



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

**KENETY HENRIQUE AMELIO COSTA  
LUCAS SILVA**

**Estudo da modernização elétrica da aeronave AS550 AvEx Esquilo**

Taubaté - SP  
2020



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

**Kenety Henrique Amelio Costa  
Lucas Silva**

## **Estudo da modernização elétrica da aeronave AS550 AvEx Esquilo**

Trabalho de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Taubaté, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador (a): Prof. Dr. Antonio Faria Neto

Taubaté - SP  
2020



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

**Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI**  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBi Universidade de**  
**Taubaté – UNITAU**

S586a Silva, Lucas  
Análise da modernização da aeronave AS550 Avex Esquilo / Lucas Silva  
, Kenety Henrique Amelio Costa. -- 2020.  
37 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de  
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2020.  
Orientação: Prof. Dr. Antonio Faria Neto, Departamento de Engenharia  
Elétrica.

1. Aeronave. 2. Modernização. 3. Bateria. 4. Procedimento. I. Costa,  
Kenety Henrique Amelio. II. Universidade de Taubaté. Departamento de  
Engenharia Mecânica e Elétrica. Graduação em Engenharia Elétrica e  
Eletrônica. III. Título.

CDD – 629.1



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

## **ESTUDO DA MODERNIZAÇÃO ELÉTRICA DA AERONAVE AS550 AVEX ESQUILO**

**KENETY HENRIQUE AMELIO COSTA  
LUCAS SILVA**

**ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “GRADUADO EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA”**

**BANCA EXAMINADORA:**

**Prof. Dr. ANTONIO FARIA NETO**  
UNITAU-DEE

**Prof. Dr. MAURO PEDRO PERES**  
UNITAU-DEE

**Prof. RUBENS CASTILHO JUNIOR**  
UNITAU-DEE

dezembro de 2020



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

## ***DEDICATÓRIA***

de modo especial, à nossos pais Carlos, Sidneia, Edna e Mário que mesmo com as dificuldades em toda nossa trajetória acadêmica, foram grandes incentivadores para que pudéssemos continuar no curso.



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradecemos a Deus, nosso maior porto seguro por iluminar os nossos caminhos e nos abençoar durante este ciclo.

Agradecemos por nossas famílias, em especial aos nossos pais Carlos, Sidneia, Edna e Mário, aos nossos irmãos Shellen e Renan, que entenderam as nossas ausências e não mediram esforços para que esse sonho se torne realidade, sempre com muito amor, carinho e fé.

Ao nosso orientador, Prof. Dr. Antonio Faria Neto que jamais deixou de nos incentivar, que nos acolheu com muito carinho e educação do início ao fim de sua orientação. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, não conseguiríamos entregar este resultado.

Agradecemos aos nossos amigos, aos antigos e aos novos que a universidade nos presenteou, por compartilhar momentos incríveis em nossa trajetória acadêmica.

Agradecemos ao Exército Brasileiro, em especial ao laboratório de manutenção de baterias do Batalhão de Manutenção e Suprimentos da Aviação do Exército, representado pelo seu chefe, 2ºSgt Sampaio, que não mediu esforços para sanar dúvidas e auxiliar nas pesquisas realizadas.

Agradecemos à empresa DBTEC, que nos acolheram como estagiários pela oportunidade que nos deram de colocar em prática os conhecimentos teóricos adquiridos, alavancando nossas carreiras e nos preparando para o mercado de trabalho e para este projeto.

Por fim, somos gratos a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, participaram da realização desse projeto.



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

“As pessoas não são lembradas pelo número de vezes que fracassam, mas sim pelo número de vezes que têm sucesso.”

Thomas Edison



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

COSTA, K. H. de; SILVA, S. **Análise da modernização da aeronave AS550 Avex Esquilo.** 2020. 37 f. Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Taubaté, Taubaté, 2020.

### **RESUMO**

Neste trabalho abordam-se as principais etapas do procedimento de partida da aeronave AS550 Avex Esquilo que passaram por uma modernização eletrônica, onde os instrumentos, até então analógicos, foram modernizados para instrumentos digitais, porém mantendo-se o mesmo modelo de bateria responsável pelo procedimento de partida da aeronave. Tem-se como objetivo diante desta modernização, verificar através de ensaios e relatórios se a capacidade da bateria hoje existente, é capaz de suprir a demanda do sistema eletroeletrônico da aeronave Esquilo, em especial, no procedimento de partida.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aeronave. Modernização. Bateria. Procedimento de partida.



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

COSTA, K. H. de; SILVA, S. **Analysis of the modernization of the aircraft AS550 Avex Esquilo. 2020.** 37 f. Graduation Work in Electrical Engineering - Department of Electrical Engineering, Taubaté University, Taubaté, 2020.

### **ABSTRACT**

This work deals with the main steps of the departure procedure of the AS550 Avex Esquilo aircraft, which has undergone an electronic modernization, where previously analog instruments have been modernized for digital instruments, while maintaining the same battery model responsible for the starting departure of the aircraft. The previous objective of this modernization is to verify through tests and reports whether the capacity of the existing battery is capable of meeting the demand of the electronic system of the Esquilo aircraft, in particular, without starting procedure.

**KEYWORDS:** Aircraft. Modernization. Battery. Departure procedure.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aeronave AS 550 Esquilo .....	15
Figura 2 – Painel pré-modernização da Aeronave AS 350 Esquilo .....	16
Figura 3 – Painel pós-modernização da Aeronave AS 550 Esquilo.....	17
Figura 4 – Reações internas de uma bateria de Níquel-Cádmio no processo de carga/descarga. ...	23
Figura 5 – Bateria PN 1606-1 .....	23
Figura 6 – Valores de resistência aceitáveis para bateria PN 1606-1.....	25
Figura 7 – Verificação periódica na bateria PN 1606-1 .....	25
Figura 8 – Verificação geral na bateria PN 1606-1 .....	26
Figura 9 – A linha tracejada representa a bateria PN 1606-1 (16 Ah) com carga acima de 80% e temperatura ambiente de 30°C.....	30



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Tempo de vida útil das baterias utilizadas nos ensaios .....	25
-------------------------------------------------------------------------	----



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Análise de capacidade da bateria durante procedimento de partida .....	29
Quadro 2 – Resultados dos ensaios realizados com a bateria PN D02237.....	31
Quadro 3 – Resultados dos ensaios realizados com a bateria PN D02238 .....	32
Quadro 4 – Resultados dos ensaios realizados com a bateria PN R01262 .....	33
Quadro 5 – Resultados dos ensaios realizados com a bateria PN R03295 .....	34
Quadro 6 – Resultados dos ensaios realizados com a bateria PN V00660 .....	35
Quadro 7 – Resultados dos ensaios realizados com a bateria PN V00659 .....	36



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AvEx	Aviação do Exército
CAvEx	Comando de Aviação do Exército
EB	Exército Brasileiro
LCD	Liquid Crystal Display
PN	Part Number
SN	Serial Number
V	Volt



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1	OBJETIVO .....	18
1.2	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	18
1.3	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO .....	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
2.1	FUNDAMENTOS DE UMA BATERIA .....	19
2.2	QUÍMICA NAS CÉLULAS.....	19
2.3	BATERIAS RECARREGÁVEIS .....	20
2.4	CARACTÉRISTICAS DAS CÉLULAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA .....	20
2.5	BATERIA DE NÍQUEL-CÁDMIO .....	21
2.6	ELETROQUÍMICA DA BATERIA NÍQUEL-CÁDMIO.....	22
2.7	BATERIA MODELO (PN) 1606-1.....	23
2.7.1	MANUTENÇÕES DA BATERIA.....	24
2.7.2	CARGA DA BATERIA COM CORRENTE CONSTANTE .....	24
2.7.3	TESTE DE ISOLAMENTO .....	24
2.7.4	VERIFICAÇÃO PERÍODICA .....	25
2.7.5	VERIFICAÇÃO REGULAR .....	26
2.7.6	REVISÃO GERAL .....	26
<b>3</b>	<b>MÉTODOS E MEIOS</b> .....	27
3.1	ETAPAS DA PESQUISA .....	27
3.1.1	ANÁLISE DO CONSUMO DE CARGA ELÉTRICA DO PROJETO DA AERONAVE .....	27
3.1.2	RELATÓRIO DO COMPORTAMENTO DA BATERIA DURANTE O USO	27
3.1.3	ENSAIOS EM VOO REALIZADOS NA AVEX.....	27
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	29
4.1	ANÁLISE DO CONSUMO DE CARGA ELÉTRICA RETIRADO DO PROJETO DA AERONAVE .....	29
4.2	RELATÓRIO DO COMPORTAMENTO DA BATERIA DURANTE O USO	30
4.3	ENSAIOS EM VOO REALIZADOS NA AVEX.....	31



**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
Autarquia Municipal de Regime Especial  
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76  
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP  
CNPJ 45.176.153/0001-22

**UNITAU**

**Departamento de Engenharia Elétrica**  
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi  
Taubaté-Sp 12060-440  
Tel.: (12) 3625-4190  
e-mail: eng.eletrica@unitau.br

<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Durante o final da década de 80, o Estado-Maior do Exército iniciou os estudos doutrinários do emprego de aeronaves de asas rotativas em proveito das forças de superfície. Assim, em 1988 a recém-criada aviação do exército, fez a aquisição de 16 Helicópteros AS 350 dentre outras aeronaves. Atualmente, o exército brasileiro possui 97 helicópteros de vários modelos, dentre eles, 35 são do modelo AS 350 e AS550 (CAVEX, 2018).

O helicóptero AS 350, popularmente conhecido como Esquilo, é uma aeronave de asas rotativas, de origem Francesa. É fabricada desde 1975 pela então Aérospatiale, hoje Airbus Helicopters, e é montado no Brasil pela Helicópteros do Brasil S.A (Helibrás). A aeronave foi desenvolvida para o emprego de missões de reconhecimento, ataque, evacuações aeromédicas, transporte de carga externa, infiltrações e exfiltrações de pessoal além de içamento de cargas, por sua versatilidade, potência e simplicidade, onde atende todas as necessidades da aviação militar (CAVEX, 2017). Existe ainda uma versão de combate do helicóptero AS 350 que é o AS550, também conhecido como Fennec. A Fig 1 exemplifica a aeronave Esquilo.

**Fig.1** – Aeronave AS 550 Esquilo



**Fonte:** HELIBRAS,2016.

Esses modelos de helicópteros, por serem aeronaves antigas, utilizam um sistema elétrico de indicação analógico, como os sistemas de comunicação e de navegação. Com as inovações e os avanços tecnológicos se tornando cada vez mais latentes, esse sistema

analógico de indicação foi a cada dia perdendo mais espaço, sendo julgado como uma tecnologia ultrapassada se comparado com outras forças militares estrangeiras, conforme mostra a Fig 2. (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2011). Diante disso os esquilos da Aviação do Exército passaram por um processo de reconstrução e modernização desses sistemas elétricos.

**Fig.2** – Painel pré-modernização da Aeronave AS 350 Esquilo



**Fonte:** HELIBRAS,2016.

Os helicópteros receberam novo painel de instrumentos com indicações digitais que são exibidas através de três telas de LCD. Além disso, a aeronave conta ainda com um piloto automático de dois eixos, novos sistemas de comunicação e navegação, sistema de back up digital e compatibilização da iluminação interna e externa para utilização de óculos de visão noturna, conforme mostra a Fig 3. (HELIBRAS, 2011). Após esse processo de modernização, a aeronave passou a se chamar AS550 Fenec modernizado.

**Fig.3** – Painel pós-modernização da Aeronave AS 550 Esquilo



**Fonte:** HELIBRAS,2016.

Como qualquer aeronave, a AS550 antes da partida de suas turbinas, tem a necessidade de se realizar um check list para verificar se todos os sistemas do helicóptero estão em condições de serem utilizados durante o voo, para que se evite um acidente aeronáutico. Dentre os testes, um deles é o teste do sistema elétrico da aeronave. Porém, como o motor ainda não está acionado, não há geração de energia elétrica proveniente dos geradores. Desta forma, os testes elétricos dependem exclusivamente da energia elétrica fornecida pela bateria da aeronave.

Outra função da bateria é fornecer energia para que o arranque-gerador gire os compressores da turbina durante o processo de partida, e faça com que ela consiga partir e então se permanecer autossuficiente.

Ao longo dos anos, pilotos e mecânicos da aeronave Esquilo vêm experimentando problemas com a bateria PN 1606-1. Os problemas reportados são partidas não completadas e checks sendo feitos rapidamente no sistema elétrico do helicóptero para poupar bateria.

Durante o processo de modernização dos helicópteros, os operadores observaram que algumas aeronaves não partiam com a bateria, em especial quando a bateria estava no limite previsto em manual de voo do helicóptero, com tensão de 23 V. Ao pressionar o botão de

partida, o pico mínimo de tensão caía rapidamente a valores inferiores ao mínimo previsto no manual de voo, de 15 V.

### **1.1 Objetivo**

Diante desse histórico de problemas, será verificado através de ensaios e relatórios, se a capacidade da bateria hoje existente, é capaz de suprir a demanda do sistema eletroeletrônico da aeronave Esquilo, em especial, no procedimento de partida.

### **1.2 Justificativa do trabalho**

Identificado o problema com a bateria, é certo afirmar que tal desvio influencia diretamente na segurança de voo, pois não é possível identificar se a bateria, no momento de uma nova partida, terá carga suficiente para acionar a turbina da aeronave. E ainda, com a baixa tensão da bateria, há a necessidade de realizar o check list de forma rápida, podendo gerar a possibilidade da não verificação de alguma anormalidade na aeronave, e causar uma falha em voo e, por conseguinte, um acidente aeronáutico fatal.

### **1.3 Delimitação do trabalho**

Serão usados como base para este trabalho, ensaios de partida da aeronave Esquilo com seis baterias com tempos de vida distintos, com o objetivo de saber se a partida poderá ser concluída ou não, sob os parâmetros mínimos apresentados no manual de voo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção iremos abordar as principais características da bateria PN 1606-1 que é a responsável pelo fornecimento de energia para a aeronave Esquilo.

### 2.1 Fundamentos de uma bateria

Uma célula eletrolítica ou também conhecida como célula eletroquímica é um dispositivo químico capaz de gerar eletricidade. Consiste em um eletrodo positivo e um eletrodo negativo, separado por um eletrólito que é capaz de conduzir íons entre os dois eletrodos. A maioria dos eletrólitos de uma bateria são soluções aquosas de ácidos, álcoois ou sais minerais (D.LINDEN, Handbook of Batteries, MC Graw-Hill, Ed., New York, 1995).

Quando duas ou mais células são unidas eletricamente, geralmente conectadas em série, o conjunto resultante é denominado uma bateria. Uma bateria é, portanto, um conjunto de células ligadas entre si e que são alojadas em um único recipiente.

É possível que uma única célula tenha vários eletrodos unidos em paralelo e imerso no mesmo eletrólito. Tais células são intercaladas com a finalidade de aumentar a capacidade de armazenamento da célula, tal capacidade é geralmente medida em coulombs ou, mais comumente, amperes-hora. Em uma bateria hipotética, por exemplo, são utilizadas seis células de placas múltiplas, cada uma gerando uma tensão de 2 V, as células são conectadas em série em um único compartimento, e produzirá uma bateria cuja tensão será de 12V.

### 2.2 Química nas células

Os componentes essenciais de uma célula são um eletrodo positivo e negativo, um eletrólito, um separador e um compartimento. Os eletrodos positivos e negativos devem estar próximo uns aos outros para minimizar a resistência interna da célula. Normalmente, esta resistência é da ordem de miliohms ( $m\Omega$ ).

Mesmo com os melhores eletrólitos condutores de íons, essa baixa resistência entre os eletrodos, somente é possível quando a separação entre os eletrodos for cerca de 1 mm, para isto, usa-se um separador entre os eletrodos. O separador é um material isolante fino, geralmente poroso, cuja função é evitar que os dois eletrodos se toquem e, assim, entrem em curto-circuito. Os poros do separador são preenchidos com eletrólito e a corrente iônica é conduzida através desses poros (B.H. MAHAN, Edgard Blucher Ltda.; São Paulo, 1980).

Durante a utilização de uma bateria, os íons negativos (ânions) se movem em direção ao eletrodo negativo e os íons positivos (cátions) se movem em direção ao eletrodo positivo. Os fluxos desses íons são revertidos durante o processo de carga da bateria.

A carga de uma célula envolve um processo de eletrólise, que é uma reação não espontânea, ou seja, que precisa ser induzida, provocada pelo fornecimento externo de energia elétrica. Já na descarga da célula, a reação no eletrodo negativo é uma oxidação, com liberação de elétrons, e no eletrodo positivo há uma reação de redução, com captação de elétrons.

Os metais típicos que se formam as massas ativas negativas da bateria são o zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e lítio (Li). Já a massa ativa positiva é geralmente feita de óxido de manganês ( $MnO_2$ ), níquel ( $NiOOH$ ) ou chumbo ( $PbO_2$ ) em um estado de valência superior.

### **2.3 Baterias recarregáveis**

As baterias recarregáveis, também denominadas como baterias de armazenamento, possuem a capacidade de acumular e armazenar energia por um grande ciclo temporal. Possuem em sua estrutura dois eletrodos, sendo um ânodo, que se estabelece na extremidade negativa e o cátodo que se estabelece na extremidade positiva. Entre esses dois eletrodos passa-se uma corrente elétrica que é gerada pela diferença de potencial entre o ânodo e o cátodo, essa diferença de potencial ocorre por meio de produtos químicos denominados eletrólitos, podendo se apresentar no estado líquido ou sólido.

Ao contrário do que ocorre com baterias não recarregáveis, em uma bateria recarregável, as alterações químicas permitem o sistema de reversão (reação inversa) e, dessa forma, permite que a sua carga seja completamente restaurada.

### **2.4 Características das células de armazenamento de energia**

Neste item serão comentadas as principais definições das células de armazenamento de energia. Dentre suas principais características tem-se:

- Densidade de energia: usualmente este conceito é definido como a quantidade de energia armazenada na bateria por unidade de volume. Tal medida é apresentada em  $J/m^3$  segundo o sistema internacional, porém no caso das baterias, é comumente apresentado em Wh/kg.

- Densidade de potência: conceito semelhante ao anterior, tendo em vista que é uma relação entre a potência disponível em uma bateria e o seu volume. Segundo o sistema internacional, tal medida é apresentada em  $W/m^3$ , porém quando se trata de baterias, a medida é apresentada em  $W/kg$ .
- Corrente de descarga: definida como nível de conversão, ou polarização aumentada de uma bateria, que ocorre devido a depleção de material ativo na reação. Essa corrente é mensurada em Taxa C (C-Rate), que determina a velocidade com o que a bateria pode ser descarregada. Uma descarga de 1C extrai uma corrente igual a capacidade nominal. Por exemplo uma bateria de 16Ah fornece 16A por 1 hora se descarregada a uma taxa de 1C.
- Resistência Interna da bateria: também definida como impedância, se caracteriza como a função da integridade dos condutores, bem como da porção eletroquímica do sistema (eletrólito). As placas e conexões internas de uma célula se deterioram e tem suas dimensões modificadas ao decorrer de sua vida útil. Durante esse ciclo também ocorrem processos corrosivos e perda de contato entre os condutores internos da célula e de seus respectivos polos, causando o aumento dos valores ôhmicos, além da perda de água, que aumenta os valores de impedância devido á diminuição da condutividade entre as placas. Qualquer desses processos de mudança aumenta a resistência ao fluxo de corrente e, naturalmente, um aumento significativo da resistência pode resultar em sérios problemas de superaquecimento, principalmente quando são empregadas a uma alta corrente de descarga.

## 2.5 Bateria de Níquel-Cádmio

As baterias de Níquel-Cádmio são as mais utilizadas para aplicações aeronáuticas. Suas principais características são a sua alta densidade de energia , sua capacidade de fornecer uma alta corrente de descarga , possibilitar um carregamento mais rápido e possuir uma construção robusta que é capaz de operar em uma grande amplitude de temperatura e em diversas condições ambientais , além de serem extremamente confiáveis, são de simples utilização e proporcionam um custo competitivo para viabilização de projetos (GP STAFF,2003).

Como desvantagens, as baterias de níquel-cádmio possuem em suas características um sistema de *cold soak*, que dificulta o uso da bateria quando expostas em condições extremas de baixas temperaturas. Outra desvantagem em seu uso é a apresentação do efeito *termal runaway*, que ocorre devido ao coeficiente de temperatura negativo. Isso significa que com o aumento da temperatura, sua resistência interna tende a diminuir o que eleva o aumento da corrente que por sua vez aumenta a temperatura, característica esta que deve ser observada nos projetos dos sistemas elétricos da Aeronave para que não ocorram danos permanentes.

A tecnologia de bateria de níquel-cádmio foi desenvolvida e proposta por W.Jungner em 1899 e se divide em dois tipos: a portátil -selada – e a de aplicações industriais – não seladas (BARANDAS et al.,2007). As baterias seladas têm como características principais apresentar uma baixa frequência de necessidade de manutenções e possuir a mobilidade de serem instaladas em qualquer posição conforme necessidade do projeto. As baterias não seladas necessitam serem instaladas adequadamente de maneira que seja permitida a ventilação adequada dos gases produzidos e também possuem a necessidade de completar a bateria com um sistema de água, isto é, há uma necessidade de se realizar manutenções com uma maior frequência.

## 2.6 Eletroquímica da bateria de Níquel-Cádmio

Neste item serão comentadas as definições e os elementos que compõem as células de uma bateria de Níquel-Cádmio:

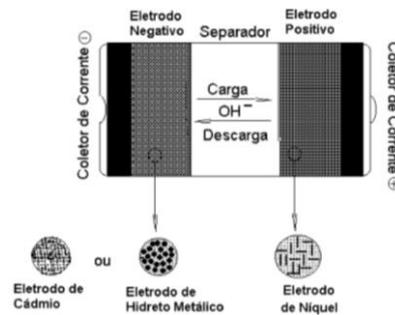
- O Eletrodo positivo: é feito de hidróxido de níquel,  $Ni(OH)_2$ , ou hidróxido de níquel,  $NiOOH$ .
- O Eletrodo negativo: é feito de cádmio metálico,  $Cd$ , ou de hidróxido de cádmio,  $Cd(OH)_2$ .
- O Eletrólito: é uma solução de hidróxido de potássio ( $KOH$ ) e complementa o circuito interno fornecendo os íons para que haja condução entre os eletrodos positivos e negativos. Podendo ser utilizado também, água desmineralizada.

Há ainda além destes componentes citados acima um separador que isola eletricamente os eletrodos positivo e negativo o que evita um curto-circuito interno na bateria, feito

normalmente com material de poliamida, polietileno ou polipropileno (BARANDAS et al.,2007)

A Fig. 1 ilustra o comportamento das reações internas que ocorrem na bateria de Níquel-Cádmio no processo de carga/descarga.

**Fig.4** – Reações internas de uma bateria de Níquel-Cádmio no processo de carga/descarga.



Fonte: BARANDAS,2007.

## 2.7 Bateria modelo (PN) 1606-1

A bateria modelo (PN) 1606-1, utilizada na aeronave Esquilo, é fabricada pela empresa SAFT. Ela possui 20 células de Níquel-Cádmio com capacidade de fornecer 24 V de tensão nominal e 16 Ah de carga elétrica. A Fig 5, ilustra a bateria PN 1606-1. (SAFT, 2018).

O sistema de geração elétrica da aeronave carrega a bateria após a partida do motor e o acoplamento do gerador com uma tensão fornecida entre 26 e 29V (HELIBRAS, 2011).

**Fig.5** – Bateria PN 1606-1



Fonte: PRÓPRIO AUTOR,2020.

### **2.7.1 Manutenções da bateria**

Todas as baterias requerem verificações e manutenções periódicas. O intervalo o qual tais manutenções são realizadas é previsto no manual da bateria, e compreende em inspeções de 6, 12 e 24 meses. Tais procedimentos têm por finalidade garantir o funcionamento correto da bateria (SAFT, 2018).

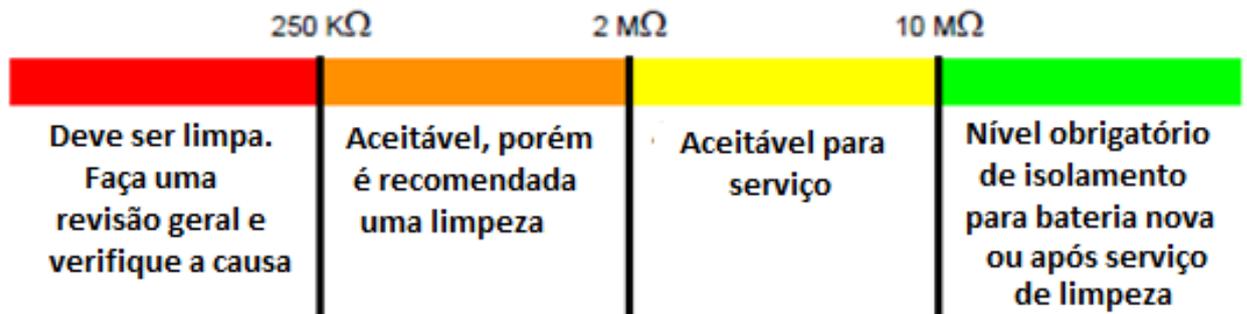
### **2.7.2 Carga da bateria com corrente constante**

É um procedimento de recarga da bateria com um regime de corrente constante sem limitação da tensão final de carga e é realizado em laboratório especializado. Tal procedimento consiste em dois estágios distintos. No primeiro estágio, a bateria é carregada com uma carga principal com corrente de 100% da sua capacidade total, ou seja, 16 amperes durante uma hora à uma hora e quinze e no final da carga é verificado a tensão nas células, e estes valores devem ser superiores a 1.57V. No segundo estágio, é feita uma carga final (sobrecarga) com uma corrente de 10% da capacidade total da bateria, ou seja, 1.6 amperes durante 4 horas e deve-se verificar uma tensão superior a 1.5V em cada célula. Nos últimos 30 minutos da recarga é completado o nível do eletrólito das células, caso esse esteja abaixo do previsto no manual (SAFT, 2018).

### **2.7.3 Teste do isolamento**

É verificado após a carga, se o isolamento entre os terminais das células e a carcaça da bateria está ocorrendo adequadamente, caso contrário, haverá uma corrente de fuga que com o tempo descarregará a bateria. A causa mais provável de uma falha de isolamento é o vazamento do eletrólito que atua como condutor entre as células e a carcaça da bateria. Os valores de resistência aceitáveis para a bateria estudada (PN 1606-1) segue na Fig. 6 (SAFT, 2018).

**Fig.6** – Valores de resistência aceitáveis para bateria PN 1606-1

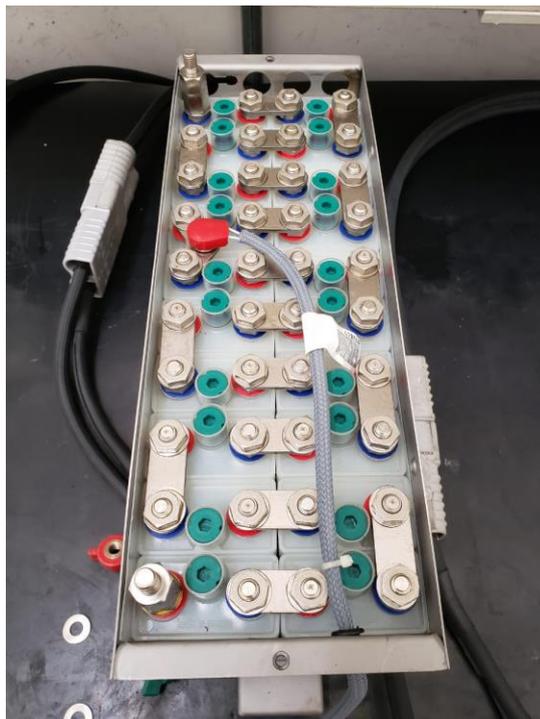


Fonte: SAFT, 2018

#### 2.7.4 Verificação periódica

É um tipo de inspeção realizada na bateria a cada 06 meses. Consiste essencialmente em verificações de tensão e isolamento das células, descarga da capacidade residual das células, carga com corrente constante e ajuste do nível de eletrólito. Nesse caso de verificação, o valor de resistência encontrado no teste de isolamento deve ser superior a 10 MΩ. O objetivo principal dessa inspeção é repor a água consumida pela eletrólise durante a sobrecarga da bateria. A Fig. 7, ilustra um procedimento de verificação periódica. (SAFT, 2018).

**Fig.7** – Verificação periódica na bateria PN 1606-1



Fonte: SAFT, 2018

### 2.7.5 Verificação regular

É uma inspeção um pouco mais detalhada e é realizada a cada 12 meses. É semelhante à verificação periódica, exceto que no processo de descarga da bateria, a mesma é profundamente descarregada com o auxílio de resistores entre os terminais das células. Os resistores permanecem entre os terminais de um dia para o outro e então se tem a descarga completa das células. Após realizada a descarga completa, é feita uma nova carga com corrente constante e posteriormente é submetida a uma nova descarga. A segunda descarga tem como finalidade checar a capacidade total da bateria, portanto a bateria é descarregada a uma taxa de 1C durante 51 minutos e então o valor da tensão nominal da bateria deve ser igual ou superior a 20V. Dando por encerrado o teste de capacidade, a bateria é novamente recarregada e então liberada para utilização (SAFT, 2018).

### 2.7.6 Revisão geral

É uma inspeção geral da bateria e é realizada a cada 24 meses. É semelhante à verificação regular, porém a bateria também é totalmente desmontada, cuidadosamente limpa e inspecionada. Além disso, também é feito o teste das válvulas de ventilação das células e do sensor de temperatura da bateria. A Fig. 8 ilustra um procedimento de revisão geral da bateria. (SAFT, 2018).

**Fig.8** – Verificação geral na bateria PN 1606-1



**Fonte:** SAFT, 2018

### **3 MÉTODO E MEIOS**

Nesta seção iremos abordar os métodos de estudo e os meios utilizados para que se possa alcançar o objetivo final da pesquisa.

#### **3.1 Etapas da pesquisa**

O estudo será dividido em análise técnica documental e apresentação dos resultados de ensaios em voo. A análise documental será baseada no relatório de carga elétrica da aeronave proveniente do projeto do fabricante e na documentação enviada pela fabricante da bateria. Após a análise documental, serão apresentados e analisados os ensaios em voo feitos na AvEx.

##### **3.1.1 Análise do consumo de carga elétrica do projeto da aeronave**

O fabricante da aeronave, durante o projeto confeccionou um relatório de análise da carga elétrica da aeronave Esquilo AS550 Fennec modernizado. No relatório são exibidos os consumos de carga em cada fase de voo, além do detalhamento de cada uma das fases críticas para a bateria e também o consumo de carga durante o procedimento de partida. Iremos, com base no referido relatório, verificar o consumo de carga elétrica da aeronave com enfoque na fase de partida, que é o objetivo deste trabalho.

##### **3.1.2 Relatório do comportamento das baterias durante o uso**

Foi obtido, junto à fabricante das baterias PN 1606-1, gráficos que mostram o comportamento das baterias durante o uso. Estes gráficos serão utilizados para que se possa conhecer como a bateria se comporta quando submetida à uma alta corrente.

##### **3.1.3 Ensaios em voo realizados na Avex**

Serão realizados ensaios com a bateria em voo, nas condições mais críticas previstas no manual de voo (23V), de forma a ratificar, ou não, as informações encontradas nos relatórios do projeto da aeronave, proveniente do fabricante.

Os ensaios foram realizados nas instalações da AvEx, utilizando-se a aeronave Esquilo e 6 (seis) baterias do PN 1606-1 com diferentes tempos de vida útil. O tempo de uso de cada bateria é detalhado na TABELA 1.

**Tabela 1** – Tempo de vida útil das baterias utilizadas nos ensaios

<b>Data</b>	<b>Aeronave</b>	<b>SN</b>	<b>Tempo de uso</b>
<b>05/05/2016</b>	EB 1013	D02237	03 DIAS
<b>09/05/2016</b>	EB 1013	D02238	07 DIAS
<b>09/05/2016</b>	EB 1016	R01262	10 ANOS
<b>09/05/2016</b>	EB 1016	R03295	09 ANOS E 10 MESES
<b>12/05/2016</b>	EB 1019	V00660	05 ANOS E 11 MESES
<b>17/05/2016</b>	EB 1003	V00659	06 ANOS E 03 MESES

**Fonte:** AVEX ,2016

A fim de permitir condições ideais para os testes, cada uma das baterias foi submetida a uma revisão geral de 12 meses. Após tal manutenção, iniciaram-se os testes da bateria na aeronave Esquilo.

Como as baterias testadas estavam saindo de uma revisão geral, suas tensões estavam altas, e superiores ao limite mínimo que o manual de voo prevê para realizar a partida da aeronave. Portanto, para testá-las nas condições mínimas descritas no manual de voo, depois de instaladas na aeronave, foi necessário acionar equipamentos eletro/eletrônicos adicionais da aeronave até que a tensão chegasse aos valores mínimos previstos para acionamento, que no caso da aeronave Esquilo é de 23V.

Após cada tentativa de acionamento, sendo ela bem sucedida ou não, mantinha-se o motor acionado durante 15 minutos para que o gerador pudesse recarregar a bateria e permitir o acionamento seguinte. Nas tentativas em que o acionamento não foi bem sucedido, ocorreu a partida com uso de fonte externa.

A partida foi abortada quando a tensão mínima ficou menor que 15 V, pois segundo prevê o manual de voo, a partida deve ser abortada caso a tensão da bateria seja igual ou inferior a 15V.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção iremos verificar os resultados obtidos nas análises do projeto da aeronave e do relatório da bateria bem como os resultados obtidos com os ensaios em voo.

### 4.1 Análise do consumo de carga elétrica retirado do projeto da aeronave

Foi analisado o relatório gerado pela fabricante da aeronave durante a fase de projeto a respeito do consumo de carga elétrica da aeronave Esquilo, com enfoque no procedimento de partida.

O procedimento de partida é definido como o período de tempo entre o acionamento da aeronave (BATTERY switch ON) até a partida completa do motor, momento a partir do qual o gerador provê energia à aeronave e a bateria passa a ser carregada (SAFRAM, 2014).

O QUADRO 1 apresenta os valores de uma maneira mais detalhada durante cada fase da partida, mostrando corrente total consumida, tensão, tempo e carga consumida em cada fase da partida. Destacam-se nesta tabela as fases 3 e 4, onde a tensão da bateria cai para 15 V e temos o maior valor de corrente.

**Quadro 1** – Análise de capacidade da bateria durante procedimento de partida

Análise de capacidade da bateria durante partida			
Capacidade da bateria		16 Ah	
Estado de carga		80%	
Capacidade da bateria no início do teste		12.8 Ah	
1	Tensão da bateria	24.5V	Carga inicial, quando a bateria é ligada pela primeira vez
	Corrente no circuito	66A	
	Duração (s)	5	
	Duração (Hr)	0,001389	
	<b>Consumo da bateria</b>	<b>0.1Ah</b>	
2	Tensão da bateria	24.5V	Tripulação se preparando para partir o motor
	Corrente no circuito	47A	
	Duração (s)	120	
	Duração (Hr)	0,033333	
	<b>Consumo da bateria</b>	<b>1.6Ah</b>	
3	Tensão da bateria	15V	Acionamento do motor de arranque
	Corrente no circuito	500A	
	Duração (s)	2	
	Duração (Hr)	0,000556	
	<b>Consumo da bateria</b>	<b>0.3Ah</b>	
4	Tensão da bateria	15V	Durante partida do motor
	Corrente no circuito	77A	
	Duração (s)	2	
	Duração (Hr)	0,000556	
	<b>Consumo da bateria</b>	<b>0.1Ah</b>	
5	Tensão da bateria	20V	Início da rotação dos compressores da turbina
	Corrente no circuito	200A	
	Duração (s)	2	
	Duração (Hr)	0,000556	
	<b>Consumo da bateria</b>	<b>1.6Ah</b>	
6	Tensão da bateria	20V	Motor de arranque ainda está sendo acionado
	Corrente no circuito	47A	
	Duração (s)	28	
	Duração (Hr)	0,007778	
	<b>Consumo da bateria</b>	<b>0.5Ah</b>	
7	Tensão da bateria	28V	Motor de arranque não está sendo acionado pela tripulação
	Corrente no circuito	47A	
	Duração (s)	30	
	Duração (Hr)	0,008333	
	<b>Consumo da bateria</b>	<b>0.4Ah</b>	
8	Tensão da bateria	28V	Motor de arranque passa para função de gerador e alimenta o sistema
	Corrente no circuito	0	
	Duração (s)	-	
	Duração (Hr)	-	
	<b>Consumo da bateria</b>	<b>-</b>	
Capacidade da bateria no após o teste		7Ah	

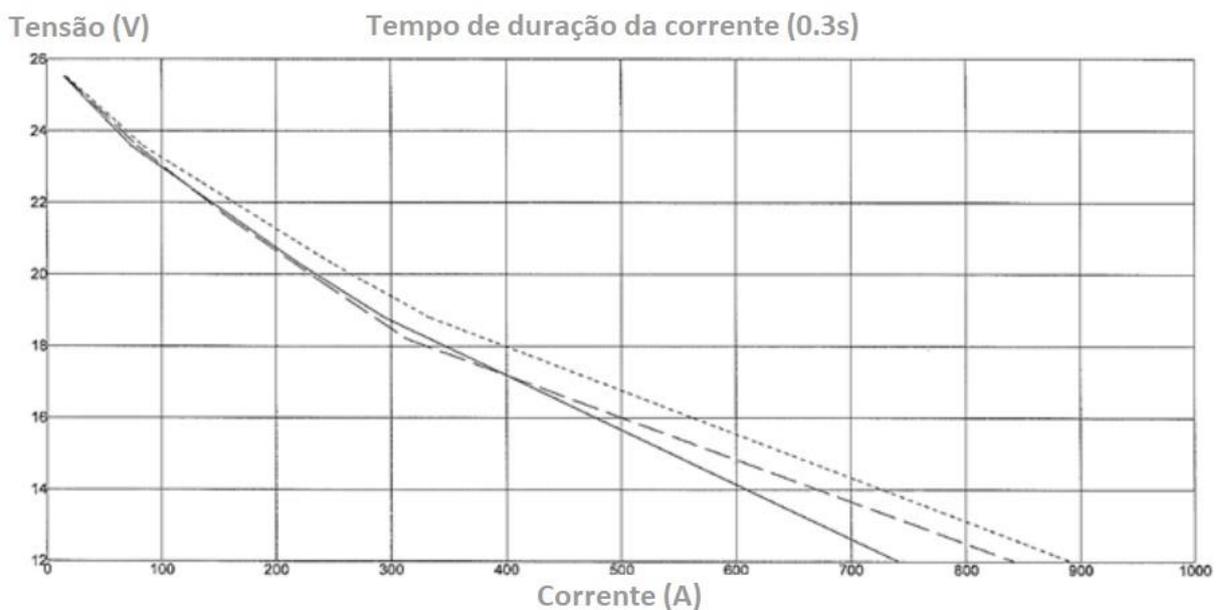
Fonte: AVEX,2016

Da análise do quadro, conclui-se que o consumo total de carga na partida é de 4,6 Ah, a tensão mínima é de 15 V e a maior corrente é de 500A. Portanto, uma bateria com carga completa teria 16Ah de carga disponível e então teoricamente seria suficiente para partir a aeronave.

#### 4.2 Relatório do comportamento das baterias durante o uso.

O gráfico apresentado na Figura 9 apresenta a queda de tensão nos terminais da bateria devido a corrente de descarga. O estado de carga da bateria estudada no gráfico é superior a 80% e está sendo submetida a uma corrente com duração de 0,3 s.

**Fig.9** – A linha tracejada representa a bateria PN1606-1 (16 Ah) com carga acima de 80% e temperatura ambiente de 30°C.



Fonte: SAFT, 2018

Pode-se verificar no gráfico que quando a bateria é submetida à máxima corrente exigida na partida do motor, cerca de 500A, sua tensão cai para 16V. Admitindo que a bateria com 80% de carga tem uma tensão de 24,5 V conforme mostra a tabela 2, a queda de tensão que se tem ao submeter a bateria à uma corrente de 500A é de 8,5V.

Tem se então que, ao tentar partir a aeronave com a tensão na bateria de 23V a queda de tensão de 8,5V que ocorrerá na bateria fará com que a tensão caia para 14,5V, abaixo do limite mínimo previsto no manual de voo da aeronave Esquilo que é de 15V.

### 4.3 Ensaio em voo realizados na Avex

O QUADRO 2 mostra os resultados obtidos nos ensaios com a bateria PN D02237.

**Quadro 2** – Resultados dos ensaios realizados com a bateria PN D02237

<b>Bateria PN D02237</b>	
DATA E HORA:	05/05/16 às 10h30
AERONAVE:	EB 1013
TEMPO DE VIDA DA BATERIA	03 DIAS
<b>1º TENTATIVA</b>	
TENSÃO INICIAL (V)	25.3V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	26°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0 V (min)	33'25"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.1V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	10.8V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>
<b>2º TENTATIVA</b>	
TEMPO ENTRE O CORTE DA PRIMEIRA PARTIDA E O INÍCIO DO PROCEDIMENTO DA 2ª PARTIDA	2'
TENSÃO INICIAL (V)	26.2V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	27°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0 V (min)	15'50"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.2V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	12.0V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>
<b>3º TENTATIVA</b>	
TEMPO ENTRE O CORTE DA PRIMEIRA PARTIDA E O INÍCIO DO PROCEDIMENTO DA 3ª PARTIDA	2'
TENSÃO INICIAL (V)	25.8 V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	28°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0 V (min)	20'29"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.5V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	10.9V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>

Fonte: AVEX,2016

Com base nesses dados, conclui-se que não foi possível concluir nenhuma partida, pois a tensão mínima de 15V foi ultrapassada, impossibilitando a conclusão da partida. Durante o procedimento, as telas que indicam os parâmetros da aeronave se desligaram impedindo a visualização dos parâmetros de motor e da aeronave.

O QUADRO 3 mostra os resultados obtidos nos ensaios com a bateria PN D02237

**Quadro 3** – Resultados dos ensaios realizados com a bateria PN D02238

<b>Bateria PN D02238</b>	
DATA E HORA:	09/05/16 às 09h55
AERONAVE:	EB 1013
TEMPO DE VIDA DA BATERIA	07 DIAS
<b>1º TENTATIVA</b>	
TENSÃO INICIAL (V)	24.9V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	26°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0 V (min)	32'00"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.1V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	12.2V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>
<b>2º TENTATIVA</b>	
TEMPO ENTRE O CORTE DA PRIMEIRA PARTIDA E O INÍCIO DO PROCEDIMENTO DA 2ª PARTIDA	1'
TENSÃO INICIAL (V)	25.2V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	28°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0 V (min)	14'30"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.1V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	11.5V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>
<b>3º TENTATIVA</b>	
TEMPO ENTRE O CORTE DA PRIMEIRA PARTIDA E O INÍCIO DO PROCEDIMENTO DA 3ª PARTIDA	1'
TENSÃO INICIAL (V)	25.2
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	29°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0 V (min)	12'25"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.6V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	15.9V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>

Fonte: AVEX,2016

Novamente, conforme mostra o quadro 3, não foi possível completar a partida completa do motor. Apesar de na 3º tentativa a tensão mínima ter sido superior a 15V novamente as telas de indicação dos parâmetros da aeronave se apagaram, impedindo a visualização dos parâmetros de motor impedindo a conclusão da partida.

O QUADRO 4 mostra os resultados obtidos nos ensaios com a bateria PN R01262

**Quadro 4** – Resultados dos ensaios realizados com a bateria PN R01262

<b>Bateria PN R01262</b>	
DATA E HORA:	09/05/16 às 15h40
AERONAVE:	EB 1016
TEMPO DE VIDA DA BATERIA	10 ANOS
<b>1º TENTATIVA</b>	
TENSÃO INICIAL (V)	25.3V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	25°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0V (min)	4'28"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.1V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	12.6V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>
<b>2º TENTATIVA</b>	
TEMPO ENTRE O CORTE DA PRIMEIRA PARTIDA E O INÍCIO DO PROCEDIMENTO DA 2ª PARTIDA	5'
TENSÃO INICIAL (V)	25.1V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	24°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0 V (min)	3'09"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.1V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	12.6V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>
<b>3º TENTATIVA</b>	
TEMPO ENTRE O CORTE DA PRIMEIRA PARTIDA E O INÍCIO DO PROCEDIMENTO DA 3ª PARTIDA	5'
TENSÃO INICIAL (V)	25V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	25°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0V (min)	3'14"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.6V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	13.1V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>

Fonte: AVEX,2016

Mais uma vez é possível observar que nenhuma partida foi concluída, tendo em vista que a tensão mínima durante a partida foi inferior ao previsto no manual de voo, de 15V.

O QUADRO 5 mostra os resultados obtidos nos ensaios com a bateria PN R03295

**Quadro 5** – Resultados dos ensaios realizados com a bateria PN R03295

<b>Bateria PN R03295</b>	
DATA E HORA:	09/05/16 às 14h00
AERONAVE:	EB 1016
TEMPO DE VIDA DA BATERIA	09 ANOS E 10 MESES
<b>1º TENTATIVA</b>	
TENSÃO INICIAL (V)	25V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	27°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0 V (min)	7'54"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.1V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	12.2V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>
<b>2º TENTATIVA</b>	
TEMPO ENTRE O CORTE DA PRIMEIRA PARTIDA E O INÍCIO DO PROCEDIMENTO DA 2ª PARTIDA	1'
TENSÃO INICIAL (V)	24.8V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	27°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0 V (min)	5'23"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.1V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	12.6V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>
<b>3º TENTATIVA</b>	
TEMPO ENTRE O CORTE DA PRIMEIRA PARTIDA E O INÍCIO DO PROCEDIMENTO DA 3ª PARTIDA	5'
TENSÃO INICIAL (V)	25V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	26°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0 V (min)	3'20"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.6V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	13.0V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>

**Fonte:** AVEX,2016

Novamente não foi possível realizar a partida do motor em nenhuma das 3 tentativas. As telas de indicação dos parâmetros da aeronave se apagaram em todas as tentativas, impedindo a visualização dos parâmetros de motor impedindo a conclusão da partida.

O QUADRO 6 mostra os resultados obtidos nos ensaios com a bateria PN V00660

**Quadro 6** – Resultados dos ensaios realizados com a bateria PN V00660

<b>Bateria PN V00660</b>	
DATA E HORA:	17/05/16 às 15h30
AERONAVE:	EB 1003
TEMPO DE VIDA DA BATERIA	05 ANOS E 11 MESES
<b>1º TENTATIVA</b>	
TENSÃO INICIAL (V)	25.9V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	29°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0V (min)	20'25"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.1V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	14.7V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>
<b>2º TENTATIVA</b>	
TEMPO ENTRE O CORTE DA PRIMEIRA PARTIDA E O INÍCIO DO PROCEDIMENTO DA 2ª PARTIDA	5'
TENSÃO INICIAL (V)	26.1V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	27°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0V (min)	12'13"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.1V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	14.6V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>
<b>3º TENTATIVA</b>	
TEMPO ENTRE O CORTE DA PRIMEIRA PARTIDA E O INÍCIO DO PROCEDIMENTO DA 3ª PARTIDA	5'
TENSÃO INICIAL (V)	25.3V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	28°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0V (min)	8'27"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.6V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	10.6V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>

**Fonte:** AVEX,2016

As duas primeiras tentativas foram abortadas pelo fato das tensões mínimas serem inferior a 15V, já na terceira tentativa a tensão caiu para 15.3V e a partida continuou, porém 8 segundos após isso a tensão caiu novamente para 10.6V apagando as telas de indicação dos parâmetros da aeronave, fazendo com que a partida fosse abortada novamente.

O QUADRO 7 mostra os resultados obtidos nos ensaios com a bateria PN V00659

**Quadro 7** – Resultados dos ensaios realizados com a bateria PN V00659

<b>Bateria PN V00659</b>	
DATA E HORA:	12/05/16 às 13h50
AERONAVE:	EB 1019
TEMPO DE VIDA DA BATERIA	06 ANOS E 03 MESES
<b>1º TENTATIVA</b>	
TENSÃO INICIAL (V)	26.0V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	28°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0 V (min)	17'28"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.1V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	14.6V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>
<b>2º TENTATIVA</b>	
TEMPO ENTRE O CORTE DA PRIMEIRA PARTIDA E O INÍCIO DO PROCEDIMENTO DA 2ª PARTIDA	5'
TENSÃO INICIAL (V)	26.2V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	28° C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0 V (min)	8'25"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.1V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	14.9V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>NÃO</b>
<b>3º TENTATIVA</b>	
TEMPO ENTRE O CORTE DA PRIMEIRA PARTIDA E O INÍCIO DO PROCEDIMENTO DA 3ª PARTIDA	5'
TENSÃO INICIAL (V)	26.1 V
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	28°C
TEMPO DECORRIDO ATÉ A BATERIA ATINGIR 23,0 V (min)	10'00"
TENSÃO ANTES DA PARTIDA (>23V)	23.6V
TENSÃO MINIMA DURANTE A PARTIDA	15.2V
A PARTIDA FOI CONCLUÍDA?	<b>SIM</b>

**Fonte:** AVEX,2016

As duas primeiras tentativas foram abortadas por apresentarem tensões mínimas inferiores ao previsto no manual de voo, porém não houve apagamento das telas de indicação

dos parâmetros da aeronave e provavelmente a partida seria concluída. A 3 tentativa teve a partida concluída.

Com base nesses dados, pode-se constatar que, nas condições ensaiadas, ter a tensão superior a 23 V não garantem que o procedimento de partida será realizado com sucesso contradizendo o manual de voo da aeronave que afirma que a bateria é capaz de realizar a partida do motor quando sua tensão é maior que 23 V. Nem mesmo com tensão de 23.6 V a partida foi completada em 83% dos casos.

Em dois casos ocorreu tensão mínima superior a 15 V, porém a partida não foi concluída, pois ao dar prosseguimento no procedimento a tensão atingiu valores muito baixos (10.6 V), necessitando que a partida fosse abortada.

## 5 CONCLUSÃO

Um estudo quanto à capacidade da bateria hoje existente na aeronave Esquilo é capaz de suprir a demanda do sistema eletroeletrônico da mesma, em especial, no procedimento de partida foi realizado. Todos os objetivos específicos foram atingidos.

Com base na avaliação do relatório de consumo de carga elétrica retirado do projeto da aeronave, a bateria foi considerada capaz de suprir a demanda exigida, pois estando ela com carga completa, teoricamente, é possível suprir as demandas da aeronave durante o procedimento de partida.

Dos ensaios realizados na AvEx conclui-se que somente possuir a tensão maior que 23 V na bateria não são garantias suficientes para realização da partida completa da aeronave. Além disso, os parâmetros sugeridos no manual de voo (23 V para início da partida e mínima tensão de 15 V), não asseguram que a partida será concluída.

## REFERÊNCIAS

HELIBRAS, **Manual de Voo da Aeronave AS550A2 “Fennec” AvEx. 2016.** Itajuba, Minas Gerais

SAFT. “**Component Maintenance Manual With Illustrated Parts List – Aircraft Battery Type 1606-1**”. 2016. 60f. Bagnolet. França.

Comando Logístico do Exército Brasileiro (COLOG) e Helicópteros do Brasil (Helibras). Contrato 162/2011: **Reconstrução / Modernização de 36 (trinta e seis) helicópteros HB350 L1-Esquilo e AS550A2-Fennec da Aviação do Exército.** 2011. 100f. Brasília, Distrito Federal.

Grupo de Ensaios e Avaliações - GEA. Relatório de Ensaio em Voo – **Verificação de Conformidade do AS550A2 “Fennec” - (REVO FENNEC- 01), 2015. 224f.** Taubaté, São Paulo.

Centro de Instrução HELIBRAS, **MANUAL DE INSTRUÇÃO PARA MECÂNICOS - THM.** 1 ed. Itajubá: Arte, Composição e Impressão Gráficas HELIBRAS, 1992.

BARANDAS, A. P. M. G.; VALVERDE JUNIOR, I.M.; AFONSO, J. C.; MANTOVANO, J. L.; CUNHA, J. W. S. D. Recuperação de cádmio de baterias níquel-cádmio via extração seletiva com tributilfosfato (tbp). **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 3, p. 712-717, 2007.

NOGUEIRA, C. A.; MARGARIDO, F. Chemical and physical characterization of electrode materials of spent sealed Ni-Cd batteries. **Waste Management**, Lisboa, v. 27, n. 11, p. 1570-1579. 2007.

PINGWEI, Z.; YOKOYAMA, T.; ITABASHI, O.; WAKUI, Y.; SUZUKI, T. M.; INOUE, K. Recovery of metal values from spent nickel–metal hydride rechargeable batteries. **Journal of Power Sources**, Japão, v. 77, n. 2, p. 116-122, 1999.

SCHEFFLER, G. L.; BENTLIN, F. R. S.; POZEBON, D. Methodology for lanthanide elements quantification in NiMH batteries. **Brazilian Journal of Analytical Chemistry**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 358-365, 2012.

LACERDA, V. G. **Separação de Cd e Ni presentes em baterias de NiCd por um método ambientalmente seguro utilizando sistema aquoso bifásico.** 2009. 45 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica)– Universidade Federal de Viçosa, Viçosa- M G, 2009.

BERTUOL, D. A.; BERNARDES, A. M.; TENÓRIO, J. A. S. Spent NiMH batteries: characterization and metal recovery through mechanical processing. **Journal of Power Sources**, Porto Alegre, v.160, n. 2, p. 1465–1470, 2006.

SPIRO, T. G; STIGLIANI, W. M. **Química ambiental.** 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 334 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004**: . resíduos sólidos- classificação. 2. ed. Rio de Janeiro-, 2004. 77 p.

NAGARAJAN, G. S.; ZEE, J. W. V. Characterization of the performance of commercial Ni/MH batteries. **Journal of Power Sources**, Columbia, v. 70, n. 2, p. 173-180, 1998.

FRIEDRICH, R. AND R. RAMIREZ. **9 Volt Battery-Short Circuit Analysis**. Hamilton and Associates, 2008

GLOBAL INDUSTRY ANALYSTS. **Consumer Batteries: A Global Strategic Business Report**. p. 661, 2011.