

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ – UNITAU**

**JULIO CESAR PARQUET BIZARRIA**

**PROPOSTA CONCEITUAL DE SISTEMA PARA  
GERENCIAMENTO DE CARGAS ELÉTRICAS  
AERONÁUTICAS**

**TAUBATÉ - SP**

**2007**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ – UNITAU**

**JULIO CESAR PARQUET BIZARRIA**

**PROPOSTA CONCEITUAL DE SISTEMA PARA  
GERENCIAMENTO DE CARGAS ELÉTRICAS  
AERONÁUTICAS**

Dissertação apresentada para obtenção do  
Título de Mestre pelo Curso de Pós-  
Graduação do Departamento de Engenharia  
Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Automação Industrial  
e Robótica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Octávio Mattos  
Reis

**TAUBATÉ - SP**

**2007**

BIZARRIA, Julio Cesar Parquet.  
B625p Proposta conceitual de sistema para gerenciamento de  
cargas elétricas aeronáuticas./ Julio Cesar Parquet Bizarria. –  
Taubaté: Unitau, 2007.

100 f. :il.;30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de  
Taubaté. Faculdade de Engenharia Mecânica. 2007  
Orientador: Prof. Dr. Luiz Octávio Mattos Reis.

1. Cargas Elétricas. 2. Aeronáutica. 3. Gerenciamento –  
Mestrado. I. Universidade de Taubaté. Departamento de  
Engenharia Mecânica. II. Título.

**JULIO CESAR PARQUET BIZARRIA**

**PROPOSTA CONCEITUAL DE SISTEMA PARA GERENCIAMENTO DE CARGAS  
ELÉTRICAS AERONÁUTICAS**

Dissertação apresentada para obtenção do  
Título de Mestre pelo Curso de Pós-  
Graduação do Departamento de  
Engenharia Mecânica da Universidade de  
Taubaté.

Área de Concentração: Automação  
Industrial e Robótica.

Data: \_\_\_\_\_

Resultado: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Luiz Octávio Mattos Reis

UNITAU

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Fernando Pinhabel Marafão

UNESP

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa

UNITAU

Assinatura \_\_\_\_\_

Dedico este trabalho aos meus pais José e Leda, a minha avó Georgette “*in memorian*”, a minha família e aqueles que de alguma maneira acreditaram que a realização deste trabalho seria possível.

A minha esposa Denise pela compreensão, carinho e apoio durante esta jornada.

Aos meus irmãos Carlos e Walter pelos conselhos construtivos e oportunos dedicados em momentos importantes deste percurso.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por propiciar-me a paz de que eu precisava para concluir mais uma etapa da minha vida.

Ao Professor Dr. Luiz Octávio Mattos Reis pela orientação, confiança e suporte durante a elaboração deste trabalho.

A todos colegas de mestrado pelos momentos compartilhados dentro e fora do curso.

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar e validar por meio de protótipo uma proposta conceitual destinada ao sistema elétrico de aeronave civil, bimotor, de asa fixa, categoria transporte, possuindo dois geradores principais, sendo cada um desses acoplado a cada um dos motores. O processo de homologação desse tipo de aeronave é baseado em requisitos que visam manter a aeronavegabilidade e pouso seguro da mesma. Normalmente quando esse tipo de aeronave sofre falha em um dos seus geradores principais, durante vôo, o sistema elétrico atua de maneira automática nas cargas visando não sobrecarregar o gerador remanescente. Nessa condição de falha, a lógica do sistema elétrico desliga as cargas elétricas não essenciais e mantém as cargas essenciais à aeronavegabilidade do avião. Muitas vezes o corte dessas cargas não essenciais restringe a operação de alguns sistemas da aeronave promovendo inconvenientes aos passageiros e tripulação. Dentro desse contexto, este trabalho apresenta uma proposta conceitual de arquitetura de sistema para gerenciamento dessas cargas baseada no monitoramento do consumo de corrente das cargas essenciais. Essa proposta é focada em recuperar a operação e utilização das cargas não essenciais desativadas no cenário de vôo acima descrito, visando promover maior conforto para passageiros e tripulação. Para validar esta proposta de arquitetura utilizou-se conversor analógico digital integrado a um controlador lógico programável e sistema de supervisão, disponíveis no mercado nacional. Os resultados dos ensaios obtidos com o protótipo foram satisfatórios validando a arquitetura proposta e indicando que o sistema executa o algoritmo proposto com resposta adequada para esta aplicação.



## **ABSTRACT**

The goal of this work is to present and validate by means of prototype a conceptual proposal dedicated to a civil airplane, transport category, two-engine, fixed-wing electrical system, with two main generators attached to each engine. The certification process applied to that type of airplane that is based on requirements, which aim to keep the airplane airworthiness and safety landing. When that type of airplane faces one generator failure in flight, its electrical system usually operates automatically on the loads in order to avoid overload in the remaining generator. During that condition of failure the electrical system logic turns the non-essential electrical loads off and keeps the essential loads on, to guarantee airplane airworthiness. Sometimes the non-essential loads, that were turned off restrict the operation of some airplane non-essential systems causing inconveniences to the passengers and crew. On that context, this work presents a system architecture conceptual proposal for management of those loads, based on essential loads current consumption monitoring. That proposal is focused in recovering the use and operation of deactivated non-essential loads in the aforementioned flight scenario and this way to offer more comfortableness to the passengers and crew. To validate this architecture proposal it was employed analog to digital converter integrated to a programmable logic controller and supervision system, available on national market. The prototype tests results were satisfactory validating the proposed architecture and indicating that the system performs the foreseen algorithm with suitable response to this application.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - AVIÃO MODELO B737-700 (WIKIPEDIA, 2007).....	22
FIGURA 2 - CATEGORIAS DE AERONAVES (CATEGORIAS DE AERONAVES SEGUNDO OS RBHA, 2003).....	26
FIGURA 3 - ARQUITETURA BÁSICA DE UM CLP (ATOS, 2001).....	31
FIGURA 4 - FLUXOGRAMA DO PROCESSAMENTO CÍCLICO DE UM CLP (ATOS, 2001).....	33
FIGURA 5 - ARQUITETURA BÁSICA DA PSGCEA.....	37
FIGURA 6 - VISTA DO PROTÓTIPO DA PSGCEA.....	44
FIGURA 7 - PRINCIPAIS BLOCOS DA 1A VERSÃO DO PROTÓTIPO.....	45
FIGURA 8 - DIAGRAMA DE LIGAÇÕES DO PROTÓTIPO.....	47
FIGURA 9 - FLUXOGRAMA ANALÍTICO DE CONTROLE – PARTE 1.....	61
FIGURA 10 - FLUXOGRAMA ANALÍTICO DE CONTROLE – PARTE 2.....	62
FIGURA 11 - TELA INTERFACE GRÁFICA SISTEMA DE SUPERVISÃO.....	68
FIGURA 12 - INTERFACE GRÁFICA MODO CONVENCIONAL.....	69
FIGURA 13 - INTERFACE GRÁFICA MODO GERENCIADO.....	70
FIGURA 14 - INTERFACE GRÁFICA COMANDO G2.....	71
FIGURA 15 - INTERFACE GRÁFICA CARGAS NÃO ESSENCIAIS.....	72
FIGURA 16 - INTERFACE GRÁFICA CARGAS ESSENCIAIS.....	73
FIGURA 17 - INTERFACE GRÁFICA CORRENTE DAS CARGAS ESSENCIAIS.....	74
FIGURA 18 - INTERFACE GRÁFICA TENDÊNCIA CONSUMO CORRENTE CARGAS ESSENCIAIS. ....	75
FIGURA 19 - BOTÃO G2.....	76
FIGURA 20 - BOTÃO SISTEMA ELÉTRICO CONVENCIONAL.....	78
FIGURA 21 - SISTEMA CONVENCIONAL ATIVO E G2 NORMAL.....	79
FIGURA 22 - SISTEMA CONVENCIONAL ATIVO E G2 FALHADO.....	80
FIGURA 23 - BOTÃO GERENCIADOR DE CARGAS.....	81
FIGURA 24 - GERENCIADOR DE CARGAS ATIVO E G2 NORMAL.....	82
FIGURA 25 - GERENCIADOR DE CARGAS ATIVO E G2 FALHADO.....	83
FIGURA 26 - MODO CONVENCIONAL / GERENCIADO - G2 NORMAL.....	87
FIGURA 27 - MODO CONVENCIONAL / GERENCIADO - G2 FALHADO.....	89
FIGURA 28 - MODO CONVENCIONAL / GERENCIADO - G2 FALHADO RETORNO CNE1.....	91
FIGURA 29 - MODO CONVENCIONAL / GERENCIADO - G2 FALHADO RETORNO CNE1 E CNE2.....	93
FIGURA 30 - MODO CONVENCIONAL / GERENCIADO - G2 FALHADO RETORNO CNE1, CNE2 E CNE3.....	95
FIGURA 31 - MODO CONVENCIONAL / GERENCIADO - G2 FALHADO RETORNO CNE1, CNE2, CNE3 E CNE4.....	97

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 -	RELAÇÃO DE DISJUNTORES DO PROTÓTIPO .....	53
TABELA 2 -	RELAÇÃO DE SAÍDAS DO MÓDULO DE CONTROLE .....	56
TABELA 3 -	CORRELAÇÃO ENTRE AS CARGAS E AS SAÍDAS DO MÓDULO DE CONTROLE.....	64
TABELA 4 -	ORDEM DE PRIORIDADE DAS CARGAS NÃO ESSENCIAIS .....	66
TABELA 5 -	RELAÇÃO DE CONTROLE ENTRE AS CARGAS ESSENCIAIS E NÃO ESSENCIAIS ....	85

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampères Valor Médio Eficaz
BCAE	Barramento em Corrente Alternada Essencial
BCAJ	Barramento em Corrente Alternada de Junção
BCANE1	Barramento em Corrente Alternada Não Essencial 1
BCANE2	Barramento em Corrente Alternada Não Essencial 2
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CE1	Carga Essencial 1
CE2	Carga Essencial 2
CE3	Carga Essencial 3
CE4	Carga Essencial 4
CLGA	Contator de Linha do Gerador Auxiliar
CLGP2	Contator de Linha do Gerador Principal 2
CLP	Controlador Lógico Programável
CNE1	Carga Não Essencial 1
CNE2	Carga Não Essencial 2
CNE3	Carga Não Essencial 3
CNE4	Carga Não Essencial 4
CT	Contator de Transferência
CT1	Contator de Transferência do Gerador Principal 1
CT2	Contator de Transferência do Gerador Principal 2
CTA	Contator de Transferência do Gerador Auxiliar
D1	Disjuntor do Gerador Principal 1

DCE1	Disjuntor da Carga Essencial 1
DCE2	Disjuntor da Carga Essencial 2
DCE3	Disjuntor da Carga Essencial 3
DCE4	Disjuntor da Carga Essencial 4
DCNE1	Disjuntor da Carga Não Essencial 1
DCNE2	Disjuntor da Carga Não Essencial 2
DCNE3	Disjuntor da Carga Não Essencial 3
DCNE4	Disjuntor da Carga Não Essencial 4
DT1	Disjuntor da Fonte 4004.40
DT2	Disjuntor do Módulo de Energia 4004.45
Ess	Essencial
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FAR	<i>Federal Aviation Regulations</i>
G1	Gerador principal 1 em corrente alternada
G2	Gerador principal 2 em corrente alternada
GA	Gerador Auxiliar em corrente alternada
HIGH	<i>High</i> (Faixa alta de valores de corrente)
Hz	Ciclos por Segundo (Hertz)
IAC	Instrução de Aviação Civil
ICS	Capacidade de Interrupção (Corrente) Certificada Conforme NBR IEC 60898
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
KE1	Acoplador a Relé da Carga Essencial 1
KE2	Acoplador a Relé da Carga Essencial 2
KE3	Acoplador a Relé da Carga Essencial 3

KE4	Acoplador a Relé da Carga Essencial 4
KNE1	Acoplador a Relé da Carga Não Essencial 1
KNE2	Acoplador a Relé da Carga Não Essencial 2
KNE3	Acoplador a Relé da Carga Não Essencial 3
KNE4	Acoplador a Relé da Carga Não Essencial 4
LOLO	<i>Low low</i> (Faixa muito baixa de valores de corrente)
LOW	<i>Low</i> (Faixa baixa de valores de corrente)
mA	Mili Ampères valor eficaz
mACC	Mili Ampères corrente contínua
MIL-STD	<i>Military Standard</i>
N	Condutor ou Linha de Neutro
NA	Contato Normalmente Aberto
NBR	Norma Brasileira
PC	<i>Personal Computer</i>
PCI	<i>Peripheral Component Interconnect</i>
PCSGCEA	Proposta Conceitual de Sistema para Gerenciamento de Cargas Elétricas Aeronáuticas
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i> (Valor Médio Quadrático ou Valor Eficaz)
RBHA	Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica
S0	Saída digital “0” do Módulo de Controle
S1	Saída digital “1” do Módulo de Controle
S2	Saída digital “2” do Módulo de Controle
S3	Saída digital “3” do Módulo de Controle
S4	Saída digital “4” do Módulo de Controle

S5	Saída digital “5” do Módulo de Controle
S6	Saída digital “6” do Módulo de Controle
S7	Saída digital “7” do Módulo de Controle
SCCT	Sistema de Controle dos Contatores de Transferência CT, CT1, CT2 e CTA
SCPGA	Sistema de Controle e Proteção do Gerador Auxiliar
SCPGP2	Sistema de Controle e Proteção do Gerador Principal 2
VCA	Tensão em Corrente Alternada Valor Eficaz
VCC	Tensão em Corrente Contínua
W	Potência Ativa Valor Eficaz (Watts)

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1 Descrição do Problema.....	17
1.2 Solução Proposta .....	19
1.3 Objetivos do Trabalho .....	20
1.4 Revisão Bibliográfica .....	21
1.5 Estrutura do Trabalho .....	23
<b>CAPÍTULO 2 - CONCEITOS BÁSICOS.....</b>	<b>25</b>
2.1 Avião .....	25
2.2 Aeronave Civil Categoria Transporte.....	25
2.3 Aeronavegabilidade .....	26
2.4 Órgão Homologador .....	27
2.5 Certificado de Homologação de Tipo – Aeronave Categoria Transporte .....	27
2.6 Requisito de Aeronavegabilidade.....	28
2.7 Requisitos de Aeronavegabilidade Aviões Categoria Transporte .....	28
2.8 Controlador Lógico Programável .....	29
2.9 Sistema de Supervisão .....	34
<b>CAPÍTULO 3 - DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>36</b>
3.1 Arquitetura Proposta.....	36
3.1.1 Subsistema Elétrico de Geração e Distribuição.....	38
3.1.2 Geração Corrente Alternada .....	38
3.1.3 Distribuição Corrente Alternada.....	39
3.1.4 Proposta Conceitual de Sistema para Gerenciamento de Cargas Elétricas Aeronáuticas .....	39
3.1.5 Módulo de Energia .....	40
3.1.6 Módulo de Controle.....	40
3.1.7 Interface Sinal Potência .....	41
3.1.8 Cargas CA Essenciais.....	41
3.1.9 Cargas CA Não Essenciais .....	42
3.1.10 Fonte de Alimentação.....	42
3.1.11 Sistema de Supervisão .....	43
3.2 Protótipo .....	43
3.2.1 Diagrama de Ligações .....	46
3.2.2 Descrição dos Principais Blocos do Protótipo.....	48
3.2.2.1 Gerador Principal G1 .....	48
3.2.2.2 Gerador Auxiliar GA .....	49
3.2.2.3 Comando SCPGA.....	50
3.2.2.4 Gerador Principal G2.....	50
3.2.2.5 Comando SCPGP2 .....	51
3.2.2.6 Comando SCCT.....	51
3.2.2.7 Distribuição em Corrente Alternada.....	52
3.2.2.8 Módulo de Energia .....	53
3.2.2.9 Módulo de Controle.....	54
3.2.2.9.1 Algoritmo do Módulo de Controle .....	57



3.2.2.9.2	Fluxograma Analítico de Controle .....	60
3.2.2.10	Interface Sinal Potência .....	63
3.2.2.11	Cargas Essenciais .....	64
3.2.2.12	Cargas Não Essenciais .....	65
3.2.2.13	Fonte .....	66
3.2.2.14	Sistema de Supervisão .....	67
3.2.2.14.1	Interface Gráfica .....	68
3.2.3	Modo de Operação .....	76
3.2.3.1	Modos de Operação do Gerador Principal 2 (G2) .....	76
3.2.3.2	Modos de Operação do Sistema Elétrico Convencional .....	78
3.2.3.3	Modos de Operação do Gerenciador de Cargas .....	81
3.2.3.4	Comparativo entre Modo de Operação Convencional e Gerenciado .....	85
3.2.3.4.1	Aeronave em Vôo - G2 Normal .....	86
3.2.3.4.2	Aeronave em Vôo - G2 Falhado .....	87
3.2.3.4.3	Aeronave em Vôo - G2 Falhado Retorno CNE1 .....	89
3.2.3.4.4	Aeronave em Vôo - G2 Falhado Retorno CNE1 e CNE2 .....	91
3.2.3.4.5	Aeronave em Vôo - G2 Falhado Retorno CNE1, CNE2 e CNE3 .....	93
3.2.3.4.6	Aeronave em Vôo - G2 Falhado Retorno CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4 95	
3.2.4	Resultados .....	98
<b>CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES .....</b>		<b>99</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>		<b>100</b>

## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

Este capítulo é composto pela descrição do problema, pela solução proposta, pelos objetivos do trabalho, por uma revisão bibliográfica e por fim pela apresentação da estrutura do trabalho. Na descrição do problema são apresentadas algumas limitações necessárias para se manter uma aeronave civil bimotor de asa fixa, categoria transporte, voando em condição de falha no sistema elétrico e alguns dos inconvenientes causados aos passageiros e tripulação devido a essas limitações. Na solução proposta são mostradas as características que um sistema deverá possuir para minimizar os inconvenientes a passageiros e tripulação durante falha no sistema elétrico, em vôo, considerando-se o tipo de aeronave acima mencionado. Nos objetivos do trabalho são indicados os elementos necessários para implementação de uma arquitetura de sistema que permita reduzir os inconvenientes no cenário de vôo de uma aeronave conforme citação anterior. Na revisão bibliográfica são exibidos trechos de referências técnicas e algumas normas importantes para esclarecer conceitos e diretrizes aplicáveis neste trabalho. Por fim, na estrutura do trabalho é apresentada a forma que este foi elaborado.

### **1.1 Descrição do Problema**

Para que uma aeronave civil, bimotor, de asa fixa, categoria transporte possa ser comercializada e utilizada em vôos regulares é necessário que o Órgão Homologador do país onde a aeronave irá operar emita o Certificado de Homologação de Tipo da mesma (RBHA 21, 2005; RBHA 01, 2003 e Aviação Civil IFI CTA Categoria Aeronave, 2003).

O processo de certificação de uma aeronave civil é pautado em requisitos focados em assegurar que o desenvolvimento e projeto da mesma sejam elaborados para que o sistema desenvolvido execute suas funções sob qualquer condição de operação previsível. (RBHA 21, 2005 e FAR Parte 25 Seção 25.1309, 2004)

Os sistemas de uma aeronave civil bimotor de asa fixa categoria transporte devem ser projetados para que a ocorrência de qualquer condição previsível de falha que impeça a aeronavegabilidade e pouso seguro da mesma seja extremamente improvável e que a ocorrência de qualquer outra condição de falha, que reduza a capacidade da aeronave ou a habilidade da tripulação de enfrentar condições adversas de operação, seja improvável.

Inclui-se nessas condições adversas de operação, por exemplo, a ocorrência de falha em vôo no funcionamento de um dos geradores principais, que operam em corrente alternada, de uma aeronave civil. O tipo de aeronave abordada neste trabalho é uma bimotora que possui dois geradores principais sendo cada um desses geradores acoplado a cada um dos motores da aeronave (737 Detailed Technical Data, 2006). Quando esse evento de perda em vôo de um dos geradores principais acontece, normalmente a lógica do sistema elétrico dessa aeronave atua visando reduzir o consumo de energia elétrica na mesma, para que o gerador remanescente não fique sobrecarregado em função da falta do gerador comprometido. Por norma essa redução de cargas, objetivando o decréscimo no consumo de energia elétrica da aeronave, pode ser adotada desde que sob um procedimento de monitoramento coerente e com segurança nos tipos de operação autorizados para a mesma. As cargas não exigidas para manter a aeronavegabilidade da aeronave não precisam estar ativas para condição de falha na geração elétrica da mesma. Assim sendo, usualmente muitas cargas não essenciais à aeronavegabilidade desse tipo de aeronave são simplesmente desligadas até que a recuperação do gerador inoperante seja restituída, porém muitas vezes, essa recuperação não é possível

durante o voo, em outras palavras um simples *reset*<sup>1</sup> no gerador problemático pode não ser o suficiente para que o mesmo volte a operar em condições normais, então as cargas que foram desativadas durante o evento de falha na geração elétrica, como por exemplo aquecedores de água e fornos, ventiladores recirculadores de ar entre outras, podem potencialmente causar inconvenientes aos passageiros e tripulação (FAR Parte 25 Seção 25.1309, 2004 e 737 Detailed Technical Data, 2006). Os transtornos em função da perda de cargas não essenciais, após falha em um dos geradores principais de uma aeronave civil, podem levar horas dependendo da fase de voo em que a falha ocorreu. Quando a pane em um dos geradores principais da aeronave torna-se impossível de ser revertida durante voo, o retorno desse gerador comprometido é normalmente possível somente após o pouso da mesma. Com a aeronave em solo a atuação da equipe de manutenção dedicada a reparos de geradores é que poderá eliminar o problema na íntegra.

## 1.2 Solução Proposta

Aumentar a flexibilidade de utilização das cargas elétricas, que operam em corrente alternada, de uma aeronave civil, bimotor, de asa fixa, categoria transporte durante voo no cenário de falha parcial do sistema de geração elétrica primária da mesma. Para atender esse aumento de flexibilidade é proposto o conceito de sistema para gerenciamento de cargas elétricas aeronáuticas baseado no monitoramento do consumo de corrente das cargas essenciais, o qual visa controlar a recuperação de cargas não essenciais à aeronavegabilidade da aeronave sugerida, aliviadas<sup>2</sup> durante, por exemplo, perda de um dos geradores principais dessa aeronave no decorrer do voo da mesma. A viabilidade dessa proposta baseia-se em

---

<sup>1</sup> *Reset*, em português Reiniciar, restaurar; retornar o sistema ou equipamento a seu estado inicial, para permitir que um programa ou processo seja reiniciado.

<sup>2</sup> Cargas aliviadas, são aquelas desativadas por meio de desligamento em suas alimentações elétricas.

destinar parte da energia excedente da aeronave durante vôo em benefício de cargas que sofreram desativação em função da falha no sistema de geração elétrica na medida em que a mudança no perfil de operação da aeronave torne isso possível.

### **1.3 Objetivos do Trabalho**

O principal foco deste trabalho é apresentar e validar por meio de protótipo uma proposta conceitual de arquitetura de sistema para gerenciamento de cargas elétricas aeronáuticas, que operam em corrente alternada. Essa arquitetura é focada para aeronave civil, bimotor, de asa fixa, categoria transporte. Demonstrar por meio desse protótipo a possibilidade de flexibilizar o uso do excedente de energia elétrica não consumida de uma aeronave, em função de condições favoráveis de vôo e durante falha em um dos geradores principais da mesma. Elaborar um algoritmo para a proposta de sistema acima baseado na leitura de corrente das cargas essenciais para controle da recuperação das cargas não essenciais à aeronavegabilidade desse tipo de aeronave. Para simular os cenários de vôo e falha na geração elétrica dessa aeronave foram adotados neste trabalho o uso de controlador lógico programável (CLP), proteções elétricas, acopladores a relé, módulo de energia, fonte de alimentação, sinalizadores luminosos e sistema de supervisão, disponíveis no mercado nacional. Os componentes utilizados dentro da arquitetura de sistema proposta neste trabalho permitirão viabilizar a estruturação de algumas funcionalidades, similares as do sistema elétrico da aeronave acima mencionada, importantes para concretizar este trabalho. Desenvolver e utilizar um protótipo que permita ensaiar e analisar a operação de alguns pontos de parte do sistema elétrico de uma aeronave civil mediante ao comportamento das cargas essenciais e não essenciais à aeronavegabilidade da mesma.

## 1.4 Revisão Bibliográfica

Durante pesquisa realizada entre janeiro de 2005 e fevereiro de 2007, foi encontrada limitada referência bibliográfica que guarda relação com o assunto tratado neste trabalho. Para entender quais são os requisitos e detalhes de funcionamento do sistema elétrico e suas respectivas cargas para um avião civil, bimotor, de asa fixa, categoria transporte, foi necessário efetuar a procura de uma literatura que discutisse e tratasse do referido assunto. Uma referência de suma importância para o desenvolvimento deste trabalho foi o material relativo ao sistema elétrico dos aviões da família B737 Nova Geração, em inglês *New Generation* (NG) fabricado pela empresa Boeing. Neste documento são descritas informações técnicas importantes com relação ao tipo e comportamento da geração e distribuição elétrica dessa família de aviões e também como suas cargas elétricas operam em modo normal e durante falha em um dos seus geradores principais.

Pertencem a família dos B737 NG os modelos B737-600, B737-700, B737-800 e o B737-900, os quais possuem aproximadamente 1904 unidades produzidas desde 1997, das quais 1902 ainda em serviço, portanto com mais de nove anos de operação em diversos países. Os aviões dessa família possuem acomodações para até 180 passageiros (737 Detailed Technical Data, 2006). A figura 1 destaca um avião modelo B737-700 da Air Berlin.



Figura 1 - Avião modelo B737-700 (Wikipedia, 2007).

O sistema elétrico da família B737 NG (*New Generation*) em uma de suas configurações básicas possui dois geradores principais cada qual com capacidade de 45 kVA, tensão de operação 115 VCA, frequência de 400 Hz e um gerador auxiliar com capacidade de 55 kVA, 115 VCA e frequência de 400 Hz. Podem-se citar como algumas das cargas elétricas essenciais à aeronavegabilidade desses aviões os equipamentos que atendem aos seguintes sistemas: Aviônico, Comandos de Voo, Motor, Trem de Pouso, Ar Condicionado e Hidráulico entre outros. Já as cargas não essenciais à aeronavegabilidade são os Fornos, Sistema de Aquecimento de Água, Máquinas para Preparação de Bebidas, Ventiladores Recirculadores de Ar, Sistema de Entretenimento entre outras.

O sistema elétrico desses aviões opera em condições normais de voo com seus dois geradores principais atendendo a demanda de energia elétrica de todo o avião. Em caso de falha em um dos geradores a arquitetura e lógica do sistema elétrico garantem uma reconfiguração de forma a manter a alimentação elétrica para todas as cargas essenciais.

Entretanto nessa condição de operação, com um único gerador, a lógica do sistema atua retirando de operação as cargas elétricas não essenciais à aeronavegabilidade dessa aeronave (FAR Parte 25 Seção 25.1309, 2004 e 737 Detailed Technical Data, 2006).

Algumas definições básicas de avião e aeronave entre outras foram encontradas no Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica 01 (RBHA 01) - Objetivo, Conteúdo e Forma dos RBHA. As definições de categoria de aeronave, referenciada neste trabalho foram encontradas no Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica 21 (RBHA 21) e 25 (RBHA 25). O RBHA 25 - Requisitos de Aeronavegabilidade - Aviões Categoria Transporte, adota integralmente o Regulamento Americano FAR 25 (*Federal Aviation Regulations - Part 25*). No FAR 25 é possível entender os requisitos básicos de como deve ser composto o sistema elétrico do avião anteriormente informado e como esse sistema elétrico precisa se comportar mediante as condições previsíveis de operação desse tipo de aeronave.

## **1.5 Estrutura do Trabalho**

O capítulo 1 é composto pela descrição do problema, pela solução proposta, pelos objetivos do trabalho e por uma revisão bibliográfica. Na descrição do problema é apresentada uma visão geral de requisitos e de como esse tipo de aeronave opera em condições normais e de falha no sistema elétrico. Também são apresentadas algumas limitações necessárias para se manter uma aeronave civil bimotor de asa fixa categoria transporte voando em condição de falha no sistema elétrico e alguns inconvenientes causados aos passageiros e tripulação devido a essas limitações. Na solução proposta é indicado como se pretende flexibilizar a utilização de cargas elétricas mediante falha em um dos geradores principais nesse tipo de aeronave. Nos objetivos do trabalho são indicados os principais dispositivos que serão empregados na elaboração e montagem de protótipo com



características para suprir as funções da proposta de sistema para gerenciamento de cargas elétricas aeronáuticas. Na revisão bibliográfica são expostas referências com relação a dados técnicos e definições básicas importantes para acompanhamento da linha de desenvolvimento deste trabalho. A estrutura do trabalho apresenta a maneira utilizada para elaboração dos capítulos deste trabalho.

O capítulo 2 descreve os conceitos básicos a respeito de Avião, Aeronave Civil Categoria Transporte, Aeronavegabilidade, Órgão Homologador, Certificado de Homologação de Tipo – Aeronave Categoria Transporte, Requisito de Aeronavegabilidade, Requisitos de Aeronavegabilidade Aviões Categoria Transporte, Controlador Lógico Programável e Sistema de Supervisão. O entendimento desses conceitos substanciará a base para o leitor deste trabalho compreender as definições, os termos, os conceitos e componentes utilizados nesta dissertação.

O capítulo 3 apresenta o desenvolvimento do trabalho no qual encontra-se descrita a arquitetura da proposta conceitual de sistema para gerenciamento de cargas elétricas aeronáuticas, o protótipo desenvolvido para tornar válida a mencionada arquitetura e os resultados obtidos nos ensaios com esse protótipo.

No capítulo 4 serão descritas as conclusões mais significativas com relação a este trabalho.

## **CAPÍTULO 2 - CONCEITOS BÁSICOS**

O objetivo deste capítulo é apresentar os conceitos referentes a Avião, Aeronave Civil Categoria Transporte, Aeronavegabilidade, Órgão Homologador, Certificado de Homologação de Tipo – Aeronave Categoria Transporte, Requisito de Aeronavegabilidade, Requisitos de Aeronavegabilidade Aviões Categoria Transporte, Controlador Lógico Programável e Sistema de Supervisão utilizados na elaboração e desenvolvimento deste trabalho. Esses conceitos foram a base teórica mínima aplicável para o entendimento do conteúdo e das terminologias utilizadas nesta dissertação.

### **2.1 Avião**

Avião significa uma aeronave de asa fixa, mais pesada que o ar, propelida a motor e que é sustentada no ar pela reação dinâmica do ar contra suas superfícies de sustentação que permanecem fixas sob determinadas condições de voo (RBHA01, 2005).

### **2.2 Aeronave Civil Categoria Transporte**

Aeronave significa um dispositivo que é usado ou que se pretenda usar para voar na atmosfera, capaz de transportar pessoas e/ou coisas. Aeronave civil significa uma aeronave que não se enquadra na definição de aeronave militar. Aeronave militar significa uma aeronave operada pelas Forças Armadas. Inclui as aeronaves requisitadas na forma da lei para cumprir missões militares (RBHA01, 2005).

A definição de Aeronave Civil Categoria Transporte é limitada a aeronaves impulsionadas à hélice, multimotores que possuem uma configuração de mais de 19 passageiros, excluindo-se os pilotos e um peso de decolagem certificado maior que 8618 kg (FAR Parte 25 Seção 25.1309, 2004 e Categorias de Aeronaves segundo os RBHA, 2003).

O gráfico da figura 2 ilustra as categorias de aeronaves de asas fixas.

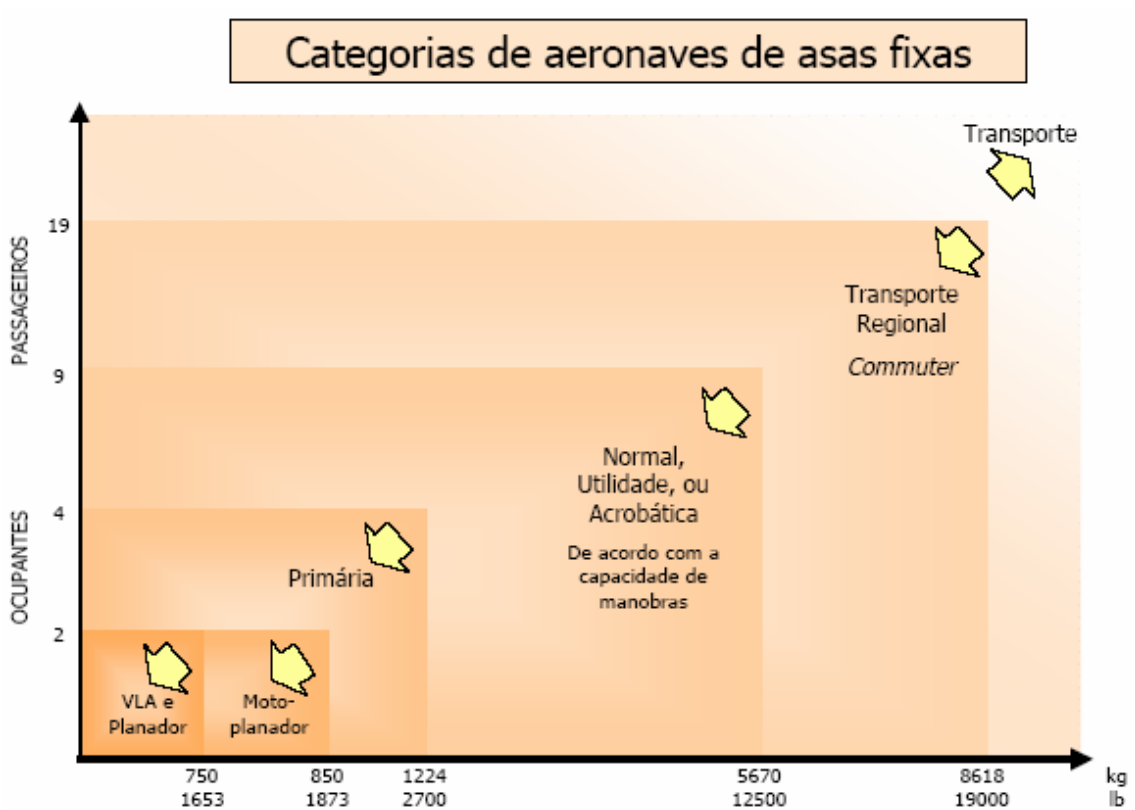


Figura 2 - Categorias de Aeronaves (Categorias de Aeronaves segundo os RBHA, 2003).

## 2.3 Aeronavegabilidade

Aeronavegabilidade é a capacidade de uma aeronave ser aeronavegável. Aeronavegável é a condição em que a aeronave, motor(es), hélice(s), acessórios e componentes em geral se encontram de acordo com o projeto de tipo aprovado e em condições de operação segura e, ainda, estejam em conformidade com todos os requisitos

estabelecidos nos manuais e documentos técnicos aplicáveis, e de acordo com os requisitos dos RBHA e IAC, aplicáveis a cada aeronave, motor(es), hélice(s), acessórios e componentes (IAC 091-1003 A, 2005).

## **2.4 Órgão Homologador**

É a autoridade competente para:

- a) no caso de empresa, certificar que a mesma tem capacidade para executar os serviços e operações a que se propõe, de acordo com os requisitos estabelecidos pela mesma autoridade;
- ou
- b) no caso de produto aeronáutico, certificar que o mesmo está em conformidade com os requisitos estabelecidos pela mesma autoridade (RBHA 01, 2005).

## **2.5 Certificado de Homologação de Tipo – Aeronave Categoria Transporte**

Um requerente faz jus a um certificado de homologação de tipo para uma aeronave se ele demonstrar concordância com os requisitos aplicáveis e estabelecidos pelos RBHA e se demonstrar que a aeronave não apresenta nenhum aspecto ou característica insegura quando operada dentro das limitações estabelecidas para o uso pretendido e se a aeronave:

- a) satisfizer aos requisitos de aeronavegabilidade de uma determinada categoria, exceto aqueles considerados pelo Centro Técnico Aeroespacial (CTA) não apropriados aos propósitos especiais para os quais a aeronave será usada; ou

b) for de um tipo fabricado de acordo com requisitos ou especificações militares, com aceitação de uma das Forças Armadas do Brasil e houver sido posteriormente modificado para um propósito especial. (RBHA 21, 2005)

## **2.6 Requisito de Aeronavegabilidade**

Requisito de aeronavegabilidade significa uma exigência governamental relativa ao projeto, materiais, processos de construção e fabricação, desempenho, qualidades de vôo, sistemas e equipamentos de uma aeronave e seus componentes, visando garantir a segurança da operação. (RBHA01, 2005)

## **2.7 Requisitos de Aeronavegabilidade Aviões Categoria Transporte**

O funcionamento de equipamentos, sistemas e instalações devem ser projetados para assegurar que eles executem suas pretendidas funções sob qualquer condição de operação previsível. Os sistemas das aeronaves e componentes associados, considerados separadamente e em relação a outros sistemas, devem ser projetados para que:

- a) A ocorrência de qualquer condição de falha a qual impediria a continuidade de vôo e pouso seguro da aeronave seja extremamente improvável.
- b) A ocorrência de qualquer outra condição de falha a qual reduziria a capacidade do avião ou a habilidade da tripulação de enfrentar as condições adversas de operação seja improvável.

c) As fontes de energia e o sistema devem ser capazes de suprir as seguintes cargas em prováveis combinações de operações e por prováveis durações:

- Cargas essenciais depois da falha de:
  - Qualquer motor em aeronaves de dois motores;
  - Quaisquer dois motores em aeronaves de três ou mais motores (FAR Parte 25 Seção 25.1309, 2004).

## 2.8 Controlador Lógico Programável

Os Controladores Lógicos Programáveis foram desenvolvidos no final dos anos 60 com a finalidade de substituir painéis de relés em controles baseados em lógicas de combinação e seqüência, em linhas de montagem nas indústrias de manufatura, principalmente automobilística, sendo progressivamente adotados pelas indústrias de processos. O critério do projeto para o primeiro controlador foi especificado em 1968 por uma divisão da *General Motors Corporation*. O objetivo inicial era eliminar o alto custo associado com os sistemas controlados a relés. As especificações iniciais requeriam um sistema de estado sólido com a flexibilidade do computador, capaz de suportar o ambiente industrial, ser facilmente programado e re-programado e de manutenção fácil e por último facilmente expansível e utilizável (ATOS, 2001).

Já os painéis de controle a relés necessitavam modificações na fiação, o que muitas vezes era inviável, tornando-se mais barato simplesmente substituir todo painel por um novo. Portanto, os Controladores Lógicos Programáveis permitiram transferir as modificações de *hardware* para modificações no *software*. Pelo fato de substituírem os painéis de relés no controle discreto foram chamados de Controladores Lógicos Programáveis (CLP).

Controladores programáveis são equipamentos eletrônicos normalmente baseados em microprocessadores, que usam uma memória programável para armazenamento de instruções com funções de: lógica, seqüenciamento, temporização, contagem, controle, intertravamentos, operações aritméticas etc, destinados a comandar e monitorar máquinas ou processos por meio de módulos de entradas e saídas analógicos ou digitais. Um controlador programável difere de equipamentos convencionais para controles industriais pela programabilidade e pelo modo seqüencial de execução das instruções. O *software* desenvolvido pelo fabricante, também caracteriza uma diferença fundamental. Este *software* realiza funções de acesso ao *hardware*, diagnósticos, comunicações, históricos e determina o funcionamento do controlador em um modo de operação dedicado (ciclo de varredura) e totalmente transparente para o usuário. A segunda distinção é que os Controladores Lógicos Programáveis foram especificamente projetados para operar em ambientes industriais. Um CLP pode operar em áreas com quantidades substanciais de ruídos elétricos, interferências eletromagnéticas, vibrações mecânicas, temperaturas elevadas e condições de umidade adversas, conforme especificação de cada fabricante (ATOS, 2001). A arquitetura básica de um CLP é mostrada na figura 3.

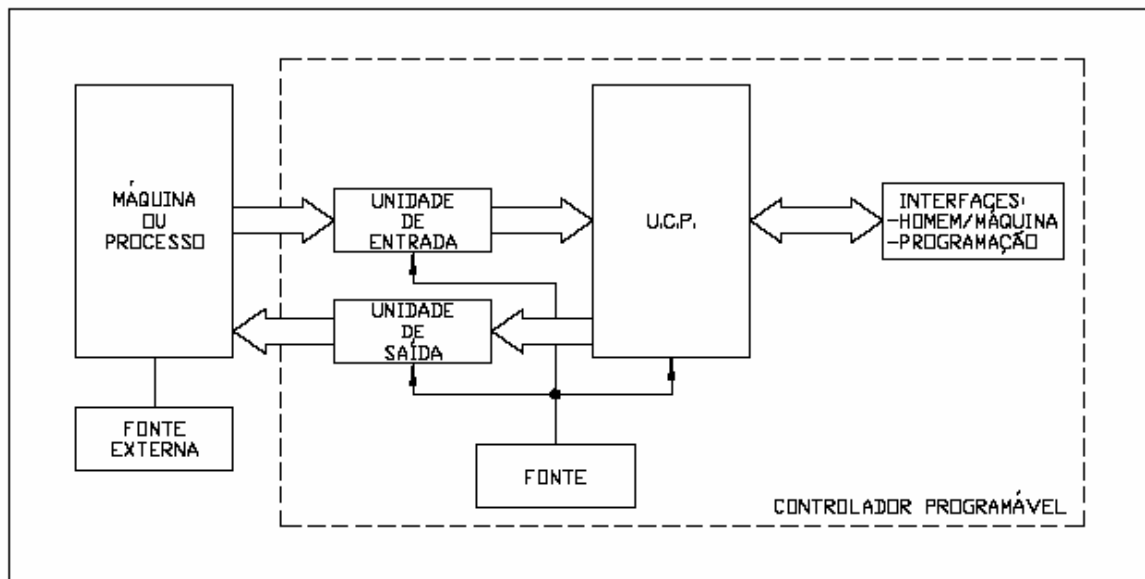


Figura 3 - Arquitetura básica de um CLP.

As unidades de entrada fornecem as conexões entre os dispositivos de campo e a unidade central de processamento. Estas interfaces podem ter um ou mais canais de aquisição de dados que codificam sinais analógicos ou digitais de entrada de diversos níveis de tensão (alternada ou contínua), provenientes de sensores analógicos, botões e de outros tipos de transdutores, cujos sinais sejam tensões ou correntes. Os sinais de entrada são isolados do sistema de processamento através de acopladores ópticos, compatibilizando estes sinais com o sistema. As unidades de saída fornecem as conexões entre os dispositivos de campo e a unidade central de processamento. Estas interfaces podem ter um ou mais canais fornecendo sinais digitais ou analógicos devidamente amplificados para energizar os elementos de operação e sinalização de atuadores diversos (ATOS, 2001). A unidade de processamento é a responsável pelo gerenciamento e processamento das informações do sistema e é composta pelo microprocessador ou microcontrolador, memória de programa básico, memória de dados, memória de programa de usuário, interface de programação e interface homem-máquina.



O módulo de processamento monitora os sinais de entrada do controlador programável e os combina de acordo com as instruções existentes na memória de programa de usuário, executando operações lógicas, operações de temporização, contagem e seqüenciamento para em seguida liberar os sinais apropriados para as saídas e assim comandar os dispositivos de controle.

Basicamente o princípio de funcionamento do CLP pode ser descrito a partir do momento em que energizamos o controlador programável. A partir desse acionamento as seguintes operações são executadas: Teste de escrita e leitura da memória RAM<sup>3</sup>; limpeza das memórias imagens de entrada e saída; teste de execução do programa de usuário; execução de rotinas de iniciação (limpeza de registros auxiliares de trabalho, limpeza de *display*, preparação de teclado). Após estas condições de iniciação a UCP (unidade central de processamento) passa a fazer uma varredura constante, ou seja, rotinas repetitivas em um ciclo fechado. Essa seqüência de atividades definidas e controladas pelo programa ocorre em um ciclo, chamado de Varredura, em idioma inglês *Scan*, conforme descrito a seguir: A primeira etapa da varredura é verificar os dados das entradas, transferindo-os para uma memória imagem. Memória imagem é um espelho do estado das entradas e saídas, esta memória será consultada pelo CLP no decorrer do processamento do programa de usuário. Ela recebe em cada endereço correspondente a uma entrada o seu estado ligado ou desligado no caso de entradas digitais, ou um valor numérico no caso de entradas analógicas. Uma vez gravados os dados das entradas na respectiva memória imagem, inicia-se a execução do programa de acordo com as instruções definidas pelo usuário. Durante o processamento do programa, o CLP armazena os dados na memória imagem das saídas. Por fim o CLP transfere esses dados para as saídas físicas, desta forma o ciclo termina e a varredura é re-iniciada (ATOS, 2001). A figura 4 ilustra o processamento cíclico do CLP.

---

<sup>3</sup> *Random Access Memory* (RAM), em português memória de acesso aleatório. Essa memória mantém os dados armazenados enquanto houver energia elétrica no sistema e permite acesso a qualquer endereço independentemente da ordem do mesmo.

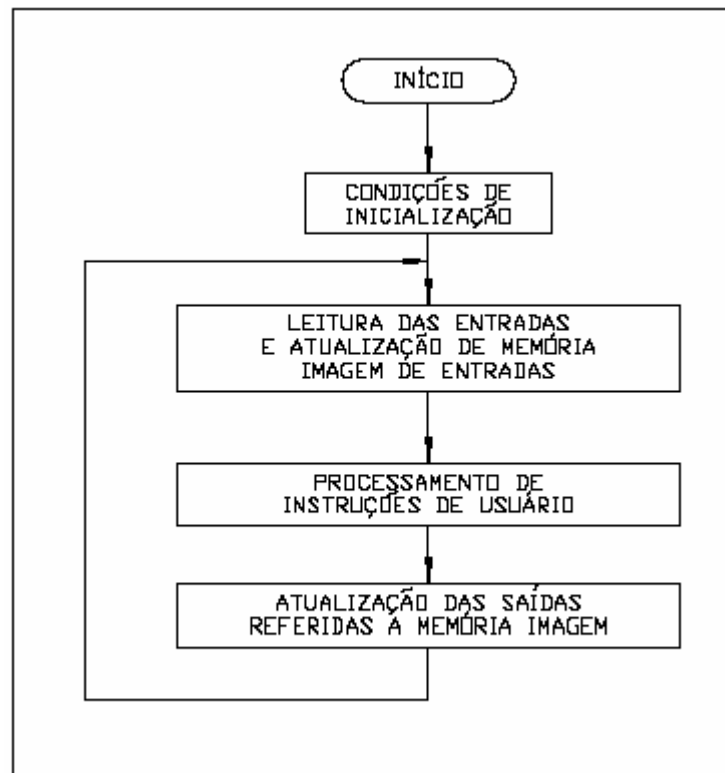


Figura 4 - Fluxograma do processamento cíclico de um CLP.

As linguagens de programação constituem-se em um conjunto de símbolos, comandos, blocos etc. O IEC (*International Electrotechnical Committee*) é responsável pela padronização das linguagens de programação para fabricantes europeus. Existem cinco tipos básicos de linguagem que normalmente são encontradas em controladores programáveis e são padronizadas pela norma IEC 61131-3: Linguagens Textuais, Texto Estruturado (*Structured Text – ST*), Lista de Instruções (*Instruction List – IL*), Linguagens Gráficas, Diagrama *Ladder*<sup>4</sup> (*Ladder Diagram – LD*) e Diagrama de Blocos Funcionais (*Function Block Diagram – FBD*) (ATOS, 2001). A linguagem *Ladder* é uma representação gráfica da linguagem de programação do CLP. Também conhecida como lógica de diagrama de contatos, a linguagem *Ladder* é o sistema de representação que mais se assemelha a tradicional notação de diagramas elétricos.

<sup>4</sup> *Ladder*, palavra em inglês que traduzida para o português tem o significado de escada.

## 2.9 Sistema de Supervisão

Objetivando facilitar a supervisão e o comando de pontos importantes de uma planta automatizada, viabilizando desta forma o trabalho da equipe de operação, surgiu a necessidade de se criar uma interface adequada, no âmbito de eficiência e ergonomia, a qual é designada no mercado por Sistema Supervisório (MORAES e CASTRUCCI, 2001).

Os dados de um processo produtivo ou instalação física podem ser monitorados e rastreados por meio do Sistema Supervisório. Essas informações são coletadas por meio de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipuladas, analisadas, armazenadas e posteriormente apresentadas ao usuário. Os sistemas com essas características podem também ser referenciados por SCADA (*Supervisory, Control and Data Acquisition*, em português Supervisão, Controle e Aquisição de Dados) que são sistemas empregados na supervisão de processos industriais.

Utilizando-se a tecnologia baseada em computadores e comunicações, relacionadas com os sistemas de automação industrial, é possível efetuar a coleta de dados em ambientes complexos, eventualmente dispersos fisicamente, e a respectiva apresentação adequada ao operador.

Para o monitoramento remoto dos dados adequados e formatados nos padrões determinados pelo operador e com o controle facilitado, os sistemas SCADA utilizam *Tags*<sup>5</sup>, que estão principalmente relacionadas com operações matemáticas, lógicas, com vetores e *strings*<sup>6</sup> ou podem representar pontos de entrada e saída de dados do processo que está sendo supervisionado (PAULA e SALVADOR, 2005).

O sistema SCADA contempla a conexão de CLP's remotos que utilizam como via de comunicação uma rede que pode ser implementada principalmente por meio de cabos no

---

<sup>5</sup> *Tag*, em português etiquetas, indicam variáveis analógicas ou digitais relativas ao processo de supervisão.

<sup>6</sup> *String*, em português cadeia ou seqüência, refere-se a quaisquer séries de caracteres alfanuméricos ou palavras consecutivas que são manipuladas e tratadas como uma unidade pelo computador.

padrão *Ethernet*<sup>7</sup>, fibras ópticas, linhas dedicadas, rádio frequência e modems<sup>8</sup> dependendo dos requisitos do sistema e das distâncias envolvidas. A metodologia realizada, por meio de um protocolo em comum, na comunicação com os equipamentos de campo, pode ser de domínio público ou de acesso restrito. Já a comunicação com outras estações SCADA pode ocorrer por meio de protocolo desenvolvido pelo próprio fabricante do sistema SCADA, ou por protocolo conhecido via rede *Ethernet TCP/IP*<sup>9</sup>, linhas privadas ou discadas.

A aquisição dos dados gerados pelas estações remotas e a ação em conformidade com os eventos detectados é função das estações de monitoração central que são as principais unidades dos sistemas SCADA, permitindo informar anomalias, sugerir medidas a serem tomadas ou reagir automaticamente. As estações de monitoração central podem ser implementadas num único computador ou distribuídas por uma rede de computadores, permitindo assim o compartilhamento das informações coletadas (PAULA e SALVADOR, 2005).

Os sistemas SCADA são atualmente utilizados em inúmeras aplicações dentro de uma infinidade de segmentos de mercado. Isso mostra que a capacidade do sistema SCADA aliada a sua confiabilidade, adaptabilidade e flexibilidade, dentro de vários processos automatizados, é viável e promove significativa contribuição para melhorar a supervisão e o controle de processos.

---

<sup>7</sup> *Ethernet*, forma de rede de área local onde o dado é transmitido em pacotes de comprimento variável e cada dispositivo de rede seleciona somente o pacote enviado para ele.

<sup>8</sup> Modem, MODULADOR/DEMULADOR dispositivo que permite que dados sejam enviados via telefone através da conversão de sinais binários de um computador em sinais analógicos de som que podem ser transmitidos via uma linha telefônica.

<sup>9</sup> *TCP/IP, Transmission Control Protocol / Internet Protocol*, em português Protocolo de Controle de Transmissão / Protocolo Internet.

## **CAPÍTULO 3 - DESENVOLVIMENTO**

Este capítulo apresenta a arquitetura da Proposta Conceitual de Sistema para Gerenciamento de Cargas Elétricas Aeronáuticas, que de agora em diante poderá ser referenciada neste trabalho pela abreviatura PCSGCEA, aplicada à aeronaves do tipo civil, bimotor, de asa fixa, categoria transporte, o protótipo desenvolvido e dedicado para validação sistêmica da referida arquitetura e os resultados obtidos nos ensaios executados com esse protótipo.

### **3.1 Arquitetura Proposta**

Os principais componentes presentes no protótipo para validação da arquitetura da PCSGCEA são apresentados na figura 5. Essa arquitetura contempla parte do sistema ou subsistema elétrico de uma aeronave civil e o sistema para gerenciamento de cargas elétricas aeronáuticas (RBHA01, 2005; FAR Parte 25, 2004 e Categorias de Aeronaves segundo os RBHA, 2003). A inserção dessa arquitetura, dedicada a essa proposta, dentro de parte da arquitetura típica do tipo de aeronave acima referenciada fez-se necessária para ilustrar uma aplicação específica sugerida neste trabalho (737 Detailed Technical Data, 2006). Essa aplicação é voltada para o gerenciamento das cargas, que operam em corrente alternada, não essenciais à aeronavegabilidade desse tipo de aeronave, mediante a leitura do consumo de corrente das cargas essenciais à aeronavegabilidade da mesma. Por meio da PCSGCEA é permitido o restabelecimento de algumas funções da aeronave acima considerada, degradadas durante falha em um dos geradores principais da mesma em vôo.

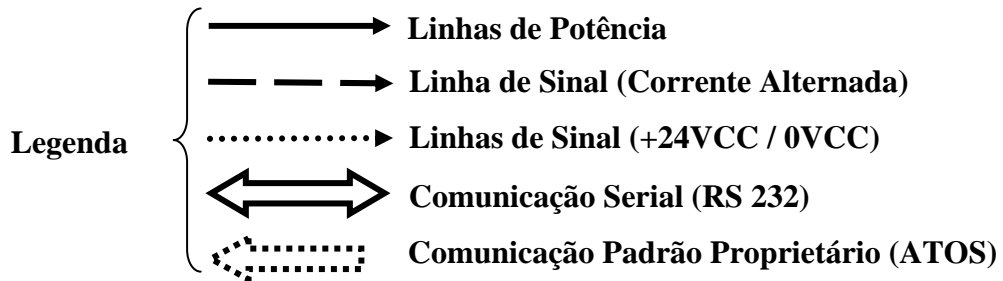
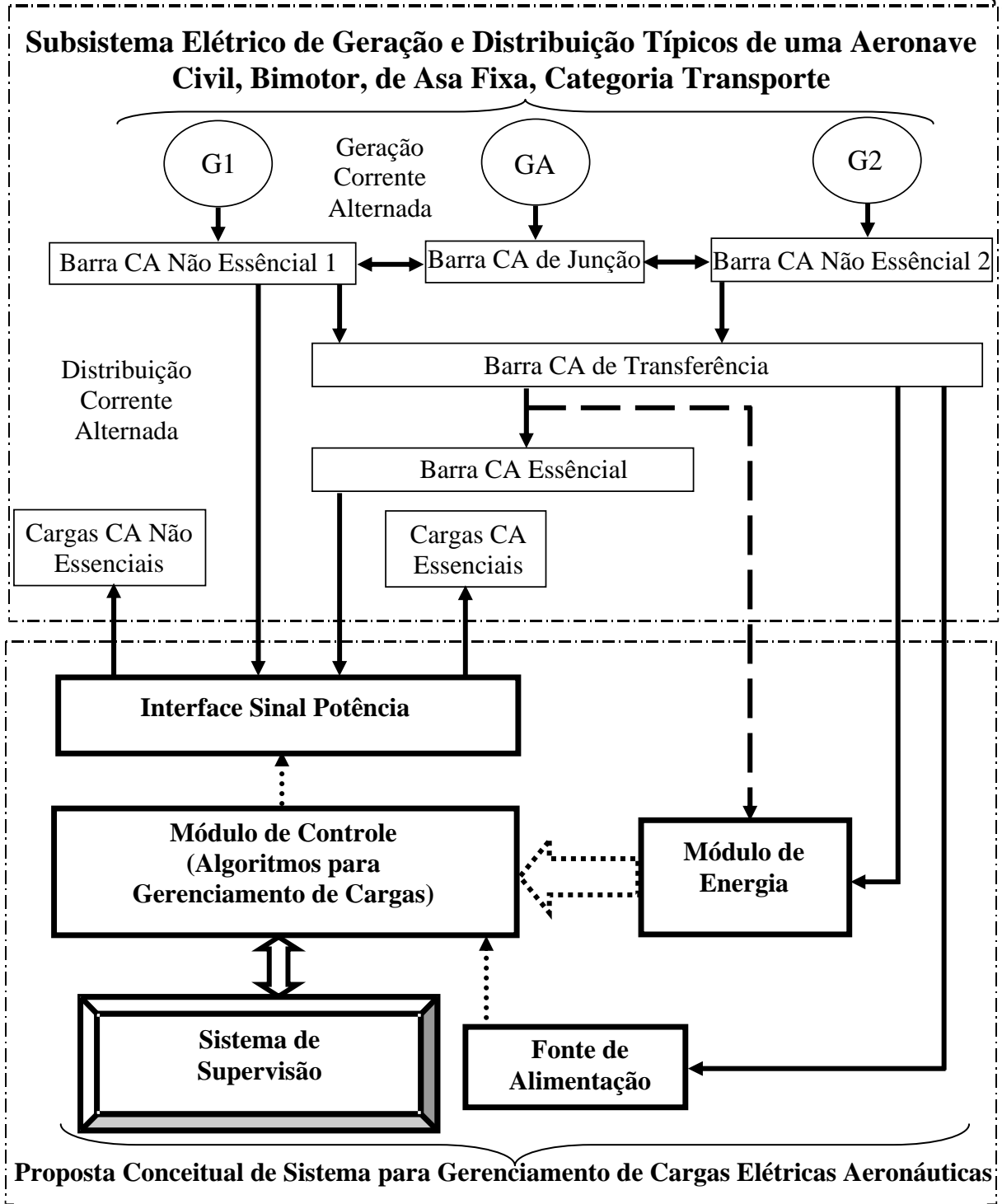


Figura 5 - Arquitetura básica da PCSGCEA.

A seguir serão descritas as sínteses de operação de cada um dos principais segmentos do sistema ilustrado na figura 5:

### **3.1.1 Subsistema Elétrico de Geração e Distribuição**

O Subsistema Elétrico de Geração e Distribuição típicos de uma aeronave civil, bimotor, de asa fixa, categoria transporte, indicado na figura 5, é basicamente o conjunto dos dispositivos que compõem a geração e distribuição de energia elétrica e suas respectivas lógicas, proteções, cablagens e conexões projetados e desenvolvidos para atender todas as cargas elétricas essenciais e não essenciais ao cumprimento dos requisitos de aeronavegabilidade dos aviões categoria transporte (RBHA01, 2005; FAR Parte 25 Seção 25.1309, 2004 e Categorias de Aeronaves segundo os RBHA, 2003).

### **3.1.2 Geração Corrente Alternada**

A Geração Corrente Alternada apresentada na figura 5 é fundamentalmente o conjunto de geradores principais, gerador auxiliar, contadores de linha e sistemas de proteção e controle desses geradores, com capacidade para suprir a potência em corrente alternada instalada e demandada do tipo de aeronave acima indicada. Tipicamente apenas um dos geradores presentes na arquitetura desse tipo de aeronave é capaz de suprir toda a potência demandada da mesma, após alívio de cargas não essenciais para atendimento dos requisitos de aeronavegabilidade e ainda disponibilizar um excedente de energia para o sistema elétrico, dependendo do perfil de vôo da aeronave (737 Detailed Technical Data, 2006; FAR Parte 25 Seção 25.1309, 2004 e Categorias de Aeronaves segundo os RBHA, 2003).

### **3.1.3 Distribuição Corrente Alternada**

A Distribuição Corrente Alternada mostrada na figura 5 é um bloco destinado à alimentação, distribuição e proteção elétrica das cargas essenciais e não essenciais, que operam em corrente alternada, para atendimento dos requisitos de aeronavegabilidade da aeronave considerada anteriormente. Como exemplos dessas cargas podem-se citar alguns sistemas tais como: Ar Condicionado, Aviônico, Hidráulico, Comandos de Vôo, Trem de Pouso, Propulsão, Elétrico, Iluminação, Interiores e Auxiliar de Energia (737 Detailed Technical Data, 2006; FAR Parte 25, 2004 e Categorias de Aeronaves segundo os RBHA, 2003).

### **3.1.4 Proposta Conceitual de Sistema para Gerenciamento de Cargas Elétricas Aeronáuticas**

A Proposta Conceitual de Sistema para Gerenciamento de Cargas Elétricas Aeronáuticas indicada na figura 5 possui a função de monitorar o consumo de corrente das cargas essenciais, que operam em corrente alternada, à aeronavegabilidade de uma aeronave civil, bimotor, de asa fixa, categoria transporte, típica e mediante esse monitoramento permitir o restabelecimento de algumas cargas não essenciais, que operam em corrente alternada, desativadas a partir do momento em que um dos geradores principais dessa aeronave sofre algum tipo de dano irreversível durante vôo. Esse comportamento de tornar inativas cargas não essenciais ao atendimento dos requisitos de aeronavegabilidade do avião acima descrito é uma das funções tipicamente incorporadas à lógica do sistema elétrico dessas aeronaves (737 Detailed Technical Data, 2006; FAR Parte 25 Seção 25.1309, 2004 e Categorias de Aeronaves segundo os RBHA, 2003).



A seguir serão descritas as funções básicas dos sub-módulos contidos na PCSGCEA:

### **3.1.5 Módulo de Energia**

O Módulo de Energia, apresentado na figura 5, destina-se a efetuar leituras analógicas do consumo de corrente alternada das cargas essenciais conectadas a Barra CA Essencial, entregando em forma de sinal digital os dados necessários para que o Módulo de Controle possa processar seus algoritmos e a partir dos mesmos gerenciar a ativação e desativação das cargas não essenciais à aeronavegabilidade do tipo de aeronave destacada neste trabalho, conectadas na Barra CA Não Essencial “1”.

### **3.1.6 Módulo de Controle**

O Módulo de Controle (Algoritmos para Gerenciamento de Cargas), presente na figura 5, tem a função de ler os sinais elétricos digitais fornecidos pelo Módulo de Energia e processá-los conforme os algoritmos de controle previsto para operação do gerenciador de cargas elétricas aeronáuticas. Esses algoritmos visam atender à aeronave em foco neste trabalho, quando a mesma estiver com um dos seus geradores principais falhados durante vôo. O Módulo de Controle processa suas instruções (algoritmos) e envia sinais por meio de suas saídas digitais para um sub-módulo de interface denominado de Interface Sinal Potência.

Essa interface de sinal para chaveamento de potência permitirá o acionamento ordenado das cargas não essenciais, que operam em corrente alternada, conforme a disponibilidade de energia elétrica no barramento essencial do avião. A função desse Módulo de Controle pode ser executada por um Controlador Lógico Programável (CLP), e dessa forma foi utilizado nesta proposta, pois esse controlador lógico é dotado de capacidade para

processar os sinais digitais oriundos do Módulo de Energia e também possui saídas digitais necessárias para o interfaceamento com as cargas não essenciais do avião anteriormente proposto. Esse controlador lógico abriga o programa de controle destinado ao gerenciamento das cargas não essenciais à aeronavegabilidade do avião e também é dotado de um canal serial de comunicação para troca de informações com o Sistema de Supervisão.

### **3.1.7 Interface Sinal Potência**

A Interface Sinal Potência, exibida na figura 5, é o conjunto de acopladores a relé que possui a função básica de permitir o acionamento e corte dos circuitos de potência das cargas essenciais e não essenciais à aeronavegabilidade do tipo de aeronave referenciada neste trabalho, que operam em corrente alternada, mediante aos estímulos dos sinais oriundos das saídas do Módulo de Controle.

### **3.1.8 Cargas CA Essenciais**

As Cargas CA Essenciais, indicadas na figura 5, tratam-se do conjunto de equipamentos e sistemas, com alimentação em corrente alternada, que exercem determinadas funções de controle, de lógicas e de acionamentos para garantir o atendimento dos requisitos de aeronavegabilidade de aviões categoria transporte durante as diversas fases de voo previstas para esse tipo de aeronave e também em solo, inclusive durante a ocorrência de vários modos de falha previstos nos quais inclui-se também a falta irreversível de um dos geradores principais do sistema elétrico primário durante voo. Todos os equipamentos e sistemas essenciais estão integrados dentro da aeronave e essa integração é o que permite à tripulação possuir controle sobre a aeronavegabilidade da mesma (RBHA01, 2005; FAR Parte

25 Seção 25.1309, 2004; Categorias de Aeronaves segundo os RBHA, 2003 e 737 Detailed Technical Data, 2006).

### **3.1.9 Cargas CA Não Essenciais**

As Cargas CA Não Essenciais, apresentadas na figura 5, fazem parte do conjunto de equipamentos e sistemas, com alimentação em corrente alternada, não essenciais para garantir o atendimento dos requisitos de aeronavegabilidade de aviões categoria transporte, porém a desativação parcial ou total das mesmas pode, potencialmente, causar uma série de inconvenientes para os passageiros e tripulação. Esses inconvenientes variam muito de aeronave para aeronave e podem ir desde o desligamento de aquecedores de água e fornos até ventiladores recirculadores de ar e assim podem acarretar desconforto aos passageiros e tripulação por várias horas de vôo dependendo do momento no qual essas cargas foram desligadas (RBHA01, 2005; FAR Parte 25 Seção 25.1309, 2004; Categorias de Aeronaves segundo os RBHA, 2003 e 737 Detailed Technical Data, 2006).

### **3.1.10 Fonte de Alimentação**

A Fonte de Alimentação, destacada na figura 5, é o módulo responsável por suprir energia em corrente contínua destinada à operação do Módulo de Energia e das entradas e saídas do Módulo de Controle e sua alimentação provém da Barra CA de Transferência.

### **3.1.11 Sistema de Supervisão**

O Sistema de Supervisão, indicado na figura 5, é um sub-módulo destinado a efetuar simulações no protótipo, por meio de comunicação serial, com o Módulo de Controle e assim permitir a ativação e desativação das cargas essenciais e não essenciais, que operam em corrente alternada, pertencentes ao subsistema elétrico de geração e distribuição de uma aeronave civil. Esse subsistema de geração possui dois geradores principais e um auxiliar. O Sistema de Supervisão permite a visualização e configuração das operações em modo normal e de falha em um dos geradores principais e a monitoração do comportamento de um sistema elétrico convencional e do gerenciado (PCSGCEA) para o tipo de aeronave anteriormente citada. Como esse Sistema de Supervisão possui opções de operação em modo convencional e gerenciado de algumas funções de interesse neste trabalho para o sistema elétrico de uma aeronave civil, então é possível observar as diferenças entre ambos modos de operação. Por meio do Sistema de Supervisão é possível efetuar mudanças no perfil de vôo da aeronave por meio de atuação direta na operação e corte das cargas essenciais. Dessa maneira à comparação entre a resposta do que normalmente ocorre em uma aeronave e o resultado que a PCSGCEA oferece fica evidenciada de maneira clara.

## **3.2 Protótipo**

Uma vista geral da primeira versão do protótipo elaborado para representar a Proposta Conceitual de Sistema para Gerenciamento de Cargas Elétricas Aeronáuticas, que operam em corrente alternada, é apresentada na figura 6. Nesse protótipo foram realizados ensaios para validar a arquitetura da proposta conceitual para gerenciamento de cargas dentro do

subsistema elétrico de uma aeronave civil. Por meio do sistema de supervisão contido no protótipo é possível simular operações e monitorar o comportamento das cargas essenciais e não essenciais à aeronavegabilidade do tipo de aeronave anteriormente descrita no modo convencional, normalmente encontrado nesse tipo de avião, e no modo gerenciado objeto desta proposta. O protótipo também permite efetuar simulações de falha na geração primária do sistema elétrico da aeronave em questão para os modos de operação convencional e gerenciado.



Figura 6 - Vista do Protótipo da PCSGCEA.

Esse protótipo foi desenvolvido para efetuar leitura de corrente alternada do barramento de cargas essenciais à aeronavegabilidade de uma aeronave conforme descrição anterior. Com base no monitoramento dessa leitura de corrente os algoritmos de controle do protótipo, instalados por programação no Módulo de Controle, efetuam o gerenciamento de operação das cargas não essenciais dessa aeronave. Esse gerenciamento é feito visando utilizar a energia disponível do barramento de cargas essenciais para suprir as cargas não essenciais do sistema sempre que possível.

A figura 7 mostra os principais blocos previstos para a primeira versão do protótipo dedicado para esta proposta.

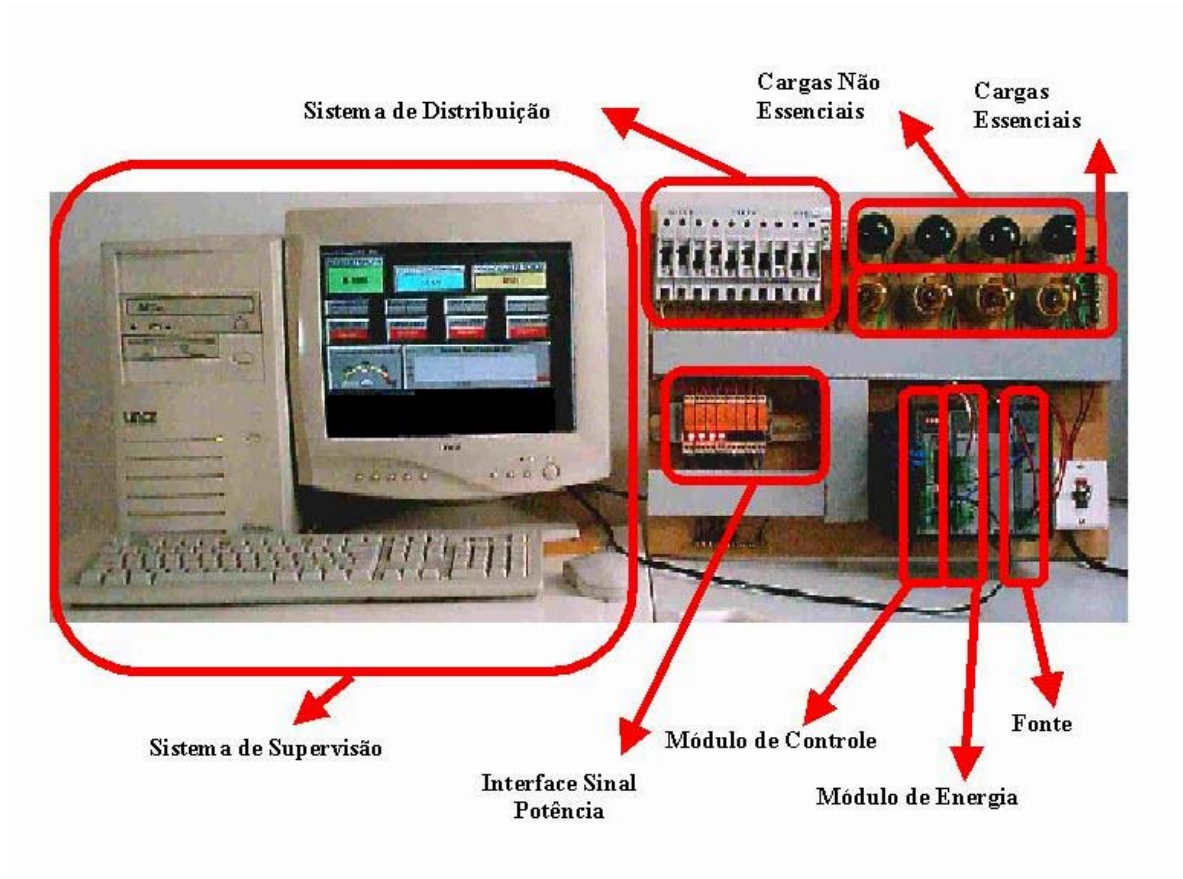


Figura 7 - Principais Blocos da 1ª Versão do Protótipo.

### **3.2.1 Diagrama de Ligações**

O diagrama de ligações utilizado na primeira versão do protótipo elaborado para representar a PCSGCEA é apresentado na figura 8. Os componentes desse diagrama e os principais blocos do mesmo são apresentados nos subitens a seguir. As linhas mais claras com coloração azul no diagrama de ligações referem-se à parcela da arquitetura típica do sistema elétrico da aeronave considerada neste trabalho, a qual possui dois geradores principais onde cada um desses está acoplado a cada um dos motores do avião e também um gerador auxiliar. Já as linhas escuras com coloração preta referem-se aos componentes pertencentes ao protótipo desta proposta.

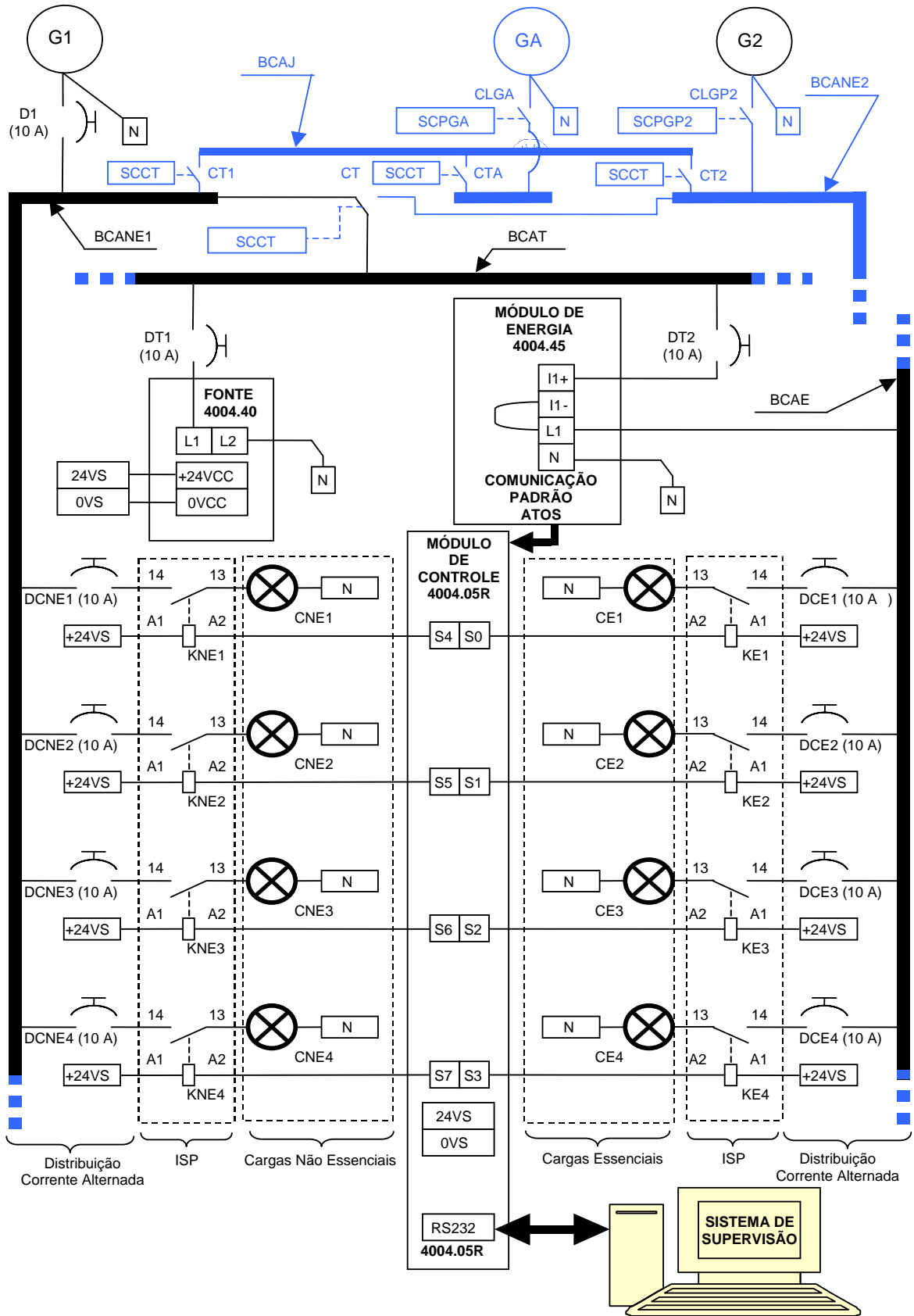


Figura 8 - Diagrama de Ligações do Protótipo.



### **3.2.2 Descrição dos Principais Blocos do Protótipo**

A seguir serão descritos os detalhes de projeto, desenvolvimento e operação de cada um dos principais blocos que integram a primeira versão do protótipo da Proposta Conceitual de Sistema para Gerenciamento de Cargas Elétricas Aeronáuticas, referenciados na figura 8.

#### **3.2.2.1 Gerador Principal G1**

O gerador G1 é um dos geradores principais indicados na figura 8, com operação em corrente alternada, sugerido e adotado para os ensaios desta proposta. Esse gerador (G1) estará sempre em operação normal, portanto durante os ensaios ele será considerado como gerador remanescente no caso de falha do gerador “2” (G2). Para representar o G1 neste trabalho, adotou-se como fonte de geração de energia em corrente alternada um alimentador oriundo de uma rede convencional monofásica da concessionária de energia, que opera em 127 VCA, tensão entre fase e neutro na frequência de 60 Hz. Esse tipo de fonte de energia utilizada foi adotado visando principalmente maior flexibilidade para operação do protótipo, já que o gerador elétrico convencional de uma aeronave civil bimotor de asa fixa categoria transporte típica normalmente opera em 115 VCA, tensão entre fase e neutro e 200 VCA, tensão entre fase e fase na frequência de 400 Hz. O fato da adoção de uma rede convencional de energia não interfere na validação do conceito da proposta do gerenciador de cargas elétricas aeronáuticas. A utilização dessa proposta conceitual para gerenciamento de cargas elétricas aeronáuticas seria possível com os parâmetros elétricos (tensão, frequência) reais de uma aeronave civil mediante ajustes no sistema.

A proteção geral contra sobrecargas do protótipo é realizada por meio do disjuntor D1 indicado na figura 8 e sua corrente nominal é de 10 A. O disjuntor D1 está conectado ao

gerador principal G1. Também por meio da energia oriunda de G1 é possível alimentar o barramento BCANE1, referenciado na figura 8, que é a barra em corrente alternada não essencial “1”, responsável pela alimentação elétrica das cargas não essenciais à aeronavegabilidade da aeronave indicada anteriormente, representadas na montagem pelos índices CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4 mostrados na figura 8.

### **3.2.2.2 Gerador Auxiliar GA**

A função do Gerador Auxiliar GA é de prover energia elétrica, em corrente alternada, para alimentação de sistemas de uma aeronave civil quando a mesma encontra-se em solo, durante decolagens e pousos e também para suprir energia quando a mesma sofre perda de um dos seus geradores principais durante vôo. Na elaboração do protótipo o gerador auxiliar GA não está presente, pois alguns Órgãos Homologadores toleram em algumas condições específicas a operação das aeronaves acima indicadas com o gerador auxiliar inoperante antes do vôo. Outro motivo pelo qual o gerador auxiliar não foi considerado no protótipo é que normalmente para seu acionamento, a partir do momento em que um dos geradores principais do avião sofre problemas operacionais irreversíveis durante vôo, é necessário mudanças no perfil de vôo da aeronave já mencionada e essas mudanças podem demandar intervalos relativamente longos de tempo. Desta maneira temos a condição de falha considerada nesta proposta que é a aeronave sendo suprida por uma única fonte de energia principal, operando em corrente alternada e esse é o cenário para atuação do sistema de gerenciamento desta proposta. Uma vantagem da aplicação deste sistema para gerenciamento de cargas elétricas é que com a utilização do mesmo é possível poupar o uso do Gerador Auxiliar até o momento adequado para parti-lo não necessitando mudanças imediatas no perfil de vôo da aeronave anteriormente descrita quando as condições não estiverem favoráveis.

### **3.2.2.3 Comando SCPGA**

O comando SCPGA, indicado na figura 8, é o Sistema de Controle e Proteção do Gerador Auxiliar presente normalmente na lógica do sistema elétrico convencional de uma aeronave civil típica. Esse comando atua com o objetivo de proteger o gerador auxiliar contra vários tipos de sobrecargas e anomalias na saída do mesmo e considerando níveis adequados de energia prover alimentação elétrica para aeronave anteriormente referenciada.

### **3.2.2.4 Gerador Principal G2**

O gerador G2, mostrado na figura 8, é um dos geradores principais de uma aeronave civil típica e sua função é prover energia elétrica em corrente alternada para o sistema elétrico desse tipo de avião em todas as fases de vôo e também quando o mesmo encontra-se em solo. Nesta proposta a finalidade do gerador principal “2” (G2) é alimentar o barramento BCANE2, que é o Barramento em Corrente Alternada Não Essencial “2”, o qual atende várias cargas não essenciais à aeronavegabilidade do avião referenciado neste trabalho. Na elaboração do protótipo o gerador principal G2 está presente e a condição de falha ou operação normal do mesmo é simulada por meio de atuação direta no sistema de supervisão. A condição de falha em um dos geradores principais é considerada nesta proposta sempre em relação ao gerador principal “2” (G2), pois para representar os ensaios bem como seus resultados, basta somente a atuação de uma única fonte de corrente alternada como principal.

### 3.2.2.5 Comando SCPGP2

O comando SCPGP2 indicado na figura 8 é o Sistema de Controle e Proteção do Gerador Principal “2” (G2) presente tipicamente na lógica do sistema elétrico de uma aeronave civil. Esse comando atua com o objetivo de proteger o gerador (G2) contra vários tipos de sobrecargas e anomalias na saída do mesmo e considerando níveis adequados de energia prover alimentação elétrica para o barramento BCANE2. O BCANE2 é o Barramento em Corrente Alternada Não Essencial “2”, responsável pela alimentação elétrica das cargas não essenciais à aeronavegabilidade da aeronave referenciada neste trabalho. Na elaboração deste protótipo o comando SCPGP2 não está presente, pois para a condição de falha considerada nesta proposta basta atuar diretamente na indicação de operação normal ou de falha do gerador principal “2” e assim é possível analisar o cenário que ilustra o funcionamento da Proposta Conceitual de Sistema para Gerenciamento de Cargas Elétricas Aeronáuticas, ou seja, voo com apenas uma única fonte geradora principal suprindo o avião considerado anteriormente.

### 3.2.2.6 Comando SCCT

O comando SCCT, indicado na figura 8, refere-se ao Sistema de Controle dos Contatores de Transferência CT, CT1, CT2 e CTA. Esse comando tipicamente coordena o acionamento dos contatores CT, CT1, CT2 e CTA. Essa coordenação visa garantir que o corte de energia proveniente da falha de um dos geradores principais, G1 ou G2, possa ser suprido pelo gerador auxiliar GA e assim a alimentação das barras não essenciais BCANE1 e BCANE2, mostradas na figura 8, possam ser restabelecidas por meio da energia disponível no

barramento de junção BCAJ. A função do barramento BCAJ é de permitir conexão do gerador auxiliar GA com as demais barras não essenciais (BCANE1 e BCANE2). Outra função do comando SCCT é a de garantir a transferência de energia, por meio do acionamento adequado do contator CT, para o barramento de transferência BCAT, possibilitando assim que as cargas essenciais à aeronavegabilidade do avião sejam alimentadas, no exemplo utilizado neste trabalho, pelo gerador principal “1” (G1). Esse comando normalmente trabalha coordenado com os demais comandos dos geradores do avião (FAR Parte 25 seção 25.1309, 2004 e MIL-E-7016F, 1976).

Na elaboração deste protótipo o comando SCCT não está presente, pois para a condição de falha considerada nesta proposta basta somente a atuação de uma única fonte de energia principal do avião para atender ao cenário em que a Proposta Conceitual de Sistema para Gerenciamento de Cargas Elétricas Aeronáuticas é aplicável, ou seja, voo com uma única fonte de geração principal disponível. Assim sendo no protótipo o barramento não essencial BCANE1 é conectado diretamente ao barramento de transferência BCAT e ambos são mostrados na figura 8.

### **3.2.2.7 Distribuição em Corrente Alternada**

Intitula-se Distribuição em Corrente Alternada, conforme indicado na figura 8, todos os componentes que objetivam fornecer alimentação, distribuição e proteção elétrica para as barras e cargas essenciais e não essenciais, para o Módulo de Energia e para a Fonte deste protótipo. Os disjuntores termomagnéticos utilizados no protótipo para suprir esses dispositivos objetivam proteger os circuitos dos mesmos contra sobrecargas e curto-circuitos e são de fabricação da empresa SIEMENS, modelo 5SX1 110-6, corrente nominal  $I_N = 10 \text{ A}$ , tensão de operação 127 / 220 VCA, capacidade de interrupção certificada conforme NBR IEC

60898 ICS = 5 kA, frequência de operação 50 ou 60 Hz (SIEMENS, 1990 e ATOS 2006). A tabela 1 mostra a relação desses disjuntores termomagnéticos e os respectivos barramentos, módulos e sistemas atendidos pelos mesmos:

TABELA 1 - Relação de disjuntores do protótipo.

DISJUNTOR	CORRENTE NOMINAL (A)	DESCRIÇÃO
D1	10	BCANE1 - Gerador principal 1 (G1)
DT1	10	Fonte 4004.40 – BCAT
DT2	10	Módulo de Energia 4004.45 – BCAT
DCE1	10	Carga Essencial 1 (CE1) – BCAE
DCE2	10	Carga Essencial 2 (CE2) – BCAE
DCE3	10	Carga Essencial 3 (CE3) – BCAE
DCE4	10	Carga Essencial 4 (CE4) – BCAE
DCNE1	10	Carga Não Essencial 1 (CNE1) – BCANE1
DCNE2	10	Carga Não Essencial 2 (CNE2) – BCANE1
DCNE3	10	Carga Não Essencial 3 (CNE3) – BCANE1
DCNE4	10	Carga Não Essencial 4 (CNE4) – BCANE1

### 3.2.2.8 Módulo de Energia

A função deste bloco descrito na figura 8 e denominado de Módulo de Energia é efetuar leituras analógicas relativas ao consumo de corrente, valor  $RMS^{10}$ , das cargas essenciais do protótipo, que operam em corrente alternada CE1, CE2, CE3 e CE4, conectadas ao barramento essencial (BCAE) e convertê-las proporcionalmente em sinais digitais para posterior monitoração e controle desse parâmetro elétrico (corrente na barra BCAE) pelo Módulo de Controle (ATOS, 2001; 737 Detailed Technical Data, 2006 e FAR Parte 25 seção 25.1309, 2004). Neste protótipo a tarefa do Módulo de Energia é executada por meio de um equipamento microprocessado fabricado pela empresa ATOS modelo 4004.45 que converte a

<sup>10</sup> *RMS, Root Mean Square* – em português Valor Médio Quadrático ou Valor Eficaz, relativo ao valor médio quadrático de uma grandeza elétrica.

leitura de corrente analógica da barra BCAE em sinal digital (ATOS, 2001). Esse sinal de corrente digital convertido é disponibilizado em um registro comum tanto ao Módulo de Energia quanto ao CLP MPC4004, utilizado para executar as funções do Módulo de Controle que é detalhado em um subitem dentro desta seção (a capacidade total do módulo de energia é de 16 estados internos e 96 registros para esse tipo de troca de informações com o CLP) (ATOS, 2001). A aquisição de dados pelo Módulo de Energia no protótipo é feita por meio da instalação em série do mesmo, utilizando seus pinos "I1+" e "L1", com a linha de alimentação do barramento essencial BCAE oriunda do disjuntor DT2. Também o pino "N" (neutro) do Módulo de Energia deve ser conectado ao barramento neutro da rede da concessionária de energia. Todos esses componentes estão referenciados na figura 8 (ATOS, 2001 e SIEMENS, 2007).

### 3.2.2.9 Módulo de Controle

A função do bloco intitulado Módulo de Controle, indicado na figura 8, é executada no protótipo por meio de um Controlador Lógico Programável (CLP) fabricado pela empresa ATOS, CPU série MPC4004, modelo 4004.05R, dotado de memória FLASH de 128 Kbytes para programa de usuário e memória RAM<sup>11</sup> de 64 K com relógio calendário de tempo real (ATOS, 2001).

Esse CLP executa a leitura dos sinais digitais proporcionais, atualizados e disponibilizados pelo Módulo de Energia 4004.45, por meio da utilização de um registro comum a ambos módulos (a capacidade total do sistema é de 16 estados internos e 96 registros para esse tipo de troca de informações entre o CLP e o módulo de controle) relativos ao consumo de corrente alternada (sinal analógico) do barramento de cargas essenciais à

---

<sup>11</sup> RAM, *Random Access Memory* - em português memória de acesso aleatório. Esse tipo de memória permite acesso a qualquer posição em qualquer ordem, sem ter que acessar seqüencialmente a partir do primeiro elemento e mantém os dados armazenados enquanto houver suprimento de energia elétrica no sistema.

aeronavegabilidade da aeronave anteriormente mencionada, representado no protótipo pelo barramento BCAE mostrado na figura 8. O *driver*<sup>12</sup> do CLP MPC4004 contempla a integração com o Módulo de Energia mostrado na figura 8. Após a leitura das informações oriundas do Módulo de Energia, o Módulo de Controle processa o seu algoritmo por meio de programa instalado no CLP, o qual destina-se ao controle do gerenciamento das cargas elétricas não essenciais à aeronavegabilidade do tipo de aeronave considerada neste trabalho (CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4) (ATOS, 2001; 737 Detailed Technical Data, 2006 e FAR Parte 25 seção 25.1309, 2004).

Esse algoritmo de controle é detalhado no próximo subitem dessa seção. O resultado do processamento desse algoritmo de controle, quando em modo gerenciado de operação, permite que as cargas não essenciais à aeronavegabilidade do avião considerado no protótipo, que convencionalmente são desativadas quando a aeronave sofre perda de um dos seus geradores principais durante vôo, retornem a sua operação normal com a ordem de prioridade de CNE1 a CNE4. Esse retorno das cargas não essenciais ocorre a medida em que a disponibilidade de energia no barramento essencial BCAE torna-se possível em função, por exemplo, da diminuição do consumo das cargas essenciais dessa aeronave (CE1, CE2, CE3 e CE4). A carga não essencial de maior prioridade no protótipo é CNE1 e a de menor prioridade é CNE4. A ativação e desativação das cargas essenciais e não essenciais ocorre quando o Módulo de Controle do protótipo envia sinais para suas saídas permitindo com que os relés da Interface Sinal Potência operem de forma a controlar cada uma dessas cargas. A tabela 2 mostra a relação entre as saídas do Módulo de Controle (S0, S1, S2, S3, S4, S5, S6 e S7) e os respectivos relés das cargas essenciais e não essenciais do protótipo. Ainda na tabela 2 é possível visualizar os modos de ativação e desativação desses relés e também qual saída do

---

<sup>12</sup> *Driver*, em português manipulador, programa ou rotina usada para interfacear e gerenciar um dispositivo de entrada/saída ou outros periféricos.



CLP que responde pelo controle de cada uma dessas cargas. Os relés acima descritos pertencem à Interface Sinal Potência.

TABELA 2 - Relação de saídas do Módulo de Controle.

MÓDULO DE CONTROLE (SAIDA)	INTERFACE SINAL POTÊNCIA (RELÉ)	INTERFACE SINAL POTÊNCIA ATIVAÇÃO (VCC) PINO RELÉ		INTERFACE SINAL POTÊNCIA DESATIVAÇÃO (VCC) PINO RELÉ		CARGA ESSENCIAL	CARGA NÃO ESSENCIAL
		A1	A2	A1	A2		
S0	KE1	+24	0	+24	+24	CE1	----
S1	KE2	+24	0	+24	+24	CE2	----
S2	KE3	+24	0	+24	+24	CE3	----
S3	KE4	+24	0	+24	+24	CE4	----
S4	KNE1	+24	0	+24	+24	----	CNE1
S5	KNE2	+24	0	+24	+24	----	CNE2
S6	KNE3	+24	0	+24	+24	----	CNE3
S7	KNE4	+24	0	+24	+24	----	CNE4

A diminuição no consumo das cargas essenciais conectadas a barra essencial BCAE, indicada na figura 8, pode ser justificado, por exemplo, em função do perfil favorável de vôo do tipo de aeronave abordada neste trabalho. Esse perfil favorável de vôo pode ser caracterizado, por exemplo, pela desativação ou pelo baixo consumo de algumas cargas essenciais à aeronavegabilidade dessas aeronaves. O baixo consumo descrito pode ser atribuído, por exemplo, devido a fatores externos tais como condições meteorológicas favoráveis, vôo diurno com boas condições visuais e vôo em altitudes fora da condição de formação de gelo entre outros, fazendo com que essas aeronaves operem consumindo menos energia do sistema elétrico. Com base nas informações de perfil de vôo que refletem diretamente no consumo da barra essencial BCAE, a Proposta Conceitual de Sistema para Gerenciamento de Cargas Elétricas Aeronáuticas efetua o retorno das cargas não essenciais à

aeronavegabilidade do tipo de aeronave, anteriormente mencionada, conectadas ao barramento BCANE1 do protótipo. No protótipo a ativação e desativação das cargas essenciais são exercitadas atuando-se diretamente no Sistema de Supervisão. A troca de informações entre Módulo de Controle e o Sistema de Supervisão é efetuada por meio de Interface Serial<sup>13</sup> do tipo RS 232 C. Em uma aeronave civil convencional as cargas não essenciais seriam normalmente desligadas até que a pane do gerador principal falhado em vôo fosse solucionada implicando muitas vezes em corte total ou parcial de vários sistemas do avião (737 Detailed Technical Data, 2006; FAR Parte 25 seção 25.1309, 2004 e ELIPSE WINDOWS, 1999).

#### **3.2.2.9.1 Algoritmo do Módulo de Controle**

O algoritmo elaborado dedicado à Proposta Conceitual de Sistema para Gerenciamento de Cargas Elétricas Aeronáuticas será descrito a seguir.

- a) O MÓDULO DE ENERGIA efetua a primeira leitura do valor analógico de corrente alternada do barramento das cargas essenciais BCAE, indicado na figura 8, disponível no seu pino “I1+”, e o converte proporcionalmente em sinal digital. Esse sinal digital é carregado no registro “1” do MÓDULO DE CONTROLE (CLP).
  
- b) O MÓDULO DE CONTROLE compara o valor de corrente carregado no seu registro “1” com o valor digital proporcionalmente equivalente a 90 mA.

---

<sup>13</sup> Interface Serial - circuito que converte dados paralelos em um computador para e de uma forma serial, permitindo que dados seriais sejam transmitidos para ou recebidos de outros equipamentos.

- c) Se o valor do registro “1” for menor que 90 mA a saída S7 do MÓDULO DE CONTROLE recebe um sinal baixo (0VCC) fazendo com que o relé KNE4 feche seu contato NA entre os pinos 13 e 14 e a carga não essencial “4” (CNE4) é então ativada.
- d) Se o valor do registro “1” for maior que 90 mA a saída S7 do MÓDULO DE CONTROLE recebe um sinal alto (+24VCC) fazendo com que o relé KNE4 mantenha seu contato NA aberto entre os pinos 13 e 14 e a carga não essencial “4” (CNE4) é então desativada.
- e) O MÓDULO DE ENERGIA efetua a segunda leitura do valor analógico de corrente alternada do barramento das cargas essenciais BCAE, disponível no seu pino “I1+”, e o converte proporcionalmente em sinal digital. Esse sinal digital é então atualizado e carregado no registro “1” do MÓDULO DE CONTROLE (CLP).
- f) O MÓDULO DE CONTROLE compara o valor de corrente atualizado e carregado no seu registro “1” com o valor digital proporcionalmente equivalente a 200 mA.
- g) Se o valor do registro “1” for menor que 200 mA a saída S6 do MÓDULO DE CONTROLE recebe um sinal baixo (0VCC) fazendo com que o relé KNE3 feche seu contato NA entre os pinos 13 e 14 e a carga não essencial “3” (CNE3) é então ativada.
- h) Se o valor do registro “1” for maior que 200 mA a saída S6 do MÓDULO DE CONTROLE recebe um sinal alto (+24VCC) fazendo com que o relé KNE3 mantenha seu contato NA aberto entre os pinos 13 e 14 e a carga não essencial “3” (CNE3) é então desativada.

- i) O MÓDULO DE ENERGIA efetua a terceira leitura do valor analógico de corrente alternada do barramento das cargas essenciais BCAE, disponível no seu pino “I1+”, e o converte proporcionalmente em sinal digital. Esse sinal digital é então atualizado e carregado no registro “1” do MÓDULO DE CONTROLE (CLP).
- j) O MÓDULO DE CONTROLE compara o valor de corrente atualizado e carregado no seu registro “1” com o valor digital proporcionalmente equivalente a 320 mA.
- k) Se o valor do registro “1” for menor que 320 mA a saída S5 do MÓDULO DE CONTROLE recebe um sinal baixo (0VCC) fazendo com que o relé KNE2 feche seu contato NA entre os pinos 13 e 14 e a carga não essencial “2” (CNE2) é então ativada.
- l) Se o valor do registro “1” for maior que 320 mA a saída S5 do MÓDULO DE CONTROLE recebe um sinal alto (+24VCC) fazendo com que o relé KNE2 mantenha seu contato NA aberto entre os pinos 13 e 14 e a carga não essencial “2” (CNE2) é então desativada.
- m) O MÓDULO DE ENERGIA efetua a quarta leitura do valor analógico de corrente alternada do barramento das cargas essenciais BCAE, disponível no seu pino “I1+”, e o converte proporcionalmente em sinal digital. Esse sinal digital é então atualizado e carregado no registro “1” do MÓDULO DE CONTROLE (CLP).
- n) O MÓDULO DE CONTROLE compara o valor de corrente atualizado e carregado no seu registro “1” com o valor digital proporcionalmente equivalente a 450 mA.

- o) Se o valor do registro “1” for menor que 450 mA a saída S4 do MÓDULO DE CONTROLE recebe um sinal baixo (0VCC) fazendo com que o relé KNE1 feche seu contato NA entre os pinos 13 e 14 e a carga não essencial “1” (CNE1) é então ativada.
- p) Se o valor do registro “1” for maior que 450 mA a saída S4 do MÓDULO DE CONTROLE recebe um sinal alto (+24VCC) fazendo com que o relé KNE1 mantenha seu contato NA aberto entre os pinos 13 e 14 e a carga não essencial “1” (CNE1) é então desativada.

### **3.2.2.9.2 Fluxograma Analítico de Controle**

O fluxograma analítico da Proposta Conceitual de Sistema para Gerenciamento de Cargas Elétricas Aeronáuticas é mostrado nas figuras 9 (Parte 1) e 10 (Parte 2).

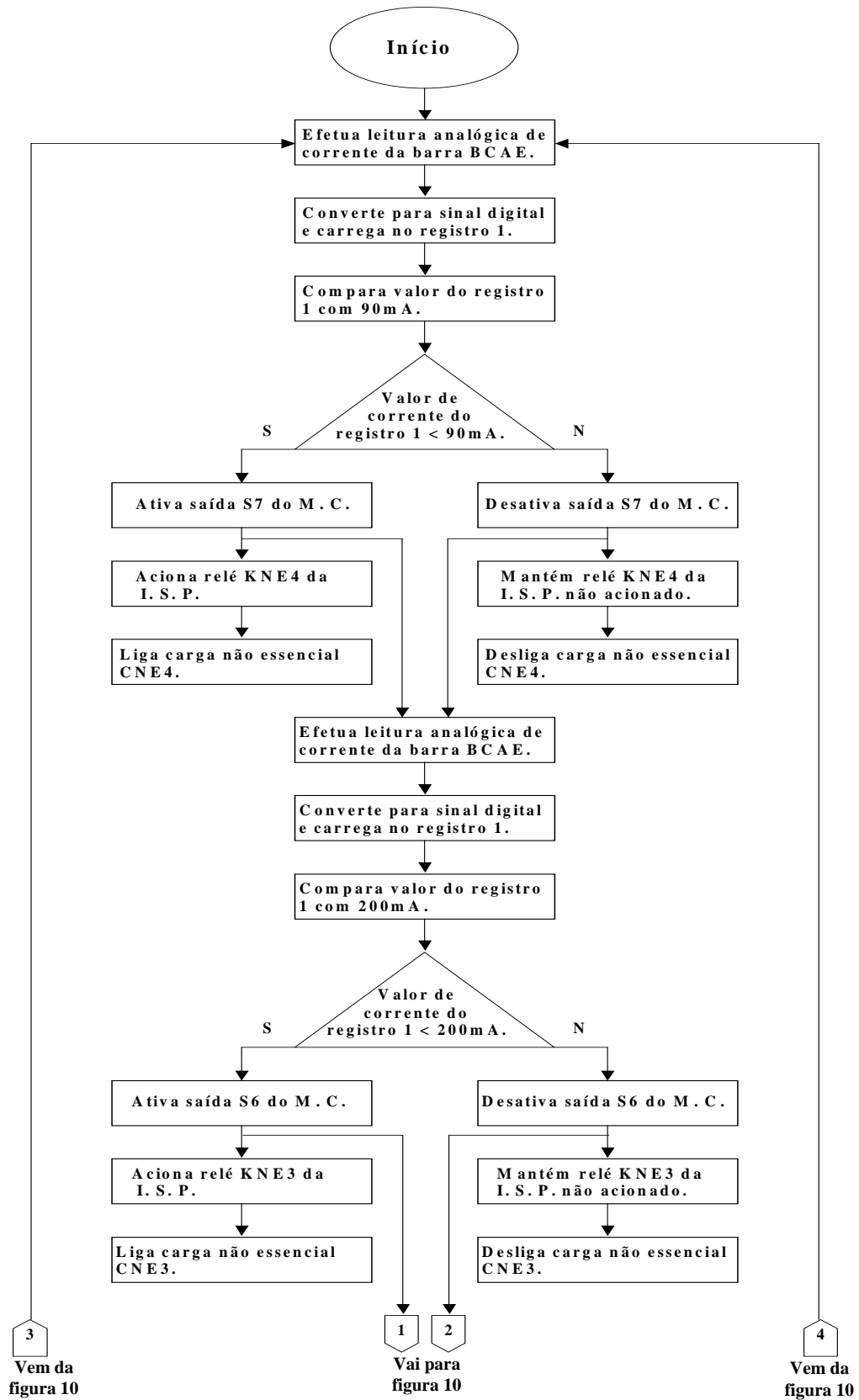


Figura 9 - Fluxograma Analítico de Controle – Parte 1

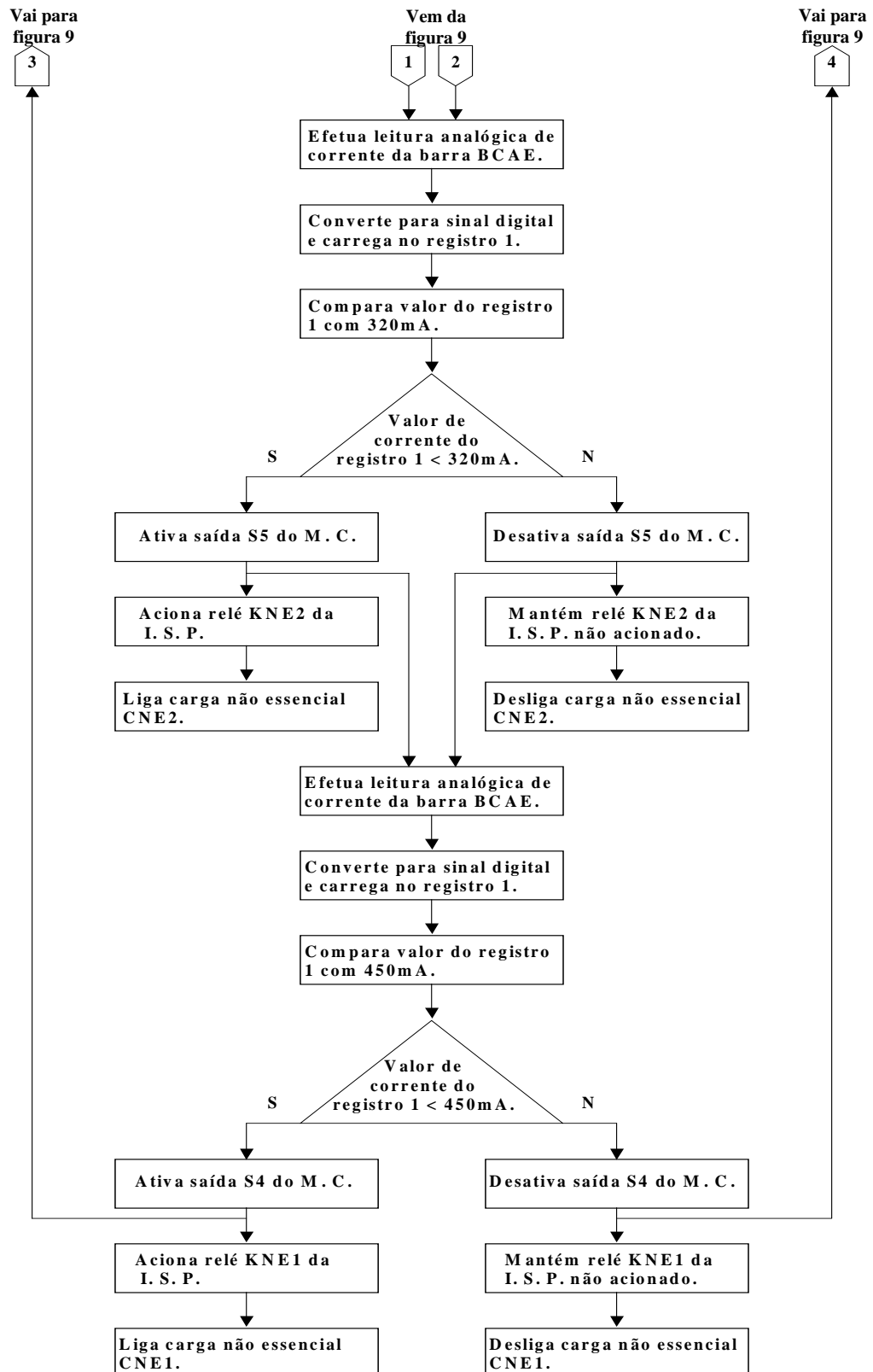


Figura 10 - Fluxograma Analítico de Controle – Parte 2

### 3.2.2.10 Interface Sinal Potência

O bloco denominado de Interface Sinal Potência (ISP), indicado na figura 8, é o responsável no protótipo pelo chaveamento dos circuitos de potência das cargas essenciais e não essenciais, que operam em corrente alternada. Esse chaveamento é efetuado por meio dos sinais fornecidos pelas saídas do Módulo de Controle. A Interface Sinal Potência também é responsável pela separação galvânica entre o Módulo de Controle e as cargas essenciais e não essenciais do protótipo. O acionamento de cada um dos circuitos de potência das cargas essenciais CE1, CE2, CE3 e CE4 ocorre quando as respectivas saídas do Módulo de Controle S0, S1, S2, S3 e S4 recebem um sinal contínuo de “0” VCC do mesmo e a partir desse sinal cada bobina dos acopladores a relé KE1, KE2, KE3 e KE4, por meio do pino A2 dos mesmos, é energizado fazendo com que o contato normalmente aberto (NA) entre os pinos 13 e 14 de cada um deles feche permitindo a ativação dessas cargas. Neste protótipo foram utilizados acopladores a relé de fabricação da empresa CONEXEL, modelo RS 30 / 1 NA (um contato normalmente aberto) (CONEXEL, 1994). Analogamente o corte das cargas essenciais ocorre quando as saídas do Módulo de Controle S0, S1, S2, S3 e S4 recebem um sinal contínuo de +24 VCC do mesmo e a partir desse sinal cada bobina dos acopladores a relé KE1, KE2, KE3 e KE4, por meio do pino A2 dos mesmos, é desenergizado fazendo com que o contato NA entre os pinos 13 e 14, de cada um deles, abra permitindo a desativação dessas cargas (CONEXEL, 1994). A seqüência de acionamento e corte das cargas não essenciais CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4 é a mesma das cargas essenciais, porém, as saídas do Módulo de Controle relacionadas a essa operação são S4, S5, S6 e S7 e os respectivos acopladores a relé relacionados são KNE1, KNE2, KNE3 e KNE4 (CONEXEL, 1994).



A tabela 3 mostra a correlação entre as cargas essenciais, as não essenciais, as saídas do Módulo de Controle e os acopladores a relé.

TABELA 3 - Correlação entre as cargas e as saídas do Módulo de Controle.

<b>MÓDULO DE CONTROLE (SAÍDA)</b>	<b>INTERFACE SINAL POTÊNCIA (RELÉ)</b>	<b>CARGA ESSENCIAL</b>	<b>CARGA NÃO ESSENCIAL</b>
S0	KE1	CE1	----
S1	KE2	CE2	----
S2	KE3	CE3	----
S3	KE4	CE4	----
S4	KNE1	----	CNE1
S5	KNE2	----	CNE2
S6	KNE3	----	CNE3
S7	KNE4	----	CNE4

### 3.2.2.11 Cargas Essenciais

O conjunto de cargas denominado de Cargas Essenciais são as cargas que operam em corrente alternada cuja função básica no protótipo é a de representar alguns dos inúmeros sistemas e equipamentos necessários para garantir o atendimento dos requisitos de aeronavegabilidade de uma aeronave civil bimotor de asa fixa categoria transporte típica e são representadas neste protótipo pelas cargas CE1, CE2, CE3 e CE4. Essas cargas devem ter a possibilidade de permanecer em operação mesmo quando ocorrer falha em um dos geradores principais do sistema elétrico, que neste protótipo é ilustrado pela falha do gerador principal “2” (G2). Essas cargas não possuem ordem de acionamento durante operação no protótipo, pois cada uma delas tipicamente pode ser acionada ou desligada dependendo de uma série de fatores, entre eles os ambientais e meteorológicos.

Nesse protótipo as cargas essenciais são alimentadas por uma rede em corrente alternada com tensão de 127 VCA entre fase e neutro originada do barramento essencial BCAE mostrado na figura 8. Para representação das cargas essenciais foram utilizadas lâmpadas de potência  $P = 15 \text{ W}$ , tensão  $V = 130 \text{ VCA}$ , todas na cor amarela. O consumo de corrente para cada uma dessas lâmpadas é de aproximadamente  $I = 117 \text{ mA}$  na tensão de 127 VCA.

#### **3.2.2.12 Cargas Não Essenciais**

O conjunto designado de Cargas Não Essenciais refere-se às cargas que operam em corrente alternada cuja função básica no protótipo é a de representar alguns dos inúmeros sistemas e equipamentos não necessários para garantir o atendimento dos requisitos de aeronavegabilidade de uma aeronave civil bimotor de asa fixa categoria transporte típica e são representadas neste protótipo pelas cargas CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4. Essas cargas, durante as simulações efetuadas com o protótipo, devem ser ativadas e desativadas conforme algoritmo do Módulo de Controle, no caso de ocorrência de falha na operação normal de um dos geradores principais do sistema elétrico, que neste protótipo é ilustrado pela falha no gerador principal “2” (G2). Essas cargas possuem ordem de acionamento para operação no protótipo, pois cada uma delas deverá atender sistemas não essenciais de maior e menor prioridade. Essa ordem de prioridade é detalhada na tabela 4 mostrada a seguir:

TABELA 4 - Ordem de Prioridade das Cargas Não Essenciais.

<b>CARGA NÃO ESSENCIAL</b>	<b>PRIORIDADE</b>
CNE1	1 (Maior)
CNE2	2
CNE3	3
CNE4	4 (Menor)

A ordem de prioridade das cargas não essenciais poderá ser evoluída em trabalhos futuros, nos quais o emprego de retorno sistêmico das condições ambientais e da própria operação da aeronave poderão ser considerados para refinamento do algoritmo de controle dessas cargas.

Nesse protótipo as cargas não essenciais são alimentadas por uma rede em corrente alternada com tensão de 127 VCA entre fase e neutro originada do barramento não essencial BCANE1 referenciado na figura 8. Para representação das cargas não essenciais utilizou-se lâmpadas de potência  $P = 15 \text{ W}$ , tensão  $V = 130 \text{ VCA}$ , todas na cor verde. O consumo de corrente para cada uma dessas lâmpadas é de aproximadamente  $I = 117 \text{ mA}$  na tensão de 127 VCA.

### 3.2.2.13 Fonte

O modulo, intitulado Fonte, trata-se de uma fonte de alimentação cuja função básica é fornecer energia em corrente contínua para o funcionamento do Módulo de Energia e das entradas e saídas do Módulo de Controle do protótipo. Neste protótipo foi utilizada uma fonte chaveada de fabricação da empresa ATOS, modelo 4004.40 cujos pinos “L1” e “L2” recebem tensão alternada de alimentação, que pode variar entre 90 e 253 VCA. Os pinos “+24 VCC” e “0 VCC” dessa fonte referem-se à tensão auxiliar em corrente contínua de saída da mesma

igual a “+24 VCC” com corrente máxima  $I = 500 \text{ mACC}$ . No protótipo essa fonte receberá sua alimentação por meio do disjuntor DT1 (10 A) o qual está conectado no barramento de transferência BCAT.

#### 3.2.2.14 Sistema de Supervisão

No protótipo a principal função deste bloco denominado Sistema de Supervisão é viabilizar a validação da PCSGCEA permitindo a execução de simulações de operação das cargas essenciais, efetuando a função de interface homem-máquina e o monitoramento do comportamento das cargas não essenciais informadas anteriormente. Nas simulações de operação das cargas essenciais e nas respectivas respostas das cargas não essenciais o Sistema de Supervisão engloba dois modos de operação do sistema elétrico da aeronave civil previamente descrita. Esses modos de operação têm o objetivo de permitir a monitoração de funcionamento de um sistema convencional de controle de cargas e também de possibilitar a monitoração do sistema gerenciado de cargas elétricas aeronáuticas, objeto desta proposta.

Também é possível dentro do Sistema de Supervisão observar a resposta do protótipo simulando a operação do sistema elétrico de uma aeronave civil, indicada anteriormente, com um dos seus geradores principais, que opera em corrente alternada, em condições normais de utilização e em condição de falha. A função do Sistema de Supervisão é executada no protótipo por meio de um computador padrão PC<sup>14</sup>, 300 MHz, 64 Mb de memória RAM, placa de vídeo padrão PCI e porta de comunicação serial padrão RS 232C a qual permite a troca de informações entre esse sistema e o Módulo de Controle (ELIPSE WINDOWS, 1999; RBHA01, 2005; FAR Parte 25 Seção 25.1309, 2004; Categorias de Aeronaves segundo os RBHA, 2003 e 737 Detailed Technical Data, 2006).

---

<sup>14</sup> PC, *Personal Computer*, em português Computador Pessoal.

O Sistema de Supervisão utiliza uma interface gráfica desenvolvida e dedicada para esta proposta e maiores detalhes a respeito dessa interface são descritos no sub item a seguir.

### 3.2.2.14.1 Interface Gráfica

A interface gráfica do Sistema de Supervisão, dedicada para este protótipo, foi desenvolvida a partir do *software* Elipse SCADA e sua tela é mostrada a seguir na figura 11 (ELIPSE WINDOWS, 1999).

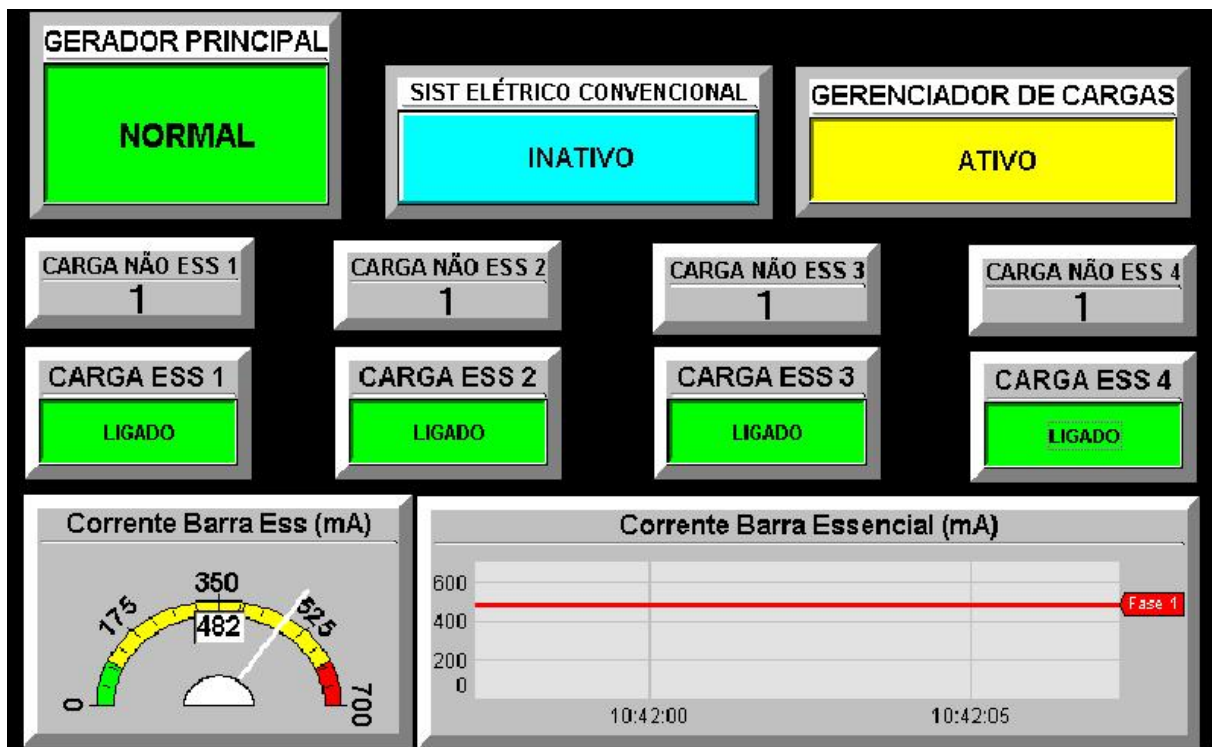
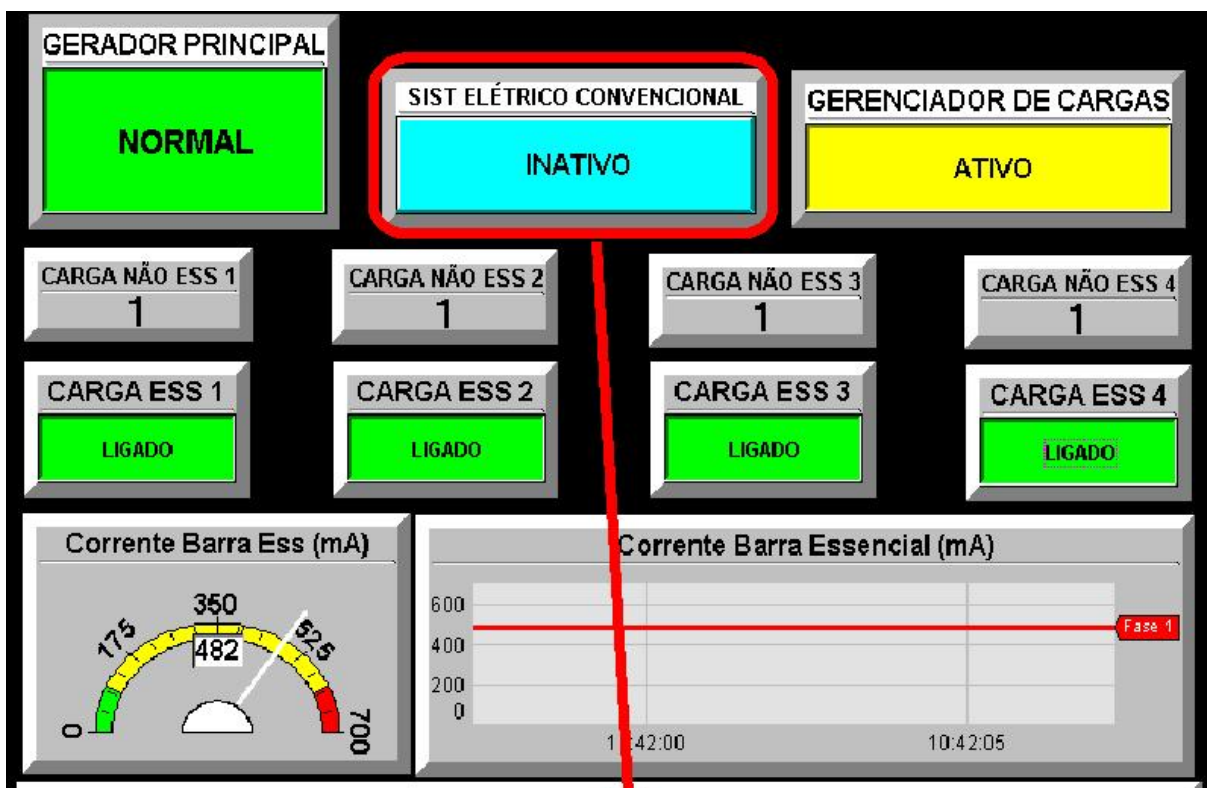


Figura 11 - Tela Interface Gráfica Sistema de Supervisão.

Essa interface gráfica possui as seguintes funções:

- a) Comandar diretamente a ativação e desativação da representação no protótipo do modo de operação convencional do sistema elétrico de uma aeronave civil pela seleção com o *prompt*<sup>15</sup> do *mouse*<sup>16</sup> sobre o botão indicado na figura 12.



Botão de Comando do Modo Convencional de Operação

Figura 12 - Interface Gráfica Modo Convencional.

<sup>15</sup> *Prompt*, em português adjetivo pronto, preparado, na área de informática é indicação de prontidão ou de pronto, exibição de mensagem ou caractere para lembrar o usuário que é esperada uma entrada.

<sup>16</sup> *Mouse*, em português camundongo, na área de informática é definido como pequeno dispositivo de entrada movido com a mão sobre uma superfície plana para controlar a posição de um cursor na tela.

b) Comandar diretamente a ativação e desativação da representação no protótipo do modo de operação da PCSGCEA do sistema elétrico de uma aeronave civil pela seleção com o *prompt* do *mouse* sobre o botão indicado na figura 13.



Botão de Comando do Modo Gerenciado de Operação

Figura 13 - Interface Gráfica Modo Gerenciado.

c) Comandar diretamente a ativação e desativação da representação no protótipo do modo de operação normal e de falha do gerador principal “2” (G2) do sistema elétrico de uma aeronave civil pela seleção com o *prompt* do *mouse* sobre o botão indicado na figura 14.

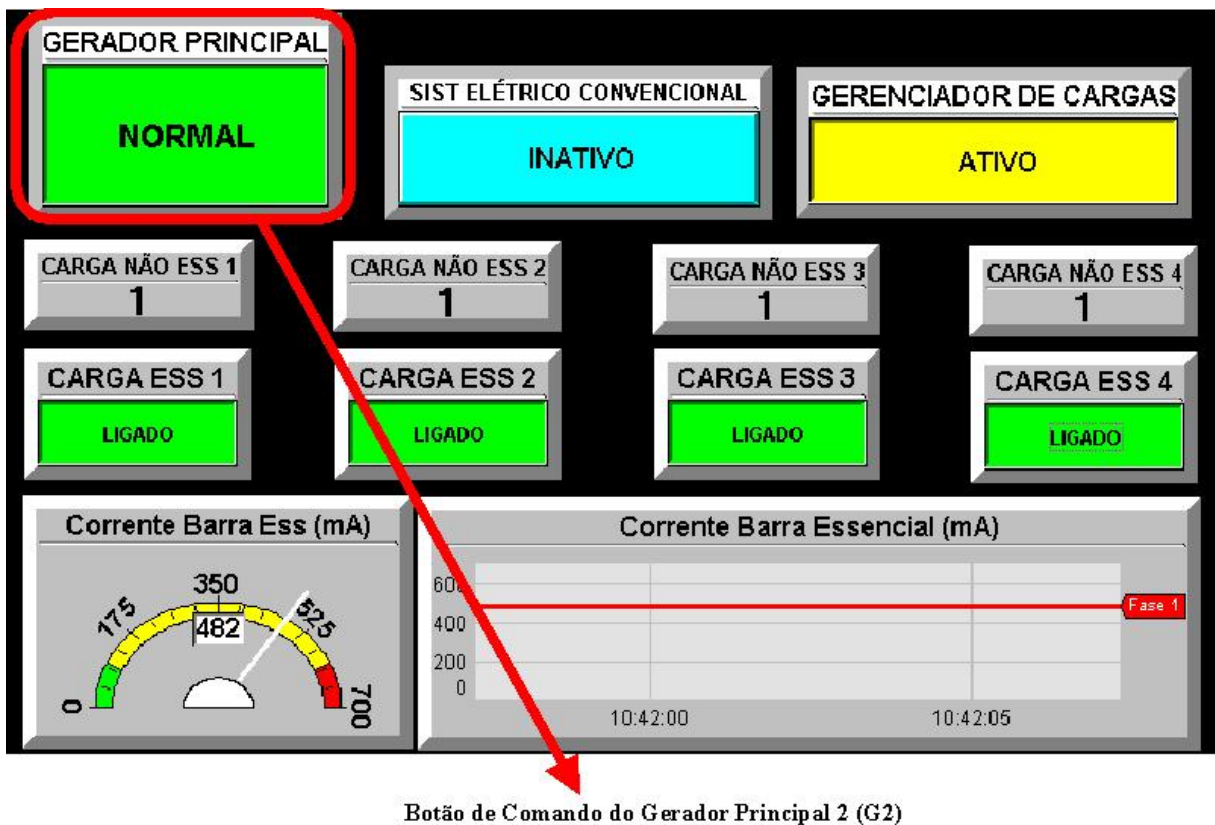
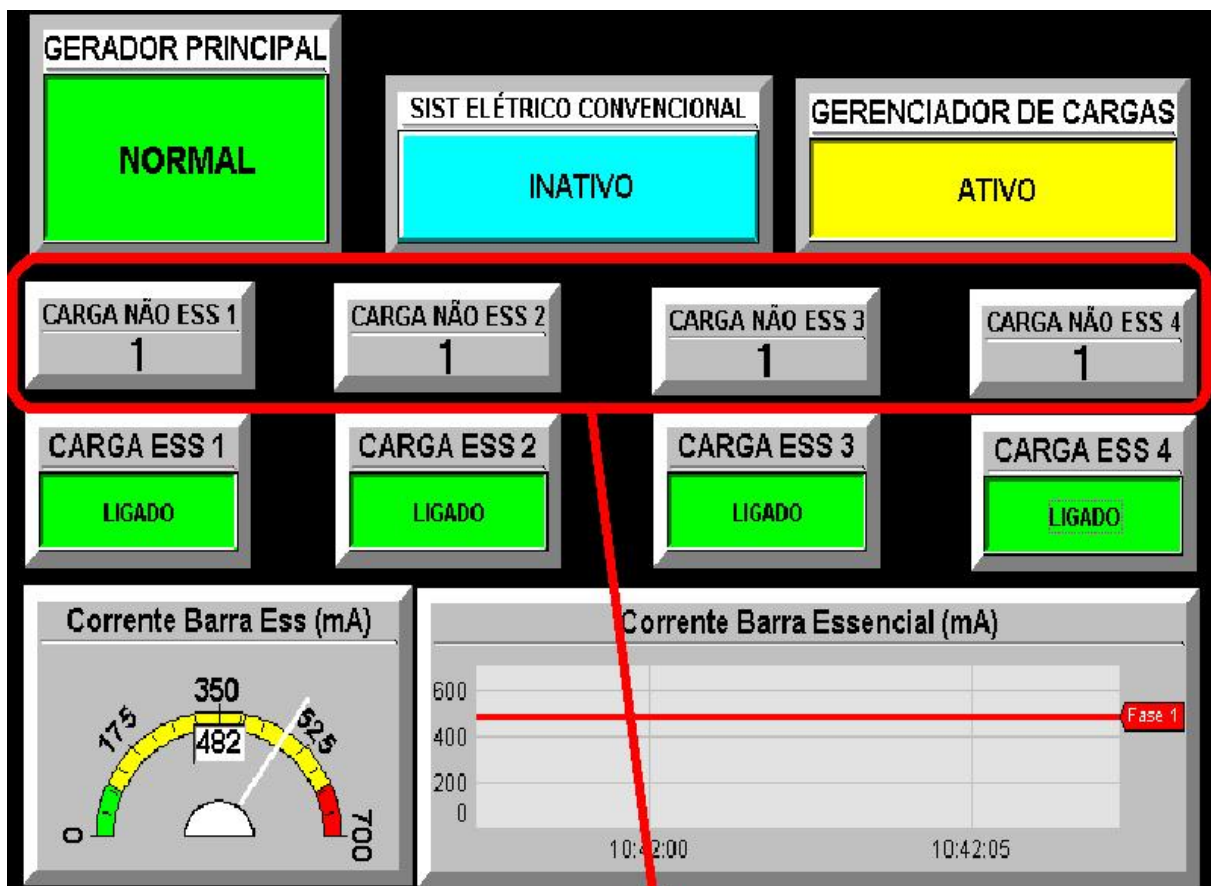


Figura 14 - Interface Gráfica Comando G2.



d) Monitorar a ativação e desativação da representação no protótipo de algumas cargas não essenciais do sistema elétrico de uma aeronave civil representadas no protótipo pelas cargas CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4, por meio da observação dos dígitos “0” ou “1” na região central do ícone de cada uma dessas cargas, sendo “0” para carga desativada e “1” para carga ativada, conforme indicado na figura 15.



Ícones para Monitoramento das Cargas Não Essenciais

Figura 15 - Interface Gráfica Cargas Não Essenciais.

e) Comandar diretamente a ativação e desativação da representação no protótipo de algumas cargas essenciais do sistema elétrico de uma aeronave civil representadas no protótipo pelas cargas CE1, CE2, CE3 e CE4, por meio da seleção com o *prompt* do *mouse* sobre os botões indicados na figura 16.



Botões de Comando das Cargas Essenciais

Figura 16 - Interface Gráfica Cargas Essenciais.

f) Monitorar o consumo de corrente, valores em mili Ampères RMS, da representação no protótipo de um barramento essencial do sistema elétrico de uma aeronave civil ilustrado pela barra BCAE, que se encontra atendida pelo gerador principal “1” (G1) via barramento BCAT, no qual estão conectadas as cargas essenciais CE1, CE2, CE3 e CE4, por meio da leitura direta da escala que varia de “0” a 700 mA. A faixa verde indica valores de corrente entre “0” e 100 mA, a faixa amarela entre 100 e 600 mA e a faixa vermelha valores entre 600 e 700 mA. A figura 17 destaca a janela central atualizada com o valor de corrente (mA) lido na barra essencial BCAE conforme o consumo das cargas essenciais.

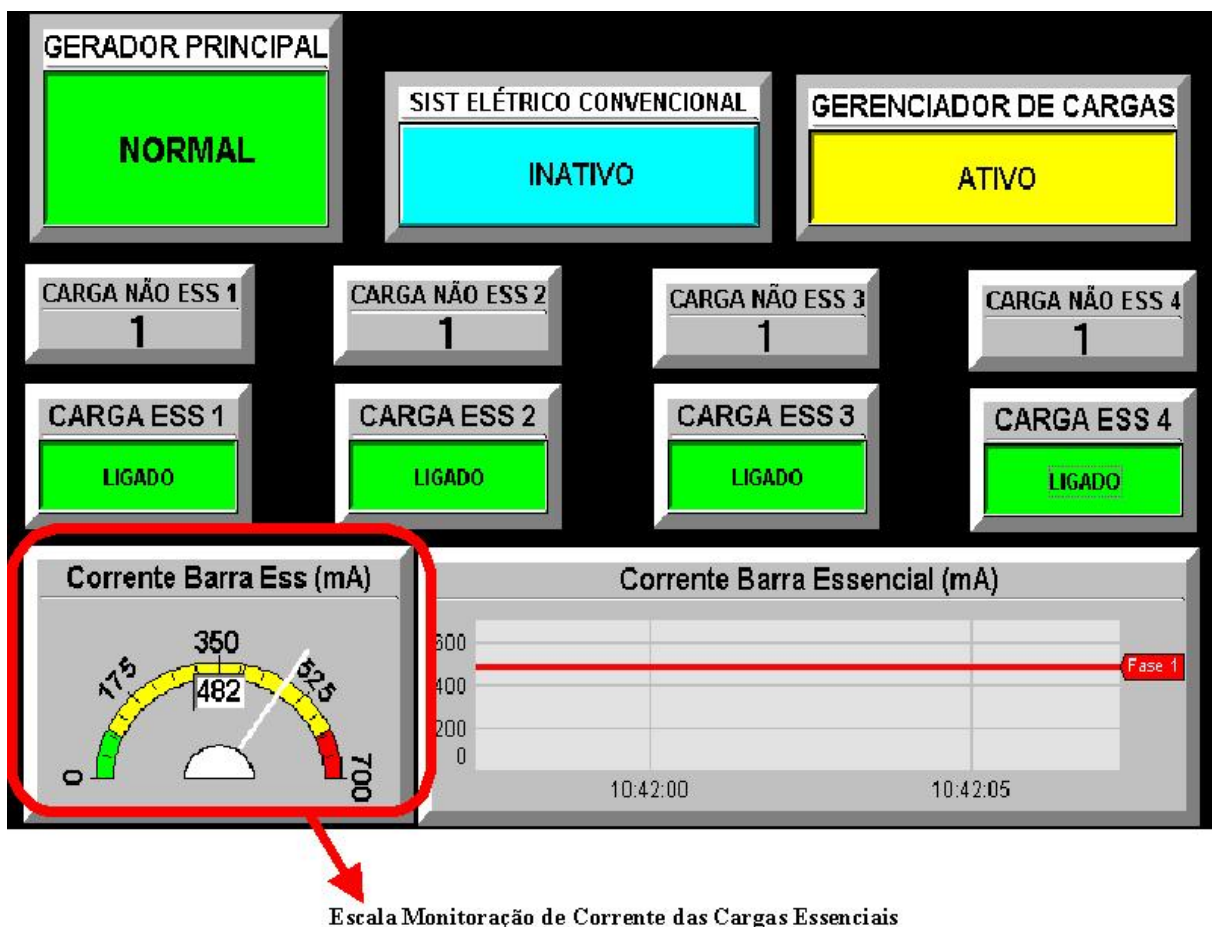


Figura 17 - Interface Gráfica Corrente das Cargas Essenciais.

g) Monitorar a tendência do consumo de corrente, valores em mili Ampères RMS, da representação no protótipo de um barramento essencial do sistema elétrico de uma aeronave civil, ilustrado pela barra BCAE que se encontra atendido pelo gerador principal “1” (G1) via barramento BCAT, no qual estão conectadas as cargas essenciais ao vôo seguro dessa aeronave CE1, CE2, CE3 e CE4, por meio da leitura direta de um gráfico de tendências com indicação de tempo real a cada “5” segundos. A figura 18 destaca o gráfico de tendências da leitura de corrente no barramento essencial BCAE.

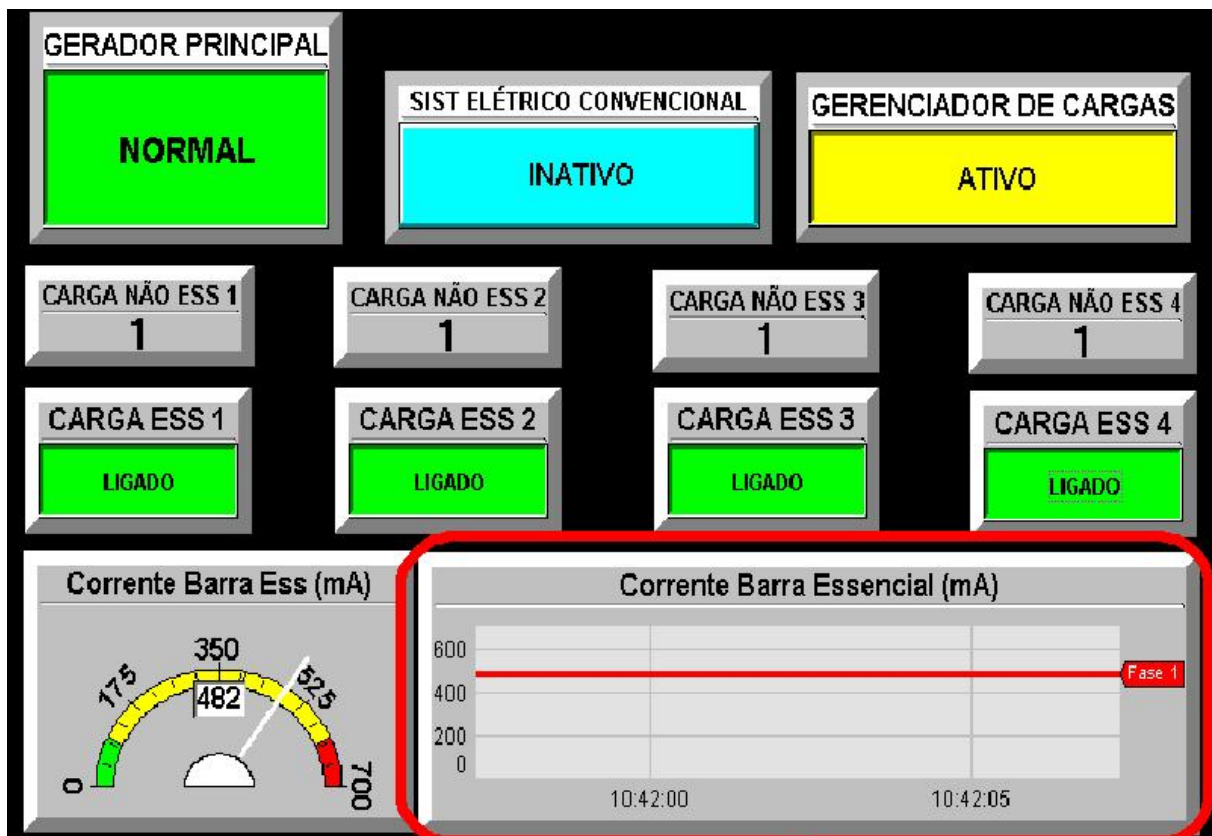


Gráfico de Tendências Corrente da Barra BCAE

Figura 18 - Interface Gráfica Tendência Consumo Corrente Cargas Essenciais.

### 3.2.3 Modo de Operação

Neste item são destacados os modos de operação do protótipo utilizados para validar a Proposta de Sistema para Gerenciar Cargas Elétricas Aeronáuticas. No Sistema de Supervisão foi criada uma tela que possui o intuito de ilustrar alguns modos de operação de um dos geradores principais de uma aeronave civil bimotor de asa fixa categoria transporte típica durante vôo. No protótipo o gerador principal “2” (G2) foi adotado para simulações de operação normal e de falha. A seguir serão descritos os principais modos de operação do protótipo com o auxílio dos componentes e funções da tela do Sistema de Supervisão.

#### 3.2.3.1 Modos de Operação do Gerador Principal 2 (G2)

Para ilustrar a operação de um dos geradores principais do sistema elétrico de uma aeronave civil, conforme informado no item anterior, foi criado, na tela do Sistema de Supervisão, o botão intitulado “GERADOR PRINCIPAL” que possui dois estados selecionáveis com o *prompt* do *mouse* sobre o mesmo, um “NORMAL” e outro ”FALHADO” conforme mostrado na figura 19:

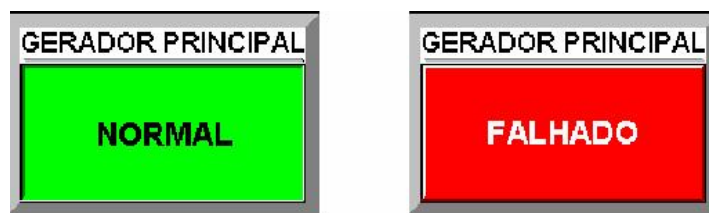


Figura 19 – Detalhe Botão G2.

Quando o botão “GERADOR PRINCIPAL” é selecionado para “NORMAL” o protótipo opera com suas cargas não essenciais CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4 independentes das cargas essenciais CE1, CE2, CE3 e CE4, ou seja, o número de cargas essenciais em operação não altera o número de cargas não essenciais em funcionamento, tanto considerando um sistema elétrico convencional quanto a proposta do gerenciador de cargas. Esse modo de operação visa ilustrar os geradores principais “1” e “2” (G1 e G2), do sistema elétrico de uma aeronave civil bimotor de asa fixa categoria transporte típica durante vôo, operando de maneira adequada e livre de panes. O gerador principal “1” (G1) não é mostrado na tela do SISTEMA DE SUPERVISÃO, pois é considerado sempre em condições normais de operação provendo alimentação para as cargas essenciais e não essenciais do protótipo. O destaque na tela do SISTEMA DE SUPERVISÃO deste trabalho é dado sempre para o gerador principal “2” (G2) cuja falha e operação normal são objetos das simulações e resultados previstos para este protótipo.

Ao selecionar o botão “GERADOR PRINCIPAL” para “FALHADO” o protótipo opera com suas cargas não essenciais CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4 vinculadas à configuração dos botões “SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL”, “GERENCIADOR DE CARGAS” e às cargas essenciais CE1, CE2, CE3 e CE4.

### 3.2.3.2 Modos de Operação do Sistema Elétrico Convencional

Com o intuito de conhecer o modo de operação de um sistema elétrico convencional de uma aeronave civil durante vôo e saber como as cargas essenciais e não essenciais operam mediante esse tipo de configuração foi criado na tela do SISTEMA DE SUPERVISÃO o botão intitulado “SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL”. Esse botão possui dois estados selecionáveis com o *prompt* do *mouse* sobre o mesmo, um “ATIVO” e outro “INATIVO” conforme mostrado na figura 20.

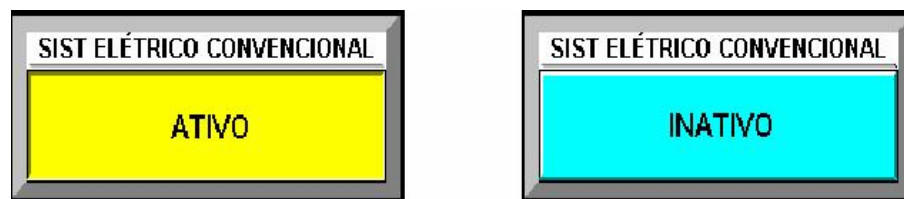


Figura 20 - Botão Sistema Elétrico Convencional.

Quando o botão “SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL” é selecionado para a posição “ATIVO”, o botão “GERENCIADOR DE CARGAS” para a posição “INATIVO” e o botão “GERADOR PRINCIPAL” para a posição “NORMAL”, vide figura 21, o protótipo opera com suas cargas não essenciais CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4 independentes das cargas essenciais CE1, CE2, CE3 e CE4, ou seja, o número de cargas essenciais em operação não altera o número de cargas não essenciais em funcionamento. Esse modo de operação visa ilustrar os geradores principais “1” e “2” (G1 e G2) do sistema elétrico convencional de uma aeronave civil, conforme descrita acima, operando de maneira adequada e livre de panes.

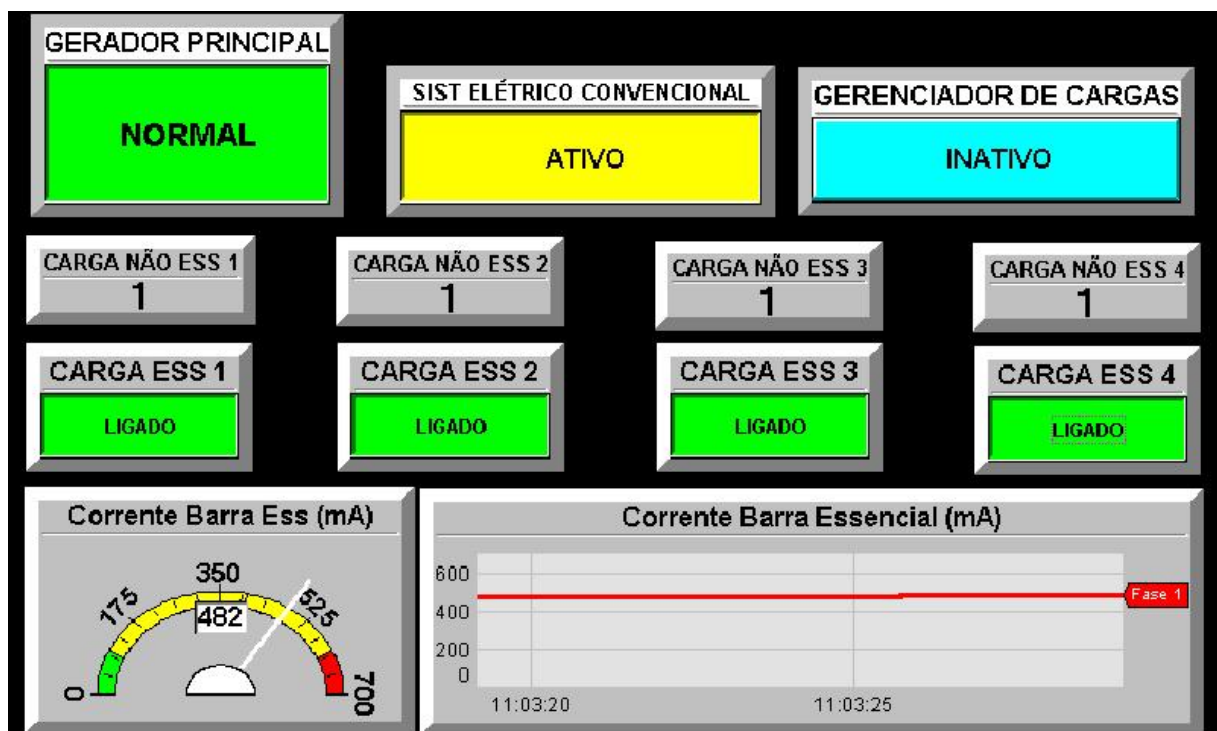


Figura 21 - Sistema Convencional Ativo e G2 Normal.



Quando o botão “SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL” é selecionado para a posição “ATIVO”, o botão “GERENCIADOR DE CARGAS” para a posição “INATIVO” e o botão “GERADOR PRINCIPAL” para a posição “FALHADO” o algoritmo de controle do protótipo envia um comando para desativação de todas as cargas não essenciais CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4 e as cargas essenciais CE1, CE2, CE3 e CE4 continuam a operar normalmente. Esse modo de operação visa ilustrar a falha do gerador principal “2” (G2) do sistema elétrico convencional de uma aeronave civil bimotor de asa fixa categoria transporte típica durante vôo e a resposta desse sistema elétrico, fazendo com que todas as cargas não essenciais à aeronavegabilidade do avião sejam eliminadas de operação, visando preservar a energia e a operação do gerador principal remanescente, no caso o gerador principal “1” (G1). A figura 22 ilustra o modo de operação acima descrito.

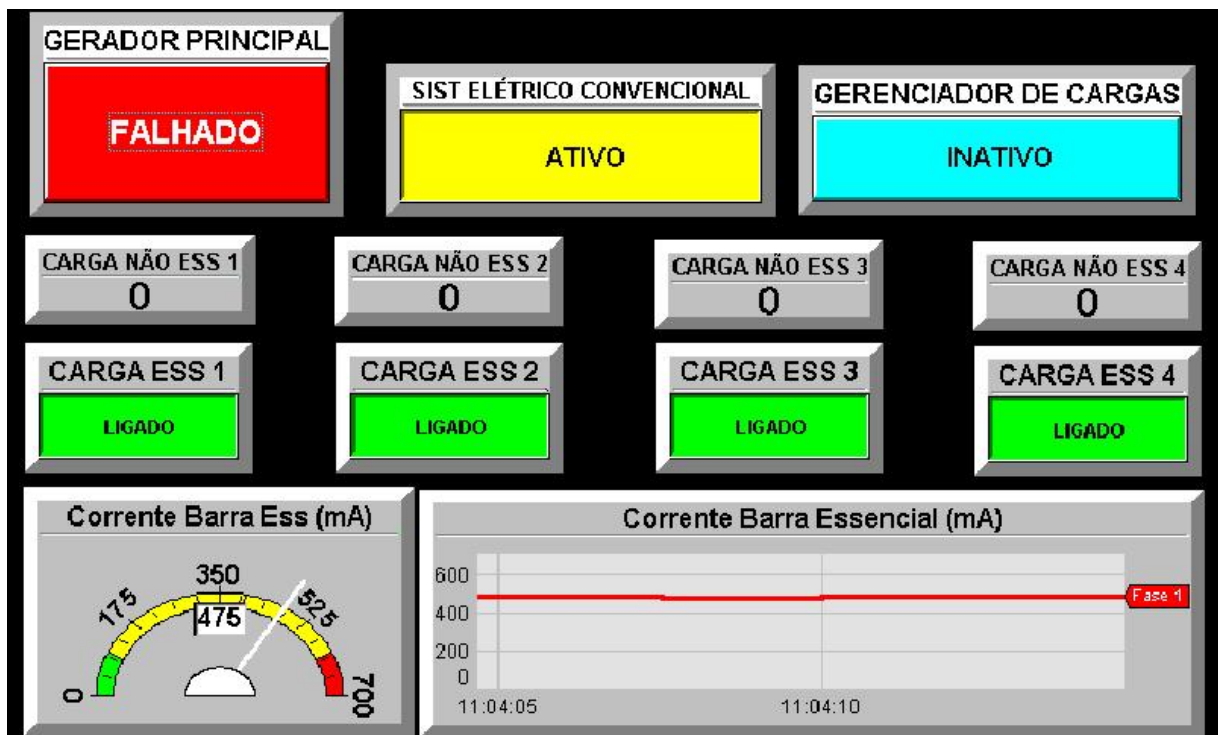


Figura 22 - Sistema Convencional Ativo e G2 Falhado.

### 3.2.3.3 Modos de Operação do Gerenciador de Cargas

Com o intuito de conhecer o modo de operação da PCSGCEA no âmbito do sistema elétrico de uma aeronave civil durante voo e saber como as cargas, essenciais e não essenciais, operam mediante esse tipo de configuração, foi criado na tela do Sistema de Supervisão o botão intitulado “GERENCIADOR DE CARGAS” que possui dois estados selecionáveis com o *prompt* do *mouse* sobre o mesmo, um “ATIVO” e outro “INATIVO”, conforme mostrado na figura 23.

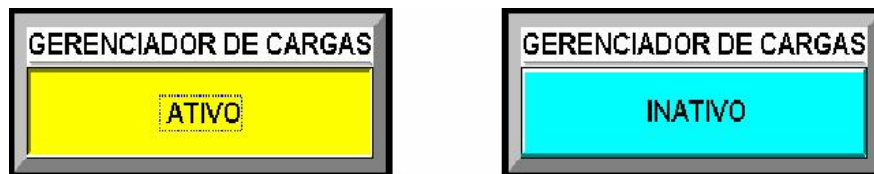


Figura 23 – Detalhe Botão Gerenciador de Cargas.

Quando o botão “GERENCIADOR DE CARGAS” é selecionado para a posição “ATIVO”, o botão “SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL” para a posição “INATIVO” e o botão “GERADOR PRINCIPAL” para a posição “NORMAL” o protótipo opera com suas cargas não essenciais CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4 independentes das cargas essenciais CE1, CE2, CE3 e CE4, ou seja, o número de cargas essenciais em operação não altera o número de cargas não essenciais em funcionamento. Esse modo de operação visa ilustrar os geradores principais “1” e “2” (G1 e G2) do sistema elétrico de uma aeronave civil bimotor de asa fixa categoria transporte típica durante vôo, operando de maneira adequada e livre de panes, conforme mostrado na figura 24.

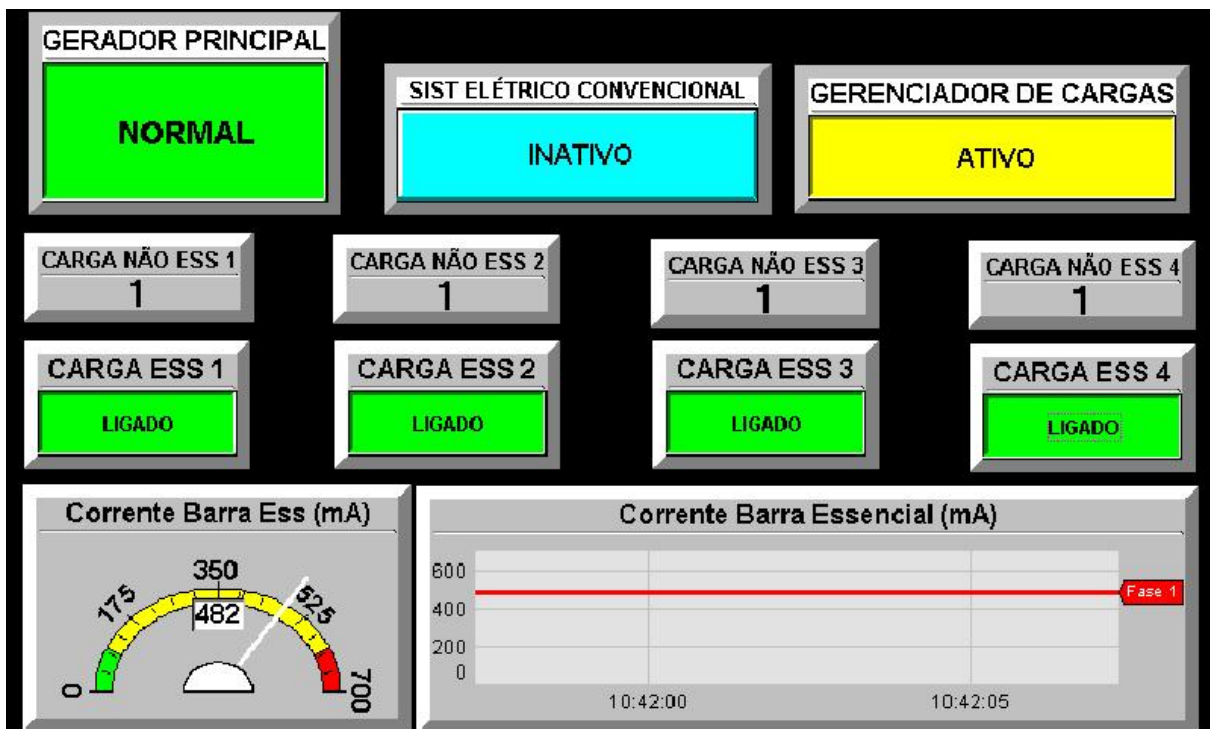


Figura 24 - Gerenciador de Cargas Ativo e G2 Normal.

Quando o botão “GERENCIADOR DE CARGAS” é selecionado para a posição “ATIVO”, o botão “SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL” para a posição “INATIVO” e o botão “GERADOR PRINCIPAL” para a posição “FALHADO” o algoritmo de controle do protótipo passa a gerenciar os comandos para ativação e desativação das cargas não essenciais CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4, mediante o nível de consumo de corrente das cargas essenciais CE1, CE2, CE3 e CE4 e independente da ordem de ativação das mesmas (cargas essenciais). A figura 25 ilustra o modo de operação acima descrito com todas as cargas essenciais ativas e a resposta do algoritmo de controle cortando todas as cargas não essenciais.



Figura 25 - Gerenciador de Cargas Ativo e G2 Falhado.

O algoritmo da Proposta de Sistema para Gerenciar Cargas Elétricas Aeronáuticas monitora o barramento essencial BCAE do protótipo e de maneira proporcional à operação

das cargas essenciais, independentemente da ordem de acionamento das mesmas, ele permite o retorno ou corte das cargas não essenciais conforme o grau de prioridade estipulado. Essa proporcionalidade ocorre da seguinte maneira: para qualquer carga essencial em operação uma das cargas não essenciais será desativada conforme grau de prioridade e vice-versa. A tabela 5 mostra a relação de ativação e desativação entre as cargas essenciais e não essenciais e a prioridade de retorno e saída das cargas não essenciais conforme o algoritmo de controle do sistema gerenciador de cargas. Esse gerenciamento das cargas não essenciais perante a operação das cargas essenciais visa mostrar basicamente o seguinte:

- a) Que a energia não utilizada para atender algumas funções prioritárias de uma aeronave civil bimotor de asa fixa categoria transporte típica, durante falha de um dos geradores principais da mesma em vôo, pode ser convertida a favor da operação de outras cargas não prioritárias.
- b) Que as condições favoráveis à aeronavegabilidade de uma aeronave civil, conforme acima descrita, tais como, por exemplo, vôo diurno sob boas condições visuais e meteorológicas e vôo fora da região de formação de gelo, podem potencialmente propiciar alívio de consumo de energia nesse tipo de aeronave durante o cenário de vôo descrito no item “a”.
- c) Que muitas cargas não essenciais à aeronavegabilidade de uma aeronave civil, conforme indicado anteriormente, mesmo não sendo prioritárias, podem causar desconforto aos passageiros e tripulação e a proposta do sistema para gerenciar cargas elétricas aeronáuticas pode beneficiar esse tipo de aeronave no cenário específico mencionado anteriormente no item “a”.

TABELA 5 - Relação de Controle entre as Cargas Essenciais e Não Essenciais.

<b>NUMERO DE CARGAS ESSENCIAIS ATIVAS (CNE1, CE2, CE3 E CE4)</b>	<b>CARGAS NÃO ESSENCIAIS (CNE1, CNE2, CNE3 E CNE4) ATIVA = 1 INATIVA = 0</b>	<b>PRIORIDADE DE ACIONAMENTO 1 (Maior) 4 (Menor)</b>
<b>0</b>	<b>CNE1 = 1</b>	<b>1</b>
	<b>CNE2 = 1</b>	<b>2</b>
	<b>CNE3 = 1</b>	<b>3</b>
	<b>CNE4 = 1</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>CNE1 = 1</b>	<b>1</b>
	<b>CNE2 = 1</b>	<b>2</b>
	<b>CNE3 = 1</b>	<b>3</b>
	<b>CNE4 = 0</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>CNE1 = 1</b>	<b>1</b>
	<b>CNE2 = 1</b>	<b>2</b>
	<b>CNE3 = 0</b>	<b>3</b>
	<b>CNE4 = 0</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>CNE1 = 1</b>	<b>1</b>
	<b>CNE2 = 0</b>	<b>2</b>
	<b>CNE3 = 0</b>	<b>3</b>
	<b>CNE4 = 0</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>CNE1 = 0</b>	<b>1</b>
	<b>CNE2 = 0</b>	<b>2</b>
	<b>CNE3 = 0</b>	<b>3</b>
	<b>CNE4 = 0</b>	<b>4</b>

### 3.2.3.4 Comparativo entre Modo de Operação Convencional e Gerenciado

Neste item é destacada a comparação entre o modo de operação convencional e o modo de operação gerenciado, objeto desta proposta, do sistema elétrico de uma aeronave civil bimotor de asa fixa categoria transporte típica, para ilustrar os benefícios do modo gerenciado em relação ao modo convencional. Visando obter maior clareza a comparação entre os modos de operação anteriormente citados e a atuação do algoritmo de controle do

sistema previsto para o protótipo serão descritos nos próximos sub-itens vários cenários de voo de uma aeronave civil cujo tipo é detalhado previamente.

#### **3.2.3.4.1 Aeronave em Voo - G2 Normal**

Neste item é descrito o funcionamento do protótipo para dois modos de operação. O primeiro modo, com o botão “SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL” na posição ativo, o botão “GERENCIADOR DE CARGAS” na posição inativo e o botão “GERADOR PRINCIPAL” na posição normal, simula avião em voo com todas as cargas não essenciais (CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4) e essenciais (CE1, CE2, CE3 e CE4) ativas e o gerador principal “2” (G2) em condições normais de operação. O segundo modo, com o botão “SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL” na posição inativo, o botão “GERENCIADOR DE CARGAS” na posição ativo e o botão “GERADOR PRINCIPAL” na posição normal, simula avião em voo com todas as cargas não essenciais (CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4) e essenciais (CE1, CE2, CE3 e CE4) ativas e o gerador principal “2” (G2) em condições normais de operação. Nesta situação é possível visualizar que ambos modos de operação possuem comportamentos idênticos com relação às cargas, ou seja, os geradores principais da aeronave suprem todas as cargas do sistema. A figura 26 ilustra esses modos de operação.

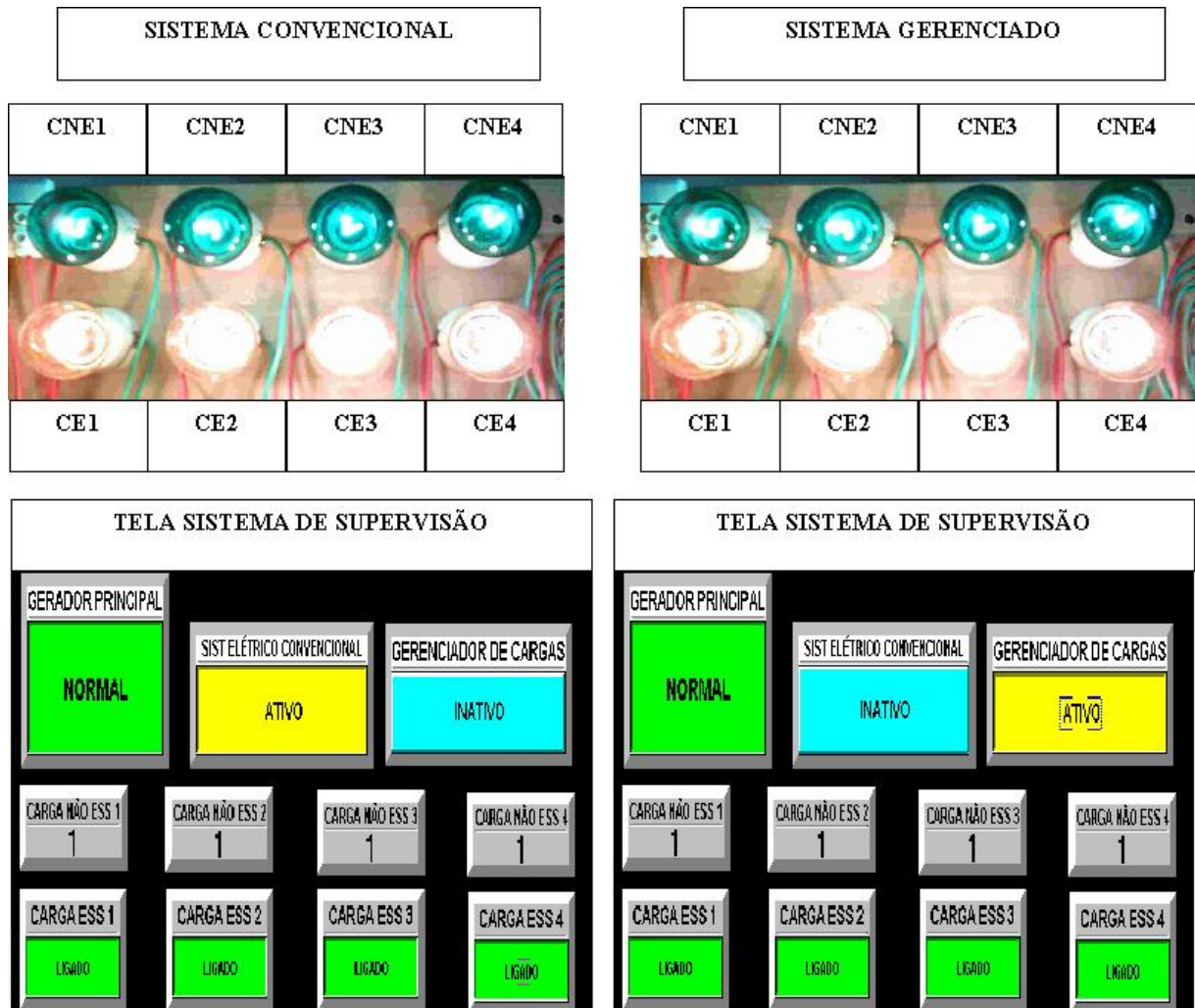


Figura 26 - Modo Convencional / Gerenciado - G2 Normal.

### 3.2.3.4.2 Aeronave em Vôo - G2 Falhado

Neste item é descrito o funcionamento do protótipo para dois modos de operação. O primeiro modo, com o botão “SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL” na posição ativo, o botão “GERENCIADOR DE CARGAS” na posição inativo e o botão “GERADOR PRINCIPAL” na posição falhado, simula avião em vôo com todas as cargas não essenciais (CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4) inativas, as cargas essenciais (CE1, CE2, CE3 e CE4) ativas e



o gerador principal “2” (G2) falhado. O segundo modo, com o botão “SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL” na posição inativo, o botão “GERENCIADOR DE CARGAS” na posição ativo e o botão “GERADOR PRINCIPAL” na posição falhado, simula avião em vôo com todas as cargas não essenciais (CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4) inativas, as cargas essenciais (CE1, CE2, CE3 e CE4) ativas e o gerador principal “2” (G2) falhado. Nesta situação é possível visualizar que ambos modos de operação possuem comportamentos idênticos com relação às cargas, ou seja, o gerador principal “2” (G2) falhado fez com que a lógica do sistema, para ambos modos de operação (convencional e gerenciado), causasse o desligamento das cargas não essenciais à aeronavegabilidade do avião dando prioridade à operação das cargas essenciais por meio da energia provida pelo gerador principal remanescente da aeronave, no caso o gerador principal “1” (G1). A figura 27 ilustra os modos de operação indicados nesse item.

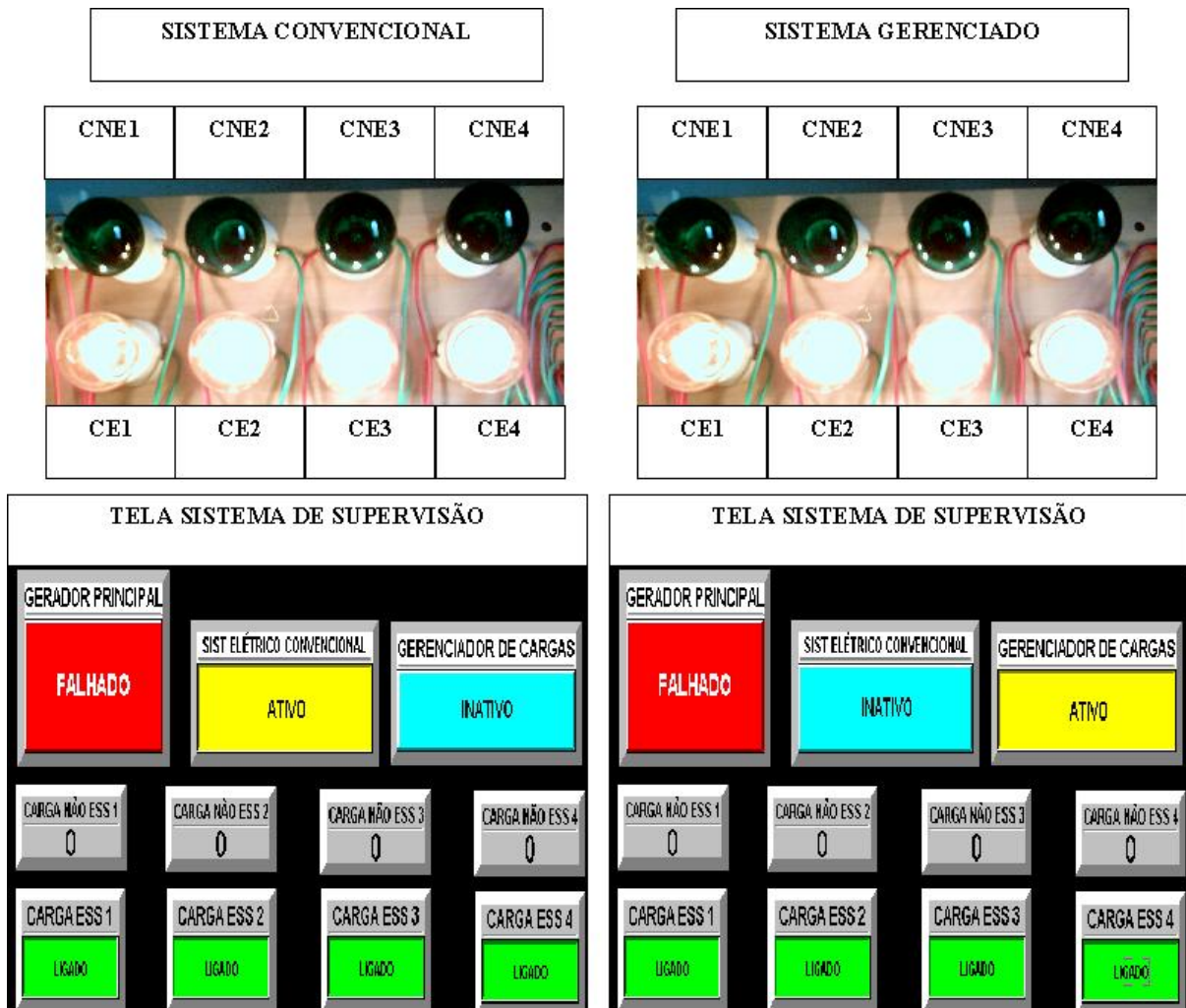


Figura 27 - Modo Convencional / Gerenciado - G2 Falhado.

### 3.2.3.4.3 Aeronave em Vôo - G2 Falhado Retorno CNE1

Neste item é descrito o funcionamento do protótipo para dois modos de operação. O primeiro modo, com o botão “SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL” na posição ativo, o botão “GERENCIADOR DE CARGAS” na posição inativo e o botão “GERADOR PRINCIPAL” na posição falhado, simula avião em vôo com as cargas não essenciais (CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4) inativas, as cargas essenciais CE1, CE3 e CE4 ativas, a carga essencial CE2 inativa e o gerador principal “2” (G2) falhado. O segundo modo, com o botão

“SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL” na posição inativo, o botão “GERENCIADOR DE CARGAS” na posição ativo e o botão “GERADOR PRINCIPAL” na posição falhado, simula avião em vôo com a carga não essencial CNE1 ativa, as cargas não essenciais CNE2, CNE3 e CNE4 inativas, as cargas essenciais CE1, CE3 e CE4 ativas, a carga essencial CE2 inativa e o gerador principal “2” (G2) falhado. Nesta situação é possível visualizar que o modo de operação convencional atua desligando todas as cargas não essenciais à aeronavegabilidade do avião dando prioridade à operação das cargas essenciais por meio da energia provida pelo gerador principal remanescente da aeronave, no caso o gerador principal “1” (G1), após a falha no gerador principal “2” (G2). Já no modo de operação gerenciado a prioridade de operação das cargas essenciais, por meio da energia provida pelo gerador principal remanescente da aeronave no caso o gerador principal “1” (G1), é mantida, porém o gerenciador promove a recuperação da carga não essencial “1” (CNE1), pois a condição de vôo da aeronave não exige a utilização da carga essencial “2” (CE2). A figura 28 ilustra os modos de operação indicados nesse item.

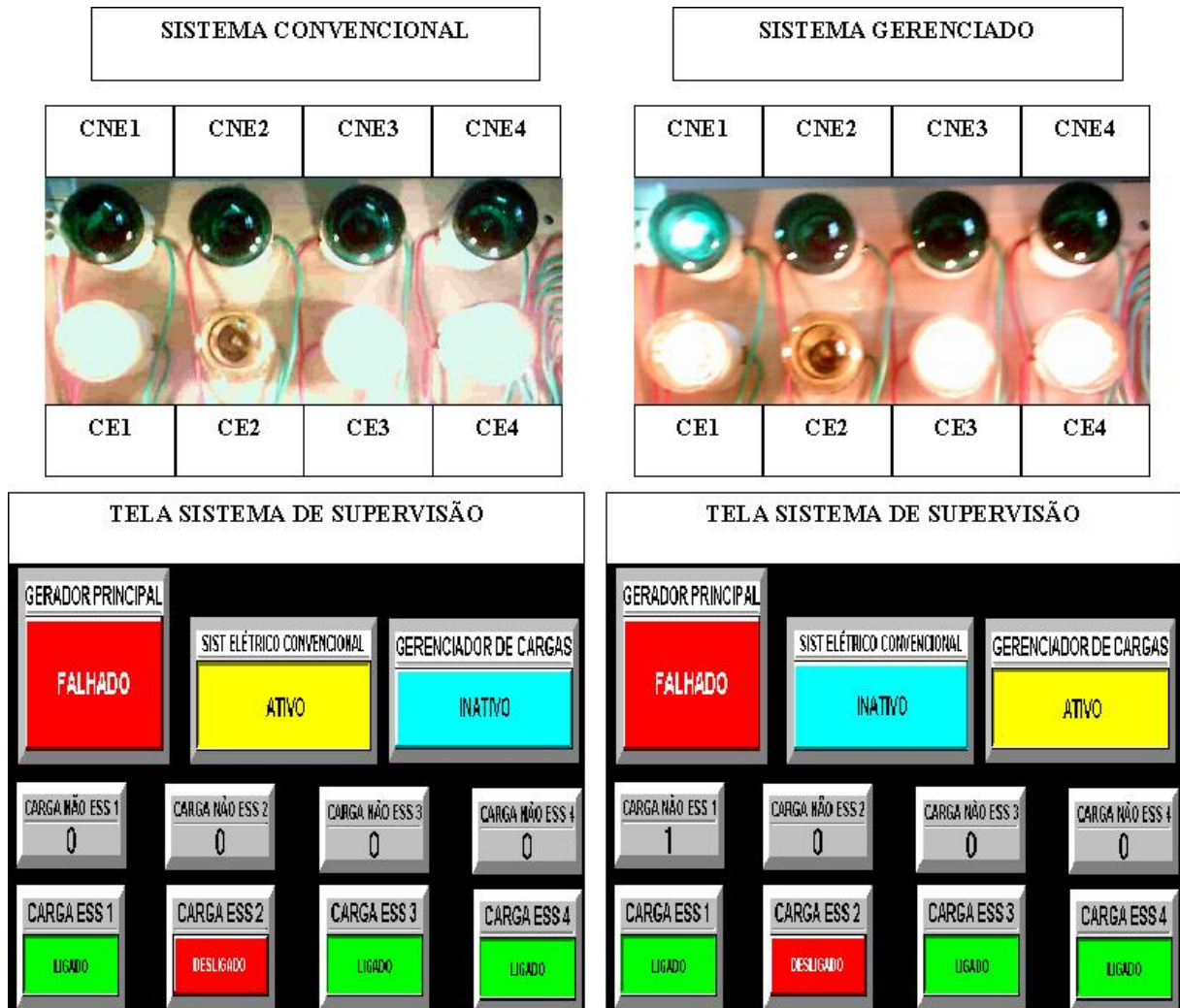


Figura 28 - Modo Convencional / Gerenciado - G2 Falhado Retorno CNE1.

### 3.2.3.4.4 Aeronave em Vôo - G2 Falhado Retorno CNE1 e CNE2

Neste item é descrito o funcionamento do protótipo para dois modos de operação. O primeiro modo, com o botão “SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL” na posição ativo, o botão “GERENCIADOR DE CARGAS” na posição inativo e o botão “GERADOR PRINCIPAL” na posição falhado, simula avião em vôo com as cargas não essenciais (CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4) inativas, as cargas essenciais CE1 e CE4 ativas, as cargas essenciais CE2 e CE3 inativas e o gerador principal “2” (G2) falhado. O segundo modo, com o botão

“SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL” na posição inativo, o botão “GERENCIADOR DE CARGAS” na posição ativo e o botão “GERADOR PRINCIPAL” na posição falhado, simula avião em vôo com as cargas não essenciais CNE1 e CNE2 ativas, as cargas não essenciais CNE3 e CNE4 inativas, as cargas essenciais CE1 e CE4 ativas, as cargas essenciais CE2 e CE3 inativas e o gerador principal “2” (G2) falhado. Nesta situação é possível visualizar que o modo de operação convencional atua desligando todas as cargas não essenciais à aeronavegabilidade do avião dando prioridade à operação das cargas essenciais por meio da energia provida pelo gerador principal remanescente da aeronave, no caso o gerador principal “1” (G1), após a falha no gerador principal “2” (G2). Já no modo de operação gerenciado a prioridade de operação das cargas essenciais, por meio da energia provida pelo gerador principal remanescente da aeronave, no caso o gerador principal “1” (G1), é mantida, porém o gerenciador promove a recuperação das cargas não essenciais “1” (CNE1) e “2” (CNE2) já que a condição de vôo da aeronave não exige a utilização das cargas essenciais “2” (CE2) e “3” (CE3). A figura 29 ilustra os modos de operação indicados nesse item.

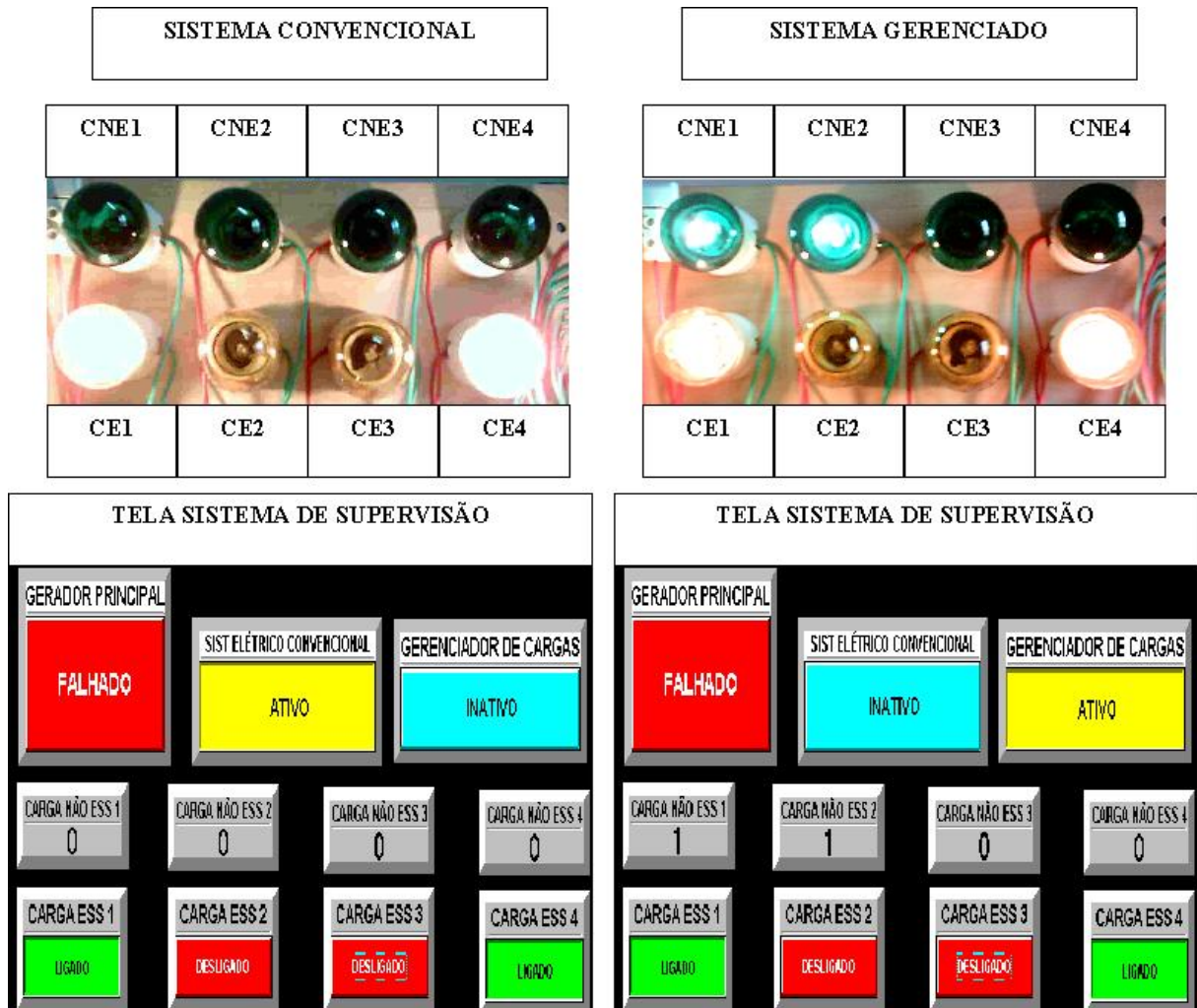


Figura 29 - Modo Convencional / Gerenciado - G2 Falhado Retorno CNE1 e CNE2.

### 3.2.3.4.5 Aeronave em Vôo - G2 Falhado Retorno CNE1, CNE2 e CNE3

Neste item é descrito o funcionamento do protótipo para dois modos de operação. O primeiro modo, com o botão “SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL” na posição ativo, o botão “GERENCIADOR DE CARGAS” na posição inativo e o botão “GERADOR PRINCIPAL” na posição falhado, simula avião em vôo com as cargas não essenciais (CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4) inativas, a carga essencial CE4 ativa, as cargas essenciais CE1, CE2 e CE3 inativas e o gerador principal “2” (G2) falhado. O segundo modo, com o botão “SIST

ELÉTRICO CONVENCIONAL” na posição inativo, o botão “GERENCIADOR DE CARGAS” na posição ativo e o botão “GERADOR PRINCIPAL” na posição falhado, simula avião em voo com as cargas não essenciais CNE1, CNE2 e CNE3 ativas, a carga não essencial CNE4 inativa, a carga essencial CE4 ativa, as cargas essenciais CE1, CE2 e CE3 inativas e o gerador principal “2” (G2) falhado. Nesta situação é possível visualizar que o modo de operação convencional atua desligando todas as cargas não essenciais à aeronavegabilidade do avião dando prioridade à operação das cargas essenciais por meio da energia provida pelo gerador principal remanescente da aeronave, no caso o gerador principal “1” (G1), após a falha no gerador principal “2” (G2). Já no modo de operação gerenciado a prioridade de operação das cargas essenciais, por meio da energia provida pelo gerador principal remanescente da aeronave, no caso o gerador principal “1” (G1), é mantida, porém o gerenciador promove a recuperação das cargas não essenciais 1 (CNE1), 2 (CNE2) e 3 (CNE3) já que a condição de voo da aeronave não exige a utilização das cargas essenciais “1” (CE1), “2” (CE2) e “3” (CE3). A figura 30 ilustra os modos de operação indicados nesse item.

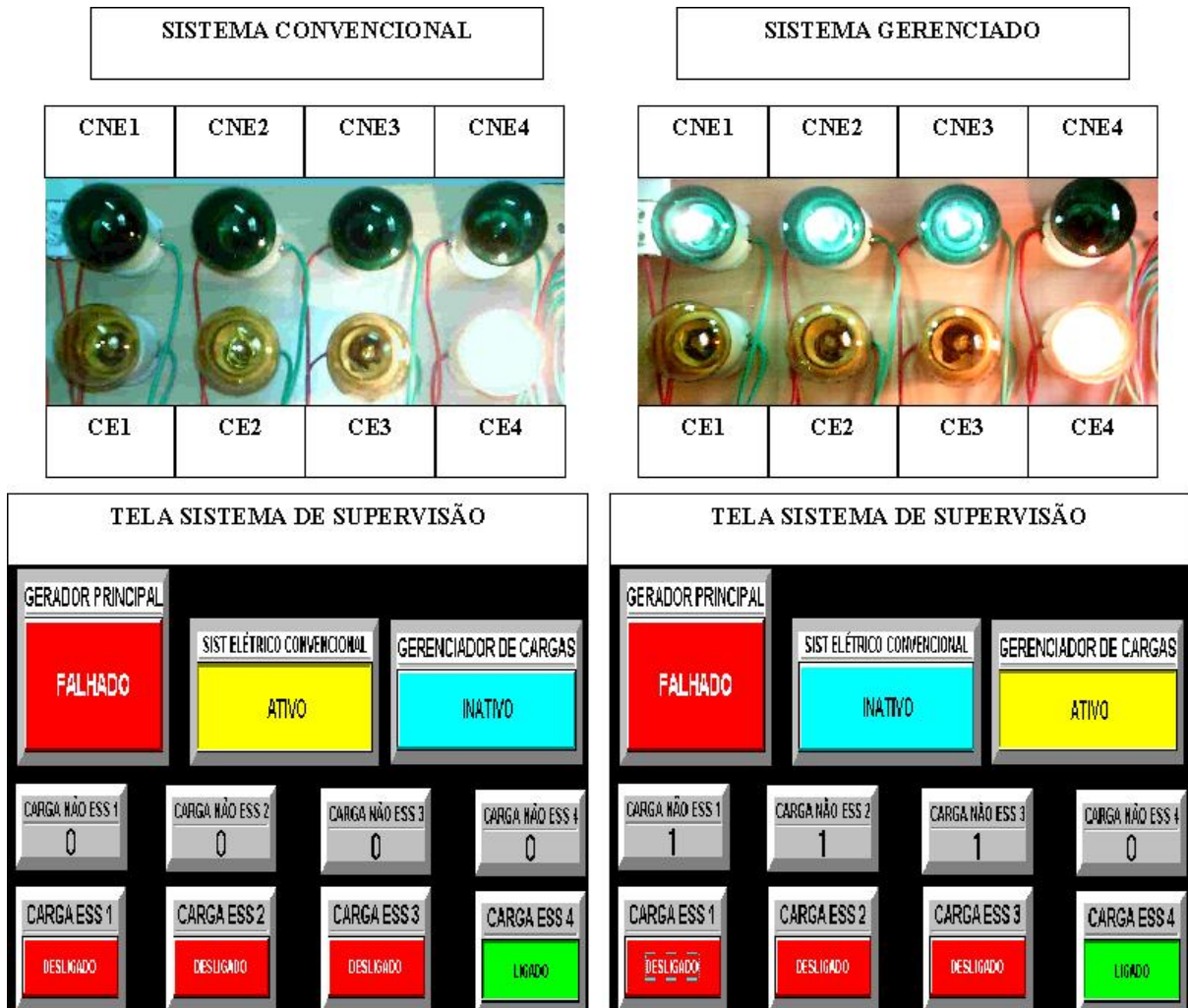


Figura 30 - Modo Convencional / Gerenciado - G2 Falhado Retorno CNE1, CNE2 e CNE3.

### 3.2.3.4.6 Aeronave em Vôo - G2 Falhado Retorno CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4

Neste item é descrito o funcionamento do protótipo para dois modos de operação. O primeiro modo, com o botão “SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL” na posição ativo, o botão “GERENCIADOR DE CARGAS” na posição inativo e o botão “GERADOR PRINCIPAL” na posição falhado, simula avião em vôo com as cargas não essenciais (CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4) e essenciais (CE1, CE2, CE3 e CE4) inativas e o gerador principal “2” (G2) falhado. O segundo modo, com o botão “SIST ELÉTRICO CONVENCIONAL” na



posição inativo, o botão “GERENCIADOR DE CARGAS” na posição ativo e o botão “GERADOR PRINCIPAL” na posição falhado, simula avião em vôo com as cargas não essenciais (CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4) ativas, as cargas essenciais (CE1, CE2, CE3 e CE4) inativas e o gerador principal “2” (G2) falhado. Nesta situação é possível visualizar que o modo de operação convencional atua desligando todas as cargas não essenciais à aeronavegabilidade do avião dando prioridade à operação das cargas essenciais por meio da energia provida pelo gerador principal remanescente da aeronave, no caso o gerador principal “1” (G1), após a falha no gerador principal “2” (G2). Já no modo de operação gerenciado a prioridade de operação das cargas essenciais, por meio da energia provida pelo gerador principal remanescente da aeronave, no caso o gerador principal “1” (G1), é mantida, porém o gerenciador promove a recuperação das cargas não essenciais “1” (CNE1), “2” (CNE2), “3” (CNE3) e “4” (CNE4) já que a condição de vôo da aeronave não exige a utilização das cargas essenciais “1” (CE1), “2” (CE2), “3” (CE3) e “4” (CE4). A figura 31 ilustra os modos de operação indicados nesse item.

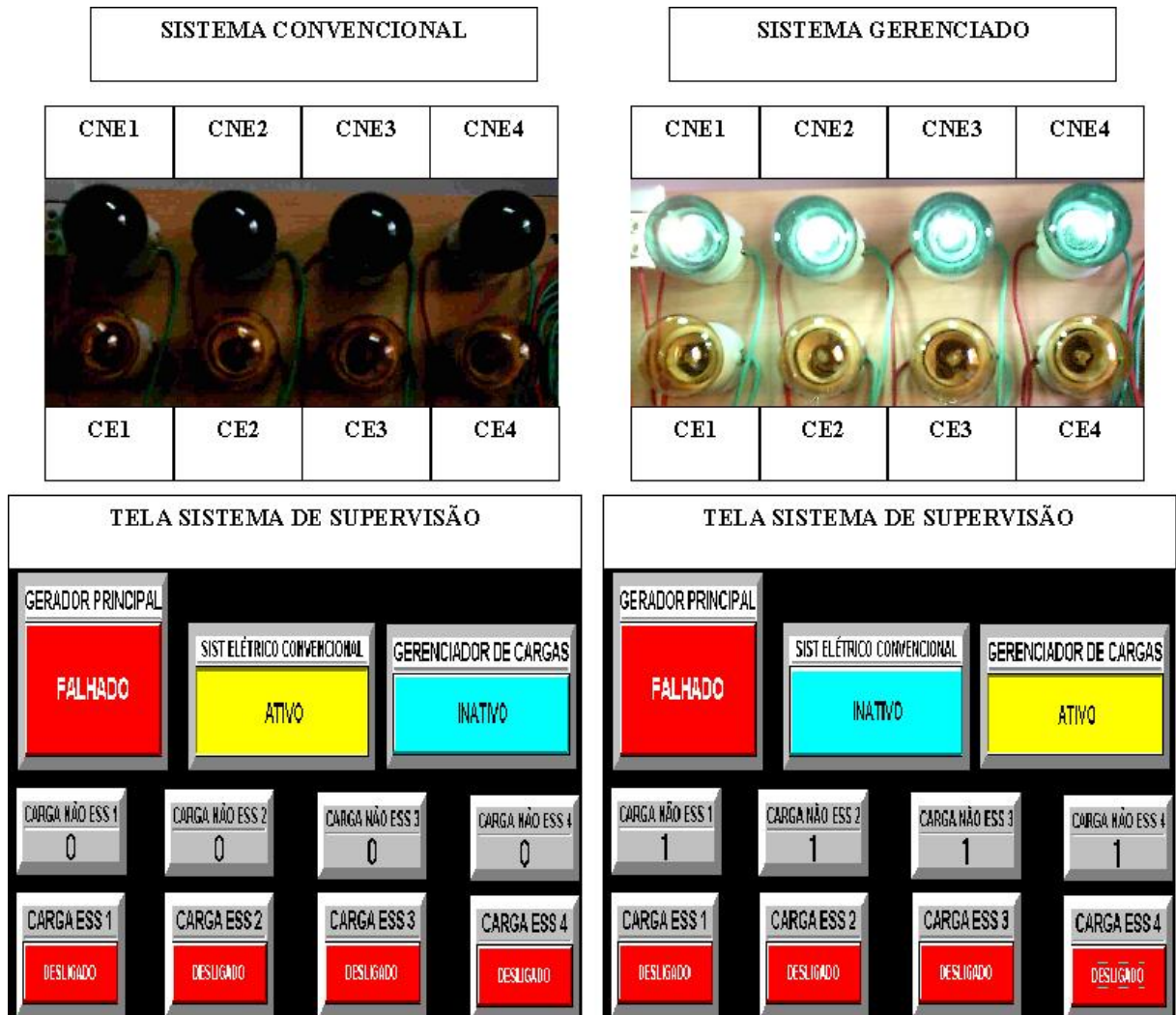


Figura 31 - Modo Convencional / Gerenciado - G2 Falhado Retorno CNE1, CNE2, CNE3 e CNE4.

### **3.2.4 Resultados**

Os resultados obtidos nos ensaios com o protótipo para validar a proposta conceitual de sistema para gerenciamento de cargas elétricas aeronáuticas foram satisfatórios. A operação do protótipo representa e demonstra a possível flexibilização no uso do excedente de energia elétrica não consumida de uma aeronave civil, em função de condições favoráveis de voo e durante falha em um dos geradores principais da mesma. A eficácia do algoritmo elaborado para o sistema proposto, objetivando monitorar o consumo de corrente das cargas essenciais para controle da recuperação das cargas não essenciais, fica evidenciado nos resultados obtidos com o protótipo. Também o comparativo do comportamento de operação do protótipo simulando sistema convencional e sistema gerenciado, no contexto do sistema elétrico de uma aeronave civil, mostra com clareza os resultados de ambos para diferentes cenários de operação dessa aeronave. Esse comparativo possibilita visualizar e extrair o senso crítico dos benefícios possíveis de se obter e seus limites.

## **CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES**

Os ensaios práticos com o protótipo para validar a Proposta Conceitual de Sistema para Gerenciamento de Cargas Elétricas Aeronáuticas mostraram resultados significativos com relação a benefícios possíveis de se obter caso essa proposta fosse aplicada ao sistema elétrico de uma aeronave civil. Esses ensaios foram focados em simular cenário de voo no qual a aeronave sofre limitação no sistema de geração elétrica. Na validação desta proposta conceitual é possível verificar que o protótipo do sistema para gerenciamento de cargas elétricas permite o restabelecimento de algumas cargas não essenciais desativadas durante falha em um dos geradores em voo. Esse gerenciamento é baseado na leitura do consumo de corrente das cargas essenciais. O protótipo desta proposta conceitual para gerenciamento de cargas mostra possíveis vantagens que seriam obtidas se essa proposta fosse aplicada ao conforto de passageiros e tripulação de uma aeronave civil.

É sugerido como trabalho futuro análise de parâmetros sistêmicos relativos à operação do avião e de condições ambientais nas quais o mesmo se encontra para refinamento do algoritmo de controle do sistema de gerenciamento das cargas.

## REFERÊNCIAS

**737 Detailed Technical Data (2006).** Disponível em <http://www.b737.org.uk/>. Acesso em 03/02/07.

**ATOS (2001). Controlador Programável MPC4004 Ref. 3-0019.210 Manual Rev. 2.10.** Disponível em <http://www.atos.com.br> . Acesso em 12/09/06.

**Categorias de Aeronaves segundo os RBHA (2003).** Disponível em <http://www.aviacao-civil.ifi.cta.br>. Acesso em 16/02/07.

**CONEXEL.** Catálogo – Sistemas de Interfaceamento Elétrico e Eletrônico para Energia e Técnica de Comando. Ano 1994.

**ELIPSE WINDOWS.** Sistema de Supervisão e Controle. Elipse Software “Manual do Usuário”. Ano 1999.

**FAR Parte 25 (2004)-FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. PART 25--AIRWORTHINESS STANDARDS: TRANSPORT CATEGORY AIRPLANES.** Disponível em <http://www.access.gpo.gov>. Acesso em 12/02/07.

**MIL-E-7016F (1976). Electric Load and Power Source Capacity, Aircraft, Analysis of.** Disponível em <http://www.assistdocs.com/>. Acesso em 15/11/06.

**MIL-STD-704E (1991). Aircraft Electric Power Characteristics.** Disponível em [http://www.wbdg.org/ccb/FEDMIL/mstd\\_704.pdf](http://www.wbdg.org/ccb/FEDMIL/mstd_704.pdf) . Acesso em 15/12/2006.

**MORAES, C.C.; CASTRUCCI, P.L. (2001). Engenharia de Automação Industrial.** Rio de Janeiro.LTC.

**PAULA, A; SALVADOR, M (2005). O que são sistemas supervisórios?, RT025.04.** Elipse Software. Disponível em <http://www.elipse.com.br>. Acesso em 01/02/2007.

**RBHA 01-REGULAMENTO BRASILEIRO DE HOMOLOGAÇÃO AERONÁUTICA Nº 01 (2005).** Disponível em <http://www.aviacao-civil.ifi.cta.br>. Acesso em 15/02/07.

**RBHA 21-REGULAMENTO BRASILEIRO DE HOMOLOGAÇÃO AERONÁUTICA Nº 21 (2005).** Disponível em <http://www.anac.gov.br/>. Acesso em 15/02/07.

**SIEMENS.** Catálogo Sistema “N”. Ano 1990.

**Wikipedia - Air Berlin Boeing 737-700 (2007).** Disponível em [http://en.wikipedia.org/wiki/Boeing\\_737](http://en.wikipedia.org/wiki/Boeing_737). Acesso em 04/02/07.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)