dedicação, amor, compreensão e companheirismo que só vieram acrescentar para que cada dia eu me torne uma pessoa melhor.

Agradeço também ao meu orientador, Karcus Dantas, pelo apoio, ajuda, paciência e orientação para a realização do Trabalho de Conclusão de Curso.

E por último, gostaria de agradecer a Baterias Moura por ter me dado a oportunidade e o suporte para a realização de atividades que foram de suma importância para a confecção do TCC.

*“A vida é para quem
topa qualquer parada,
e não para quem para
em qualquer parada”*

Bob Marley.

RESUMO

O objetivo do presente estudo é verificar a aplicabilidade de baterias Chumbo-Ácido à um Alternador Inteligente desenvolvido pela Bosch que impõe níveis de tensão mais elevados do que os alternadores usados comumente. Além disso, saber quais níveis de tensão serão mais eficazes para que a bateria não sofra sobrecargas que prejudiquem sua vida útil mas que também seja devidamente carregada a ponto de seu desempenho não deixar a desejar. A importância desse trabalho se deve a atualmente existir uma grande preocupação com meio ambiente. Com base nisso, o governo brasileiro assinou uma proposta de redução de consumo de combustível e emissão de CO₂ em automóveis, o Inovar-Auto. O Inovar-Auto propõe uma redução de tributações para as montadoras que produzem e/ou comercializam veículos no Brasil e apresentarem uma proposta de investimento nessa área. Um dos dispositivos desenvolvidos com a finalidade de redução de combustível e emissão de CO₂ foi o Alternador Inteligente assistido por *Battery Management System* (BMS).

Palavras-Chaves: Inovar-Auto, Alternador Inteligente, BMS, Bateria, Tensão de Recarga.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| Agradecimentos..... | iv |
| Resumo..... | vi |
| Sumário..... | vii |
| Lista de Ilustrações..... | 1 |
| Lista de Tabelas..... | 2 |
| Lista de Abreviaturas e Siglas..... | 3 |
| 1 Introdução..... | 4 |
| 1.1 Inovar-Auto..... | 4 |
| 1.2 Tecnologias..... | 6 |
| 2 Fundamentação Teórica..... | 7 |
| 2.1 Máquinas Elétricas..... | 7 |
| 2.2 Alternador..... | 8 |
| 2.2.1 Conceitos Básicos..... | 9 |
| 2.2.2 Principais componentes de um Alternador..... | 10 |
| 2.2.2.1 Estator..... | 10 |
| 2.2.3 Princípio de Funcionamento..... | 11 |
| 2.3 Baterias Automotivas..... | 13 |
| 2.3.1 Cronologia da Bateria..... | 13 |
| 2.3.2 Princípio de Funcionamento..... | 14 |
| 2.3.3 Componentes da Bateria..... | 16 |
| 2.3.4 Características..... | 19 |
| 2.3.5 Bateria SLI Versus Bateria EFB..... | 20 |
| 2.4 Battery Management System (BMS)..... | 21 |
| 2.4.1 Electronic Battery Sensor (EBS)..... | 21 |
| 2.4.2 Battery State Detection (BSD)..... | 23 |
| 2.5 Intelligent Generator Control (IGC)..... | 25 |
| 2.5.1 Considerações Iniciais..... | 25 |
| 2.5.2 Princípio de Funcionamento do IGC..... | 26 |
| 3 Material e Métodos..... | 30 |
| 3.1 Ensaio de Consumo de Água..... | 30 |
| 3.2 Ensaio de Aceitação de carga..... | 31 |
| 4 Resultados..... | 33 |
| 5 Conclusão..... | 36 |
| Referências Bibliográficas..... | 37 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1: Motor de Indução Trifásico..... | 7 |
| Figura 2: Gerador síncrono monofásico | 8 |
| Figura 3: Alternador | 9 |
| Figura 4: alternador desmembrado | 10 |
| Figura 5: Princípio de funcionamento de um alternador trifásico | 11 |
| Figura 6: Ponte Retificadora..... | 12 |
| Figura 7: Reação de Descarga | 15 |
| Figura 8: Reação de Recarga | 15 |
| Figura 9: Circuito elétrico de várias placas ligadas em paralelo | 16 |
| Figura 10: Circuito Elétrico de várias Células ligadas em série | 16 |
| Figura 11: Elemento | 17 |
| Figura 12: Separador de Polietileno | 17 |
| Figura 13Caixa de Polipropileno | 17 |
| Figura 14: Tampa de Polipropileno | 18 |
| Figura 15: Solda Intercell | 18 |
| Figura 16: Strap | 18 |
| Figura 17: Bateria Automotiva | 19 |
| Figura 18: <i>Application Specific Integrated Circuit</i> | 21 |
| Figura 19Modos de Operação do EBS | 22 |
| Figura 20: Estrutura para determinação do SOC..... | 24 |
| Figura 21: IGC..... | 25 |
| Figura 22:Localização do alternador na configuração do motor | 26 |
| Figura 23: Layout das conexões do alternador | 26 |
| Figura 24:Status do Estado de Carga..... | 27 |
| Figura 25: Velocidade, Tensão e SOC em função do Tempo..... | 28 |
| Figura 26: Simulação IGC..... | 29 |
| Figura 27Equipamentos para realização dos teste de Consumod e Água e Aceitação de Carga | 30 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Tributação do IPI..... | 5 |
| Tabela 2: Especificação de Corrente | 23 |
| Tabela 3: Especificação de Tensão..... | 23 |
| Tabela 4: Especificação e Temperatura..... | 23 |
| Tabela 5: Consumo de Água da Bateria Convencional | 33 |
| Tabela 6: Consumo de Água Bateria EFB..... | 34 |
| Tabela 7: Aceitação de Carga Bateria Convencional | 34 |
| Tabela 8: Aceitação de Carga Bateria EFB | 35 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----------|---|
| IPI..... | Imposto sobre Produtos Industrializados |
| PP..... | Polipropileno |
| SAE..... | Society of Automotive Engineers |
| SOC..... | State of Charge |
| SLI..... | Start, Light, Ignition |
| EFB..... | Enhanced Flooded Battery |
| BMS..... | Battery Management System |
| EBS..... | Electronic Battery System |
| BSD..... | Battery State Detection |
| ASIC..... | Application Specific Integrated Circuit |
| A/D..... | Analogic/Digital |
| LIN..... | Local Interconnected Network |
| ECU..... | Electronic Control Unit |
| SOF..... | State of Function |
| IGC..... | Intelligent Generator Control |

1 INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, um dos contextos que mais está em evidência e que causam mais preocupações são as questões ambientais. É possível observar, através dos mais diversos meios de comunicação, sobre as questões referentes a aquecimento global, efeito estufa, poluição, emissão de CO₂, enfim, todas no âmbito de meio ambiente.

Seguindo essa linha, cada vez mais há uma preocupação em investir no desenvolvimento de novas tecnologias que busquem melhorar esses índices ambientais nos mais diversos contextos. Esses investimentos vão de máquinas para reciclar lixo até o desenvolvimento de um alternador que ajude na diminuição do consumo de combustível e conseqüentemente na emissão de CO₂.

Obviamente, devem existir incentivos dos mais diversos tipos para que tal processo não seja tão burocrático e assim, ter um certo grau de rapidez. É com esse propósito que surgiu o Inovar-Auto.

1.1 INOVAR-AUTO

O Inovar-Auto veio com a ideia de ser um incentivo para tornar mais veloz o processo de diminuição do consumo de combustível e emissão de CO₂.

“O Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores (Inovar-Auto), é uma medida adotada pelo Governo Federal com o objetivo de estimular o investimento na indústria automobilística nacional. Estima-se que até 2015 o Programa levantará mais de R\$ 50 bilhões em investimentos no setor” (Inovar-Auto, 2013).

A ideia principal do Inovar-Auto é provocar as montadoras de automóveis com fábrica aqui no Brasil a investir para que sua frota possa atingir os requisitos propostos por esse novo regime automotivo. A maneira utilizada pelo governo federal foi, como de costume, através de tributação. Vale salientar que serão beneficiárias do novo regime Inovar-Auto as empresas que:

- Produzem veículos no Brasil;
- As que não produzem, mas comercializam, e
- As empresas que apresentam projeto de investimento no setor automotivo.

O programa prevê um desconto de 30% no IPI de automóveis nacionais (Veja, 2013), mas para tanto, a montadora deve assinar um contrato se comprometendo em reduzir o consumo de combustível em, no mínimo, 12,04% até 2017. O termo também prevê um acréscimo no desconto do IPI para aquelas que conseguirem superar esse percentual de economia de combustível, chegando a 32% para as que alcançarem 18,84% de redução em consumo de combustível. São apresentados na Tabela 1 os dados referentes à tributação dos veículos.

Tabela 1: Tributação do IPI

| | até 2012 | 2013-2017 | | a partir de 2017 | | |
|-----------------------|--------------------------|---|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| MOTOR | IPI antes do Inovar-Auto | Novo IPI após o Inovar-Auto (sem assinar) | Novo IPI após o Inovar-Auto (assinando) | Novo IPI (12,04%) | Novo IPI (15,46%) | Novo IPI (18,84%) |
| Abaixo de 1,0 | 7% | 37% | 7% | 7% | 6% | 5% |
| 1.0-2.0 (Flex/Etanol) | 11% | 41% | 11% | 11% | 10% | 9% |
| 1.0-2.0 (Gasolina) | 13% | 43% | 13% | 13% | 12% | 11% |
| Acima de 2.0 | 25% | 55% | 25% | 25% | 24% | 23% |

Fonte: Moura (2013)

É possível perceber que, caso alguma montadora não assine ou não cumpra com as exigências do Inovar-Auto, ela automaticamente perde competitividade no mercado pela elevada tributação em cima de seus produtos. É importante observar que para as montadoras, 1% de tributação equivale a milhões de reais. Dessa maneira, as mesmas objetivam atingir o maior percentual de economia. Em decorrência disso, valem os esforços e estudos em quaisquer dispositivos e/ou equipamentos que ajudem a reduzir o consumo de combustível.

1.2 TECNOLOGIAS

Como foi observado na seção anterior, qualquer estudo ou investimento que a montadora realize para ajudar na economia de combustível é de grande valia, pois fará com que a empresa economize valiosos recursos financeiros.

No presente trabalho, serão apresentadas algumas dessas tecnologias, que irão influenciar diretamente na demanda e no modo de utilização da bateria, requerendo melhor desempenho da mesma e pondo em questão até mesmo o tipo de bateria que se adequa melhor a cada tecnologia.

Dentre as tecnologias referenciadas, estão o *Start-Stop System*, *High Efficiency Generator*, *Intelligent Control Generator*, *Electronic Battery Sensor*, *Battery State Detection*, *Battery Management System* e *Enhanced Flooded Battery*.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No decorrer deste Capítulo serão apresentados alguns aspectos teóricos que servirão como base para o melhor entendimento acerca dos testes e ensaios realizados.

2.1 MÁQUINAS ELÉTRICAS

Uma máquina elétrica pode funcionar de dois modos distintos: como motor, onde a máquina irá converter energia elétrica em energia mecânica, ou pode trabalhar como alternador (gerador), onde a máquina irá fazer o caminho reverso, convertendo energia mecânica em energia elétrica. Na Figura 1 é mostrado um desenho das partes principais de um motor trifásico.

De maneira geral, uma máquina elétrica pode ser dividida em estator e rotor. O estator é a parte estacionária da máquina, enquanto o rotor é a parte girante. Outra definição pertinente a ser feita é a respeito de Enrolamento de Armadura e Enrolamento de Campo. Conforme FITZGERALD (2006, p. 174), “[...] o termo enrolamento de armadura de uma máquina rotativa é usado para se referir a um enrolamento ou grupo de enrolamentos que conduzam corrente alternada”. Para máquinas CC e Síncronas existe “[...] um segundo enrolamento que conduz corrente contínua e que é usado para produzir o fluxo principal de operação da máquina.” (FITZGERALD, 2006, p. 174) que é chamado Enrolamento de Campo.

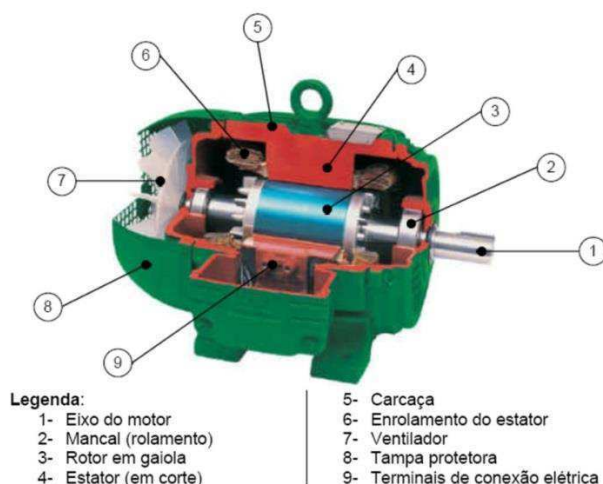


Figura 1: Motor de Indução Trifásico.

Fonte: http://automacaoetecnologia.blogspot.com.br/2011_04_01_archive.html (2013)

É apresentado na Figura 2 um esquema de um gerador síncrono monofásico com um enrolamento e dois pólos. Pode ser observado que a medida que o rotor gira, a densidade de fluxo magnético varia nos enrolamentos de armadura (estator), induzindo assim, uma tensão também variável nos terminais do estator.

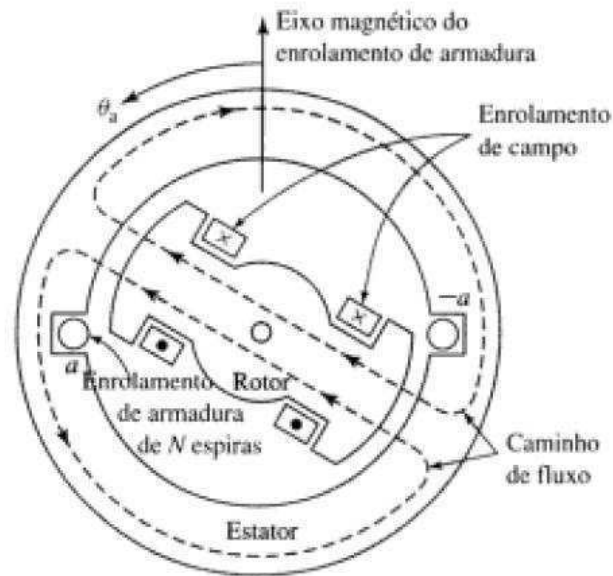


Figura 2: Gerador síncrono monofásico. Fonte: FITZGERALD (2006)

De modo geral, segundo FITZGERALD (2006, p. 174), “a variação do fluxo magnético é o parâmetro usado para determinar as tensões induzidas por campos magnéticos variáveis no tempo. A conversão eletromecânica de energia ocorre quando surgem alteração no fluxo concatenado λ decorrentes do movimento mecânico. Nas máquinas rotativas as tensões são geradas nos enrolamentos [...] quando esses giram mecanicamente dentro de um campo magnético, ou quando um campo magnético gira mecanicamente próximo aos enrolamentos [...]. Por meio desses métodos o fluxo concatenado em uma dada bobina é alterado ciclicamente e uma tensão variável no tempo é gerada.”.

2.2 ALTERNADOR

Na seção que segue, serão feitas considerações acerca do equipamento responsável por manter todas as cargas do veículo, além de recarregar a bateria: o Alternador.

2.2.1 CONCEITOS BÁSICOS

O alternador é um gerador elétrico fisicamente acoplado ao motor a combustão com o intuito de converter energia mecânica em energia elétrica para as cargas eletroeletrônicas do veículo quando o mesmo estiver com seu motor em funcionamento (SOEIRO, 2011, p. 18). Além disso, deve proporcionar um balanço energético compensado, gerando energia para todas as cargas do veículo. É mostrado na Figura 3 o desenho de um alternador.

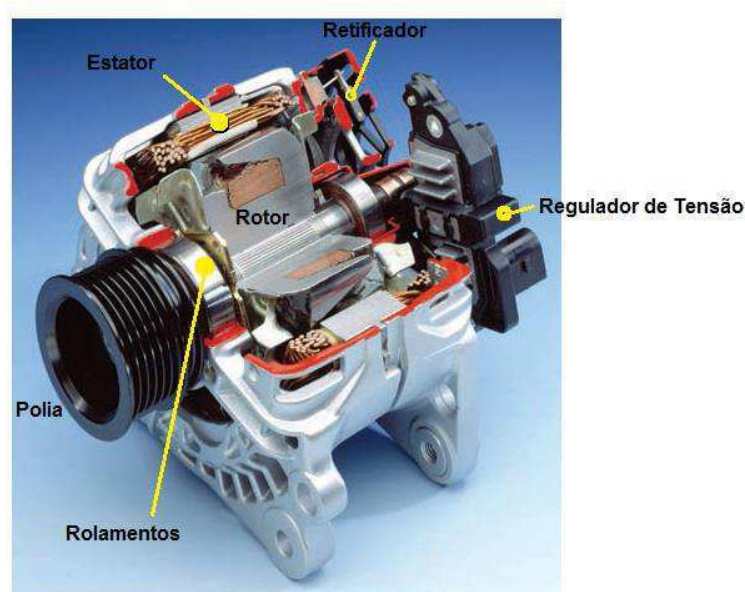


Figura 3: Alternador. Fonte: SOEIRO (2011)

Um alternador instalado em um veículo apresentar as seguintes características:

- Alimentar todos os consumidores ligados em corrente contínua;
- Reservar uma potência adicional para carga e recarga da bateria, mesmo com a demanda máxima de energia do veículo;
- Manter a tensão do alternador constante em toda a faixa de rotação do motor do veículo independentemente da carga total acionada;
- Apresentar peso reduzido;
- Ter baixo ruído;
- Apresentar alto grau de eficiência.

Pode ser visto na Figura 4 todos os componentes do alternador separadamente.

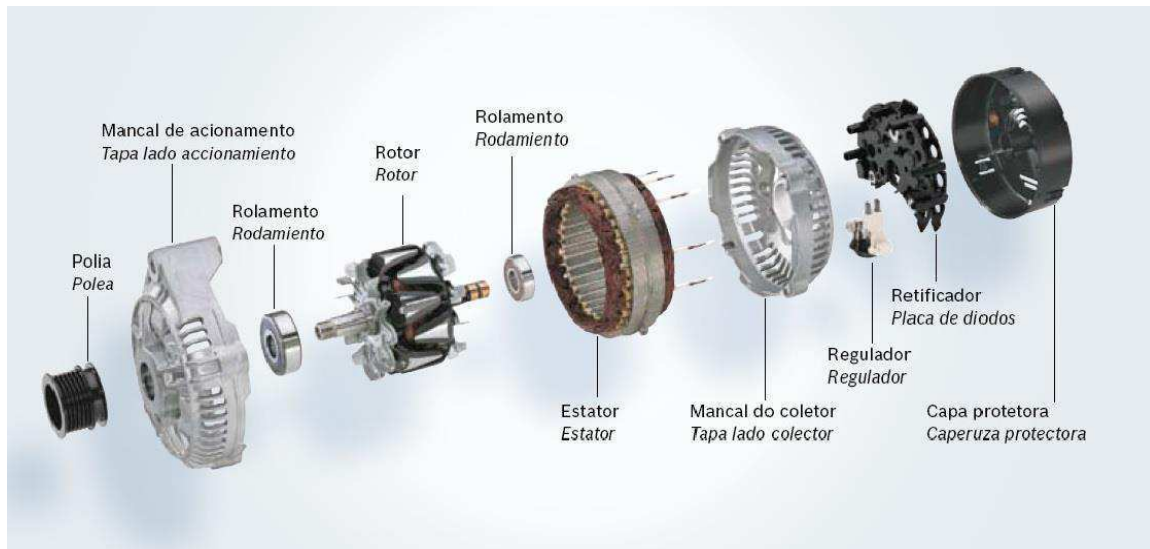


Figura 4: alternador desmembrado. Fonte: SOEIRO (2011)

2.2.2 PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM ALTERNADOR

Os três principais componentes de um alternador são: estator, rotor e regulador de tensão.

2.2.2.1 ESTATOR

É no estator que é produzida a corrente elétrica a ser fornecida para as cargas no veículo. É onde se encontram as bobinas de fios de cobre que são fixadas sobre um núcleo constituído de aço. As bobinas do estator são construídas de forma a aproveitar ao máximo a produção de corrente. Elas são isoladas entre si e cobertas por verniz especial, para resistir às mais altas temperaturas e entrada de resíduos. A corrente elétrica é induzida pelo campo magnético, agindo nos enrolamentos do estator.

Como a alimentação das cargas é feita em corrente contínua e a corrente que é gerada no alternador é alternada, faz-se necessário o uso de um retificador nos terminais do estator.

2.2.2.2 ROTOR

O rotor é constituído sobre um eixo de aço e possui em seu interior uma bobina de cobre fixada no seu eixo que é envolvida por um par de rodas polares. No momento em que a chave de ignição é ligada, o rotor, através de um coletor, recebe da bateria a tensão que dará origem a uma corrente elétrica nos fios da bobina. Essa corrente, por sua vez, produzirá um campo magnético potencializado pela construção das garras

polares em aço (SOEIRO, 2011, p20). Esse campo magnético induzirá uma tensão elétrica no estator do alternador (conforme a Lei de Lenz).

A depender da necessidade de corrente elétrica de cada aplicação, a quantidade de espiras e o diâmetro dos fios da bobina podem variar, já que são essas características que definem a potência.

2.2.2.3 REGULADOR DE TENSÃO

O regulador monitora os níveis de tensão e corrente através dos contatos das escovas de carvão com o coletor. Desse modo, o regulador irá adequar os níveis de corrente e tensão às condições ideais de funcionamento (SOEIRO, 2011, p. 21).

2.2.3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O princípio básico de funcionamento de um alternador trifásico pode ser evidenciado na Figura 5, onde se observa que uma indução eletromagnética é causada pela rotação de um material magnético dentro de enrolamentos estacionários.

Segundo Meyer (2003, p. 26) “uma corrente trifásica é gerada pela rotação do rotor, formado por três enrolamentos idênticos defasados de 120° , em um campo magnético.”. Nesse aspecto, uma grande vantagem de se ter um alternador trifásico está no uso mais eficiente do gerador elétrico.

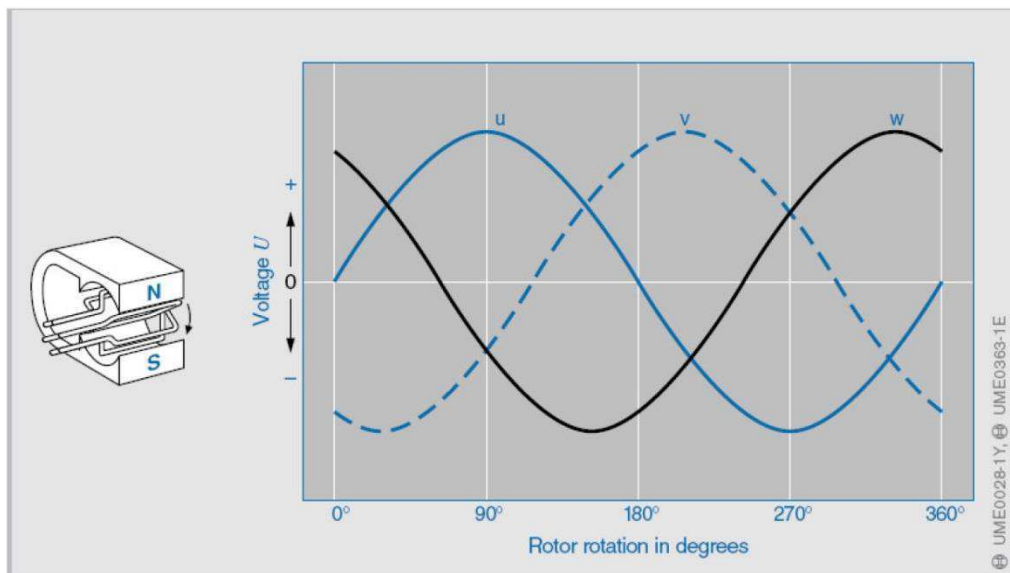


Figura 5: Princípio de funcionamento de um alternador trifásico. Fonte: SOEIRO (2011)

De acordo com a lei da indução eletromagnética, quando o rotor gira em um campo magnético, uma tensão senoidal é gerada em cada um dos três enrolamentos.

Essas tensões são da mesma magnitude e frequência, assim, a única diferença é que são defasadas de 120° uma das outras. Portanto, com o motor girando, o alternador gera uma tensão alternada trifásica.

Normalmente, com os enrolamentos não conectados, o alternador exigiria seis enrolamentos de saída para a energia elétrica gerada. Entretanto, interconectando os três circuitos, o número de enrolamentos pode ser reduzido de seis para três, assim, a depender das ligações efetivadas, é possível ter conexões em “estrela” ou em “delta”.

No caso da ligação em estrela, o final dos três enrolamentos de fase são unidos em um único ponto. Sem um condutor de neutro, a soma das três correntes em qualquer instante é sempre zero.

Para alternadores utilizados em automóveis, o sistema de ligação trifásica, é feito na parte estacionária da máquina de modo que o enrolamento é geralmente referido como o enrolamento do estator (SOEIRO, 2011, p. 23),.

Os pólos do eletroímã, criado pelo enrolamento de excitação estão situados no rotor. Quando o rotor gira, o campo magnético induz uma tensão trifásica alternada no enrolamento do estator fornecendo corrente trifásica para a saída do alternador.

A corrente trifásica alternada gerada pelo alternador não pode ser armazenada diretamente pela bateria e nem ser utilizada como alimentação para as cargas do veículo, ela precisa ser retificada e, para isso, é utilizada uma ponte retificadora, usando seis diodos. Na Figura 6 é mostrado um exemplo de ponte retificadora utilizando quatro diodos.

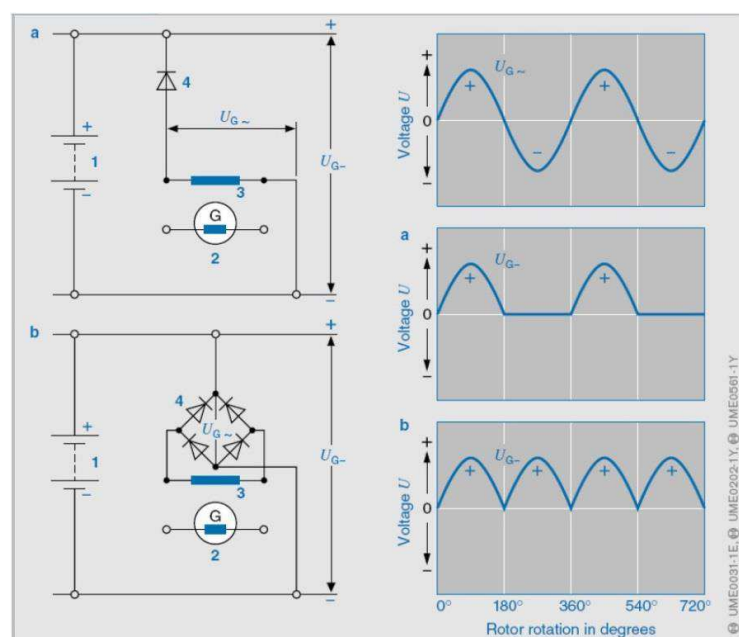


Figura 6: Ponte Retificadora. Fonte: SOEIRO (2011)

2.3 BATERIAS AUTOMOTIVAS

A Bateria Automotiva é tipicamente um aparato eletroquímico a base de Chumbo e Ácido Sulfúrico convertendo energia elétrica em química e vice-versa.

A bateria automotiva é usada no veículo como principal fonte de energia elétrica para proporcionar a partida do motor de combustão do mesmo, permitir o uso de lâmpada para iluminação no veículo durante certo período de tempo, permitir o uso de acessórios do veículo quando o mesmo não está em funcionamento, funcionar como filtro elétrico das tensões de flutuação geradas pelo alternador e alimentar os dispositivos que fazem uso de memória dinâmica para manter os dados do sistema elétrico do veículo quando o mesmo não está em funcionamento (módulo de injeção eletrônica, alarmes, etc.). Além disso, a bateria pode ser utilizada para alimentar todas as cargas elétricas do carro por um determinado tempo em ocasiões em que o alternador apresente problemas. (PEREIRA, 2006, p. 5)

A conversão de energia química em energia elétrica, como ocorre nas baterias, é um dos processos mais eficientes de conversão de energia, sendo mais eficiente que o processo de conversão de energia química em energia mecânica, por exemplo, pela combustão de gasolina em um motor.

2.3.1 CRONOLOGIA DA BATERIA

As baterias automotivas de chumbo-ácido, aplicadas atualmente para partidas de motores a combustão, partiram do estudo e da observação de vários pesquisadores na área da eletroquímica cujo resultado ao longo da história pode ser sintetizado a seguir:

- 1859-1879 – Bateria era apenas uma curiosidade científica. Fundamentação teórica ainda confusa;
- 1880 – Baterias começam a ser usadas como fonte auxiliar de energia elétrica para as cidades (uso estacionário);
- 1894 – Primeiro uso bem sucedido em propulsão de veículos elétricos;
- 1900 – Início das aplicações de iluminação, propulsão de veículos, barcos, telefonia, etc.;

- 1911 (EUA) – Invenção da partida elétrica gera aumento da demanda por bateria;
- 1920-1940 – Iluminação de trens, propulsão de submarinos, partida de motores a diesel. Avanço nos estudos dos materiais devido ao início da competição mercadológica.
- 1939-1945 (II Guerra Mundial):
 - Necessidade de portabilidade de baterias para comunicação, aviação e transmissores;
 - Baterias de alta capacidade e de serviço pesado eram necessárias para tanques e veículos de assalto;
 - Baterias geravam energia para iluminação de abrigos anti-aéreos, hospitais, navios, etc.
- Pós II Guerra – Popularização do uso de baterias devido à (ao):
 - Melhoria dos componentes (ligas das grades; vaso; separadores)
 - Confeção de *designs* adequados às mais diversas condições operacionais;
 - Aumento da eficiência;
 - Aumento da vida útil.

2.3.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A bateria de Chumbo-Ácido é um dispositivo que armazena energia elétrica em forma de energia química convertendo-a novamente em energia elétrica quando conectada a um circuito elétrico externo (PEREIRA, 2006, p. 8).

Uma bateria automotiva de chumbo-ácido é composta por seis células secundárias ligadas em série. Cada uma destas células possuem elementos que propiciam essa conversão de energia, como os eletrodos de dióxido de chumbo (PbO_2), eletrodos de chumbo metálico (Pb), eletrólito de solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4), separadores de polietileno, terminais externos de chumbo e caixa e tampa de polipropileno.

Sabe-se que o dióxido de chumbo (PbO_2) tem grande tendência a receber elétrons, enquanto o chumbo metálico tende a doar elétrons. Assim, se colocarmos o chumbo metálico em contato com o dióxido de chumbo e estabelecermos condições

para que os elétrons possam caminhar de um para o outro, a transferência de elétrons do chumbo para o dióxido de chumbo se dará com extrema facilidade.

A reação que ocorre, na descarga dentro de uma bateria é chamada de dupla sulfatação. Ela é chamada assim por que os dois eletrodos tendem a se transformar em Sulfato de Chumbo (PbSO_4) como mostrado a seguir.

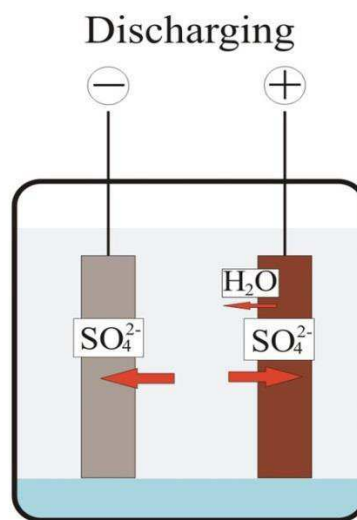
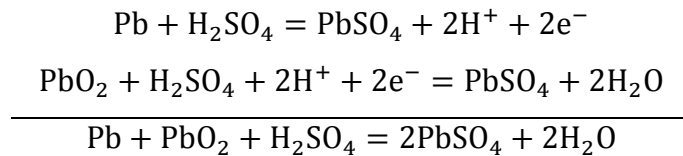


Figura 7: Reação de Descarga. Fonte: PEREIRA (2006)

Na recarga da bateria ocorre o caminho reverso. O eletrodo positivo volta a ser composto de dióxido de chumbo enquanto o negativo volta a ser chumbo metálico.

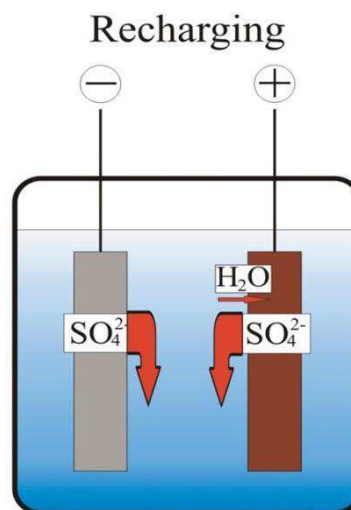


Figura 8: Reação de Recarga. Fonte: PEREIRA (2006)

A configuração mais simples para uma bateria seria a de uma placa positiva e outra negativa, separadas por um separador poroso imerso em uma solução de ácido sulfúrico. Essa configuração apresenta uma diferença de potencial de cerca de dois volts. Essa tensão é função principal da densidade da solução de ácido sulfúrico absorvida nas placas.

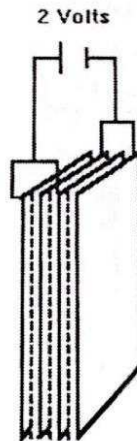


Figura 9: Circuito elétrico de várias placas ligadas em paralelo. Fonte: PEREIRA (2006)

Ao aumentar a quantidade de placas eleva-se a quantidade de material ativo, e a capacidade da bateria é função principal da quantidade de material ativo. A união de vários pares forma o elemento, como apresentado na Figura 10. E colocando 6 elementos em série alcançamos a tensão nominal da bateria, que é de 12V.

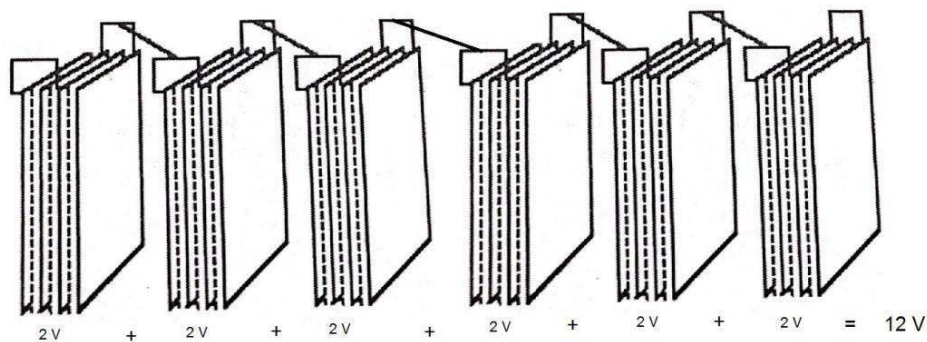


Figura 10: Circuito Elétrico de várias Células ligadas em série. Fonte: PEREIRA (2006)

2.3.3 COMPONENTES DA BATERIA

A bateria automotiva é composta por diversos componentes e cada um deles tem sua função dentro da bateria, seguem os principais.

2.3.3.1 ELEMENTO

O elemento é um conjunto de placas positivas e negativas conectadas em paralelo entre si e intercaladas do separador.

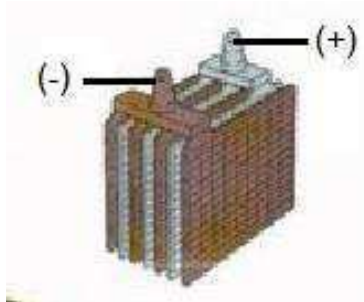


Figura 11: Elemento. Fonte: PEREIRA (2006)

2.3.3.2 SEPARADOR

O separador tem por função principal evitar curto-circuito entre placas adjacentes. Além disso, elas servem para reter o material ativo que tende a se desprender da grade e permite o fluxo iônico e de eletrólito por ser micro poroso.



Figura 12: Separador de Polietileno. Fonte: PEREIRA (2006)

2.3.3.3 CAIXA

As caixas são feitas de Polipropileno (PP). Elas possuem seis células onde armazenam os elementos e o eletrólito. Cada célula armazena apenas um único elemento.



Figura 13 Caixa de Polipropileno. Fonte: PEREIRA (2006)

2.3.3.4 TAMPA

A tampa é confeccionada com o mesmo material da caixa. Ela possui orifícios para inspeção visual do interior da bateria e para solda dos postes terminais.



Figura 14: Tampa de Polipropileno. Fonte: PEREIRA (2006)

2.3.3.5 SOLDA INTERCELL

Intercell é uma solda a base de chumbo e estanho que interliga os seis elementos da bateria em série.



Figura 15: Solda Intercell. Fonte: PEREIRA (2006)

2.3.3.6 STRAPS

Tem a mesma liga da Intercell e é responsável pela união, em paralelo, das placas de mesma polaridade.



Figura 16: Strap. Fonte: PEREIRA (2006)

Com a união de todos estes componentes é obtida a bateria automotiva como mostrado na Figura 17.



Figura 17: Bateria Automotiva. Fonte: MOURA (2011)

2.3.4 CARACTERÍSTICAS

As características da bateria irão depender da aplicação a que ela se destina. Existem especificações que descrevem suas características desejáveis. Em geral, uma bateria de chumbo-ácido para aplicação automotiva, que é o caso deste trabalho, deve possuir as seguintes características:

- Ser capaz de fornecer correntes elétricas elevadas por vários segundos e repetidas vezes;
- Possuir carga armazenada, suficiente para manter em funcionamento aparelhos elétricos de baixo consumo por vários dias e manter o veículo funcionando por várias horas, em caso de pane no alternador;
- Ser capaz de sofrer diversos ciclos de carga e descarga;
- Sofrer baixa taxa de descarga durante armazenagem;
- Poder ser recarregado rapidamente após elevada descarga;

- Requerer baixa ou nenhuma manutenção;
- Poder operar em diversas temperaturas;
- Não deve representar fonte potencial de risco;
- Poder resistir a fortes vibrações.

Além dessas características, existem outras propriedades de grande importância para a aplicação da mesma dentro do âmbito automotivo. Essas propriedades são de suma importância no projeto de uma bateria, são elas:

- Capacidade nominal (Ah) – É a medida de energia fornecida pela bateria em um regime de 20 horas a uma corrente constante até que a tensão dos pólos da bateria atinja 10,5V;
- Alta Descarga a Frio – Segundo a norma Americana SAE, a bateria deve ser descarregada a uma corrente preestabelecida a -18°C até que as tensões nos terminais da bateria atinja o valor de 7,2V. O tempo de descarga não deve ser menor que 30 segundos;
- Reserva de Capacidade – É o tempo que a bateria consegue fornecer 25 amperes a 25°C;
- Estado de Carga (*State of Charge* – SOC) – É a razão entre a capacidade real da bateria e a capacidade nominal na mesma e é expressa em porcentagem.

2.3.5 BATERIA SLI VERSUS BATERIA EFB

A bateria convencional ou SLI (*Start, Light, Ignition*) e a bateria EFB (*Enhanced Flooded Battery*) são basicamente compostas pelos mesmos materiais. A grande diferença entre essas duas baterias está basicamente no processo de fabricação das mesmas. Pode-se dizer que a bateria EFB passa por um processo mais bem elaborado, portanto, mais caro que a convencional.

A primeira diferença está na formulação da massa que vai com o material ativo e é empastado nas grades. Tanto as concentrações de aditivos quanto a ordem em que os mesmos são colocados para fazer a mistura são diferentes. Na parte da montagem da bateria, a EFB sofre um aperto maior do que a convencional, fazendo assim com que haja menos queda de material ativo durante sua vida útil. Por último, na formação da

bateria EFB frente a convencional, tem-se que a mesma é formada com ácido de alta fusão enquanto a SLI é formada com ácido reciclado.

2.4 BATTERY MANAGEMENT SYSTEM (BMS)

O Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS) é qualquer sistema eletrônico que gerencia uma bateria recarregável, seja o pacote como um todo ou somente a célula. Dessa forma, o BMS é capaz de proteger a bateria contra o mau uso. O BMS dá condições ao usuário, através do envio de dados para um computador central, de saber quando a bateria não está operando em uma Área de Operação Segura, e assim tentar recondiçioná-la sem que sofra nenhum dano.

O BMS estudado no presente trabalho é composto por dois dispositivos, o Electronic Battery Sensor (EBS) e o Battery State Detection (BSD). Cada um tem sua função e trabalhando em conjunto são capazes de prover os dados que são do escopo de um BMS.

2.4.1 ELECTRONIC BATTERY SENSOR (EBS)

O EBS adquire com precisão as variáveis físicas da bateria, tais como corrente, tensão e temperatura, a uma alta taxa de amostragem (HAFFNER, 2007, p. 3). Para a medição e processamento dos sinais medidos, é usado um Circuito Integrado de Aplicação Específica (*Application Specific Integrated Circuit - ASIC*), como apresentado na Figura 18.

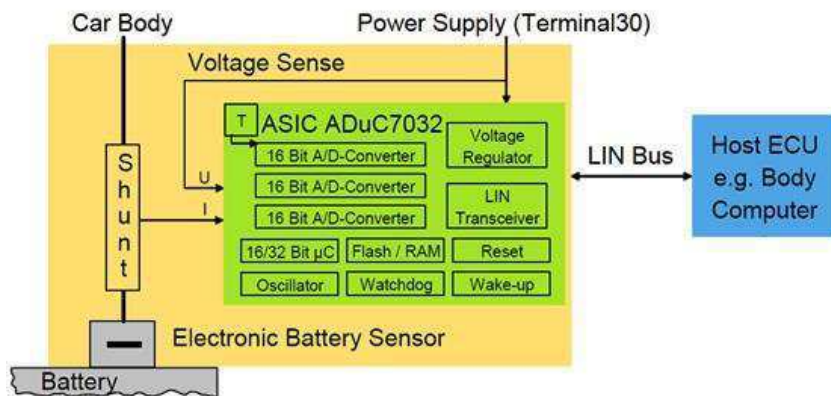


Figura 18: *Application Specific Integrated Circuit*. Fonte: HAFFNER (2007)

Este ASIC contém três conversores A/D (entre outros elementos que auxiliam em suas funções) que capturam e digitalizam as grandezas da bateria, tais como corrente, tensão e temperatura. Os valores digitais são processados e transmitidos, via LIN (*Local Interconnected Network*), para uma Unidade de Controle (ECU) e posteriormente para o BSD, que se encarrega de mostrar os dados na interface de saída.

Com a finalidade de diminuir o consumo de energia, o EBS pode operar em três modos, modo LIN, modo de monitoramento e modo de espera. Isso acontece visando que o EBS não esteja sempre demandando uma corrente significativa da bateria.

No modo LIN há comunicação contínua entre o ECU e o EBS. O EBS mede tensão, corrente e temperatura, e após o término da comunicação, o EBS migra para o modo de monitoramento.

No modo de Monitoramento, o EBS também mede tensão, corrente e temperatura. Não há comunicação LIN, mas o EBS é capaz de despertar o LIN com base nas condições específicas do cliente. Da mesma forma acontece para migrar para o modo de espera. O consumo de energia típico no modo de monitoramento é de 15 mA.

No modo de Espera o EBS não faz quaisquer medições ou cálculos. Não há comunicação LIN. O consumo típico de corrente neste modo é de 175 μ A. Depois de 60 segundos o EBS vai para o modo de monitoramento. Esse tempo pode variar dependendo da aplicação. Ele também pode ir diretamente para o modo LIN caso obedeça algumas condições. O esquema de operação do EBS pode ser observado na Figura 19.

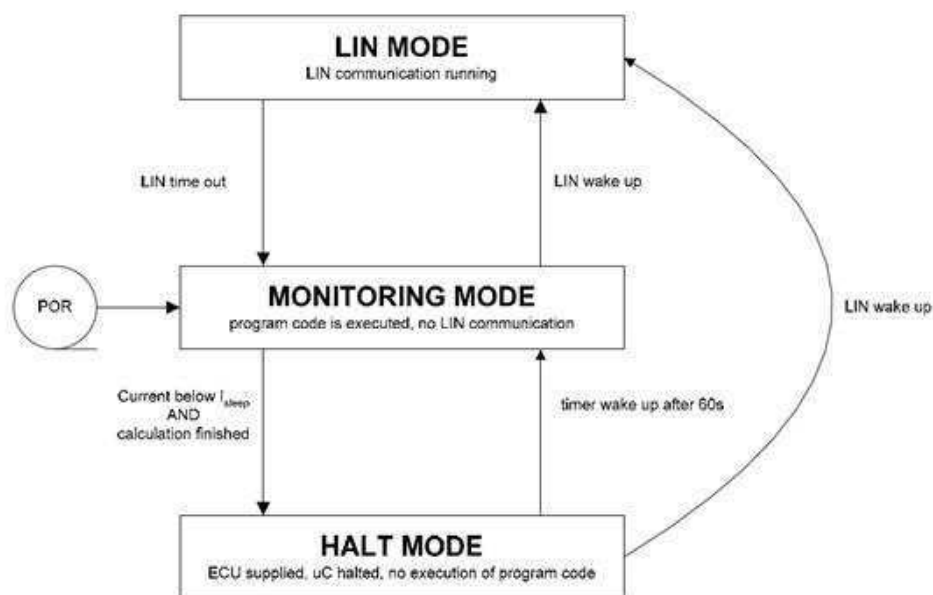


Figura 19 Modos de Operação do EBS. Fonte: HAFFNER (2007)

Para cada grandeza o EBS tem suas especificações referentes à Faixa de Medição, Resolução, Offset, Precisão e Taxa de Atualização. São apresentadas nas Tabelas 2, 3 e 4 essas especificações.

Tabela 2: Especificação de Corrente

| | | | |
|---------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Faixa de Medição | ± 1 A | ± 200 A | ± 200 A |
| Resolução | 1 mA | 10 mA | 100 mA |
| Offset | ± 10 mA (typ. ± 5 mA) | ± 50 mA | ± 400 mA |
| Precisão | $\pm 0.5\%$ (typ. $\pm 0.25\%$) | $\pm 1\%$ (typ. $\pm 0.5\%$) | $\pm 2\%$ (typ. $\pm 1\%$) |
| Taxa de Atualização | 200 Hz | 200 Hz | 200 Hz |
| Ruído | 10 mApp | 50 mApp | 2 App (typ. 1 App) |

Fonte: HAFFNER (2007)

Tabela 3: Especificação de Tensão

| | |
|---------------------|---------------------------------|
| Faixa de Medição | 5 V ... 18 V |
| Resolução | 1 mV |
| Offset | ± 5 mV (typ. ± 3 mV) |
| Precisão | $\pm 0.2\%$ (typ. $\pm 0.1\%$) |
| Taxa de Atualização | 200 Hz |
| Ruído | 5 mVpp (typ. 4 mVpp) |

Fonte: HAFFNER (2007)

Tabela 4: Especificação de Temperatura

| | | |
|---------------------|---|--|
| Faixa de Medição | $-20^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$ | $-40^{\circ}\text{C} \dots +105^{\circ}\text{C}$ |
| Resolução | 0,5 K | 0,5 K |
| Precisão | ± 3 K | ± 4 K |
| Taxa de Atualização | 10 Hz | 10 Hz |

Fonte: HAFFNER (2007)

2.4.2 BATTERY STATE DETECTION (BSD)

A principal função do Detector de Estado da Bateria (BSD) é coletar os dados de Corrente, Tensão e Temperatura do EBS e interpretar esses dados com a finalidade de informar ao usuário algumas das características da bateria. O BSD então é responsável por fornecer o Estado de Carga, Capacidade de Performance, Grau de Envelhecimento entre outros.



Figura 20: Estrutura para determinação do SOC. Fonte ISKEN (2007)

As variáveis que o BSD é capaz de fornecer são muito importantes tanto na manutenção do bom funcionamento da bateria quanto no auxílio para o Alternador Inteligente. São elas:

- Corrente, Temperatura e Tensão;
- SOC
- SOF_Q – Capacidade, em Ah, que pode ser entregue pela bateria em condições reais;
- SOF_V – Calcula a queda de tensão da próxima partida do motor e verifica se vai ser possível partir o mesmo.
- SOH_P – Relação do máximo CCA da bateria no estado atual com o de uma nova.
- SOH_Q – Relação entre o C20 da bateria no estado atual com o de uma nova.
- SOF_t: Indica o tempo que a bateria consegue fornecer energia até que o limite da capacidade de arranque seja alcançado.
- SOC+: Estado de carga levando em conta o envelhecimento.

Vale ressaltar que é muito importante levar em consideração o envelhecimento da bateria, pois caso contrário, quando o BSD fosse calcular o SOC da bateria depois de um determinado tempo ela não mais chegaria aos seus 100%, mesmo estando na sua capacidade máxima real. O usuário poderia entender isso como um defeito e poderia procurar a assistência técnica desnecessariamente. Quando é levado em conta o envelhecimento, a capacidade máxima real da bateria é interpretada pelo BSD como sendo 100% mesmo que ela não atinja a capacidade nominal dela de recém-formada.

2.5 INTELLIGENT GENERATOR CONTROL (IGC)

O IGC, apresentado na Figura 21, é o dispositivo chave no estudo da aplicabilidade de baterias para o Alternador Inteligente. Entende-se por Alternador Inteligente como sendo a união de um alternador de alta eficiência com o *Intelligent Generator Control*.



Figura 21: IGC. Fonte: Bosch (2012)

2.5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A fim de entender melhor como o IGC auxilia na economia de combustível, serão feitas algumas observações no que concerne à disposição do alternador na estrutura do automóvel.

Primeiramente, voltando ao conceito de máquinas elétricas, é possível relacionar a potência ativa da máquina com o torque e a velocidade angular, assim, tem-se que:

$$P = \tau * \omega \quad (5)$$

Pondo no âmbito do alternador automotivo, P é a potência ativa entregue pelo alternador, τ é o torque demandado do motor a combustão pelo alternador e ω é a velocidade angular do eixo principal do motor a combustão. É apresentado nas Figuras 22 e 23 um desenho da localização do alternador diante do motor a combustão e um desenho esquemático das conexões entre os equipamentos.



Figura 22:Localização do alternador na configuração do motor: Fonte: KREMER (2011)

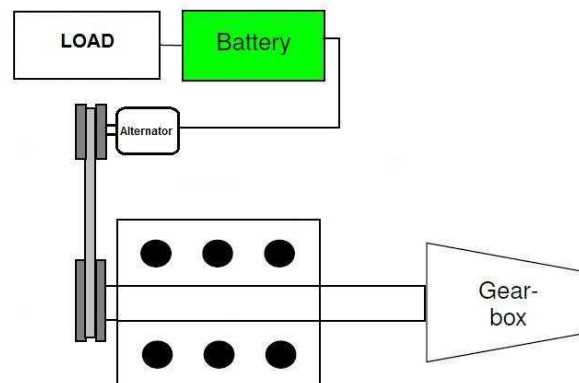


Figura 23: Layout das conexões do alternador. Fonte: KREMER (2011)

O rotor do alternador é girado através do torque proporcionado pelo motor a combustão através de correias. Assim, a depender da necessidade do alternador de entregar potência à bateria e ao veículo ele irá demandar mais ou menos torque do eixo do motor a combustão. É daí que surgiu a ideia de diminuir o consumo de combustível através do IGC.

2.5.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO IGC

A função principal do IGC é o controle dinâmico da tensão de saída (BALENA, 2012, p. 9). Os alternadores convencionais sem o IGC funcionam fornecendo tensão e corrente constantes, ou seja, potência constante para a bateria, já com o controle

dinâmico da tensão de saída, essa potência pode variar e assim demandar menos torque do motor a combustão em alguns momentos.

O IGC irá controlar o alternador definindo qual tensão será imposta por ele à bateria. De modo que o IGC terá auxílio do BMS para poder tomar algumas decisões. Os níveis de tensão de saída deverão ser calibrados anteriormente, e é com essa finalidade que está sendo realizado o presente trabalho.

Para calibrar as baterias serão levadas em consideração basicamente duas características das mesmas, sendo uma o consumo de água e a outra a aceitação de carga. Pode ser observado na Figura 24 o diagrama de estados para cada nível de SOC.

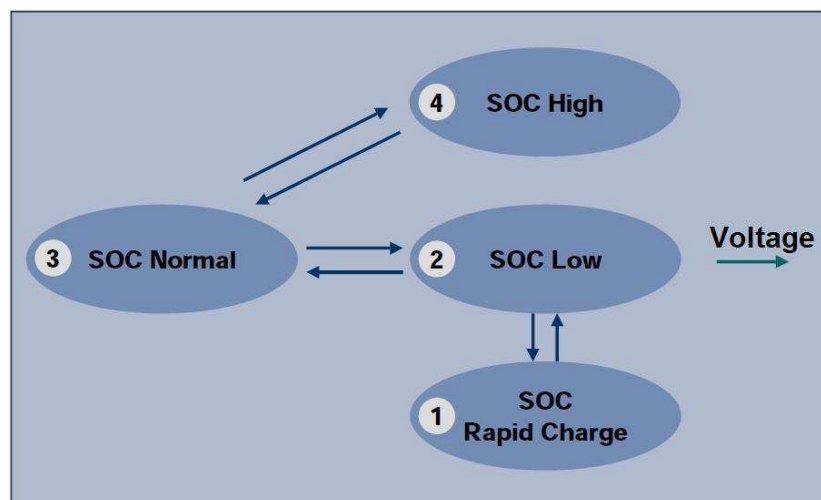


Figura 24: Status do Estado de Carga. Fonte: BALENA (2012)

Dois parâmetros irão influenciar na escolha da tensão de recarga da bateria. O primeiro é o SOC, como pôde ser visto na Figura 9. O outro é o estado de Aceleração/Desaceleração do veículo.

O primeiro se deve principalmente à capacidade que a bateria deve ter de partir o motor, pois o controle não pode permitir que o estado de carga da bateria alcance determinado ponto onde ela não seja capaz de partir o motor. O segundo parâmetro está relacionado ao princípio de conservação de energia. Assim, quando o veículo está em estado de aceleração, o IGC define a menor tensão possível para a saída do alternador, desde que a bateria não esteja com o SOC muito baixo. Dessa maneira, parte do torque que estava sendo destinado para o alternador será agora destinado para o eixo das rodas e o motor irá trabalhar com uma maior “folga”, e assim, economizando combustível.

A partir do momento que o veículo está desacelerando, o IGC tirará proveito da energia cinética que está sendo transmitida do eixo de rodas para o motor (freio motor), e assim jogar a maior tensão possível na saída do alternador, já que praticamente todo o

torque demandado pelo alternador está vindo sem que haja consumo de combustível. Na Figura 25 é mostrado um gráfico da Velocidade, Tensão de saída do Alternador e SOC em função do tempo.

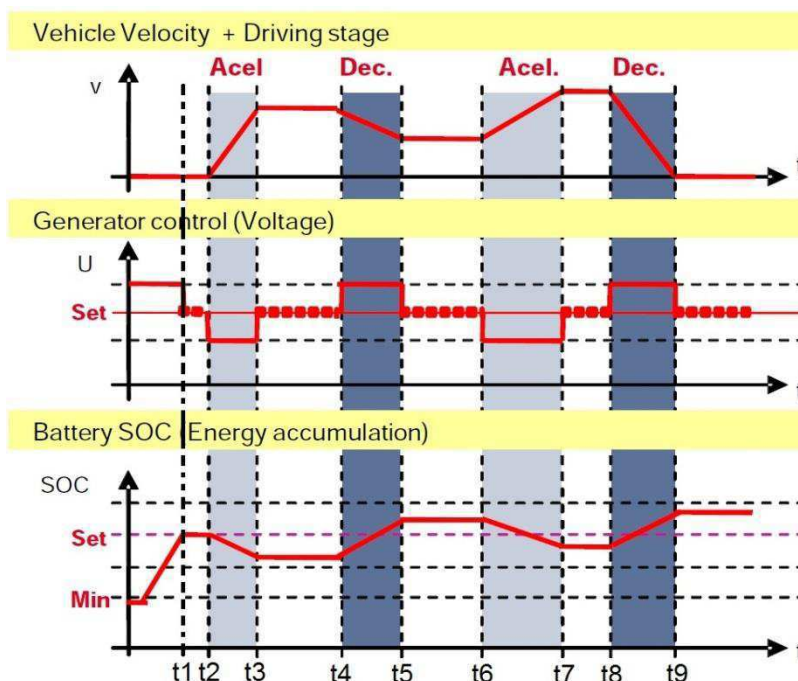


Figura 25: Velocidade, Tensão e SOC em função do Tempo. Fonte: BALENA (2012)

Pode ser observado que em t1 a bateria chega a um SOC satisfatório (predefinido anteriormente), então a tensão de saída do alternador desce para o *set* antes definido no projeto. Como o veículo não está desacelerando e a bateria não está descarregada, não há necessidade de impor a maior tensão de saída para que não haja um consumo de combustível desnecessário.

Entre t2 e t3 há uma aceleração do veículo, daí a tensão de saída do alternador cai para deixar o motor com mais folga. Como o SOC não atinge um nível crítico, então a tensão de saída permanece a mais baixa.

Entre t4 e t5 há uma desaceleração, desse modo o IGC coloca a maior tensão de saída do alternador para aproveitar a energia cinética. E assim é basicamente o papel do IGC na diminuição do consumo de combustível.

Foi realizada em São Paulo uma simulação em um veículo da Fiat. Na simulação ficou constatada uma economia de combustível de 2,16%. Com o IGC o veículo consumiu 11,78 km/l enquanto sem o IGC o mesmo automóvel fez 11,53 km/l. Na Figura 11 é apresentado os dados da simulação.



Figura 26: Simulação IGC. Fonte: BALENA (2012)

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios referentes a esse estudo foram realizados no laboratório físico da empresa Bateria Moura SA. Foi usado basicamente dois equipamentos: MCE e MCE01. Esses equipamentos têm função basicamente de carga e descarga da bateria, por um determinado tempo e com corrente e tensão preestabelecidas. Na figura 27 são apresentadas fotos dos equipamentos no Laboratório físico da Moura.



Figura 27 Equipamentos para realização dos teste de Consumo de Água e Aceitação de Carga.
Fonte: MOURA(2013)

3.1 ENSAIO DE CONSUMO DE ÁGUA

O consumo de Água é dado em gramas por ampere-hora [g/Ah] e, como o próprio nome já diz, expressa o quanto de água é consumido por cada ampere-hora de carga da bateria. Esse valor é obtido através da diferença de peso entre o início e o fim do teste dividido pela capacidade da bateria, que no caso em questão é 60 Ah.

Antes de qualquer procedimento deve-se limpar e secar a bateria. O teste consiste em pesar a bateria, carrega-la durante 21 dias a uma tensão constante e pesa-la novamente, tudo isso à temperatura de 60°C, completando assim um ciclo. Para uma

bateria SLI (convencional) são realizados apenas dois ciclos, enquanto para uma bateria EFB são realizados quatro ciclos.

Nos testes serão aplicadas quatro tensões diferentes (16 V, 15,6 V, 15,2 V e 14,8 V) em quatro baterias SLI e quatro EFB distintas para observar o consumo com cada uma das tensões aplicadas. Vale salientar que para uma aplicação de 14,4 V o consumo de água não deve ser maior que 3 g/Ah para baterias convencionais e 6 g/Ah para baterias EFB.

3.2 ENSAIO DE ACEITAÇÃO DE CARGA

O ensaio de aceitação de carga irá mensurar o quanto de carga a bateria consegue absorver em um determinado intervalo de tempo quando aplicada uma dada tensão. De acordo com a norma Fiat, o procedimento a ser feito para esse teste com a bateria Convencional é:

- Carregar a bateria por completo;
- Repousar a bateria por um período de 24 horas;
- Descarrega a bateria com corrente igual a 10% da capacidade nominal durante 5 horas;
- Estabilizar a temperatura da bateria em 0°C;
- Alcançada essas condições, efetuar uma recarga a uma dada tensão por 3 horas limitando a corrente a 60 amperes;
- Medir o valor da corrente no décimo minuto;
- Calcular a capacidade restaurada da bateria após as 3 horas de recarga.

Ainda segundo a norma da Fiat, a corrente no décimo minuto não deve ser menor que 20% da capacidade nominal e a capacidade restaurada não deve ser menor que 35% da capacidade caso o teste seja feito com tensão de recarga de 16 V.

Para a bateria EFB o teste se procede da seguinte maneira:

- Carregar a bateria por completo;
- Repousar a bateria por um período de 24 horas;

- Descarrega a bateria com corrente igual a 5% da capacidade nominal durante por 12 horas;
- Estabilizar a temperatura da bateria em 0°C;
- Alcançada essas condições, efetuar uma recarga a uma dada tensão por 3 horas limitando a corrente a 60 amperes;
- Medir o valor da corrente no décimo minuto;
- Calcular a capacidade restaurada da bateria após as 3 horas de recarga.

Também há diferença na especificação que a bateria deve atingir. No caso da EFB a corrente no décimo minuto não deve ser menor que $0,25 \cdot C_{20}$ e a capacidade restaurada não deve ser menor que $0,35 \cdot C_{20}$ caso o teste seja feito com tensão de recarga de 14,4 V

O teste de aceitação de carga foi realizado em 3 baterias SLI e três EFB para poder comparar a aceitação de cada uma com a respectiva tensão de recarga.

4 RESULTADOS

A partir da realização dos testes de consumo de água das baterias convencionais e EFB, foram obtidos os resultados apresentados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5: Consumo de Água da Bateria Convencional

| Teste | Esp. | TENSÃO | | | |
|--|--------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | 16 V | 15,6 V | 15,2 V | 14,8 V |
| 1º C20 (21.06) Recarga: 5x120 - 16V - 24h | C20 ≥ 60Ah | Am 01 67,429 | Am 02 62,843 | Am 03 65,553 | Am 04 59,847 |
| | Tempo Desc. | 22:28:00 | 20:56:00 | 21:51:00 | 19:58:00 |
| | Ah Carga | 80,768 | 76,444 | 76,291 | 76,291 |
| Consumo de Água @60°C (04.09) 1ª Fase: Carga 30A - 504h 2ª Fase: Carga 30A - 504h | Peso Inicial | 16169 | 16153 | 16221 | 16191 |
| | 1ª Fase (0 - 21d) £ 1,5g/Ah | 2,67 | 1,73 | 1,27 | 0,62 |
| | Peso Final | 16009 | 16049 | 16145 | 16154 |
| | 2ª Fase (21-42d) ≤ 1,5g/Ah | 3,28 | 1,47 | 1,72 | 0,75 |
| | Peso Final | 15812 | 15961 | 16042 | 16109 |
| | Total 42d ≤ 3g/Ah | 5,95 | 3,20 | 2,98 | 1,37 |

Fonte: Moura (2013)

Tabela 6: Consumo de Água Bateria EFB

| Teste | Esp. | TENSÃO | | | | |
|--|-------------------|----------|----------|----------|----------|-------|
| | | 16 V | 15,6 V | 15,2 V | 14,8 V | |
| | | Am 01 | Am 02 | Am 03 | Am 04 | |
| 1º Capacidade Nominal - C20 Carga: 5x120 - 14,8V - 24h | C20 ≥ 60Ah | 62,908 | 62,031 | 60,001 | 61,584 | |
| | Tempo Desc. | 20:57:00 | 20:39:00 | 20:00:00 | 21:28:00 | |
| | Ah Carga | 80,286 | 75,453 | 72,029 | 72,029 | |
| Consumo de Água @60°C (02/09) 1ª Fase: Carga 30A - 504h 2ª Fase: Carga 30A - 504h 3ª Fase: Carga 30A - 504h 4ª Fase: Carga 30A - 504h | Peso inicial | 17230 | 17205 | 17180 | 17197 | |
| | Peso Final | 17065 | 17093 | 17102 | 17152 | |
| | Consumo de Água | 2,750 | 1,867 | 1,300 | 0,750 | |
| | Peso inicial | 17065 | 17093 | 17102 | 17152 | |
| | Peso Final | 16899 | 16946 | 17015 | 17084 | |
| | Consumo de Água | 2,767 | 2,450 | 1,450 | 1,133 | |
| | Peso inicial | 16899 | 16946 | 17015 | 17084 | |
| | Peso Final | 16588 | 16825 | 16895 | 17002 | |
| | Consumo de Água | 5,183 | 2,017 | 2,000 | 1,367 | |
| | Peso inicial | 16588 | 16825 | 16895 | 17002 | |
| | Peso Final | 16397 | 16700 | 16774 | 16927 | |
| | Consumo de Água | 3,183 | 2,083 | 2,017 | 1,250 | |
| | Total 84d ≤ 6g/Ah | | 13,883 | 8,417 | 6,767 | 4,500 |

Fonte: Moura (2013)

Já nas Tabelas 7 e 8 são apresentados os resultados referentes ao teste de aceitação de carga de baterias convencionais e EFB, respectivamente.

Tabela 7: Aceitação de Carga Bateria Convencional

| Teste | Esp. | TENSÃO | | | |
|--|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | | 16 V | 15,6 V | 15,2 V | 14,8 V |
| | | Am 01 | Am 02 | Am 03 | Am 04 |
| Peso (g) | | 16147 | 16213 | 16131 | 16086 |
| Item 1.7.1.1 – Capacidade Nominal – C20 | C20 ≥ 60Ah | 61,820 | 61,080 | 61,164 | 61,354 |
| | Tempo Desc. | 20:36:00 | 20:21:00 | 20:03:00 | 20:11:00 |
| Item 1.7.3 - Prova de Aceitação de Carga a 0°C - A Corrente absorvida em 10min deve ser ≥ 0,20 x C20. - A capacidade recuperada após 3h de carga deve ser ≥ 0,35 x C20. | I(A) 10min ≥ 12A | 13,210 | 11,023 | 9,715 | 7,879 |
| | Ah Carga após 3h ≥ 21A | 22,475 | 19,471 | 16,784 | 13,843 |

Fonte: Moura (2013)

Tabela 8: Aceitação de Carga Bateria EFB

| Teste | Esp. | TENSÃO | | | |
|--|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | | 16 V | 15,6 V | 15,2 V | 14,8 V |
| | | Am 01 | Am 02 | Am 03 | Am 04 |
| Peso (g) | | 16978 | 17084 | 17024 | 17189 |
| Item 1.7.1.1 - Rilievo della Capacità Effetiva | C20 ≥ 60Ah | 62,532 | 62,252 | 61,192 | 60,713 |
| | Tempo Desc. | 20:51:00 | 20:45:00 | 20:24:00 | 20:07:00 |
| Item 1.7.3 - Prova di Accettazione di Carica a 0°C - A Corrente absorvida em 10min deve ser ≥ 0,25 x C20. - A capacidade recuperada após 3h de carga deve ser ≥ 0,35 x C20. | I(A) 10min ≥ 15A | 22,753 | 19,264 | 16,523 | 15,164 |
| | Ah Carga após 3h ≥ 21A | 31,624 | 26,364 | 23,591 | 22,053 |

Fonte: Moura (2013)

Através dos resultados é possível perceber que a tensão que representou melhores níveis de consumo de água foi a de 14,8 V, porém com uma aceitação de carga bastante aquém da própria especificação. Enquanto isso, a tensão que obteve uma aceitação de carga de maior expressão foi a de 16 V, por outro lado com um consumo de água bastante acentuado.

Os resultados já eram, de certa forma, esperados. Porém havia ainda a possibilidade de mesmo a tensão mais elevada ter o maior consumo de água, que esse consumo pudesse estar dentro ou próximo da especificação.

Dessa maneira, a escolha fica entre os dois valores de tensão intermediários, 15,6 e 15,2 V. O tipo de bateria a ser escolhido é a EFB, pela aceitação de carga ser bem superior que as convencionais. Sugere-se também que a tensão de recarga ótima fique entre esses dois valores, já que o consumo de água foi reprovado e a aceitação de carga foi aprovada nos dois. A Fiat Pretende realizar testes de rodagem com um protótipo no início de 2014 para averiguar qual tensão apresenta melhor comportamento.

5 CONCLUSÃO

Apesar de não se ter chegado a um único valor de tensão, pode-se considerar que o teste foi de grande valia pelo fato de que algumas conclusões foram tomadas. Primeiramente pôde-se constatar que a bateria convencional, seja qual for a tensão de recarga não se aplica para o alternador em estudo. Também eliminou-se a tensão de recarga de 16 V, tensão inicialmente adotada pela Fiat. Pode-se dizer também que a tensão ótima de recarga está entre 15,6 e 15,2 V e que a depender da aplicação pode-se pensar em uma das duas ou em um valor intermediário.

Possivelmente serão realizados novos ensaios testando valores de tensão menos espaçados entre 15,6 e 15,2 V. Além disso, será de grande ajuda a realização de ensaios de rodagem com um protótipo da Fiat na definição do valor de tensão ótimo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALENA, R. **FIAT AND BOSCH HIGH EFFICIENCY TECHNOLOGIES**. BOCH/FIAT. SÃO PAULO, p. 28. 2012.

CARVALHO, I. CORRIDA DA ECONOMIA. **QUATRO RODAS**, n. 648, p. 36, Outubro 2013.

DENTON, T. **AUTOMOBILE ELECTRICAL AND ELECTRONIC SYSTEMS**. 2ª. ed. [S.l.]: [s.n.].

FIAT. **Fiat Auto Normazione 9.95209/02**. Fiat. Turim, p. 27. 1997.

HAFFNER, J. **TECHNICAL DESCRIPTION FOR THE BOSCH ELECTRONIC BATTERY SENSOR**. BOSCH. Gerlinger, p. 19. 2007.

INMETRO. Unidades Legais de Medida. **Inmetro**, 2010. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/unidLegaisMed.asp?iacao=imprimir>>. Acesso em: 12 ago. 2010.

INNOVAR-AUTO. **Inovar-Auto**, 2013. Disponível em: <<http://inovarauto.com.br/o-inovar-auto/>>. Acesso em: 12 Outubro 2013.

ISKEN, B. **TECHNICAL DESCRIPTION FOR THE BATTERY STATE DETECTION SOFTWARE**. BOSCH. Gerlinger, p. 17. 2007.

JORDÃO, R. **MÁQUINAS SÍNCRONAS**. [S.l.]: [s.n.].

KREMER, M. **Application of Start-Stop System in European Market**. FEV. [S.l.], p. 108. 2011.

MEYER, R.; BRAUN, H.; REHAGE, R. **Alternators and Starter Motors**. 1ª. ed. [S.l.]: Bentley Publishers, 2003.

PEREIRA, A.; ALVES, M. **Baterias Automotivas**. Acumuladores Moura SA. Belo Jardim, p. 46. 2006.

RIATO, G. **AUTOMOTIVE BUSINESS**. **AUTOMOTIVE BUSINESS**, 2013. Disponível em: <<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/17056/em-novo-decreto-governo-altera-regras-do-inovar-auto>>. Acesso em: 29 Setembro 2013.

SOEIRO, L. **SIMULAÇÃO DO BALANÇO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UM VEÍCULO**. PUC - MINAS GERAIS. Belo Horizonte, p. 99. 2011.

TECNOLOGIA e Automação. **Tecnologia e Automação**, 2011. Disponível em: <http://automacaoetecnologia.blogspot.com.br/2011_04_01_archive.html>. Acesso em: 01 novembro 2013.

VEJA. **Veja - Abril**, 2013. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/noticia/economia/decreto-prorroga-habilitacao-de-montadoras-ao-inovar-auto>>. Acesso em: 12 Outubro 2013.

