

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

WALLACE SILVA SANT' ANNA SOUZA

**AVALIAÇÃO TÉCNICO-FINANCEIRA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA
AUTÔNOMA PARA SUPRIMENTO DE EQUIPAMENTOS DE NAVEGAÇÃO
AÉREA EM AEROPORTO REGIONAL DO AMAZONAS**

Manaus/AM
2017

WALLACE SILVA SANT' ANNA SOUZA

**AVALIAÇÃO TÉCNICO-FINANCEIRA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA
AUTÔNOMA PARA SUPRIMENTO DE EQUIPAMENTOS DE NAVEGAÇÃO
AÉREA EM AEROPORTO REGIONAL DO AMAZONAS**

Projeto de Pesquisa desenvolvido durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentado à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade Estadual do Amazonas, como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Gonçalves
Co-orientador: Prof. Esp. Samir Salles

-

Manaus/AM
2017

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia - EST

Reitor:

Cleinaldo de Almeida Costa

Vice-Reitor:

Mário Augusto Bessa

Diretor da Escola Superior de Tecnologia:

Roberto Higino Pereira da Silva

Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica:

Cláudio Gonçalves

Banca Avaliadora composta por:

Prof. Cláudio Gonçalves (Orientador)

Prof. Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo

Prof. Pierre Macedo

Data da defesa: 14/12/2017.

CIP – Catalogação na Publicação

Silva, Wallace

AVALIAÇÃO TÉCNICO-FINANCEIRA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA AUTÔNOMA PARA SUPRIMENTO DE EQUIPAMENTOS DE NAVEGAÇÃO AÉREA EM AEROPORTO REGIONAL DO AMAZONAS / Wallace Silva Sant' Anna Souza; [orientado por] Cláudio Gonçalves. – Manaus: 2017.

114 p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade do Estado do Amazonas, 2017.

1. Energias Renováveis. 2. Auxílios à Navegação Aérea. 3. Projeto Elétrico Aeroportuário. I. Gonçalves, Cláudio.

WALLACE SILVA SANT' ANNA SOUZA

**AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA
AUTÔNOMA PARA SUPRIMENTO DE EQUIPAMENTOS DE NAVEGAÇÃO
AÉREA EM AEROPORTO REGIONAL DO AMAZONAS**

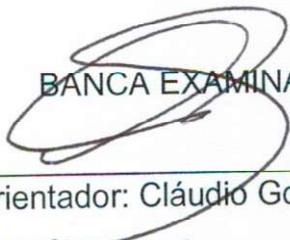
Projeto de Pesquisa desenvolvido durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentado à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade Estadual do Amazonas, como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

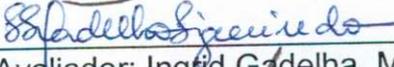
Nota obtida: 9,42 (nove vírgula quarenta e dois)

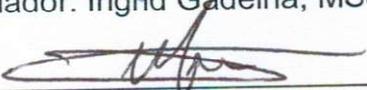
Aprovada em 14 / 12 / 2017.

Área de concentração: Energias Renováveis

BANCA EXAMINADORA


Orientador: Cláudio Gonçalves, Dr.


Avaliador: Ingrid Gadelha, MSc.


Avaliador: Pierre Macedo, MSc.

RESUMO

Este trabalho objetiva comparar técnica e economicamente o modelo de projeto elétrico aeroportuário tradicional com o que emprega energia solar fotovoltaica, isolada e redundante, para alimentar alguns Equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea, sendo estes o conjunto PAPI, Biruta, Painéis de Sinalização Vertical e Balizamento Noturno Luminoso. Neste contexto, pretende-se verificar qual dos dois sistemas apresenta o melhor custo-benefício e, assim, viabilizar uma operação por Regras de Voo Visual (VFR) diurno-noturna ao aeródromo de Flores localizado na cidade de Manaus. Para a análise técnica foram utilizados os princípios normativos brasileiros ou internacionais, válidos para o país que definem a metodologia de elaboração de cada projeto e os catálogos dos produtos disponibilizados pelos fabricantes que trabalham com estes equipamentos, enquanto que para a análise financeira foram utilizadas como fontes de informações atas de compras públicas ou bancos de dados governamentais como fontes de coleta de preços. Com base nesses parâmetros, foi possível determinar que os equipamentos com princípio de funcionamento de sistema fotovoltaico apresentaram cenário mais favorável de ser implantado no aeródromo escolhido. O Brasil já demonstrou seu interesse na tecnologia fotovoltaica para aplicação em aeródromos, a exemplo do de Santa Geneveva em Goiás. Contudo, apesar do interesse, ainda é necessária a formação de um mercado competitivo e abrangente de empresas que trabalhem com produtos que usam essa modalidade de energia no país, além de definir os parâmetros normativos que regulam os princípios de funcionamento dos meios de comunicação via rádio que opera o sistema Controle de Luminárias através de Rádio emitido por Aeronaves (ARCAL).

Palavras-chave: Auxílio à Navegação Aérea; Balizamento Noturno Luminoso; Controle de Luminárias através de Rádio emitido por Aeronaves; Regras de Voo Visual; Projeto Elétrico Aeroportuário; Sistema Fotovoltaico.

ABSTRACT

This relatory consist of a case estudy aimed at comparing, technically and economically the traditional project airport template against the photovoltaic isolated redundant system applied to some Aid Equipments for Air Navigation, these being the Precision Path System Indicator (PAPI), Wind Cone, Sign System and Aircraft Guidance Lights ir order to verify which presents the best cost-effective scenario to enable daytime/nighttime Visual Flight Rules (VFR) operation in Flores Aerodrome located in Manaus-Amazonas. The technical analysis has made use of the the brazillian regulatory principles or the international ones valid in the country to define the elaboration method of each project and the catalogs of the products made available by manufacturers that work with such equipment, while the financial analysis made use of public purchase minutes or governmental price collection databases. Based on these parameters, it was possible to determine that the equipment under the photovoltaic principle presented the best case scenario to be implement at the model aerodrome. The country has shown it's interest in this new type of technology by utilizing these products in reforming the Santa Genoveva airport in Goiás, however, it's necessary to form a competitive business market that works witch these products is still required and, in addiction, still is needed to define the regulatory parameters to regulate the principles of the means of communication via radio that operates the Aircraft Radio Control of Aerodrome Lighting (ARCAL) system.

Key words: Palavras-chave: Visual Aids for Airports; Aircraft Guidance Lights; Photovoltaic Systems; Aircraft Radio Control of Aerodrome Lighting; Flight Rules; Airport Electrical Projects.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quantidade de decolagens por região (milhares) - mercado doméstico ...	21
Figura 2 - Diário Oficial do Amazonas de 14 de Novembro de 1942.....	25
Figura 3 - Biruta não-iluminada existente no aeródromo de Flores.....	26
Figura 4 - Vista aérea do Aeródromo de Flores	26
Figura 5 - Representação ilustrativa do fluxo entre lado Terra e Ar pelo TPS	27
Figura 6 - Representação esquemática de biruta iluminada	32
Figura 7 - Representação ilustrativa da biruta submetida a diferentes rajadas.....	33
Figura 8 - Sistema PAPI em operação diurna	34
Figura 9 - Representação dos ângulos de raios de iluminação do sistema PAPI	35
Figura 10 - Representação simbólica da operação de um PAPI.....	36
Figura 11 - PSV em operação noturna.....	37
Figura 12 - Representação ilustrativa dos tipos de PSVs	38
Figura 13 - Balizamento Noturno Luminoso em operação noturna	40
Figura 14 - Esquemático de Balizamento Noturno Luminoso	41
Figura 15 - Esquemático de Balizamento com luminária de eixo e borda de PPD....	42
Figura 16 – Esquemático de ligação elétrica das luminárias.....	43
Figura 17 - Diagrama de blocos de projeto elétrico portuário tradicional	46
Figura 18 - Falha do sistema elétrico em Rio Preto	46
Figura 19 - Falha do sistema elétrico em Rio Preto	47
Figura 20 - Diagrama de blocos de sistemas fotovoltaicos isolados	49
Figura 21 - Aeródromo de Flores - Vista aérea	58
Figura 22 - Lista de aeródromos públicos	58
Figura 23 - Distanciamento recomendado para as luzes de pista de táxi	61
Figura 24 - Locação das luzes de cabeceira e fim de pista.....	62
Figura 25 - Painel de Sinalização Vertical de Localização	65
Figura 26 - Painel de localização associado a cabeceiras de pista.....	65
Figura 27 - Painel de Designação de localização de Pista.....	65
Figura 28 - Painel de Designação de Pista Livre.....	66
Figura 29 - Locação prevista para as subestações	68
Figura 30 - Diagrama de blocos da instalação da Biruta.....	78
Figura 31 - Diagrama do balizamento fotovoltaico	85

Figura 32 - Indicação de sentido do balizamento fotovoltaico	85
Figura 33 - Modelo de balizamento fotovoltaico	86
Figura 34 - Desenho esquemático do PAPI fotovoltaico	86
Figura 35 - Painéis fotovoltaicos do PAPI	87
Figura 36 - Modelo de PAPI fotovoltaico	87
Figura 37 - Modelo de PSV fotovoltaico	88
Figura 38 - Modelo de biruta iluminada fotovoltaica	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões construtivas e distâncias apropriadas para PSVs	39
Tabela 2 - Variação anual das tarifas de energia elétrica por classe de consumo....	54
Tabela 3 – Quantitativo de RCCs necessários para a topologia em série	69
Tabela 4 – Quantitativo de RCCs necessários para a topologia em paralelo	70
Tabela 5 – Dimensionamento de perdas da topologia em paralelo.....	73
Tabela 6 – Perdas de potência nos cabos dos RCCs	73
Tabela 7 – Dimensionamento do transformador e GMG	74
Tabela 8 – Quantitativo global do projeto tradicional.....	80
Tabela 9 – Quantitativo global do projeto fotovoltaico.....	90
Tabela 10 – Custo de aquisição e serviços do projeto tradicional.....	92
Tabela 11 – Custo de aquisição e serviços do projeto fotovoltaico	95
Tabela 12 – Resumo comparativo entre os modelos	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFIS:	Serviço de Informação de Voo de Aeródromo
ANAC:	Agência Nacional de Aviação Civil
ARCAL:	Controle de Luminárias através de Rádio emitido por Aeronaves
ATC:	Controle de Tráfego Aéreo
ATIS:	Serviço Automático de Informação Terminal
BDI:	Benefícios e Despesas Indiretas
BT:	Baixa Tensão
CINDACTA:	Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego
CPU:	Composição de Preço Unitário
CUT:	Central de Utilidades
DECEA:	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EMS:	Estação Meteorológica de Superfície
EPTA:	Estação Prestadora de Telecomunicações e de Tráfego Aéreo
FAA:	Administração Federal de Aviação
GMG:	Grupo Motor Gerador
IAC:	Instrução de Aviação Civil
ICA:	Instrução do Comando da Aeronáutica
ICAO:	Organização Internacional de Aviação Civil
IFR:	Regras de Voo por Instrumentos
INFRAERO:	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
IPCC:	Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima
KF:	Casa de Força
LED:	Diodo Emissor de Luz
NDEE:	Norma de Fornecimento de Energia Elétrica
MCC:	Memorial de Critérios e Condicionantes
MT:	Média Tensão
ORSE:	Orçamento de Obras de Sergipe
PAL:	Iluminação Controlada por Piloto
PAPI:	Indicador de Trajetória de Aproximação de Precisão
PDF:	Formato Portátil do Documento
PPD:	Pista de Pouso e Decolagem
PSV:	Painel de Sinalização Vertical
QD-BIR:	Quadro de Distribuição da Biruta
QD-KFE:	Quadro de Distribuição das Casas de Força Emergenciais
QD-KFN:	Quadro de Distribuição das Casas de Força Normais
QD-PRE:	Quadro de Distribuição de instalações Prediais
QD-RCC:	Quadro de Distribuição dos RCCs
QGBTE:	Quadro Geral de Baixa Tensão de Emergência
QGBTN:	Quadro Geral de Baixa Tensão Normal
RBAC:	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil
RCC:	Regulador de Corrente Constante
SAC:	Secretaria de Aviação Civil
SCI:	Sistema de Combate a Incêndio
SFI:	Sistema Fotovoltaico Isolado
SICOM:	Sistema Integrado de Controle e Monitoramento
SICRO:	Sistema de Custos Rodoviários

SINAPI:	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
TC:	Transformador de Corrente
TI:	Transformador de Isolamento
TP:	Transformador de Potencial
TPS:	Terminal de Passageiros
TWR:	Torre de Controle de Aeródromo
UPS:	Sistema Ininterrupto de Energia
USCA:	Unidade de Supervisão de Corrente Alternada
VA:	Volt-Ampère
VASP:	Viação Aérea São Paulo
VFR:	Regras de Voo Visual
VHF:	Frequência Muito Alta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 A história da aviação no mundo	15
2.2 A aviação no Brasil	18
2.3 Normas internacionais da aviação civil	22
2.4 Aeroclube	24
2.5 Estrutura básica de um aeródromo	27
2.6 Equipamentos de auxílios à navegação aérea	30
2.6.1 Biruta	32
2.6.2 Indicador de Trajetória de Aproximação de Precisão	34
2.6.3 Sinalização Vertical Luminosa.....	37
2.6.4 Balizamento Noturno Luminoso	39
2.7 Alimentação elétrica convencional	43
2.8 Tecnologia fotovoltaica	47
2.9 Equipamentos fotovoltaicos em ambientes aeroportuários	49
2.10 Parâmetros para análise financeira	52
3 METODOLOGIA	54
3.1 Materiais utilizados	55
4 IMPLEMENTAÇÃO	56
4.1 Definição do escopo do trabalho	56
4.2 Caracterização do aeródromo em planta baixa	57
4.3 Cenário proposto - modelo tradicional	59
4.3.1 Balizamento Noturno Luminoso	60
4.3.2 Indicador de Trajetória de Precisão.....	63
4.3.3 Sinalização Vertical Luminosa.....	64
4.3.4 Biruta	66
4.3.5 Locação da subestação.....	67
4.3.6 Dimensionamento	69
4.3.7 Diagrama unifilar geral	75
4.3.8 Infraestrutura elétrica.....	78
4.3.9 Quantitativo global do modelo tradicional.....	79

4.4 Cenário proposto - modelo fotovoltaico	82
4.4.1 Luminárias de balizamento.....	84
4.4.2 Indicador de Trajetória de Precisão.....	86
4.4.3 Painel de Sinalização Vertical Luminosa.....	88
4.4.4 Biruta	88
4.4.5 Quantitativo global do modelo fotovoltaico	89
4.4.6 Análise Financeira.....	91
4.5 Custo de aquisição de produtos e serviços do modelo tradicional	91
4.6 Custo de aquisição e serviços do modelo fotovoltaico	94
4.7 Análise dos resultados obtidos	96
4.7.1 Análise dos parâmetros financeiros	96
4.7.2 Análise dos parâmetros técnicos.....	97
5 CONCLUSÃO	101
REFERÊNCIAS	103
APÊNDICE A - IMPLANTAÇÃO DO MODELO TRADICIONAL PARTE 1	107
APÊNDICE B - IMPLANTAÇÃO DO MODELO TRADICIONAL PARTE 2	108
APÊNDICE C - DIAGRAMAS E QUADROS DE CARGA PARTE 1	109
APÊNDICE D - DIAGRAMAS E QUADROS DE CARGA PARTE 2	110
APÊNDICE E – DIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS	111
APÊNDICE F - IMPLANTAÇÃO DO MODELO FOTOVOLTAICO PARTE 1	113
APÊNDICE G - IMPLANTAÇÃO DO MODELO FOTOVOLTAICO PARTE 2	114

1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa abordou o tema de energias renováveis aplicadas a aeródromos de aviação civil por meio de uma avaliação técnico-financeira de implantação de geração solar fotovoltaica isolada redundante, como fonte de energia elétrica para equipamentos visuais de Auxílios à Navegação Aérea, para comparação com o modelo tradicional de sistema elétrico fornecido pela concessionária de energia.

A análise realizada levou em consideração os problemas decorrentes da alimentação elétrica tradicional destinada aos equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea, que representam um custo significativo dos aeródromos devido à utilização de subestações e infraestrutura cabeada enterrada. Essa modalidade de alimentação emite gases poluentes e apresenta falhas sistêmicas, colocando em risco todos os componentes do tráfego aéreo, conforme descrito no item 2.7 deste documento.

Este trabalho baseia-se na hipótese de que é possível utilizar em aeródromos localizados no estado do Amazonas a geração fotovoltaica (GFV), tipo sistema autônomo com redundância, em substituição ao modelo tradicional de energia elétrica, a um custo compatível e sem que haja perda de confiabilidade, qualidade e segurança do serviço, levando-se em consideração às exigências normativas vigentes no país, sendo estas nacionais ou internacionais.

Desta forma, o objetivo consiste na elaboração de um projeto para o aeródromo de Flores (Manaus-AM) de forma a adequá-lo à operação por Regras de Voo Visual (VFR) diurno-noturna e que cumpra os requisitos listados nas normas vigentes com duas propostas de projetos elétricos: uma que empregue a utilização de alimentação com grupos motores-geradores (GMG) e outra com o emprego de tecnologia fotovoltaica. Compararam-se técnica e financeiramente as duas modalidades de alimentação.

Esta pesquisa se justifica pela crescente necessidade de utilização de GFV para redução de emissão de gases poluentes na atmosfera e melhoria da qualidade do serviço dos aeródromos brasileiros, além de disseminação dos conceitos empregados desta aplicação no ambiente acadêmico. Vale enfatizar que o modelo de GFV associada a equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea é empregado em diversos aeródromos do exterior, sobretudo, nos Estados Unidos e Canadá por

diminuírem a possibilidade de falhas sistêmicas e reduzir os custos tanto de implantação quanto da manutenção dos equipamentos associados.

Foi realizada uma revisão bibliográfica de normas e materiais didáticos que abrangem os critérios de locação de equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea, os conceitos empregados nos diversos projetos, especialmente, o modelo tradicional de fornecimento elétrico, catálogos de fabricantes dos produtos e os princípios que permeiam os equipamentos que possuem tecnologia fotovoltaica.

Este trabalho foi dividido em quatro seções: Referencial Teórico, Metodologia utilizada, Implementação e Análise dos Resultados obtidos.

A primeira seção consiste no Referencial Teórico que aborda o histórico da aviação civil no Brasil e no mundo, as normas internacionais e nacionais, uma breve descrição dos equipamentos de Navegação Aérea que foram definidos como escopo deste trabalho e os conceitos empregados nos modelos com alimentação elétrica tradicional e fotovoltaica.

A segunda seção foi definida como Metodologia e visou descrever os passos utilizados para o desenvolvimento do projeto através da divisão em etapas e os materiais empregados.

A terceira seção foi destinada à descrição dos conceitos utilizados no trabalho elaborado: princípios adotados para a definição do escopo, meio de execução dos projetos e critérios técnicos utilizados para justificá-los, os parâmetros obtidos para a análise financeira e, com base nestes, o desenvolvimento da análise financeira.

A quarta seção foi definida como a interpretação e análise dos resultados obtidos tanto na fase financeira quanto na técnica e, por fim, a definição da solução com melhor custo-benefício a ser empregada no aeródromo modelo.

Por fim, com os resultados obtidos foi possível concluir-se qual dos modelos de alimentação elétrica apresentou-se como o cenário mais favorável a ser empregado no aeródromo de Flores considerando-se tanto os aspectos financeiros quanto técnicos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Uma vez definido o problema e a proposta de solução, foram exploradas as ferramentas necessárias para que os resultados fossem alcançados. A hipótese abrange a utilização de alimentação elétrica com geradores fotovoltaicos autônomos com redundância para equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea e, para o completo entendimento deste Trabalho, foi realizada uma breve descrição das funções de cada equipamento no ambiente aeroportuário.

Deve-se reforçar que durante o decorrer do trabalho foram exploradas as medidas de segurança aplicáveis que, por se tratar de um ambiente com fluxo de pessoas constante e risco de acidentes, necessita de cuidados especiais que garantam confiabilidade e flexibilidade para que qualquer falha possa ser corrigida rapidamente.

Para os equipamentos a serem abordados, é necessário considerar que há um padrão nacional e internacional desenvolvido após anos de pesquisa e debates por profissionais especializados, portanto, não faz parte do escopo deste trabalho a descrição do circuito eletrônico interno individual e sim a busca no mercado internacional do equipamento que melhor atenda às necessidades operacionais do ambiente em estudo e preparação da infraestrutura elétrica necessária para o seu correto funcionamento.

2.1 A história da aviação no mundo

O marco inicial da história da aviação no mundo começou como fruto dos esforços de um brasileiro quando, no dia 23 de outubro de 1906 em Bagatelle na França, Alberto Santos-Dumont realizou o feito inédito de taxiar, decolar, voar nivelado e pousar com um aparelho que se deslocava com recursos próprios. Obviamente, esse feito não foi um ato de genialidade isolado, mas sim uma consequência da evolução científica e tecnológica desenvolvida com o passar dos anos, sobretudo, nos campos da engenharia e economia ao redor do mundo (CROUCH, 2008).

A atividade aérea era vista como uma maravilha da época e fazia com que multidões se reunissem em feiras para assistir às manobras artísticas dos corajosos pilotos. Este cenário de competições e desafios difundiu-se pela Europa, fator que

contribuiu para sua evolução e expansão, sobretudo, na França e Alemanha. Na América do Norte, por outro lado, as brigas por patentes retardaram sua difusão (CROUCH, 2008).

Com o decorrer do tempo, este panorama festivo e otimista daria lugar à preparação e motivação bélica, sobretudo, devido à flexibilidade, agilidade e poder destrutivo das aeronaves. Os pilotos que mais se destacavam passaram a ser celebrados e considerados heróis de guerra, o que culminou com o setor militar tornando-se o principal interessado em educar e especializar novos profissionais.

Houve uma evolução tecnológica marcante durante este período. O fim da guerra na Europa foi determinante para que fossem organizados os fundamentos da atividade aérea. Contudo, a crise econômica generalizada do período pós-guerra e desaceleração do mercado bélico fizeram com que novos desafios e mercados fossem explorados, sobretudo, com vista à aviação civil. Essa mudança de rumo serviu também como construção de novos objetivos, tais como a realização de voos transatlânticos ou de longa duração (CROUCH, 2008).

A imagem de profissionais capazes de manobras imprudentes e artísticas criada desde 1910 passou a ser um inconveniente por transparecer insegurança, sobretudo, para a comercialização de passagens aéreas. Por este motivo, a partir de 1932, as companhias aéreas passaram a oferecer programas de formação e treinamento de profissionais voltados para a aviação civil, assim como novas categorias de profissionais responsáveis por auxiliar o piloto tanto dentro das aeronaves quanto em terra, a exemplo dos controladores de voo, atendentes de embarque, gestores de aeródromos e assim por diante.

A Convenção Internacional sobre Navegação Aérea foi assinada em 13 de outubro de 1919 com o reconhecimento inicial de 27 países sendo respeitado o direito individual de controlar o próprio espaço aéreo. Nesta mesma época foi criada a “*National Advisory Commite for Aeronautics*” nos Estados Unidos, órgão federal que recebeu as atribuições de licenciar pilotos, certificar aeronaves e realizar manutenção de aeroportos (CROUCH, 2008).

A aviação civil cresceu na Europa e nos Estados Unidos, o que criou novos nichos econômicos e substituiu gradativamente os ciclos de operações com bases fixas e regulares de forma a tonar o plano de voo flexível. Os avanços tecnológicos nos campos da ciência aerodinâmica, construção de aeronaves, equipamentos

auxiliares e sistemas de controle tornaram possíveis a realização de voos com maior duração assim como alcançar novas velocidades e capacidade de aumento da carga suportada pela aeronave, cenário que perdurou até meados da década de 30 (GRANT, 2002).

Com a ascensão dos regimes totalitários e tensão no cenário político que culminaria na 2ª Guerra Mundial, o setor militar voltaria a ser o maior responsável pelo desenvolvimento da aviação novamente. A partir de agora, a superioridade aérea tornava-se um fator determinante para a vitória, o que possibilitou desde o bombardeio estratégico até o reconhecimento de terreno e apoio às tropas em terra.

As áreas de operações militares foram bastante estendidas com possibilidades de operações de pouso e decolagem no meio do oceano através de navios porta aviões. A guerra impulsionou as pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias que culminaram no surgimento dos jatos, helicópteros, armas nucleares e sistemas eletrônicos (CROUCH, 2008).

Ao fim da Segunda Guerra e início do período de tensões da Guerra Fria, o foco de desenvolvimento da indústria aeronáutica ficou dividido com parte do setor destinado à aviação civil e as duas principais nações (Estados Unidos e União Soviética) com investimentos principais em aplicações militares.

No início da década de 50, surgiram as primeiras aeronaves a jato, mas somente em 1958, o primeiro avião de passageiros começou a operar com sucesso e, com ele, os novos desafios para a indústria aeronáutica, que buscava aeronaves cada vez maiores e mais rápidas e seus sistemas foram ficando cada vez mais complexos (GRANT, 2002).

Diversas novas tecnologias foram desenvolvidas com o decorrer dos anos, dentre as quais se destacam: desenvolvimento das aeronaves supersônicas e sistemas de navegação automática (década de 70), elaboração de sistemas de gerenciamento de voos eletrônicos (década de 80), introdução de sistemas digitais que incluíam novos comandos de voo e sistemas de proteção gerenciados por software (década de 90).

Os atentados de 11 de setembro de 2001 nos Estados Unidos influenciaram negativamente o mercado da aviação civil que chegou a apresentar queda de demanda de até 40% (CROUCH, 2008). Essa crise se estendeu em todos os setores da indústria aeronáutica e substituiu o foco de competição do mercado de

competição tecnológica para investimento comercial (NEWHOUSE, 2008).

2.2 A aviação no Brasil

Os pioneiros da aviação civil no Brasil, em 1911, foram os europeus Roland Garros, Edmond Plachout e Ernesto Darioli que fizeram diversas demonstrações de movimentos aéreos na cidade de São Paulo que culminaram na criação do “Aeroclub Brasileiro”, uma organização civil apoiada pelas instituições militares que possuía por objetivos a fundação de uma escola de aviação e permitir armazenamento de aeronaves para fins militares. Em 1914, esta escola contava com 15 aviões e 45 alunos matriculados (LAVERNÉRE-WANDERLEY, 1975).

Por outro lado, o primeiro marco da aviação civil no Brasil foi em 1927 com a criação de uma linha regular da Condor Syndikat (empresa Alemã) dedicada ao transporte de passageiros no país. Esta linha foi nacionalizada no primeiro dia de dezembro do mesmo ano com o nome de “Sindicato Condor Limitada” e, durante a II Guerra Mundial, mudou de nome para Serviços Aéreos Cruzeiro do Sul.

Em 1929, a linha Nova Iorque - Rio - Buenos Aires iniciou suas operações sob responsabilidade da Nyrba do Brasil S.A que, logo em seguida, transformou-se na Panair do Brasil. Em 1933, foi criada mais uma companhia aérea: a Viação Aérea São Paulo (VASP) que iniciou o voo regular entre Rio de Janeiro e São Paulo, linha brasileira de maior tráfego até os dias de hoje. O grande impulso na aviação civil brasileira ocorreu em 1940 quando foram adquiridas dezenas de aeronaves americanas a baixo custo por serem excedentes de guerra, contudo, a estrutura e regulação estatal ainda eram precárias e foram pressionadas a serem desenvolvidas para abranger esta nova realidade e adequação à dimensão territorial do país (FAJER, 2009).

Em 1941, o Governo Brasileiro unificou as operações militares e civis através da criação do Ministério da Aeronáutica que nomeou seu efetivo militar de Força Aérea Brasileira. Em 1942, o Brasil juntou-se aos Aliados e declarou guerra à Alemanha e Itália. Para garantir a segurança do território brasileiro, a FAB atuou nas fronteiras, principalmente, marítimas. Neste mesmo ano, foram enviadas duas equipes de combate para a Europa: o 1º Grupo de Aviação de Caça e a 1ª Esquadilha de Ligação e Observação (LAVERNÉRE-WANDERLEY, 1975).

A aviação civil brasileira enfrentou uma grave crise no começo da década de

50, sobretudo, devido à oferta exagerada e desequilíbrios financeiros que acarretaram numa série de fusões e declarações de falências de empresas aéreas. O número de cidades atendidas neste período era de 358, quantidade que só voltaria a ser repetida e superada a partir da década de 90 e possibilidade de transporte por dezesseis companhias aéreas, algumas com apenas duas ou três aeronaves destinadas a ligações regionais (PESSOA, 1989).

Na década de 60, a crise econômica do setor aéreo continuou a se intensificar e causava sérias preocupações às companhias que superaram a década de 50 e o cenário não mostrava expectativa de melhoras. Por este motivo, o governo federal intensificou seu controle através de apoio a novas fusões e medidas administrativas de forma que restaram apenas 4 grandes empresas comerciais: VARIG, VASP, Transbrasil e Cruzeiro. Essas medidas acarretaram uma redução drástica do mapa de rotas aeronáuticas de forma a excluir diversas cidades. Por volta da década de 70, com o apoio estadual e municipal, novas empresas aéreas foram fundadas de forma a atender as demandas estaduais que não eram supridas pela infraestrutura existente, dentre as quais se destacam: Nordeste Linhas Aéreas Regionais, Rio Sul Serviços Aéreos Regionais, Taba Linhas Aéreas, Táxi Aéreo Marília e Votec Linhas Aéreas. (BRASIL, 2001).

Poucos anos depois, a VARIG se fundiu com a Cruzeiro e absorveu outras empresas regionais, o que a tornou a empresa dominante no transporte aéreo da América Latina até o início do século XXI. Contudo, após anos de constante declínio, a empresa foi adquirida pela companhia aérea Gol Linhas Aéreas Inteligentes S.A., primeira do ramo a operar no país com uma proposta de redução de custos operacionais através da redução dos serviços de atendimento aos passageiros conhecida por custos baixos - tarifas baixas (lowcost - low fare).

Em 1991, novas diretrizes políticas foram impostas pelo Ministério da Aeronáutica, sobretudo, para os transportes aéreos comerciais através de um sistema monitorado de liberação de tarifas aéreas e flexibilização das regras para aumento da concorrência entre as empresas e desenvolvimento do transporte aéreo não regular (BRASIL, 2001).

A década de 90 foi marcada por constantes intervenções que afetaram diretamente os investimentos do setor aéreo, sobretudo, devido às medidas adotadas pelo governo na economia, dentre os quais se destacam: Aplicação do

Plano Real que definiu um novo valor para a moeda financeira e maior fluxo monetário que elevou o poder aquisitivo de algumas camadas da população e culminou no maior interesse por viagens tanto nacionais quanto internacionais. Além disso, houve também intervenções na estrutura militar do país com a criação do Ministério da Defesa que se tornou o centro de comando para todas as estruturas militares.

O novo ministério passou a ter sob sua responsabilidade uma diversificada gama de assuntos, dentre os quais se destacam a organização de operações militares, solicitação e elaboração do orçamento da defesa, o serviço militar e a aviação civil; constituindo, em 2000, o Conselho da Aviação Civil, com o intuito de assessorar o Presidente da República na formulação da Política Nacional da Aviação Civil (BRASIL, 2000).

Em 2006, foi criada a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) para organizar a aviação civil, sobretudo, através dos padrões técnicos internacionais para aperfeiçoar os processos operacionais.

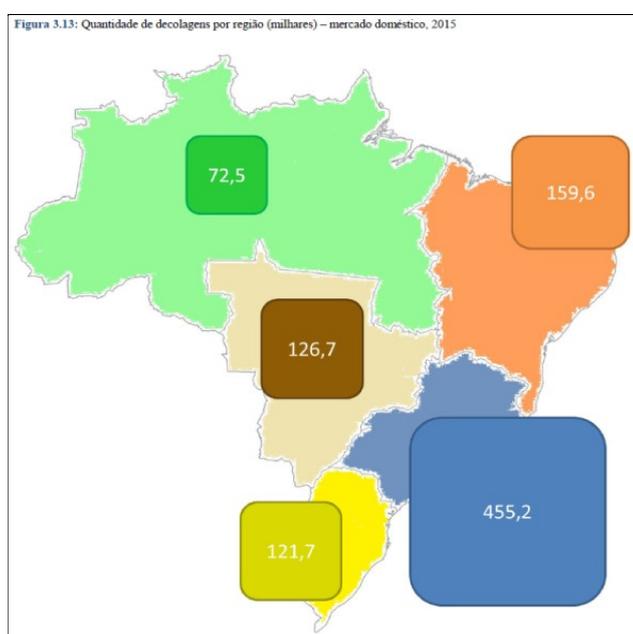
A ANAC tem sua origem no Departamento de Aviação Civil, órgão subordinado ao Comando da Aeronáutica e que tinha como competência planejar, gerenciar e controlar as atividades da aviação civil com base no Código Brasileiro de Aeronáutica (BRASIL, 1986). Com o advento da Lei Federal nº 11182, 27 de setembro de 2005, a atividade de autoridade aeronáutica foi transferida, com todas as suas responsabilidades, para a ANAC, que passou a manter vinculação com o Ministério da Defesa (FAJER, 2009).

A partir do ano de 2005, o setor de transporte aéreo atingiu um alto grau de desregulamentação econômica fazendo com que as companhias aéreas passassem a competir livremente por posições no mercado e adquirisse liberdade no sistema de concessões de linhas aéreas, fator que contribuiu para o avanço e desenvolvimento do mercado da aviação comercial (FAJER, 2009).

Com essas intervenções, a aviação brasileira passou a ser dividida em militar e civil, sendo esta comercial ou privada. Além disso, a aviação civil passou a ser subdividida em duas categorias: transporte aéreo (caso haja passageiros) e de cargas (somente transporte de produtos). Também foram inclusos nesta classificação, outras formas de tráfego aéreo, tais como: helicópteros, balonismo, voos de treinamento e outras atividades aéreas.

O Brasil tem 2.463 aeródromos registrados - 1.806 privados e 657 públicos. Mais de 98% dos 199 milhões de embarques e desembarques aéreos no país estão concentrados em 65 aeroportos (internacionais, nacionais e regionais) - entre os 31 localizados nas capitais, todos os que têm volume de passageiros acima de 1 milhão e os principais terminais regionais (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2015). A figura 1 a seguir ilustra a quantidade de decolagens realizadas no mercado doméstico por regiões realizadas no ano de 2015.

Figura 1 - Quantidade de decolagens por região (milhares) - mercado doméstico



Fonte: (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2015, p. 53)

Em 2015, foi transportado o número recorde de 117,8 milhões de passageiros pagantes no país, 96,2 milhões em voos domésticos e 21,6 milhões em voos internacionais. Com este resultado, o setor registrou mais de 63 milhões de passageiros incluídos nos últimos dez anos (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2015).

Desde 2010, o avião tem sido o principal meio de transporte utilizado pelos passageiros nas viagens interestaduais com distâncias superiores a 75 km, quando considerados os modais aéreo e rodoviário. Há dez anos, a participação do transporte aéreo neste mercado era de 38%, contra 62% do rodoviário. Em 2015, o modal aéreo ampliou a sua participação e alcançou 65%, ante 63% no ano anterior (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2015).

A quantidade de carga paga transportada em voos domésticos no ano de 2015 atingiu 357 mil toneladas, com variação negativa de 8,1% em relação ao ano anterior e alta de 12,6% com relação a 2006. No mercado internacional, a quantidade de carga paga transportada registrou crescimento médio de 2,4% ao ano nos últimos dez anos e atingiu a marca de 750 mil toneladas em 2015, o que representou queda de 5,2% em relação a 2014 e alta de 24% desde 2006 (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2015).

2.3 Normas internacionais da aviação civil

A agência especializada das Nações Unidas para a aviação civil é a Organização Internacional de Aviação Civil- ICAO, órgão que cumpre a missão de ser o fórum global sobre aviação civil. Sua criação ocorreu na convenção sobre a Aviação Civil Internacional (também conhecida como Convenção de Chicago) referendada em 7 de Dezembro de 1944, por 52 países. Em outubro de 1947, a ICAO tornou-se uma agência especializada das Nações Unidas ligadas ao Conselho Econômico e Social (FAJER, 2009).

A convenção de Chicago estabelece os privilégios e as restrições de todos os Estados contratantes e prevê a adoção de normas internacionais e práticas recomendadas para regulamentar o transporte aéreo internacional. A convenção reconhece em seu artigo primeiro o princípio de que cada Estado tem a soberania completa e exclusiva sobre o espaço aéreo acima do seu território (BRASIL, 1946).

Os objetivos e finalidade da ICAO consistem em assegurar o crescimento seguro e ordenado da aviação civil internacional em todo o mundo; incentivar a concepção e operação das aeronaves para fins pacíficos, entre os Estados contratantes; promover o desenvolvimento geral de todos os aspectos da aeronáutica civil internacional; incentivar o desenvolvimento de aerovias, aeroportos e instalações de navegação aérea para a aviação civil internacional; satisfazer as necessidades dos povos do mundo para o transporte aéreo seguro, regular, eficiente e econômico; evitar desperdícios econômicos causados pela concorrência desleal; garantir que os direitos dos Estados contratantes sejam plenamente respeitados e que cada Estado contratante tem a possibilidade de operar companhias aéreas internacionais; evitar a discriminação (BRASIL, 1946).

As normas e práticas recomendadas da ICAO são detalhadas em 18 anexos

da Convenção de Chicago, que cobrem todos os aspectos da aviação civil internacional e são revisadas regularmente para regulamentação de novas tecnologias (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2016). Esses anexos são:

- Anexo 1: *Personnel Licensing*;
- Anexo 2: *Rules of Air*;
- Anexo 3: *Meteorological Service for International Air Navigation*;
- Anexo 4: *Aeronautical Charts*;
- Anexo 5: *Units of Measurement to be Used in Air and Ground Operations*;
- Anexo 6: *Operation of Aircraft*;
- Anexo 7: *Aircraft Nationality and Registration Marks*;
- Anexo 8: *Airworthiness of Aircraft*;
- Anexo 9: *Facilitation*;
- Anexo 10: *Aeronautical Telecommunications*;
- Anexo 11: *Air Traffic Services*;
- Anexo 12: *Search and Rescue*;
- Anexo 13: *Aircraft Accident and Incident Investigation*;
- Anexo 14: *Aerodromes*;
- Anexo 15: *Aeronautical Information Services*;
- Anexo 16: *Environmental Protection*;
- Anexo 17: *Security - Safeguarding International Civil Aviation Against Acts of Unlawful Interference*;
- Anexo 18: *The Safe Transport of Dangerous Goods by Air*;

Além desses anexos, há outros documentos publicados pela ICAO que servem de parâmetros tanto para a elaboração de projetos de aeródromos quanto para construção e estão sempre sujeitos à revisão para atualização normativa. Um exemplo é o Documento 9157 - *Aerodrome Design Manual* que é dividido em 6 partes (ICAO CATALOGUE, 2016). A saber:

- Parte 1: *Runways*;
- Parte 2: *Taxiways, Aprons and Holding Bays*;
- Parte 3: *Pavements*;
- Parte 4: *Visual Aids*;

- Parte 5: *Electrical Systems*;
- Parte 6: *Frangibility*.

Além das resoluções normativas da ICAO, cada país pode possuir uma organização própria capaz de elaborar regulamentações específicas locais. Um exemplo deste tipo de organização é a Administração Federal de Aviação (FAA) dos Estados Unidos cuja principal característica é a capacidade de elaborar novas normas sem necessidade de reunião em fórum internacional e, desta forma, adequar-se ao emprego de novas tecnologias rapidamente.

São missões da FAA: Regular a aviação civil e promover a segurança, encorajar e desenvolver a aeronáutica civil incluindo novas tecnologias de aviação, desenvolver e operar o sistema de controle de tráfego aéreo e navegação tanto para aplicações civis quanto militares, pesquisa e desenvolvimento do Sistema Nacional do Espaço Aéreo, desenvolver e manter o funcionamento de programas de controle de ruído das aeronaves e outros efeitos ambientais da aviação civil e regular o espaço de transporte comercial (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DE AVIAÇÃO, 2010).

Como o Brasil está filiado à ICAO, os parâmetros normativos descritos pela Instituição são considerados os documentos padrões a serem implantados no país e, caso haja alguma aplicação que não seja contemplada, poderão ser utilizadas as FAAs como base normativa. Em casos de contradição ou conflito normativo entre normas de ambas as associações prevalecerão às determinações impostas pela ICAO (SECRETARIA DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017).

2.4 Aeroclube

Construído durante a Segunda Guerra Mundial (no ano de 1942) com o nome de “Aéreo Clube do Amazonas” (ACA) com o incentivo financeiro do interventor Álvaro Maia, o Aeroclube teve como primeira aeronave o modelo ACFT, um modelo de aeronave “Funk”. A instituição foi concebida com o nome de Aeródromo de Flores - sob código ICAO SWFN (AEROCLUBE, 2013).

O Aeródromo de Flores (Aeroclube de Manaus) foi construído com o intuito de atuar como um centro de treinamento integrado com uma escola de formação com público-alvo destinado à população amazonense conhecedoras das particularidades geográficas e climáticas da região. Também houve estímulo por parte do setor de inteligência brasileiro que procurava expandir sua área de atuação

e, a construção de uma base aérea, proporcionava a possibilidade de reabastecimento e reparo de aeronaves de reconhecimento estratégico, sobretudo, devido ao acelerado crescimento econômico da época (a Região Norte consagrava-se como maior polo exportador de borracha do mundo). A figura 2 ilustra o lançamento no Diário Oficial do Estado do Amazonas da construção desta edificação.

Figura 2 - Diário Oficial do Amazonas de 14 de Novembro de 1942.



Fonte: (AEROCLUBE, 2013)

Segundo informações contidas no site oficial, uma das maiores vantagens do Aero clube enquanto espaço social é a localização por estar dentro da cidade, permite que os praticantes de qualquer modalidade (pilotos privados, comerciais, aeromodelistas e paraquedistas) possam frequentá-lo com maior frequência. Essa proximidade proporciona uma opção de lazer a poucos minutos de trânsito de seus locais de trabalho (AEROCLUBE, 2013).

Dentre as suas edificações há a escola de pilotos do Aero clube do Amazonas que oferece 3 turmas por ano para os cursos de Piloto Privado de Avião, Piloto Privado de Helicópteros, Piloto Comercial de Avião, Regras de Voo por Instrumentos (IFR) e Comissário(a) de Voo. Além disso, são oferecidos os serviços de abastecimento de aeronaves e hangaragem (AEROCLUBE, 2013).

De acordo com informações da ANAC, o Aeródromo de Flores possui uma Pista de Pouso e Decolagem (PPD) com dimensão de 830 metros de comprimento por 30 metros de largura, operação apta para Regras de Voo Visual (VFR) diurna e é classificado como Aeródromo Público de código 2C.

Como planejado no cronograma deste Trabalho, foi realizada uma visita técnica ao Aero clube, onde foi possível observar que o aeródromo encontra-se em operação e cumpre os requisitos normativos como a existência de Estação de

Tratamento de Esgoto, estacionamento de veículos, Terminal de Passageiros (TPS), separação física entre lado ar e terra delimitada com cercas e entrada de energia elétrica em Baixa Tensão (BT) bifásica. No lado Ar, foram encontrados diversos hangares para estacionamento de aeronaves, sinalização horizontal adequada e visível, duas Pistas de Táxi, designação e sinalização das cabeceiras 29 e 11 (sendo esta recuada) e os seguintes Sistemas de Auxílios à Navegação Aérea:

- Biruta não iluminada alocada em posição central para visualização partir de ambas as cabeceiras;
- Comunicação via rádio e solicitação para pouso e decolagem, assim como descrição do plano de voo no Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego (CINDACTA) é realizado através da Torre de Controle do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes. As figuras 3 e 4 ilustram os equipamentos de Navegação Aérea existentes e a vista aérea de todo o sítio aeroportuário, respectivamente.

Figura 3 - Biruta não-iluminada existente no aeródromo de Flores



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2017)

Figura 4 - Vista aérea do Aeródromo de Flores



Fonte: (GOOGLE, 2017)

2.5 Estrutura básica de um aeródromo

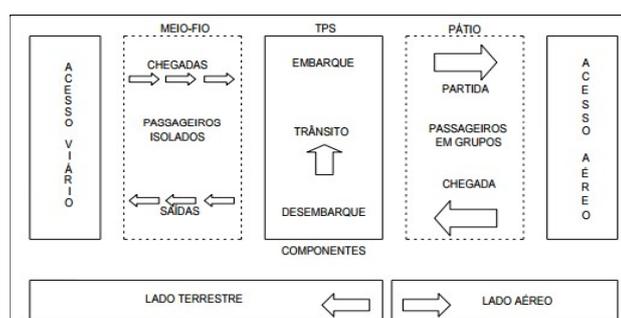
O sistema aeroportuário é constituído pelo conjunto de aeródromos brasileiros, com todas as pistas de pouso, pistas de táxi, pátio de estacionamento de aeronave, terminal de carga aérea, terminal de passageiros e as respectivas facilidades (BRASIL, 1986). Aeródromo é toda área destinada a pouso, decolagem e movimentação de aeronaves (Lei Federal nº 7565).

Normalmente, aeroportos são agrupados e classificados em duas regiões principais: lado ar e lado terra. O "Lado Ar" refere-se às instalações aeroportuárias associadas com o movimento de aeronaves, utilizadas principalmente para pouso e decolagem, por exemplo, pistas, taxiways e instalações de Controle de Tráfego Aéreo (ATC). O "Lado Terra" refere-se às estruturas de processamento de passageiros e de processamento e armazenamento de carga, além dos pátios de manobra e estacionamento de veículos (CRESPO, 2014).

As instalações ATC incluem os prédios do Sistema de Combate a Incêndio (SCI), Estação Prestadora de Telecomunicações e de Tráfego Aéreo(EPTA), Central de Utilidades (CUT), Casa de Força Principal (KF-Principal) e KF-Auxílios. A seguir, serão fornecidas as informações básicas de cada um dos elementos componentes deste sistema:

O TPS de um aeroporto é a interface entre o "Lado Terra" e o "Lado Ar". Isto é, faz a ponte entre os modos de transporte terrestre (acesso/egresso) e o transporte aéreo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2008). A figura 5 mostra um diagrama ilustrativo de fluxo de passageiros entre estes dois ambientes.

Figura 5 - Representação ilustrativa do fluxo entre lado Terra e Ar pelo TPS



Fonte: (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2012, p.108)

A SCI é uma edificação inicialmente projetada para abrigar um efetivo Militar, portanto, deverão ser consideradas as divisões de Patentes existentes em uma Corporação de Bombeiros. Para o perfeito funcionamento, o Serviço de Salvamento e Combate a Incêndio (SESCINC) deve estar alicerçado em três Premissas Básicas, são elas: Efetivo qualificado; carro contra incêndio e agentes extintores de incêndio; estrutura e funcionalidade das instalações (SECRETARIA DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017).

A EPTA é a edificação onde uma autorizada de serviço público pertencente à pessoa física ou jurídica de direito público ou privado, dotada de pessoal, instalações, equipamentos, sistemas e materiais suficientes para prestar, isolada ou cumulativamente, os seguintes serviços: Controle de Tráfego Aéreo realizado por Torre de Controle de Aeródromo (TWR), Informação de Voo (FIS), Informação de Voo de Aeródromo (AFIS), Telecomunicações Aeronáuticas, Meteorologia Aeronáutica, Informações Aeronáuticas e de Alerta; apoiar a navegação aérea por meio de auxílios à navegação aérea; apoiar as operações de pouso e decolagem em plataformas marítimas, ou ainda, veicular mensagens de caráter geral entre as entidades autorizadas e suas respectivas aeronaves, em complemento à infraestrutura de apoio à navegação aérea provida e operada pela União-COMAER-DECEA (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2015).

A CUT, KF-Principal e KF-Auxílios, quando necessárias, são estruturas dedicadas a receber o fornecimento das concessionárias elétrica e telemática (dados e telefonia). A KF-Principal é encarregada de abrigar os cubículos de entrada, medição, proteção e saída, enquanto a KF-Auxílios é o local onde são instalados transformadores abaixadores, quadros de distribuição, grupos geradores redundantes responsáveis por realizar a alimentação elétrica dos equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea. A CUT é o local onde é instalada a Sala Técnica Primária responsável por distribuir a rede de telemática pelo aeródromo e racks de armazenamento de dados (sistema de vigilância), além dos equipamentos necessários para alimentação elétrica do TPS: Grupo Motor Gerador (GMG), nobreaks, transformadores, quadros elétricos.

Além da estrutura interna, também há outras formas de classificação de aeroportos. Segundo Wells, a classificação quanto às operações é definida da seguinte forma:

- Aeroportos de classe I podem atender a operações regulares de empresas aéreas em aeronaves com capacidade superior a 9 passageiros, incluindo serviço regular e não regular em aeronaves com capacidade superior a 30 passageiros.
- Aeroportos de classe II podem atender a operações regulares de empresas aéreas em aeronaves com capacidade superior a 9 passageiros, mas somente serviço não regular em aeronaves com capacidade superior a 30 passageiros.
- Aeroportos de classe III só podem atender a serviços regulares em aeronaves com capacidade superior a 9 passageiros, mas somente serviço não regular em aeronaves com capacidade superior a 30 passageiros.
- Aeroportos de classe IV só podem atender a serviço não regular de transporte aéreo.

Segundo o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) 153, é possível classificar os aeródromos com base no número de passageiros processados no período de um ano corrente através das seguintes possibilidades:

- Classe I: Aeródromos em que o número de passageiros processados seja inferior a 200.000 (duzentos mil).
- Classe II: Aeródromos em que o número de passageiros processados seja igual ou superior a 200.000 (duzentos mil) e inferior a 1.000.000 (um milhão).
- Classe III: Aeródromos em que o número de passageiros processados seja igual ou superior a 1.000.000 (um milhão) e inferior a 5.000.000 (cinco milhões).
- Classe IV: Aeródromos em que o número de passageiros processados seja inferior a 5.000.000 (cinco milhões).

Outra classificação é através do tipo de operação de voo que os equipamentos e sua estrutura interna o permitem desempenhar dependendo das condições meteorológicas durante o voo.

O nível de controle ao qual uma aeronave está sujeita depende, em parte, do tipo de operação à qual está submetida. As regras de voo, por sua vez, dependem, em parte, das condições meteorológicas durante o voo. Sob condições meteorológicas em que a visibilidade é suficiente para enxergar e evitar outra aeronave, e em que o piloto é capaz de manter a aeronave suficientemente livre de nuvens, é possível operar obedecendo a regras de voo visual (VFR - visual flight rules). Quando a visibilidade é insuficiente ou a rota leva a aeronave a atravessar nuvens, a aeronave deve voar sob

regras de voo por instrumentos (IFR - instrument flight rules). Quando se está voando sob VFR, frequentemente há ocasiões em que controle positivo por parte da CTA torna-se desnecessário; sob IFR, o controle positivo é obrigatório. No ambiente aeroportuário, as regras VFR geralmente se aplicam quando o teto do aeroporto é superior a 300 metros (1000 pés) acima da elevação do aeródromo e quando a visibilidade é maior do que 4,8 quilômetros (3 milhas terrestres). Quando o teto ou visibilidade é menor, diz-se então que o aeroporto está operando por IFR (WELLS, 2014, p.163).

2.6 Equipamentos de auxílios à navegação aérea

“Uma das maiores dificuldades quando pilotando uma aeronave visualmente é julgar a aproximação para a PPD e o subsequente procedimento de aterrissagem. Durante a aterrissagem, não apenas a velocidade deve cuidadosamente controlado, mas diversas correções simultâneas continuamente em todas as três dimensões são necessárias para que o seja seguido a trajetória de voo correta. Para uma aproximação visual, o procedimento pode ser definido como a interseção de dois aviões nos ângulos corretos, o plano vertical contendo as linhas de centro estendidas da pista de pouso e o outro avião contendo o declive de aproximação” (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2004, p. 1-1, tradução nossa).

Equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea são destinados a proporcionar apoio aos pilotos das aeronaves para sua navegação em rota, em áreas de controle terminal e em suas manobras de pouso e decolagem de forma a garantir maior confiabilidade e segurança a todos os componentes do tráfego aéreo. Esse apoio pode ser realizado visualmente através de luminárias de diferentes intensidades ou auditivo com aparelhos de comunicação via radiofrequência. Neste Trabalho, serão explorados os conceitos envolvendo os equipamentos voltados para os auxílios visuais, sobretudo, os que necessitam de alimentação elétrica para seu correto funcionamento.

“Há quatro elementos principais que comprometem o caráter completo do sistema de luzes de um aeroporto dado que evoluiu a partir de pesquisas, desenvolvimento de programas e experiência prática de campo por um longo período de tempo. Estes elementos são comumente referidos como os “quatro Cs” - configuração, cor, candelas e cobertura. Ambas as configurações e cores proveem informações essenciais para a dinâmica tridimensional. Configuração permite guiar a informação e a cor informa a localização do piloto da aeronave. Candelas e cobertura referem-se às características essenciais das luminárias para o correto funcionamento da configuração e cor. Um piloto competente é intimamente familiar com a configuração do sistema e cor e também estará atento das mudanças nas candelas que irão aumentar ou diminuir a iluminação final. Estes quatro elementos aplicam-se a todos os sistemas de iluminação, com grandes níveis de variações, dependendo de diversos fatores como o tamanho do aeroporto e as condições de visibilidade na qual a operação são previstas”

(ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, p. 1-1, tradução nossa).

Com o decorrer dos anos, foram desenvolvidas diversas resoluções normativas nacionais e internacionais que especificam os equipamentos mínimos para as diferentes classificações de voo e tipos de aeronaves, cabendo aos aeródromos instalá-los e garantir o correto funcionamento. Numa abordagem mais ampla, cada classificação de operações permitidas a um aeródromo conta com um enxoval mínimo de equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea que devem ser implantados para uma operação eficiente. Excluindo-se a EPTA que, muitas vezes necessita de projeto exclusivo. Abaixo foi apresentada uma lista com as implantações mais comuns a serem utilizadas para aeródromos com operação VFR.

Para operação VFR diurna são recomendados os seguintes equipamentos:

1) Biruta com ou sem iluminação, o que for mais interessante para aplicação no ambiente aeroportuário;

2) Estação Meteorológica com dois sítios (principal e secundário) em cada cabeceira desde que os critérios determinados na Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 105-15 sejam atendidos;

3) Sistema PAPI ou APAPI na cabeceira predominante ou, em casos mais específicos, em ambas as cabeceiras desde que os critérios determinados na ICAO anexo 14 sejam atendidos.

4) Rádio estação de Frequência Muito Alta (VHF) para comunicação entre torre de controle e aeronave.

Para operação noturna são recomendados os seguintes equipamentos:

1) Biruta iluminada;

2) Estação Meteorológica com dois sítios (principal e secundário) em cada cabeceira desde que os critérios determinados na ICA 105-15 sejam atendidos;

3) Sistema PAPI ou APAPI na cabeceira predominante ou, em casos mais específicos, em ambas as cabeceiras desde que os critérios determinados na ICAO anexo 14 sejam atendidos.

4) Rádio estação VHF para comunicação entre torre de controle e aeronave.

5) Painéis de Sinalização Vertical Luminosa para guiar o piloto da aeronave durante o trânsito dentro do aeródromo de forma a atender a RBAC 154 - indicação de direção das cabeceiras e pista de táxi, por exemplo.

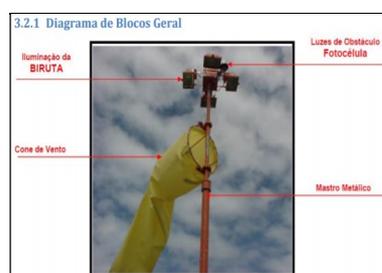
6) Balizamento Noturno Luminoso com especificações técnicas e distribuição de luminárias na PPD que atendam aos requisitos da RBAC 154.

Para o escopo deste Trabalho, será considerado um aeródromo que é certificado para funcionar com operação VFR diurna e almeja substituição de categoria para VFR diurno-noturna. Adiante, será realizada uma explanação dos equipamentos escopo do Trabalho e suas funções no ambiente aeroportuário.

2.6.1 Biruta

A biruta é um equipamento de Auxílio à Navegação Aérea cuja função é determinar a direção e velocidade do vento, fatores que podem influenciar gravemente o procedimento tanto de decolagem quanto aterrissagem e, por este motivo, deve ser alocada em posição que permita sua fácil visualização a partir de ambas as cabeceiras. A figura 6 demonstra a representação esquemática de uma Biruta Iluminada constante no Memorial de Critérios e Condicionantes (MCC) da Secretaria de Aviação Civil (SAC).

Figura 6 - Representação esquemática de biruta iluminada



Fonte: (SECRETARIA DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017, p.15)

Algumas especificações técnicas e critérios de instalação são fornecidos através das seguintes normas:

- Anexo 14 do Documento 9157 da ICAO, 7ª edição: 2016 - Design de aeródromos e operações.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 12647: 2003 - Indicador visual de condições do vento de superfície (biruta) em aeródromos ou heliportos.
- Instrução do Comando da Aeronáutica (IAC) 154-1002: 2005 - Localização de indicador visual de condições de vento em aeródromos.

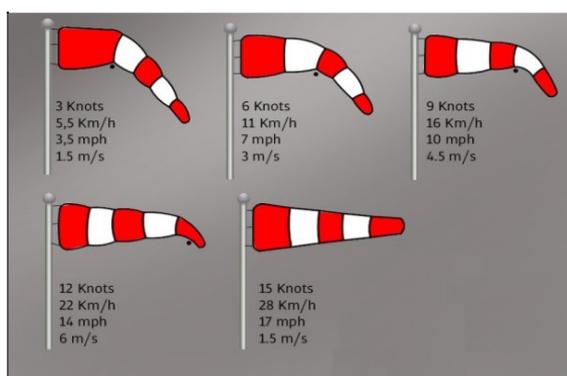
- Documento 2 do anexo 1 - parte I - anexo 15.1.34 - Navegação Aérea - Sistemas - Memorial de Critérios e Condicionantes da Secretaria de Aviação Civil: 2016 - Item 3.2 referente à Biruta.
- RBAC 154: 2017 - Projeto de Aeródromos.

A Biruta consiste num cone de pano flexível em formato tubular com bocal de entrada que deve ser instalado em torre metálica. Seu princípio de funcionamento baseia-se conforme a velocidade do vento da seguinte forma:

1. Quando não houver vento, o peso do material será o único fator atuante, o que o faz assumir uma posição vertical em relação ao mastro metálico em que é instalado.

2. Quando houver vento, será aplicada uma força horizontal que irá se propagar através do bocal, fazendo com que o cone se expanda e assumam uma aparência cilíndrica. A indicação da velocidade do vento poderá ser avaliada através da inclinação do cone, ou seja, quanto maior for a projeção horizontal do cone, maior será a intensidade do vento. Além disso, tanto o mastro quanto o cone devem ser produzidos de forma a ser permitida sua rotação (seguir a trajetória do vento). A figura 7 demonstra este comportamento.

Figura 7 - Representação ilustrativa da biruta submetida a diferentes rajadas



Fonte: (YOGI, 2017)

Segundo o item 154.301 “Indicadores e dispositivos de sinalização” da RBAC 154, todo aeródromo deve estar equipado com, no mínimo, um indicador de direção de vento com localização em área visível para aeronaves em voo ou nas áreas de movimento e de modo que possa estar livre de distúrbios de ar causados por interferências de objetos nas redondezas.

O indicador de direção de vento deve ter a forma de um cone vazado, feito de tecido, e deve ter uma extensão de, no mínimo, 3,6 m e um diâmetro na maior extremidade, de, no mínimo, 0,9 m. Deve ser construído de modo a dar uma clara indicação de direção de vento de superfície e uma indicação genérica da velocidade de vento. As cores devem ser selecionadas de modo a fazer com que o indicador de direção de vento seja claramente visível e compreensível a partir de uma altura de, no mínimo, 300 m, considerando-se também as superfícies que rodeiam o indicador. Quando for possível, uma única cor deve ser utilizada, de preferência branco ou laranja. Quando for necessária a combinação de duas cores para dar contraste em relação à superfície que rodeia o indicador, essas cores devem ser, de preferência, laranja e branco, vermelho e branco ou preto e branco, e devem ser dispostas em cinco faixas alternadas, sendo a primeira e a última faixa da cor mais escura.” (BRASIL, 2017, p.52).

Ao mesmo tempo em que, para aeródromos com previsão de operação noturna, deverá ser prevista um dispositivo de iluminação que atenda aos critérios de cálculo de intensidade luminosa descritos na NBR 12647 e siga os critérios de alocação especificados no item 4 da IAC 154-1002.

2.6.2 Indicador de Trajetória de Aproximação de Precisão

O PAPI é um equipamento cuja função é auxiliar os pilotos durante a aterrissagem da aeronave. Este dispositivo permite ao piloto, a partir do momento que a iluminação do sistema se torna visível até o momento em que a aeronave ultrapassa o limiar da pista, realizar uma aproximação à PPD de forma a adquirir e manter uma trajetória de voo apropriada, como mostra a figura 8.

Figura 8 - Sistema PAPI em operação diurna



Fonte: (BUCKLEY, 2014)

Algumas normas aplicáveis para este equipamento são:

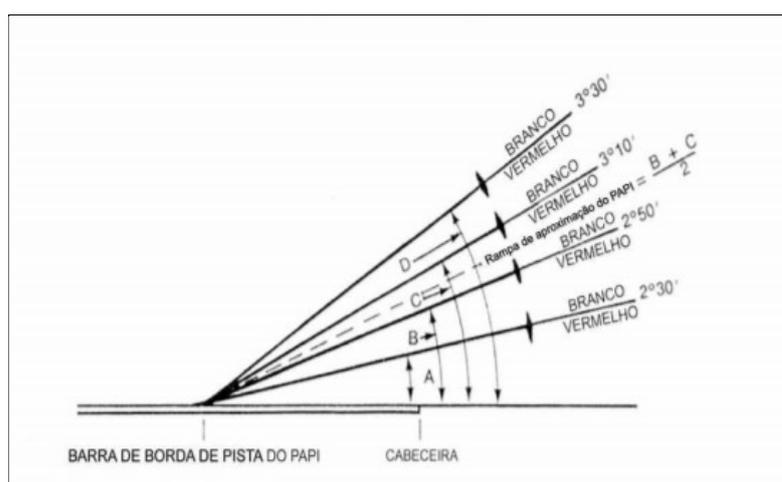
- Anexo 14 do Documento 9157 da ICAO, 7ª edição: 2016 - Design de aeródromos e operações.
- Documento 2 do anexo 1 - parte I - anexo 15.1.34 - Navegação Aérea -

Sistemas - Memorial de Critérios e Condicionantes da Secretaria de Aviação Civil: 2016 - Item 3.10 referente ao PAPI.

- RBAC 154: 2017 - Projeto de Aeródromos.
- ICA 63-18 - Critérios de implantação de órgãos operacionais, equipamentos e auxílios à Navegação Aérea.

O sistema PAPI consiste numa barra de quatro unidades de luz (três lâmpadas por unidade) direcionadas para o final da Pista de Pouso e Decolagem. Cada unidade é configurada a uma pequena variação de ângulo (20 minutos de diferença) e emite um raio de luz de alta intensidade, a parte superior emitindo uma luz branca e as inferiores demonstrando vermelha (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DE AVIAÇÃO, 2010). Esta ilustração é apresentada na figura 9.

Figura 9 - Representação dos ângulos de raios de iluminação do sistema PAPI



Fonte: (BRASIL, 2017, p.94)

A forma correta de avaliar os sinais emitidos pelo PAPI será demonstrada abaixo:

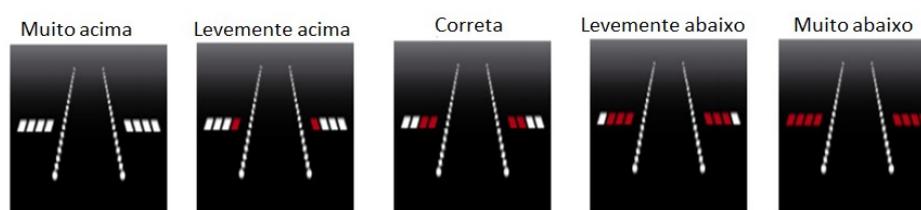
1. Trajetória de voo acima do ideal: Todas as unidades de luz serão visualizadas através da cor branca.
2. Trajetória de voo ligeiramente acima do ideal: A unidade de luz mais próxima à borda da PPD será identificada através da cor vermelha enquanto as demais serão brancas.
3. Trajetória de voo ideal: As duas unidades de luz mais próximas à PPD serão identificadas pela cor vermelha enquanto as demais serão brancas.

4. Trajetória de voo ligeiramente abaixo do ideal: As três unidades de luz mais próximas à borda da PPD serão identificadas através da cor vermelha enquanto a restante será branca.

5. Trajetória de voo abaixo do ideal: Todas as luminárias serão visualizadas através da cor vermelha.

As formas de representação visual do funcionamento deste equipamento são ilustradas na figura 10.

Figura 10 - Representação simbólica da operação de um PAPI



Fonte: (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2004, p.8-12, tradução nossa)

Dependendo de como for apresentada esta informação ao piloto, é possível ajustar cuidadosamente a altura da aeronave em relação à PPD de forma a garantir um pouso seguro e próximo da aterrissagem “ideal” ou, se for o caso, comunicar à Torre de Controle sobre a possibilidade de arremeter e tentar realizar o procedimento novamente. Apesar da ICA 63-18 definir as condições necessárias para a implantação deste sistema em cada aeródromo, é recomendável que seja implantado um destes equipamentos próximo a cada cabeceira com intuito de elevar a confiabilidade operacional do aeródromo.

“O sistema deve ser adequado tanto para operações diurnas quanto noturnas” (Regulamento Brasileiro de Aviação Civil 154, 2012, p.98). Em outras palavras, dependendo das condições climáticas, o sistema pode ser ativado independentemente do horário para facilitar a operação de pouso. Desta necessidade, o equipamento possui um dispositivo interno que controla a intensidade do brilho das luminárias de forma que permita a visualização por parte do piloto com conforto visual (evitar ofuscamento) realizado através da alimentação elétrica em faixas de corrente específicas para todos os equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea (SECRETARIA DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017).

- Brilho 1: 2,8 A;
- Brilho 2: 3,4 A;

- Brilho 3: 4,1 A;
- Brilho 4: 5,2 A;
- Brilho 5: 6,6 A.

Para garantir esta operação, este equipamento conta com diversos dispositivos auxiliares que fornecem sua alimentação elétrica, tais como: alimentação elétrica fornecida por Regulador de Corrente Constante (RCCs) e Transformador de Isolamento (TIs), Clinômetros, Chaves de Reversão para controle remoto e instalação com pés frangíveis.

2.6.3 Sinalização Vertical Luminosa

Os PSVs são placas de sinalização iluminadas e/ou autorreflexivas cuja função é auxiliar os pilotos durante o tráfego da aeronave no ambiente aeroportuário, seja para operações de decolagem (indicação de cabeceira), pouso (indicação de Pátio de Aeronaves) ou para indicação de faixas de segurança (proibição de tráfego ou espera). A figura 11 ilustra o funcionamento deste equipamento.

Figura 11 - PSV em operação noturna



Fonte: (KHOR, 2013)

Algumas normas aplicáveis para este equipamento serão descritas a seguir:

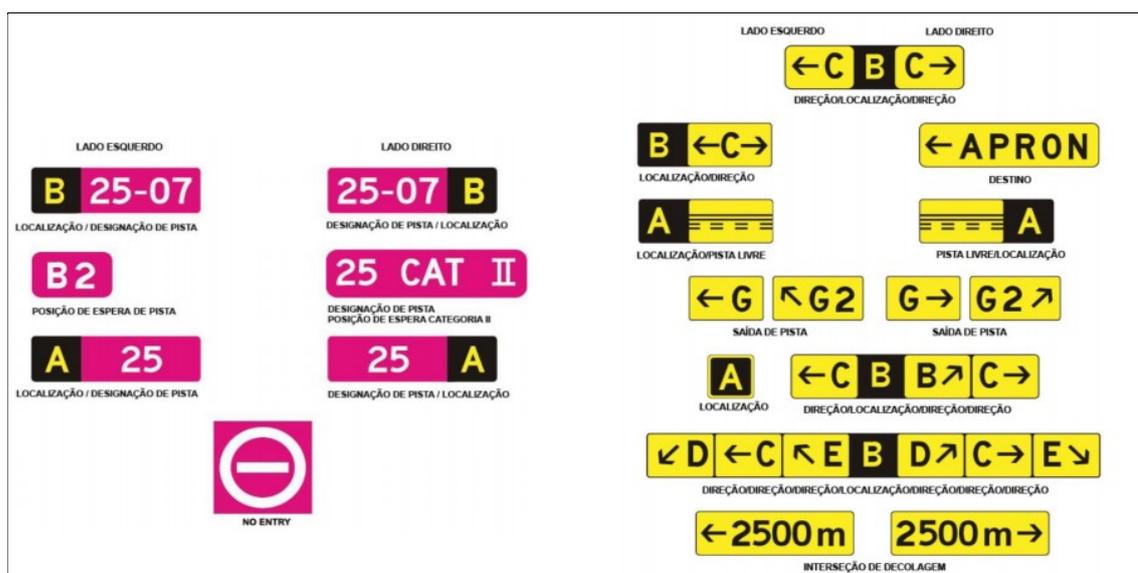
- Anexo 14 do Documento 9157 da ICAO, 7ª edição: 2016 - Design de aeródromos e operações.
- Documento 2 do anexo 1 - parte I - anexo 15.1.32 - Navegação Aérea - Sinalização Vertical - Memorial de Critérios e Condicionantes da Secretaria de Aviação Civil: 2016.
- RBAC 154: 2017 - Projeto de Aeródromos.

A Sinalização Vertical Luminosa consiste em painéis ou placas destinados a fornecer mensagens fixas ou variáveis com iluminação interna regulável a ser instalada próxima à PPD ou Pista de Táxi com distâncias reguladas em normas. Segundo a RBAC 154, a sinalização vertical deve ser disposta para indicar uma instrução obrigatória, uma informação sobre uma localização ou destino específico em uma área de movimento, ou fornecer outras informações específicas. Os PSVs podem ser de:

- Instrução obrigatória - painéis com inscrição em branco sobre fundo vermelho cuja instalação no ambiente aeroportuário é obrigatória por instrução normativa. Exemplos: Localização/designação de pista, designação de cabeceira ou passagem proibida.
- Sinalização informativa - painéis com inscrição em preto sobre fundo amarelo que são responsáveis por facilitar o tráfego no ambiente aeroportuário, sobretudo, quando há várias possibilidades de caminho que possam dificultar a travessia. Exemplos: Saídas de Pista, localização atual, direção, interseções.

Estes painéis são mostrados na figura 12, sendo os de Instrução Obrigatória em fundo vermelho e Sinalização Informativa em fundo amarelo.

Figura 12 - Representação ilustrativa dos tipos de PSVs



Fonte: (BRASIL, 2017, p.130)

As dimensões construtivas dos PSVs devem ser adequadas ao Código de

Operação do Aeroporto, assim como sua distância em relação à PPD e Pista de Táxi, conforme a tabela 1:

Tabela 1 - Dimensões construtivas e distâncias apropriadas para PSVs

Número de Código	Legenda	Altura da sinalização vertical (mm)		Distância perpendicular da borda definida da pista de táxi à lateral mais próxima da sinalização vertical	Distância perpendicular da borda definida da pista de pouso e decolagem à lateral mais próxima da sinalização vertical
		Face (mm)	Instalada (máx)		
1 ou 2	200	400	700	5-11m	3-10m
1 ou 2	300	600	900	5-11m	3-10m
3 ou 4	300	600	900	11-21m	8-15m
3 ou 4	400	800	1100	11-21m	8-15m

Fonte: (BRASIL, 2017, p.128)

Assim como o sistema PAPI, os PSVs devem ser adequados para operação tanto noturna quanto diurna e possuir um dispositivo interno de controle de intensidade de brilho das luminárias de forma que permita a visualização com conforto visual por parte do piloto da aeronave (evitar ofuscamento) realizado através de faixas de corrente. Para garantir esta operação, este equipamento conta com diversos dispositivos auxiliares, tais como: alimentação elétrica fornecida por RCCs e TIs, além de instalação em fundações de concreto armado resistentes à ação das turbinas das aeronaves.

2.6.4 Balizamento Noturno Luminoso

O Sistema de Balizamento Noturno Luminoso é definido como um conjunto de luzes de borda de pista de pouso, luzes de eixo de pista de pouso, luzes de borda de pista de rolamento, luzes de eixo de pista de rolamento, luzes de final de pista, as luzes de cabeceira de pista, luzes de zona de contato e demais luzes destinadas a prestar auxílio visual aos pilotos e aeronaves e de um sistema integrado de controle capaz de operar (por software) via TWR/ Sala Técnica (SAC, 2016, p.7).

Algumas especificações técnicas e critérios de instalação são fornecidos através das seguintes normas:

- Anexo 14 do Documento 9157 da ICAO, 7ª edição: 2016 - Design de aeródromos e operações.
- Documento 2 do anexo 1 - parte I - anexo 15.1.33 - Navegação Aérea - Balizamento Noturno - Memorial de Critérios e Condicionantes da Secretaria de

Aviação Civil: 2016.

- RBAC 154: 2017 - Projeto de Aeródromos.
- FAA AC150/5340-24: 1977 - Runway and taxiway edge lighting system.

A figura 13 a seguir ilustra este equipamento em funcionamento, a partir da vista de aproximação para uma cabeceira deslocada.

Figura 13 - Balizamento Noturno Luminoso em operação noturna



Fonte: (RIAZ, 2011)

Cada elemento deste conjunto possui especificações técnicas, características construtivas, intensidade de brilho e distanciamento de instalação normativa específica. Por este motivo, serão detalhados a seguir os elementos mais comuns para aeroportos com operação VFR com base nos parâmetros descritos na RBAC 154:

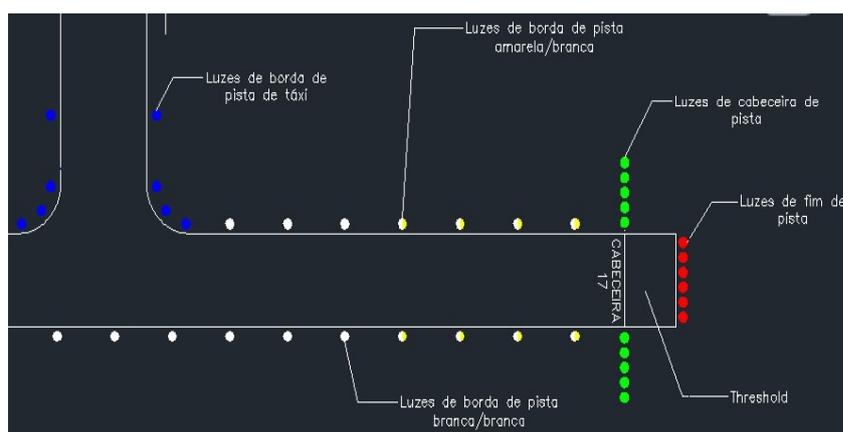
- Luzes de Borda de Pista - Luminárias cuja função é determinar a trajetória e limite interno da PPD. Devem possuir cor branca variável ou serem bicolores amarelo-brancas (desde que em uma seção de 600 metros ou um terço da extensão da PPD) e estar situadas ao longo de toda a extensão da pista em duas fileiras paralelas equidistantes ao eixo com distância máxima de 3 metros das áreas laterais e máximo espaçamento entre si de 100 metros.
- Luzes de Cabeceira de Pista - Luminárias de indicação de cabeceira de pista com propósito de indicar ponto de partida da PPD tanto para decolagem quanto aterrissagem. Este conjunto deve possuir um mínimo de seis unidades com luminárias bicolores verde-vermelhas ou somente verdes que devem estar dispostas no final da PPD em fileiras perpendiculares ao eixo da pista

com distância máxima de 3 metros além da extremidade.

- Luzes de Borda de Pista de Táxi - Luminárias cujo objetivo é delimitar os limites e trajetória da Pista de Táxi de maneira a oferecer orientação contínua entre o eixo da PPD e as posições do Pátio de Aeronaves. Consiste num conjunto de luminárias azuis instaladas a, no máximo, 3 metros da borda da Pista de Táxi e distância retilínea máxima de 60 metros entre si.
- Luzes de borda de Táxi em Área de Giro - Devem ser providas para guiar continuamente uma área de giro com alcance visual de pista menor que 350 metros e auxiliar o piloto a realizar uma curva de 180° e alinhar com a PPD. É composto por luminárias azuis distribuídas ao longo da curvatura da área de giro com distância entre si menor ou igual a 30 metros e afastamento máximo de 3 metros da borda da área de giro.
- Luzes de fim de Pista - Luminárias dedicadas a indicar o limite da extensão da PPD, mas podem ser substituídas por luminárias de cabeceira de pista em certas situações. Consiste num conjunto de seis luminárias vermelhas distantes a, no máximo, 3 metros do final da pista.

Esses tipos de luzes serão demonstrados na figura 14 com representação gráfica simbólica em planta baixa.

Figura 14 - Esquemático de Balizamento Noturno Luminoso

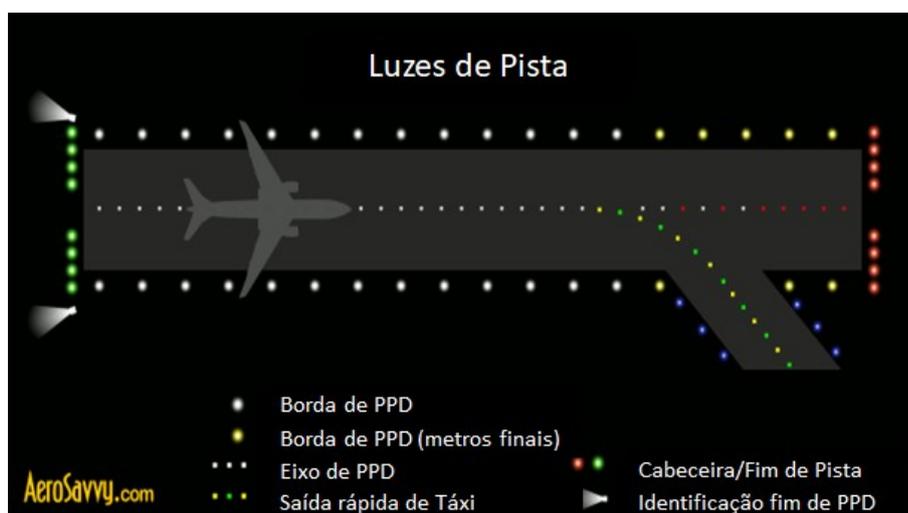


Fonte: (Elaborada pelo autor, 2017)

Cada luminária possui pré-requisitos para que seja necessária sua implantação no Aeródromo, a exemplo das luminárias de fim de pista que podem ser substituídas pelas de cabeceira quando a PPD se encerrar no limiar de uma

cabeceira. Contudo, de maneira geral, o balizamento noturno luminoso e todos os seus componentes devem ser obrigatoriamente instalados em aeródromos que almejam licenciamento para operação noturna ou operação em ambientes que apresentem condições climáticas adversas que impliquem em visibilidade drasticamente reduzida. Deve-se enfatizar que as luminárias apresentadas acima são as utilizações mais comuns para aeroportos VFR com operação noturno-diurna e não englobam todas as luminárias previstas nas legislações vigentes. Um exemplo seriam as luminárias de eixo de pista que podem ser implantadas tanto na PPD quanto na Pista de Táxi. A figura 15 ilustra uma representação simbólica do balizamento luminoso de eixo e borda de pista.

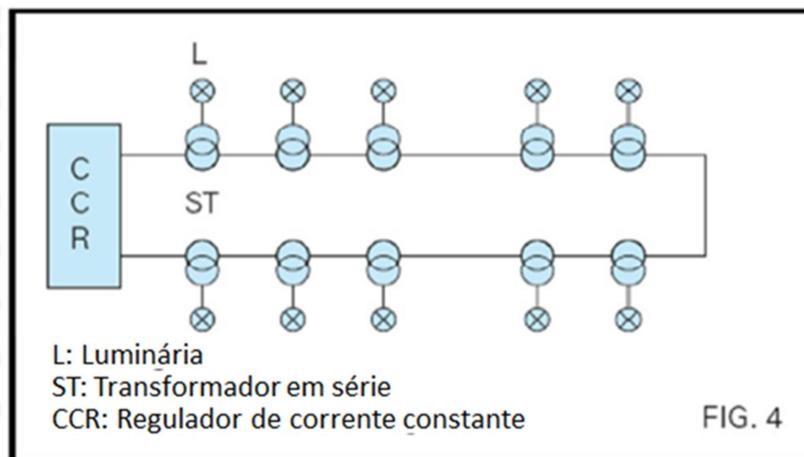
Figura 15 - Esquemático de Balizamento com luminária de eixo e borda de PPD



Fonte: (KEN, 2016)

Assim como PAPIs e PSVs, os componentes do Balizamento Luminoso Noturno devem ser adequados para operação tanto noturna quanto diurna e possuir um dispositivo interno de controle de intensidade de brilho das luminárias de forma que permita a visualização com conforto visual por parte do piloto da aeronave (evitar ofuscamento) realizado através de faixas de corrente. Para garantir esta operação, este equipamento conta com diversos dispositivos auxiliares, tais como: alimentação elétrica fornecida por RCCs e TIs. A figura 16 ilustra um ligação esquemática entre os RCCs e as luminárias.

Figura 16 – Esquemático de ligação elétrica das luminárias



Fonte: (SECRETARIA DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017, p.12)

2.7 Alimentação elétrica convencional

A alimentação elétrica dos equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea visuais de um aeródromo deve ser projetada de forma a seguir um padrão estipulado em normas internacionais e nacionais

A subestação KF-Principal, exceto quando incorporada ao TPS, deve ser alimentada por ramal de Média Tensão (MT) a 13,8kV, por exemplo, proveniente da concessionária local de energia elétrica que alimentará um painel de média tensão, onde deverão ser instalados todos os cubículos de MT, tais como proteção, medição, manobra, etc. Considerar que as subestações deverão ser abrigadas e situadas ou no lado ar ou no interior de prédios abrigados (subestação do SCI, por exemplo) e deverão ficar encerradas em compartimentos exclusivos com proteção contra contatos acidentais, sinalização adequada, condições próprias de ventilação e proteção contra penetração de animais no compartimento (SECRETARIA DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017).

Resumidamente, consiste em conceito de projeto em que o fornecimento elétrico da concessionária é dado em MT (normalmente, 13,8 kV) e será transferido por infraestrutura subterrânea até a KF-Principal. Nesta estrutura serão alocados os cubículos de entrada, medição, proteção e saída para as demais estruturas do aeródromo. É conveniente que a KF-Principal seja construída em trechos de transição entre lado ar e terra para que haja uma entrada acessível pelo lado terra para acesso de funcionários da concessionária de energia facilitando as atividades

de leitura do consumo e manutenção preventiva (SECRETARIA DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017).

Para a alimentação elétrica dos Equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea, recomenda-se a construção de uma subestação abrigada locada no lado ar tão próximo quanto possível do centro de cargas desde que respeitadas às restrições relativas às condições de segurança para a operação do aeródromo. Dentro desta estrutura, estarão os componentes elétricos responsáveis por realizar a redução do nível de tensão (transformadores abaixadores), quadros elétricos dos equipamentos, nobreaks quando necessário, GMGs dotados de Unidade de Supervisão de Corrente Alternada (USCAs), RCCs, plataforma de controle do Sistema Integrado de Controle e Monitoramento (SICOM) - sistema eletrônico responsável por realizar o controle de intensidade de brilho luminoso ao controlar a saída de corrente dos RCCs, etc (SECRETARIA DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017).

O projeto e a provisão de sistemas de energia elétrica para auxílios visuais e auditivos à navegação aérea em aeródromos deverão ter características tais que uma falha de equipamento não deixe o piloto sem adequada orientação visual ou por instrumentos, nem lhe proporcione informação errônea (BRASIL, 2017).

Além da alimentação normal, isto é, oriunda da concessionária local de energia elétrica, deverá ser previsto, como alternativa, um Grupo Gerador de Emergência, de funcionamento automático (USCAs), que ficará preparado para partir e assumir carga imediatamente após uma falha do sistema normal. A potência deste grupo deverá ser adequada para suprir todas as cargas destinadas aos auxílios luminosos além de equipamentos dotados de fonte auxiliar própria de curta duração, tais como equipamentos de navegação aérea, se existirem. Este Grupo Gerador de Emergência deverá ter um tanque de combustível com capacidade para mantê-lo em funcionamento a plena potência por pelo menos 24h ou 48h para a região amazônica em regime contínuo (SECRETARIA DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017, p.3).

Os requisitos de uma fonte secundária de energia devem ser satisfeitos por um dos seguintes recursos: energia de rede pública independente, que é uma fonte de energia que abastece os serviços do aeródromo a partir de uma subestação que não a subestação normal, através de uma rede de transmissão que segue uma trajetória diferente da linha normal de fornecimento de energia e cuja possibilidade de falha simultânea das fontes de energia de rede pública independente e normal seja extremamente remota; ou unidades auxiliares de energia, que são grupos geradores, baterias etc., a partir dos quais a energia elétrica pode ser obtida (BRASIL, 2017, p.147).

Quando for o caso da subestação (KF) alimentar cargas cujo tempo de interrupção for menor que 10 (dez) segundos, deverá ser instalado um Sistema de Energia Ininterrupta - UPS21. Este sistema deverá ser preferencialmente estático, isto é, alimentado por banco de baterias de

acumuladores, que fornecerão energia a tais cargas até a entrada em funcionamento do Grupo Gerador de Emergência ou retorno da energia da concessionária. A autonomia mínima para o sistema de baterias deverá ser de 30 (trinta) minutos (SECRETARIA DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017, p.18).

A estrutura elétrica do aeródromo segue o seguinte padrão: Fornecimento em MT da concessionária à KF-Principal, onde será derivada ainda em MT para as demais subestações do aeródromo (KF-SCI, KF-Auxílios, KF-CUT, KF-EPTA, etc.). A KF-Auxílios é responsável por rebaixar o nível de tensão para BT, abrigar a fonte secundária de energia elétrica (GMGs redundantes) e os demais equipamentos de distribuição.

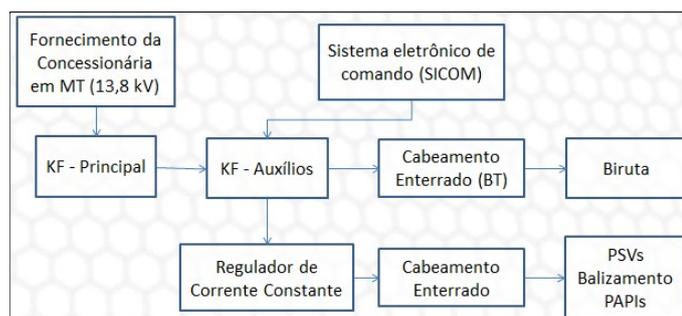
A alimentação elétrica da biruta pode ser fornecida em BT diretamente a partir da KF-Auxílios, enquanto os equipamentos componentes do Balizamento Luminoso Noturno, PSVs e PAPIs são especiais uma vez que necessitam de RCCs para garantir que o fornecimento elétrico seja realizado aos níveis de correntes constantes citados anteriormente de forma que todas as luminárias apresentem um fator de brilho semelhante e garantam conforto visual ao piloto da aeronave. Contudo, isso implica em elevação do nível de tensão do sistema que percorre toda a PPD, por isso ao nível de MT. A utilização dos TIs para cada um destes equipamentos deve-se à interligação em série entre os elementos, ou seja, se uma luminária apresentar defeito, a infraestrutura não será afetada. (SECRETARIA DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017).

Para garantir a confiabilidade do sistema em casos de falhas, é recomendada, tanto pela ICAO quanto pelos MCCs da SAC, a distribuição das luminárias em dois circuitos intercalados para que, no caso de que um circuito apresente defeito, o segundo circuito permita que 50% do sistema se mantenha em operação. Por exemplo, se houver uma luminária instalada a cada 50 metros, no caso de falha de um circuito, o espaçamento entre os elementos será de 100 metros e o aeroporto ainda será capaz de manter seu funcionamento dentro dos parâmetros definidos pela RBAC 154.

A ICAO em seu Documento 9157, anexo 5 - Sistemas Elétricos permite que a ligação entre circuitos das luminárias da Pista de Táxi, Cabeceira de Pista, PAPIs e Borda de Pista sejam todos interligados em série desde que sejam tomadas algumas precauções específicas. Via de regra, não é proibido o dimensionamento em paralelo entre sistemas, ou seja, é possível destinar um conjunto de quadro

elétrico e RCC para cada um destes elementos, inclusive, é recomendado para o caso dos PSVs. O inconveniente desta medida é a possibilidade de encarecimento. A figura 16 apresenta um diagrama de blocos com o resumo dos componentes de um projeto elétrico aeroportuário que empregue este conceito.

Figura 17 - Diagrama de blocos de projeto elétrico portuário tradicional



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2017)

Este método de alimentação elétrica apresenta como principal inconveniência a necessidade de constante manutenção dos equipamentos. A subestação deve passar por manutenções preventivas e corretivas regularmente, o nível de óleo dos GMGs deverá ser sempre controlado e a infraestrutura enterrada avaliada para verificação de intempéries. Por fim, este processo necessita de mão-de-obra especializada e cada substituição pode afetar o funcionamento dos demais sistemas, ou seja, a confiabilidade do sistema acaba por ser afetada, conforme comprovam as figuras a seguir.

As figuras 17 e 18 apresentam manchetes de jornais demonstrando a falha da alimentação elétrica destes equipamentos em São José do Rio Preto/SP (2013) e Fortaleza/CE (2017), respectivamente.

Figura 18 - Falha do sistema elétrico em Rio Preto

13/11/2013 10h40 - Atualizado em 13/11/2013 17h17

Pane elétrica deixa pista do aeroporto no escuro e atrasa voo em Rio Preto

Cerca de 100 passageiros já tinham embarcado, quando foram avisados. Após duas horas de espera, as luzes da pista foram acesas.

Fonte: (GLOBO, 2013)

Figura 19 - Falha do sistema elétrico em Rio Preto

PANE ELÉTRICA

Voos são afetados por falta de energia na pista de pouso no Aeroporto de Fortaleza

Pelo menos quatro voos tiveram suas rotas alteradas ou com prejuízo de atraso

22:24 | 22/03/2017

1264 🔥 0 💬 f 🐦 G+

Fonte: (O POVO, 2017)

2.8 Tecnologia fotovoltaica

A Energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico) relatado por Edmond Becquerel, em 1839. Seu funcionamento baseia-se no aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz no qual a célula fotovoltaica opera como a unidade fundamental do processo (CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA, 2014).

Existem diversos tipos de células fotovoltaicas, cada uma com sua particularidade de eficiência e de construção. Dentre as mais utilizadas podem ser citadas o Silício Cristalino (c-Si); o silício Amorfo Hidrogenado (a-Si) e Telureto de Cádmi (CdTe). (CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA, 2014).

Contudo, o potencial de geração de uma célula fotovoltaica é de baixa intensidade e, muitas vezes, insuficiente para o atendimento da demanda. Para aumentar a potência total gerada, diversas células podem ser instaladas numa estrutura fixa e com suportes que auxiliem na dissipação do calor, conjunto que recebe o nome de painel fotovoltaico. Também é possível realizar um arranjo de painéis para que o nível de tensão ou corrente sejam elevados de forma a alcançar o padrão de fornecimento da carga, seja através de associação em série ou paralelo.

Segundo o centro de pesquisas de energia elétrica, há três formas principais de classificação de sistemas fotovoltaicos, são estes:

- Sistema isolado: quando a carga é atendida somente por energia fotovoltaica. Normalmente, este sistema estará associado a algum método de armazenamento de energia para atendimento da carga quando não for possível ou houver baixa produção solar, a exemplo da utilização de banco de

baterias ou instalação de tanques de água elevados.

- Sistema híbrido: quando houver outra forma de alimentação elétrica associada à fotovoltaica (desde que desconectado da rede) para atendimento da demanda de uma determinada carga, a exemplo da instalação de geradores eólicos, de biomassa ou diesel.
- Sistema conectado à rede: quando houver uma alimentação elétrica convencional fornecida por concessionária de energia em conjunto com a fotovoltaica para o atendimento da carga. Não há necessidade de armazenamento de energia neste caso dado que o excedente fotovoltaico pode ser entregue à concessionária.

Em sistemas fotovoltaicos isolados da rede elétrica, escopo deste Trabalho, o uso de dispositivos de armazenamento de energia faz-se necessário para atender a demanda em períodos nos quais a geração é nula ou insuficiente, sobretudo, através da utilização de bancos de baterias.

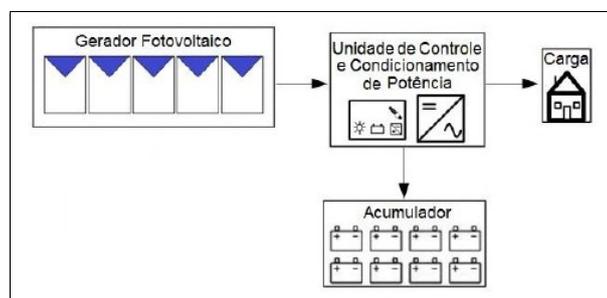
Uma bateria é um conjunto de células ou vasos eletroquímicos, conectados em série e/ou em paralelo, capazes de armazenar energia elétrica na forma de energia química por meio de um processo eletroquímico de oxidação e redução (redox) que ocorre em seu interior. Quando uma bateria carregada é conectada a uma carga elétrica, ocorre o processo reverso, ou seja, uma corrente contínua é produzida pela conversão de energia química em energia elétrica (CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA, 2014, p.164).

Além disso, normalmente, deve haver um mecanismo de controle para que o sistema de recarga da bateria seja realizado de forma adequada e não cause danos ao equipamento.

O carregamento é uma operação crítica, que afeta diretamente a vida útil da bateria. O objetivo principal de um sistema de controle de carga é carregar a bateria eficientemente, evitando os efeitos prejudiciais do excessivo carregamento [...] Controladores de carga são incluídos na maioria dos SFI com o objetivo de proteger a bateria (ou banco de baterias) contra cargas e descargas excessivas, aumentando a sua vida útil. Denominações do tipo “gerenciador de carga”, “regulador de carga” ou “regulador de tensão” também são comuns e algumas vezes referem-se a controladores de carga com diferentes níveis de sofisticação. Controladores de carga são componentes críticos em sistemas fotovoltaicos isolados (SFI), pois, caso venham a falhar, a bateria poderá sofrer danos irreversíveis (CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA, 2014, p.177).

A figura 19 apresenta um diagrama simbólico do funcionamento de um sistema fotovoltaico isolado.

Figura 20 - Diagrama de blocos de sistemas fotovoltaicos isolados



Fonte: (CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA, 2014, 256).

2.9 Equipamentos fotovoltaicos em ambientes aeroportuários

Há duas formas principais de emprego de tecnologia fotovoltaica em aeródromos:

- Utilização das edificações do ambiente aeroportuário através da instalação nas coberturas dos prédios de painéis fotovoltaicos como possíveis pontos de geração de energia elétrica, de forma semelhante a uma aplicação residencial. Neste caso, provavelmente, será utilizado um sistema on-grid.
- Utilização dos painéis solares fotovoltaicos como possível forma de alimentação elétrica para os componentes dos equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea.

Como exemplo de estudo de aplicabilidade das situações citadas acima, destaca-se o Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina, com previsão de utilização de alimentação fotovoltaica on-grid a ser instalada no telhado do Terminal de Passageiros (CRESPI, 2015). Outro estudo semelhante foi desenvolvido no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre/RS pela Universidade Federal de Santa Maria (SOARES, 2014).

Por outro lado, a utilização de painéis fotovoltaicos associados aos equipamentos de Auxílios à Navegação ainda é um ramo que necessita de estudos e resoluções normativas. A Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO), por exemplo, vem elaborando diversas análises de caso para constatações dos benefícios e consequências geradas pela utilização deste sistema e já obteve resultados notáveis como a implantação de Estação Meteorológica de Superfície (EMS) com alimentação fornecida por painéis solares no Aeroporto de

Jacarepaguá no Rio de Janeiro, o primeiro no Brasil a utilizar este princípio de funcionamento (EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA, 2015).

A ICAO, por sua vez, também tem contribuído com estudos significados, contudo, ainda não publicou documentos oficiais que normatize e regule a utilização de equipamentos fotovoltaicos referentes a estes equipamentos. A FAA publicou em 2008 um resumo guia para estas aplicações e, logo em seguida, a FAA Advisory Circular (AC) 150-5345-50B com as especificações técnicas necessárias para as luminárias da PPD.

Nesta norma são definidos parâmetros que estes equipamentos devem seguir para aplicação nos aeródromos, a exemplo:

- Devem ser instalados em estruturas capazes de resistir a ventos de até 240 km/h a partir de qualquer direção.
- As baterias recarregáveis devem ser capazes de operar a qualquer momento (câmbio de sistema de fornecimento elétrico) e devem suportar o funcionamento do equipamento por, no mínimo, 12 horas quando completamente carregada. Também deve haver um equipamento de monitoramento de tensão para prevenir excesso de depleção da bateria.
- Depois de uma operação de ao menos 8 horas, as baterias devem ser capazes de ser recarregadas suficientemente após um tempo máximo de 13 horas.

Deve ser fornecido opcionalmente um sistema remoto de controle via rádio para monitoramento do nível das baterias e instrução para ligar ou desligar as luminárias, uma forma de complementação ao sistema de Controle de Luminárias através de Rádio emitido por Aeronaves (ARCAL).

Em primeiro lugar, é importante caracterizar que os custos de aplicação de equipamentos fotovoltaicos em aeroportos apresentam um valor bem elevado em comparação às demais aplicações devido à necessidade de licenciamento e garantia de que serão capazes de atingir a vida útil esperada num ambiente hostil e susceptível a diversas intempéries, tais como: erosão causada pelas turbinas das aeronaves, rajadas de vento intensas, etc. Quando associadas aos equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea este cenário só é intensificado devido às rigorosas normas regulatórias que buscam garantir que o produto esteja em concordância à

aplicação compatível com a aviação civil (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DE AVIAÇÃO, 2010).

Também é importante ressaltar que as luminárias componentes do balizamento luminoso podem ser alimentadas diretamente a partir do nível de tensão da bateria desde que se observe na fabricação e certificação de qualidade características condizentes para a utilização no equipamento. Por exemplo, podem ser fornecidas luminárias com operação a partir de 4,2V. Isso torna desnecessária a utilização de inversores, ou seja, a alimentação pode ser em tensão contínua.

Outro fator a ser considerado é a necessidade de geradores isolados redundantes, ou seja, a utilização de mais de um painel solar fotovoltaico capaz de alimentar eletricamente o sistema com intercalação realizada por comutação automática. Para o Balizamento Noturno Luminoso podem ser utilizados 4 geradores fotovoltaicos para este fim e, em caso de falha de um dos painéis, os 3 demais são encarregados de suprir o equipamento enquanto o sistema de transmissão e monitoramento via rádio avisa aos controladores da EPTA sobre a falha no equipamento.

Para os demais equipamentos (PSVs, Biruta e PAPIs) é possível realizar uma alimentação primária através de geradores fotovoltaicos autônomos e opção secundária de fornecimento elétrico a partir da Concessionária de Energia através de infraestrutura elétrica enterrada fornecida a partir da KF-Auxílios com possibilidade de controle de chaveamento automático, manual ou via rádio através da EPTA.

A operação de rádio utiliza o sistema “Mesh” para seu correto funcionamento, ou seja, as antenas passam a ter comportamento dual - atuam tanto como receptoras como retransmissoras. Desta forma, caso o comando a partir da EPTA não alcance as luminárias mais distantes devido a algum obstáculo ou ruído, as demais luminárias serão responsáveis por realizar esta comunicação.

As principais consequências da utilização da GFV em relação ao modelo tradicional é a redução de componentes elétricos necessários para garantir a alimentação elétrica dos equipamentos, o que implica nas seguintes alterações:

- Redução da infraestrutura elétrica enterrada ou substituição por cabeamento adaptado a BT ao invés de MT.
- Redução dos equipamentos elétricos de distribuição de energia, tais como:

RCCs, quadros elétricos, GMGs, dentre outros instalados na KF-Auxílios;

- Possibilidade de monitoramento e controle remoto a partir da EPTA. O controle remoto pode também ser integrado com a aeronave que deseja realizar a operação de pouso e decolagem desde que seja integrado ao sistema ARCAL ou Iluminação Controlada por Piloto (PAL);

- Em casos de instalação do sistema Serviço Automático de Informação Terminal (ATIS) em cooperação com o ARCAL/PAL, é possível realizar operações noturnas sem necessidade de operadores na EPTA do Aeródromo (automatização do serviço).

- Aumento da confiabilidade operacional dado que uma falha em algum equipamento irá causar danos a somente este componente, ou seja, não há falhas que possam afetar um ramo conectado em série como ocorre no sistema tradicional.

- Facilidade de manutenção visto que as vistorias dos equipamentos consistem nas substituições periódicas de baterias ou, em piores casos, a luminária pode ser simplesmente substituída por um equipamento novo.

- Redução na emissão de gases de efeito estufa e consequente melhoria na qualidade do ar.

2.10 Parâmetros para análise financeira

Segundo o guia para aplicação de energia solar em aeroportos publicado em 2010 pela FAA, cerca de quinze aeroportos nos Estados Unidos foram projetados e adaptados para a utilização desta tecnologia e apresentam confiabilidade de operação semelhante aos sistemas convencionais. De forma geral, este documento procura listar os principais benefícios e consequências desta aplicação.

Mesmo com a energia grátis fornecida pelo sol, é um desafio para a energia solar competir com os recursos energéticos convencionais. Dois fatores que fazem a energia solar mais cara são a eficiência dos painéis solares e custo dos materiais dos painéis. Embora avanços na tecnologia tenham melhorado ambos, ainda assim a energia solar pode custar de três a quatro vezes mais que os competidores que utilizam combustíveis fósseis. A viabilidade da energia solar também é determinada pelos custos associados ao consumo da eletricidade e incentivos financeiros disponíveis (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DE AVIAÇÃO, 2010).

Para quem busca retornos a curto prazo, a energia solar possivelmente

ainda não seja o melhor investimento dado que os custos dos equipamentos são altos e o lucro anual (ou redução de custos) são baixos e gradativos. Contudo, estima-se que com o passar dos anos a energia solar pague seu investimento inicial e passe a fornecer energia “grátis”, isto é, energia elétrica sem custo de fornecimento e baixa necessidade de operações ou custos de manutenção. A energia solar também representa uma forma de garantia de longo prazo de preço previsível de energia elétrica e a fuga de potenciais flutuações de preço nas aplicações baseadas em derivados do petróleo (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DE AVIAÇÃO, 2010).

Do custo total de um projeto solar acima de 25 anos, por exemplo, 99% dos custos estão incluídos no investimento inicial. Estes custos incluem garantia de direito de propriedade, design e permissão dos sistemas, materiais, construção e comissionamento. Custos futuros estão limitados a operações e manutenções, substituição de equipamentos e desativações. O custo de operações anuais são de cerca de 0,02% do custo total de projeto. O único maior gasto durante a vida de operação ocorre quando o inversor falha, o que é comumente planejado para ocorrer por volta do ano 11. Falha de painéis e substituição são relativamente incomuns, porém sua substituição deve ser considerado como um custo antecipado (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DE AVIAÇÃO, 2010, p.42, tradução nossa).

Basicamente, apesar da evolução da tecnologia e consequente redução do custo de produção da tecnologia solar, ainda é necessário um cenário favorável para que sua aplicação seja razoável em termos financeiros. Para que se tenha uma boa dimensão da possibilidade de aplicação desta tecnologia no Brasil, deve-se primeiro explorar o cenário energético brasileiro.

Nos últimos 10 anos, a tarifa média residencial aumentou 146,17% enquanto a tarifa industrial variou 280,30%. Apesar dessa diferença, é importante destacar que o valor médio da tarifa para o consumidor residencial era de R\$ 294,91, em 2006, e de R\$ 207,68, para a classe industrial. Ou seja, a tarifa da classe residencial estava, ainda, 42% acima da tarifa da classe industrial. Essa diferença era de 119,37% em 1997 (DIEESE, 2007). A tabela 2 mostra a variação do preço da energia elétrica por classe de consumo entre os anos de 1998 a 2006.

Tabela 2 - Variação anual das tarifas de energia elétrica por classe de consumo

TABELA 6
Variação anual das tarifas médias de energia elétrica por classe de consumo
Brasil 1998 a 2006
(Em %)

Classe de Consumo	Anos						Total
	1998	2000	2002	2003	2005	2006	
Residencial	5,33	14,35	16,66	14,09	7,64	1,29	146,17
Industrial	3,53	12,55	16,54	16,80	34,91	12,28	280,30
Comercial	3,34	12,37	18,84	13,31	10,16	4,38	153,95
Rural	2,94	13,06	16,06	20,18	8,43	5,38	162,08
Poder Público	3,46	13,75	19,96	15,88	10,07	7,08	175,65
Iluminação Pública	4,93	13,64	17,91	15,75	8,67	3,04	153,12
Serviço Público	3,74	12,42	18,54	14,90	16,45	10,49	196,71
Consumo Próprio	-0,60	-1,07	11,50	20,28	97,39	3,93	327,90
Tarifa Média Total	5,37	13,19	16,41	16,85	19,93	5,98	205,29

Fonte: (DIEESE, 2007, p.11)

Conclui-se que há um cenário favorável à utilização de energia solar em aeroportos do ponto de vista econômico, contudo, ainda não há iniciativas governamentais brasileiras que contribuam para sua implantação como em outros países.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho visou à elaboração de uma análise técnica e financeira para as duas possíveis soluções de adequação do aeródromo modelo à operação VFR noturna. Para alcançar este objetivo, houve uma divisão em 5 etapas, a citar:

A primeira etapa consistiu na pesquisa bibliográfica de materiais normativos e pesquisas científicas relativas aos sistemas elétricos, eletrônicos e de equipamentos de auxílios à navegação aérea aplicada a aeródromos voltados para aviação civil no Brasil e no mundo.

A segunda etapa visou o levantamento de geográfico do aeródromo modelo visando à obtenção de todas as informações necessárias para a elaboração da planta baixa que caracterize a situação atual. Para tal, foram utilizados softwares de visualização geográfica localizada, tais como o Google Earth e Google Maps e visita presencial.

Na terceira etapa, prosseguiu-se a locação dos pontos, isto é, foram analisadas as condições do aeródromo levantadas na etapa anterior e, com base nas normas vigentes, previu-se a localização em que seria adequada a instalação dos equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea, no caso, PAPIs, Biruta, Balizamento Luminoso Noturno e PSVs. Já nesta etapa, foi possível finalizar a elaboração do anteprojeto elétrico com premissa fotovoltaica.

Na quarta etapa foi elaborado o projeto elétrico do aeroporto considerando-se o modelo de fornecimento elétrico tradicional com a previsão de local adequado para a construção da subestação abrigada em alvenaria, elaboração do diagrama unifilar geral, distribuição de circuitos e previsão da rede de dutos enterrados responsável por realizar a alimentação elétrica dos equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea. Posteriormente, foram quantificados de forma a descrever todos os materiais e equipamentos necessários para a execução do projeto.

A quinta etapa consistiu na coleta de preços e serviços em bancos de dados governamentais, sites de venda de fornecedores de materiais ou sistemas de informação de compras realizadas por entidades públicas (atas de registro de preço, por exemplo). Por fim, comparar os aspectos financeiros e técnicos e avaliar a opção que simboliza o melhor cenário para o aeródromo modelo.

3.1 Materiais utilizados

Os seguintes materiais foram utilizados para o desenvolvimento do projeto:

- Notebook HP com Intel(R) Core (TM) i7-6500U CPU @ 2.50GHz 2,59 GHz 64 bits;
- Software AutoCad 2018 com licença estudantil válida por 3 anos autorizado e fornecido pela AutoDesk Inc.;
- Câmera digital fotográfica semiprofissional Canon PC1680 com 12 Megapixels e zoom de até 5x de proximidade.

4 IMPLEMENTAÇÃO

4.1 Definição do escopo do trabalho

Antes de iniciar a execução da pesquisa, foi necessário determinar o escopo e material que serviria de embasamento para a realização das análises técnicas e financeiras. Para tal, levou-se em consideração que um projeto de engenharia elétrica é, comumente, classificado em 5 etapas, sendo estas: Estudo de Viabilidade Técnica, Estudo Preliminar, Anteprojeto, Projeto Básico e Projeto Executivo.

Como este estudo visa uma definição de cenário, isto é, comparar os modelos de alimentação elétrica e definir qual representa o cenário mais favorável à sua implantação no aeródromo modelo, foi convencionado que o nível do projeto que atende esta demanda foi o Anteprojeto.

Desta forma, com base nas premissas de caracterização de produto se definiu o conteúdo necessário a ser apresentado para o trabalho de acordo com o nível do produto.

Considerando-se alimentação elétrica convencional:

1. 1 (uma) prancha gráfica em AutoCad com a locação dos equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea, o traçado da tubulação que realizará sua alimentação elétrica e locação das subestações;

2. 1 (uma) prancha gráfica em AutoCad com o diagrama unifilar geral que caracteriza e justifica os conceitos adotados para o dimensionamento e instalação dos equipamentos elétricos;

3. 1 (um) memorial descritivo que justifique a solução adotada, no caso, através do tópico 3.2 deste relatório.

Considerando-se alimentação elétrica fotovoltaica:

1. 1 (uma) prancha gráfica em AutoCad com a locação dos equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea;

2. 1 (um) memorial descritivo que justifique a solução adotada, no caso, do tópico 3.3 deste relatório.

Deve-se esclarecer que não foi elaborada uma prancha gráfica relativa às áreas internas da subestação por necessitar de informações precisas que englobam outras disciplinas, a citar: Arquitetura, Engenharia Civil Estrutural e confirmação das diretrizes para implantação dos equipamentos eletrônicos por parte da autoridade

aeroportuária pertinente. Desta forma, considerou-se que o diagrama unifilar geral foi capaz de descrever os conceitos adotados em projeto relativo a esta edificação.

Devido à carência de informações precisas e completas capazes de caracterizar a subestação, a análise financeira relativa a esta edificação necessitou de uma estimativa de preço que foi realizada através de consulta em projetos aprovados para outros aeroportos.

Os trabalhos desenvolvidos no software foram convertidos para o Formato Portátil do Documento (PDF) de forma a permitir a visualização sem a necessidade de instalação do software em que foi elaborado e foram anexados a este documento pelos apêndices A, B e D.

4.2 Caracterização do aeródromo em planta baixa

Em reunião realizada às 9:34 horas do dia 13 de agosto de 2017 com a autoridade gestora do aeródromo, identificou-se a inexistência de uma planta baixa atualizada com as informações pertinentes à implantação elétrica devido ao estilo de operação do aeroporto.

Após esta reunião, realizou-se uma visita técnica para avaliação das edificações de responsabilidade da unidade gestora, sendo estas: Escola de Pilotos e Administração. As demais edificações (hangares) são de responsabilidade de empresas privadas que possuem alimentação elétrica própria e exclusiva interligada à rede da concessionária.

Além disso, foram obtidas informações técnicas e digitais (fotos) do ambiente aeroportuário, a citar:

- O fornecimento elétrico da Administração do aeródromo é realizado através de um ramal de ligação bifásico que deriva de um poste próximo à via de acesso.
- O único equipamento de Auxílio à Navegação Aérea existente trata-se de uma Biruta não iluminada locada próxima à Pista de Táxi que conecta o Pátio de Aeronaves aos hangares próximos à cabeceira 29.

Não foi possível a elaboração de medições para determinar distâncias visto que o aeródromo estava em funcionamento. Para a coleta destas informações utilizou-se o banco de dados da ANAC que permite a visualização do comprimento das PPDs de todos os aeroportos credenciados no Brasil e softwares de cartografia

do planeta, a citar: Google Earth Pro e Google Maps 2017.

Para a elaboração da planta baixa, extraiu-se uma imagem do Google Earth Pro nas coordenadas $3^{\circ}04'23,53''$ S e $60^{\circ}01'18,87''$ O a uma elevação de 63 metros e altitude do ponto de visão a 905 metros. A figura 20 retrata esta imagem.

Figura 21 - Aeródromo de Flores - Vista aérea



Fonte: (GOOGLE, 2017)

Essa imagem foi transferida para o AutoCad como molde para que fosse elaborada a planta baixa. Vale citar que essa referência serviu apenas como indicação para a elaboração da planta baixa visto que não está em escala, isto é, as distâncias de referência não correspondem às medidas do mundo real.

Para realizar a conversão da escala da vista para a escala real, utilizou-se as medidas conhecidas das informações sobre aeródromos públicos disponibilizadas no site da ANAC, conforme figura 21:

Figura 22 - Lista de aeródromos públicos

OBS: INFORMAÇÕES DE PROCESSOS ANTERIORES A 2009 SUJEITAS A VALIDAÇÃO													
GD	TIPO	NOME	MUNICÍPIO ATENDIDO	UF	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	OPERAÇÃO	DESIGNAÇÃO	COMPRIMENTO	LARGURA	RESISTÊNCIA	SUPERFÍCIE
SWFN	AERÓDROMO	FLORES	MANAUS	AM	3° 4' 22" S	60° 1' 16" W	62m	VFR Diurno	11/23	830m	30m	5700kg / 0,5MPa	Asfalto

Fonte: (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2016, p.6)

Outras fontes de informações foram o próprio Google Earth Pro através de sua ferramenta “régua” que permite uma medição em escala real entre dois ou mais pontos e o Google Maps. Desta forma, pôde-se converter a escala do desenho para

a escala real e, assim, finalizar a planta baixa do aeródromo.

Ressalta-se que foi utilizada outra referência: A planta baixa da cidade de Manaus elaborada pelo Plano Diretor da prefeitura em 2014, obtida no site oficial da entidade. Estas informações serviram como base para a elaboração da planta de situação do aeródromo com o nome das ruas e vias que caracterizam sua localização espacial no cenário urbano.

4.3 Cenário proposto - modelo tradicional

Para que o aeródromo seja adequado à operação VFR diurno-noturna, devem ser previstos equipamentos visuais de Auxílios à Navegação Aérea e sonoros adequados à sua operação. De forma geral, deve-se consultar a autoridade aeroportuária pertinente (SAC) para que sejam definidas as premissas do projeto.

Contudo, como este é um estudo focado para o fim acadêmico e com um propósito definido (avaliação técnico-financeira), optou-se pela previsão em projeto de apenas alguns equipamentos visuais de Auxílios à Navegação Aérea cujas especificações técnicas sejam facilmente encontradas no mercado e estejam adaptados tanto à tecnologia LED (Diodo Emissor de Luz) quanto alimentação elétrica fotovoltaica (são encontrados no mercado certificados pela ICAO/FAA adaptados à tecnologia).

Os equipamentos que atendem a estes requisitos são:

1. Conjunto PAPI.
2. Painéis de Sinalização Vertical Luminosa (PSVs).
3. Balizamento Luminoso Noturno.
4. Biruta.

Estes equipamentos foram escolhidos como escopo deste trabalho. Deve-se ressaltar que a instalação destes não é suficiente para adequar o aeródromo à operação VFR noturna visto que há necessidade de estudos para avaliar a viabilidade de outros equipamentos (EMS, Farol Rotativo e Estação de Rádio VHF) e/ou estruturas prediais (implantação de EPTA, construção, expansão ou modernização do TPS, adequação da PPD ou Pistas de Táxi), entre outras intervenções que englobam todas as áreas da engenharia.

Como o intuito deste trabalho é a elaboração de um Anteprojeto e os cenários de comparação devem se aproximar o mais próximo possível à realidade,

postulou-se que a locação dos equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea deve seguir os parâmetros definidos nas normas vigentes.

Desta forma, elaborou-se uma pesquisa bibliográfica em normas, livros e catálogos de fabricantes de referência (ADBAIRFIELD, 2017), Com estes dados, foi possível obter os parâmetros técnicos necessários para a elaboração do projeto. Estes fatores foram descritos nos subitens 4.3.1 a 4.3.9.

4.3.1 Balizamento Noturno Luminoso

Conforme descrito no item 2.6.4, o Balizamento Luminoso Noturno consiste em um conjunto de luzes cuja função é determinar a localização e limites da PPD, Pista de Táxi ou Pátio de Aeronaves.

Cada tipo de luz possui suas próprias características e significado, portanto, para a elaboração de um projeto coerente, é necessário que seja descrito cada um dos tipos necessários para a completa sinalização do aeródromo de referência.

Luzes elevadas de borda de Pista de Pouso e Decolagem: indicam os limites da PPD e são reguladas pela alínea 154.305 (p) da RBAC 154. Para aeroportos com operação VFR, devem ser dispostas a 100 metros de distância entre si. Outra variação comum para estes tipos de luzes é a indicação de cor visto que indicam a proximidade ao fim da PPD. A norma define que se devem utilizar luzes bidirecionais amarelo-brancas no trecho máximo de 600 metros em relação à cabeceira, ou antes, que percorra 1/3 da pista, o que vier primeiro. Para os demais trechos, são utilizadas luzes bidirecionais brancas.

Como o aeródromo modelo possui um comprimento de pista de 830 metros, utilizou-se o critério do 1/3, ou seja, para os 276,67 metros mais próximos às cabeceiras foram previstas luzes bidirecionais amarelo-brancas e para os demais trechos luzes bidirecionais branca-branca.

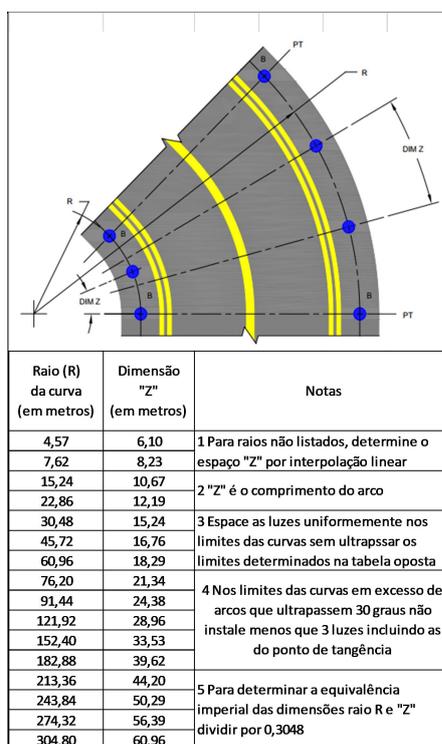
Luzes elevadas de borda de táxi: indicam os limites da Pista de Táxi ou Pátio de Aeronaves e são reguladas pela alínea 154.305 (x) da RBAC 154. Em síntese, para aeroportos com operação VFR, devem ser dispostas a, no máximo, 60 metros em trechos uniformes e retilíneos e a uma distância inferior a 3 metros para fora das bordas das faixas de indicação da Pista.

Uma das principais dificuldades normativas desse tipo de iluminação são os trechos de curvas uma vez que a RBAC recomenda que sejam distribuídas luzes em

intervalos menores que 60 metros, de modo que seja oferecida uma clara indicação da curvatura. Ou seja, fica a critério de interpretação do projetista o número de luzes mínimas necessárias para que sejam delimitados os limites da curva ao mesmo tempo em que se deve evitar a locação excessiva de forma a causar a ofuscação do piloto conhecida popularmente como efeito “mar azul”.

Para justificar a locação de luzes em trechos de curvas do aeródromo modelo, utilizou-se a norma americana FAA 150/5340-30H - Design e Detalhes de Instalação para Auxílios Visuais em Aeroportos que define o distanciamento máximo entre as luzes baseada no raio da curva. A figura 22 ilustra as distâncias mencionadas na norma citada.

Figura 23 - Distanciamento recomendado para as luzes de pista de táxi



Fonte: (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DE AVIAÇÃO, 2014, p.133)

Desta forma, o projeto foi elaborado com base nos princípios de ambas as normas, adotando-se como padrão um distanciamento de 60 metros entre luminárias em trechos retilíneos e distâncias uniformes dentro dos parâmetros da FAA em trechos curvos espaçadas a 2 metros dos eixos da pista.

Luzes elevadas de indicação de Cabeceira de Pista: indicam o limiar de uma cabeceira de pista e são reguladas pela alínea 154.305 (q) da RBAC 154. Para

aeroportos com operação VFR, devem ser dispostas, no mínimo, 6 luzes de coloração verde distribuídas uniformemente e distanciadas a não mais que 3 metros além da extremidade da pista.

Luzes elevadas de Fim de Pista: indicam o fim da extensão de um PPD e são reguladas pela alínea 154.305 (r) da RBAC 154. Para aeroportos com operação VFR, devem ser dispostas, no mínimo 6 luzes de coloração vermelha uniformemente distribuídas e distanciadas de não mais que 3 metros além da extremidade da pista.

As luzes de Cabeceira de Pista e de Fim de Pista possuem funcionalidades semelhantes, porém diferentes atribuições no ambiente aeroportuário. Visando a economia de luminárias, a RBAC 154 permite que sejam utilizadas luminárias bidirecionais vermelho-verdes em pistas VFR ou IFR cujas cabeceiras não sejam recuadas, possibilitando assim, que uma única luz possua dupla funcionalidade dependendo do ângulo de visão do piloto. Esta aplicação foi utilizada na cabeceira 29 através da previsão de 6 luminárias espaçadas a 2 metros além da pista e a 4,1 metros entre si.

Para casos em que a cabeceira seja recuada, a exemplo da cabeceira 11 do aeródromo modelo, não é possível realizar esta duplicidade funcional. Devem ser previstas as luzes de fim de pista seguindo as regras mencionadas ao fim do recuo da cabeceira e um arranjo de luzes de cabeceira de pista. A figura 23 ilustra as opções de locação de luzes de cabeceira.

Figura 24 - Locação das luzes de cabeceira e fim de pista

Condição	Luzes	Aproximação não instrumento e não precisão	Aproximação precisão CAT I	Aproximação precisão CAT II
Cabeceira na extremidade da RWY	Luzes de cabeceira e luzes de fim de pista			
Cabeceira deslocada da extremidade da RWY	Luzes de cabeceira			
	Luzes de fim de pista			
				<small>Nota - Os desenhos acima são ilustrativos, e foram realizados com base em uma RWY de pista.</small>

Fonte: (BRASIL, 2017, p. 102)

Normalmente, permite-se o recuo das cabeceiras para garantir maior alcance para que o piloto consiga realizar as operações de pouso e decolagem. Tendo-se em vista que as configurações com luminárias acima da pista permitem que sejam destruídas caso a aeronave alcance a faixa de recuo de cabeceira, optou-se pela configuração com 10 luminárias uniformemente espaçadas localizadas na borda da PPD para as luzes de cabeceira sendo a primeira espaçada a 2 metros do eixo da pista e as demais a 4,1 metros entre si para a cabeceira 11.

Para as luzes de fim de pista, o critério adotado seguiu a configuração com distribuição uniforme de luminárias próximas ao fim do recuo da cabeceira. Como há um talude ao fim da pista, as luzes foram localizadas no sentido inverso, isto é, acima da pista com distância de 2 metros em relação ao eixo horizontal e 4,1 metros entre si.

4.3.2 Indicador de Trajetória de Precisão

Conforme descrito no item 2.6.2, o conjunto PAPI consiste em um equipamento de Auxílio à Navegação Aérea, destinado a auxiliar o piloto durante a aterrissagem da aeronave.

Segundo o item 6.7.1 da ICA 63-18 de 16 de março de 2017, o sistema PAPI deve ser implantado quando um dos seguintes critérios é atendido:

- a) Aeródromos com operação de linhas aéreas regulares internacionais com aeronaves de médio e grande porte, na cabeceira cujo número anual de pousos seja igual ou superior a 5.000;
- b) Aeródromos com operação de linhas aéreas regulares regionais, na cabeceira cujo número anual de pousos seja igual ou superior a 5.000;
- c) Aeródromos com operação de aeronaves da aviação geral ou militar, na cabeceira cujo número anual de pousos seja igual ou superior a 5.000;
- d) Aeródromos de interesse estratégico definido pelo DECEA.

Segundo a autoridade aeroportuária gestora, o aeródromo de Flores possui uma movimentação anual de 10.000 aeronaves por ano destinadas à aviação regional. Contudo, como não foi possível obter o número de operações em cada cabeceira, foi considerado que o número de operações é dividida igualmente entre ambas as cabeceiras.

Desta forma, o aeródromo de Flores se enquadrava no item “b” do item 6.71,

devendo-se prever a instalação de um conjunto PAPI em ambas as cabeceiras.

Quanto ao critério de locação, foram utilizados os parâmetros determinados na alínea 154.301(l)(3) que determina as distâncias em relação à borda da PPD mais próxima às unidades do conjunto PAPI.

Como especificado no item 1.6.2 deste documento, o aeroclube possui uma pista de código 2C, portanto, o espaçamento entre a borda da PPD e a unidade PAPI deve ser de 10 ± 1 metros e a distância entre suas próprias unidades obedeça a um espaçamento de 6 ± 1 metros.

A locação correta de um conjunto PAPI requer um cálculo detalhado que leva em consideração diversos fatores como, por exemplo, o ângulo do feixe de luz emitido pelas unidades, obstáculos da região, tipos de aeronaves. Como este é um parâmetro, normalmente, definido na etapa de Projeto Executivo. Para etapas anteriores, estima-se uma locação a 300 metros da cabeceira mais próxima.

O projeto foi adequado aos parâmetros citados: aquisição de 2 conjuntos PAPIs a ser locados a 300 metros da cabeceira mais próxima, 10 metros em relação ao eixo da pista e 6 metros entre seus próprios módulos.

4.3.3 Sinalização Vertical Luminosa

Conforme descrito no item 2.6.3, os PSVs consistem em equipamentos de Auxílio à Navegação Aérea destinada a informar ao piloto a sua posição e rota para alcançar seu destino no ambiente aeroportuário.

Segundo a alínea 154.307(a)(1) da RBAC 154, os Painéis de Sinalização Vertical Luminosa podem ser obrigatórios ou informativos e devem ser dispostos conforme a estrutura do aeródromo a ser analisado.

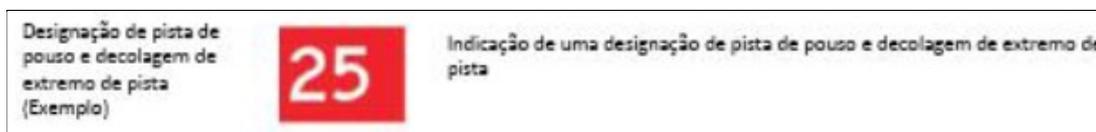
De forma geral, os painéis de instrução obrigatória indicam a presença de obstáculos ou cabeceiras, enquanto os informativos instruem a direção de Pátios de Aeronaves ou informações adicionais do ambiente aeroportuário.

A alínea 154.307(2)(i) apresentada na tabela E-7 (tabela 1 deste trabalho) com as instruções que caracterizam a locação permitida para os painéis de acordo com o código da pista, distância perpendicular da borda da pista de táxi mais próxima e a distância perpendicular da borda da PPD mais próxima.

Ao considerar a atual estrutura do aeródromo de Flores, verifica-se que é necessário a previsão de 1 painel vertical simples de sinalização vertical obrigatório

para indicação de cabeceira de pista com as suas respectivas numerações conforme a representação da figura 24.

Figura 25 - Painel de Sinalização Vertical de Localização



Fonte: (BRASIL, 2017, p. 129)

Deve-se prever também o total de 3 painéis verticais de sinalização obrigatória a ser locados próximas às interseções entre as pistas de táxi e a PPD com o intuito de informar a direção em que se encontram as cabeceiras. A grafia listada nestes painéis está representada na figura 25.

Figura 26 - Painel de localização associado a cabeceiras de pista



Fonte: (BRASIL, 2017, p. 102)

Outro tipo de sinalização vertical prevista para esse aeródromo foram 3 painéis simples informativos de indicação de saída de PPD visto que há 3 pistas de táxi que podem ser utilizadas. Estes painéis são responsáveis por indicar à aeronave a direção para alcançar o destino desejado. A grafia listada para estes painéis está destacada na figura 26.

Figura 27 - Painel de Designação de localização de Pista



Fonte: (BRASIL, 2017, p. 130)

O último tipo de PSV previsto em projeto para este aeródromo foram os painéis simples de indicação de pista de livre para indicar que a aeronave pode

continuar sua trajetória e realizar suas operações esperar até o operador permitir sua movimentação. A grafia listada para estes painéis está destacada na figura 27.

Figura 28 - Painel de Designação de Pista Livre



Fonte: (BRASIL, 2017, p. 130)

Cada painel foi locado com base nas distâncias permitidas da RBAC 154 e a estrutura do ambiente aeroportuário, variando de 6 a 9 metros espaçados em relação à borda PPD e 10 a 10,5 metros em relação à borda da pista de táxi. Para consultar a distância de cada painel individualmente, devem-se consultar as cotas indicadas em projeto conforme apêndice A e D.

4.3.4 Biruta

Conforme descrito no item 2.6.1, a Biruta consiste em um equipamento de Auxílio à Navegação Aérea destinada a informar a velocidade e direção do vento.

Segundo a alínea 154.301(a)(1) da RBAC 154, todos os aeródromos devem estar equipados com, no mínimo, um indicador de direção de vento. Informação que é complementada pela alínea 154.301(3)(iii) da mesma norma que atesta a necessidade de iluminação em aeródromos com operação noturna.

Apesar do aeródromo de Flores possuir uma biruta, deve-se substituí-la para que seja possível realizar a adequação de adicionar o sistema de iluminação e renovar a garantia do equipamento. Não é recomendada por nenhum fabricante a adição do sistema de iluminação a uma biruta não iluminada pela necessidade de adequação às normas aeroportuárias (ICAO) e necessidade de emissão do certificado de aprovação por parte dos órgãos reguladores, o que, por muitas vezes, torna a substituição completa do equipamento a opção com melhor custo benefício.

A locação deste equipamento está definida na RBAC 154, ou seja, ser posicionado de tal forma que seja visível a uma aeronave em voo ou na área de movimento e que esteja livre de efeitos de distúrbios de ar causados por objetos nas

redondezas.

O projeto foi adequado aos parâmetros citados: aquisição de 1 Biruta a ser locado a 417,2 metros da cabeceira mais próxima e a 120 metros do eixo da pista. Esse posicionamento foi escolhido por ser uma região central do aeródromo (visível a ambas as cabeceiras) e com baixo nível de iluminação, conforme apêndice A e D.

4.3.5 Locação da subestação

Normalmente, subestações são definidas baseadas no valor da potência e estrutura do local, contudo, este trabalho possui por escopo apenas parte das cargas de uma padronização nacional de instalações elétricas (MCC do Banco do Brasil). Desta forma, foi necessário prever mudanças na estrutura do aeródromo modelo para que passe a receber uma alimentação em MT da concessionária de energia e distribuída através de duas subestações abrigadas, no caso, KF Principal e KF Auxílios.

A KF Principal é a subestação abrigada responsável por abrigar todos os cubículos de MT (proteção, transição, medição, saída) e não abriga nenhum transformador de força.

A KF Auxílios, por outro lado, consiste em uma subestação abrigada responsável por realizar a conversão de energia para BT (transformador de força) e abrigar os quadros responsáveis por alimentar os Equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea e, em alguns casos, a EPTA.

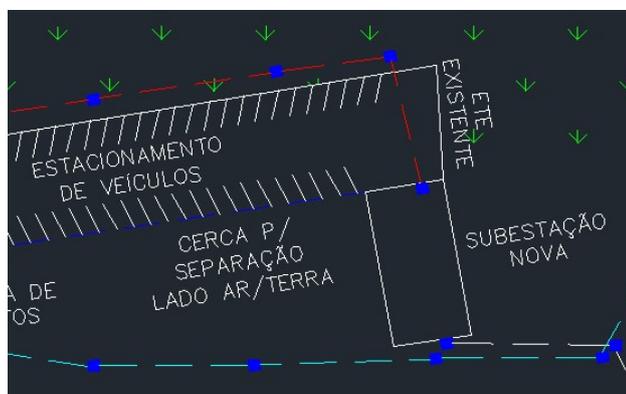
No aeródromo modelo, há a necessidade de alimentar eletricamente apenas a Administração e a Escola de Pilotos uma vez que todos os hangares possuem pontos de fornecimento próprios da concessionária. Um projeto completo com todas as disciplinas da engenharia resultaria numa reforma do ambiente aeroportuário como um todo através da construção de um TPS com salas para realizar todas as operações de embarque/desembarque, check-in e também salas para os órgãos de organização e fiscalização. Ressalta-se também a necessidade de um estudo em conjunto com SAC para verificação da necessidade de implantação de SCI e EPTA.

No caso deste trabalho, adotou-se como padrão a manutenção dos prédios existentes e, como não foi possível o levantamento das cargas ativas, considerou-se a potência máxima do sistema bifásico, ou seja, 15 kVA como a potência demandada para as duas edificações. Além disso, visando o melhor custo/benefício,

escolheu-se a construção de uma única edificação em alvenaria para abrigar as duas subestações separando-as através de uma parede.

A entrada da KF-Principal, por padronização normativa, deve ser acessível pelo lado terra e o mais próximo possível dos centros de carga. O local que atende a estes requisitos e que não implicam em drásticas mudanças na estrutura do aeródromo é a cerca operacional do estacionamento de veículos. Desta forma, o projeto considerou como cenário a desativação de 3 vagas do estacionamento de veículos para a construção da subestação abrigada, conforme ilustra a figura 28.

Figura 29 - Localização prevista para as subestações



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2017)

A KF Auxílios é a subestação responsável por abrigar os quadros elétricos, RCCs, transformador de força e Sistema Ininterrupto de Energia (UPS). Neste caso, será o ponto de fornecimento elétrico para os equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea e edificações.

Segundo a concessionária de energia, a KF Principal é classificada como nº 2, ou seja, abrigada em alvenaria com medição e proteção sem transformação, enquanto a KF Auxílios consiste em uma subestação de transformação de força.

Vale ressaltar que a planta baixa ou vista das áreas internas das subestações não fazem parte do escopo da etapa de Anteprojeto, portanto, não foram previstas neste trabalho.

4.3.6 Dimensionamento

O dimensionamento consiste na elaboração dos cálculos matemáticos que justificam os valores apresentados no projeto elétrico.

O primeiro passo para o dimensionamento das cargas do aeródromo modelo consiste na determinação da potência nominal dos RCCs destinados à alimentação elétrica dos Equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea. Para tal, há duas possibilidades:

- Topologia em paralelo: Distribuição com base na finalidade dos Auxílios de Navegação Aérea. Por exemplo, devem ser previstos RCCs exclusivos e individuais para cada grupo de balizamento.
- Topologia em série: Distribuição com base na potência total do circuito e importância dos equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea. Exemplo: Todos os elementos do balizamento (Cabeceira, Pista de Táxi e Borda de PPD) podem ser interligados em série desde que respeitados os critérios definidos em normas.

Ressalta-se que a norma garante a necessidade de manutenção do sistema mesmo em caso de falhas e, por este motivo, é normativamente definido que sejam previstos sistemas redundantes para os equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea tanto através do uso de geradores redundantes quanto a divisão de circuitos com RCCs exclusivos para o caso de falhas ou na infraestrutura ou no próprio equipamento.

Ao final, deve-se estudar com cautela o ambiente aeroportuário e definir que cenário apresenta o melhor custo-benefício. As tabelas 3 e 4 a seguir apresentam as quantidades mínimas de RCCs necessários para atender cada uma das topologias.

Tabela 3 – Quantitativo de RCCs necessários para a topologia em série

Topologia em série	
Nomenclatura	Finalidade
RCC 1	Balizamento - Pista de Táxi + Borda de PPD + Cabeceira + PSVs + PAPI 1
RCC 2	Balizamento - Pista de Táxi + Borda de PPD + Cabeceira + PSVs + PAPI 2

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2017)

Tabela 4 – Quantitativo de RCCs necessários para a topologia em paralelo

Topologia em paralelo	
Nomenclatura	Finalidade
RCC 1	Balizamento - Pista de Táxi
RCC 2	Balizamento - Pista de Táxi
RCC 3	Balizamento - Borda de PPD
RCC 4	Balizamento - Borda de PPD
RCC 5	Balizamento – Cabeceira
RCC 6	Balizamento – Cabeceira
RCC 7	Painéis de Sinalização Vertical
RCC 8	PAPI 1
RCC 9	PAPI 2

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2017)

Nem sempre a aquisição de menor quantidade de equipamentos corresponde ao melhor cenário econômico visto que o valor é especificado de acordo com sua potência nominal. A metodologia ideal para a determinação da topologia a ser seguida depende de um estudo em conjunto com a autoridade aeroportuária pertinente (SAC e Banco do Brasil) visando o cenário com melhor custo-benefício para cada aplicação.

Para casos em que este estudo não seja possível ou não há informações técnicas suficientes para a caracterização completa das reformas aeroportuárias (caso deste estudo), o documento 2 do anexo 1 - parte I - Anexo 15.1.34 recomenda a utilização da topologia em paralelo, critério adotado neste projeto.

Para o desenvolvimento da potência nominal de cada RCC devem ser considerados os seguintes parâmetros:

1. Potência nominal do conjunto completo de cada equipamento de Auxílio à Navegação Aérea (Luminária + Transformador Isolador).
2. Quantidade de equipamentos.
3. Perdas estimadas no condutor.
4. Reserva mínima de 20% para futuras expansões e garantir o conforto operacional para o RCC (operação contínua na potência nominal pode reduzir a vida útil do equipamento).

O item 1 consistiu na coleta de informações técnicas necessárias para o dimensionamento elétrico com base em catálogos de fornecedores consagrados no mercado brasileiro. Como se detectou que potência varia de acordo com a marca e modelo definiu-se pela utilização dos produtos de um único fornecedor como

referência, no caso, da ADB Airfield Solutions obtidos no site oficial da empresa.

Vale ressaltar que os valores de potência unitária dos equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea também variam de acordo com o sentido da luminária (uni ou bidirecionais), a potência dos transformadores isoladores e a necessidade de aquecedores para derretimento de neve ou não. Desta forma, foi necessário selecionar os produtos compatíveis com as características regionais do aeródromo modelo conforme descrição abaixo:

1. Luminária elevada de Borda de Pista Branca: Codificação do produto EMIL-18100 bidirecional de cor branca-branca com TI de 30/45W sem aquecedor.

2. Luminária elevada de Borda de Pista Branca-Amarela: Codificação do produto EMIL-38100 bidirecional de cor amarela-branca com TI de 30/45W sem aquecedor.

3. Luminária elevada de Cabeceira de Pista Verde: Codificação do produto EMIL-98100 unidirecional de cor verde com TI de 30/45W sem aquecedor.

4. Luminária elevada de Cabeceira de Pista Vermelha: Codificação do produto EMIL-G8100 bidirecional de cor vermelha-obscura com TI de 30/45W sem aquecedor.

5. Luminária elevada de Cabeceira de Pista Verde-Vermelha: Codificação do produto EMIL-E8100 bidirecional de cor verde-vermelha com TI de 30/45W sem aquecedor.

6. Luminária elevada de Borda de Pista de Táxi Azul: Codificação do produto ETES-1510 bidirecional de cor azul-azul com TI de 30/45W sem aquecedor.

7. Conjunto PAPI: Modelo LPLI-B40000 com 4 unidades de luz certificação ICAO/TP 312, controlado por corrente e TI de 200W

8. Painel de Sinalização Vertical com 1 seção e 2 pernas: Codificação do produto SB8A-71S6 230 com legenda de 300 mm, TI de 300W e face iluminada de 700 mm de fundo vermelho e legenda branca (sinalização obrigatória) ou fundo amarelo e legenda preta (sinalização de informação).

9. Painel de Sinalização Vertical com 3 seções e 4 pernas: Codificação do produto SB8N-71S6 230 com legenda de 300 mm, TI de 500W e face iluminada de 700 mm de fundo vermelho e legenda branca (sinalização obrigatória) ou fundo amarelo e legenda preta (sinalização de informação).

10. Biruta Iluminada: Produto com codificação HA806IA066LE1IC utilizando

tecnologia LED instalada externamente, acionada em BT com cone nas cores vermelho e branco e suporte frangível.

O quantitativo de equipamentos foi obtido através da elaboração do projeto elétrico com base nas normas pertinentes descritas nos subitens 3.2.3.1 a 3.2.3.4. Ressalta-se que estes valores foram inclusos em prancha e constam neste documento através do Apêndice A.

As perdas estimadas no condutor foram calculadas através das fórmulas definidas pela 2ª Lei de Ohm (1) e Efeito Joule (2) destacadas abaixo:

$$R = \frac{(\rho * L)}{S} \quad (1)$$

Onde:

R: Resistência Elétrica do cabo dada em Ω (Ohms);

ρ : Condutividade do cabo em $\Omega * m$ (Ohms por metro);

L: Comprimento dos condutores em m (metros);

S: Seção transversal dos condutores em m^2 (metros quadrados).

$$P = \frac{(R * I^2)}{Fp} \quad (2)$$

Onde:

P: Potência dissipada em VA (Volt-ampère);

R: Resistência em Ω (Ohms);

I: Corrente elétrica em A (Ampères);

Fp: Fator de Potência (adimensional).

Todos os cabos utilizados para os equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea foram considerados como fios de cobre de têmpera mole de seção 10 mm^2 com classe de isolamento 3,6/6 kV por padronização do documento 2 do anexo 1 - parte I - Anexo 15.1.31 a 15.1.34 enquanto a distância percorrida pelos cabos foi obtida com base nas tabelas de quantitativo desenvolvidas nos projetos utilizando a luminária mais distante da subestação como referência (Apêndices A e D).

Desta forma, as variáveis fixas do dimensionamento consistem na condutividade do cobre com valor de $1,72 * 10^{-8} \Omega * m$, a seção transversal dos cabos é igual a $10 * 10^{-6} \text{ m}^2$, a corrente máxima que percorre cada circuito é de 6,6 A devido à padronização de fabricação do RCC e fator de potência considerado para todos os equipamentos foi de 0,92. A tabela 5 ilustra os resultados obtidos arredondados para

cima com 1 casa decimal de abrangência.

Tabela 5 – Dimensionamento de perdas da topologia em paralelo

Topologia em paralelo			
Nomenclatura	Finalidade	Comprimento (m)	Perda (VA)
RCC 1	Balizamento - Pista de Táxi	658	53,6
RCC 2	Balizamento - Pista de Táxi	628	51,2
RCC 3	Balizamento - Borda de PPD	521	42,5
RCC 4	Balizamento - Borda de PPD	542	44,2
RCC 5	Balizamento - Cabeceira 11	524	42,7
RCC 6	Balizamento - Cabeceira 29	582	47,4
RCC 7	Painéis de Sinalização Vertical	611	49,8
RCC 8	PAPI 1	339	27,7
RCC 9	PAPI 2	325	26,5

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2017)

Com base em todas as considerações citadas, foi elaborada a tabela 6 com o resultado do dimensionamento dos RCCs.

Tabela 6 – Perdas de potência nos cabos dos RCCs

Nomenclatura	Finalidade	Carga no RCC Unitária (VA)	Quantidade	Perda (VA)	Total (VA)
RCC 1	Balizamento - Pista de Táxi	20,4	24	53,6	543,2
RCC 2	Balizamento - Pista de Táxi	20,4	23	51,2	320,4
RCC 3	Balizamento - Borda de PPD	18(Bidirecional) 16(Unidirecional)	5 3	42,5	180,5
RCC 4	Balizamento - Borda de PPD	18(Bidirecional) 16(Unidirecional)	5 3	44,2	182,2
RCC 5	Balizamento - Cabeceira	18(Bidirecional) 16(Unidirecional)	6 5	42,7	230,7
RCC 6	Balizamento - Cabeceira	18(Bidirecional) 16(Unidirecional)	6 5	47,4	235,4
RCC 7	Painéis de Sinalização Vertical	232 (3 módulos) 122 (1 módulo)	3 (3 Módulos) 8 (1 Módulo)	49,8	1672
RCC 8	PAPI 1	630	1 (Cabeceira 11)	27,7	630
RCC 9	PAPI 2	630	1 (Cabeceira 29)	26,5	630

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2017)

Com este resultado é comprovada a necessidade de 9 RCCs de potência nominal de 2,5 kVA (menor valor comercial disponível no mercado). Desta forma, foi previsto o quadro elétrico QD-RCC para alimentação destes equipamentos com 9 saídas monofásicas equipadas.

Considerando-se a possibilidade de ocorrência de possíveis picos de curta duração ou expansões do sistema do balizamento devido à mudanças normativas ou possíveis reformas, estimou-se que a carga total do quadro corresponde à soma da potência nominal de todos os 9 equipamentos totalizando 22,5 kVA.

As demais cargas no ambiente aeroportuário consistem na torre da Biruta com carga de 0,5 kVA (destinada ao equipamento e possíveis materiais de limpeza ou manutenção), as cargas de iluminação e tomadas das KFs estimadas em 5 kVA (apenas previsão visto que a planta-baixa da subestação não é escopo deste trabalho), as torres de iluminação do Pátio de Aeronaves e tomadas para sistemas eletrônicos com carga de 4 kVA (estimativa por não ser escopo do trabalho) e a alimentação das cargas prediais (Administração e Escola de Pilotos) estimada em 15 kVA.

Com base nessas informações, dimensionou-se a carga do transformador de potência e GMG, conforme tabela 7.

Tabela 7 – Dimensionamento do transformador e GMG

QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO COMUM						
Nome do Quadro	Potência(kVA)	Tensão(V)	Corrente(A)	Disjuntor(A)	Cabo(mm ²)	Local
QG-PRE	15	380	39,48	50	#16	KF-Auxílios
QG-KFN	5	380	13,16	32	#6	KF-Auxílios
QGBTE	27	380	41,03	63	#16	KF-Auxílios
TOTAL	47	380	71,41	100	#25	KF-Auxílios

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2017)

Desta forma, a potência do transformador necessária para a alimentação das cargas do aeródromo modelo é de 75 kVA a atuar a 73% de sua carga nominal, o que está adequado às premissas do documento 2 do anexo 1 – parte I – Anexo 15.1.18 – Sistemas – Elétrica que especifica que o transformador deve garantir uma folga de cerca de 25% de sua carga nominal para possíveis expansões no sistema.

Os GMGs redundantes foram dimensionados para garantir a potência comercial mais próxima ao 47kVA, no caso, 55kVA.

4.3.7 Diagrama unifilar geral

O diagrama unifilar geral consiste na descrição resumida do esquema de ligação, proteção e distribuição dos equipamentos elétricos previstos em projeto com base nos padrões adotados na norma NDEE-01 (Norma de Fornecimento de Energia Elétrica) da Amazonas Energia (concessionária local).

A análise primária consiste na interligação do ramal de entrada até a subestação KF-Principal através de dutos enterrados no solo com cabos de cobre nú de 25 mm² conforme normatização da NDEE-01 da Amazonas Energia.

Uma vez dentro da subestação, a entrada se dará através do cubículo de MT de Entrada e Medição onde foi previsto um Transformador de Corrente (TC) com relação 5-5, um Transformador de Potencial (TP) com relação 70:1 para ajustar os valores de tensão e corrente ao medidor a ser fornecido pela concessionária de energia, além de um para-raios de proteção com tensão e corrente nominais de 12 kV e 10 kA conforme padronizações da NDEE-01.

Para realizar a conexão entre os cubículos de entrada/medição e o de proteção foi previsto um barramento de MT com cabos de cobre nú de 20 mm². Para possibilitar manobras e garantir segurança na instalação, o documento 2 do anexo 1 – parte I – Anexo 15.1.18 – Elétrica em seu item 3.2.5 estipula a utilização de disjuntores em SF6 e chave seccionadora sob carga também em SF6 ao lado da entrada do disjuntor.

Utilizando-se da metodologia de dimensionamento da NDEE-1, foram previsto um disjuntor com tensão e corrente nominais de 15kV e 350A e uma chave seccionadora sob carga com tensão e corrente nominais de 15kV e 400A.

Em seguida, foi previsto outro TC para realizar a separação do circuito necessária para instalação dos relés de proteção do cubículo. Seguindo as diretrizes do item 3.2.5.2 do documento 2 do anexo 1 – parte I – Anexo 15.1.18 – Elétrica, foram previstos relés de proteção nas funções ANSI 50/51, 50/51N, 27/59 e 49 sendo as funções 50 e 51 protegidos por um nobreak de carga 1kVA com autonomia mínima de 2 horas para adequação à NDEE-1.

Na saída do disjuntor foi prevista uma chave seccionadora automática para garantir a proteção contra contatos indiretos através da conexão ao aterramento e equipotencialização, assim como um sinaleiro de cor vermelha para indicar se o circuito está ou não conduzindo corrente elétrica (há passagem de corrente).

Segue para o cubículo de transição para alojamento dos conectores pré-moldados para ligação dos cabos diretamente ao barramento principal dos cubículos de saída. Como só foi prevista uma subestação transformadora, houve a previsão de apenas um cubículo de saída destinado à alimentação da KF-Auxílios.

Para permissão de manobras na rede elétrica (desligamento individual do fornecimento), foi prevista uma chave seccionadora sob carga na saída do cubículo de saída com os valores nominais recomendados pela concessionária local seguido do mecanismo de proteção do cabo, no caso, elos fusíveis conectados às fases com capacidade de 3H e 10A conforme padronização da concessionária local. Por questões de segurança, novamente foi previsto um sinaleiro de cor vermelha e uma chave seccionadora automática.

Da saída da mufla do cubículo de saída, o cabo segue diretamente para os cubículos de entrada e proteção da KF-Auxílios que possui os mesmos equipamentos de sinalização e proteção (chaves seccionadoras sob carga, automática, sinaleiro e elos fusíveis) e segue diretamente para o transformador de potência de 75kVA de topologia delta-estrela justificado no dimensionamento.

Antes de dar prosseguimento na justificativa do diagrama unifilar geral, é necessário caracterizar que foram previstos 3 tipos de cargas:

- Cargas normais: Não são vitais para o ambiente aeroportuário e podem ficar desativadas caso haja falha na distribuição por parte da concessionária de energia.
- Cargas emergenciais: São vitais para o ambiente aeroportuário, mas que não causarão consequências para a operação geral caso sejam desativadas até o dispositivo USCA detecte a falha no fornecimento da concessionária e ative um dos conjuntos GMGs;
- Cargas críticas: Cargas que não podem ser desativadas visto que sua desativação mesmo que momentânea possa comprometer a segurança e conforto da operação do ambiente aeroportuário.

E segue para o barramento de BT do Quadro Geral de Baixa Tensão Normal (QGBTN) responsável por realizar a distribuição elétrica para os demais quadros de distribuição, no caso:

1. Quadro de Distribuição de instalações Prediais (QD-PRE) – localizado na mureta ao lado da Administração e responsável por realizar a distribuição de energia

às cargas da Administração e Escola de Pilotos.

2. Quadro de Distribuição das Casas de Força Normais (QD-KFN) – localizado dentro da KF-Auxílios e responsável por realizar a distribuição elétrica para as cargas normais das subestações KF-Principal e KF-Auxílios.

3. Quadro Geral de Baixa Tensão de Emergência (QGBTE) – localizado dentro da KF e responsável por realizar a distribuição elétrica para os demais quadros de emergência.

Interligada ao barramento do QGBTE foi previsto um chaveamento através de USCA que, ao detectar a ausência do fluxo de corrente na rede (falha na distribuição da concessionária), automaticamente isola o sistema do barramento primário e o interliga ao barramento secundário, no caso, dos GMGs de emergência redundantes garantindo a continuidade do fornecimento elétrico transcorrido o tempo de acionamento da USCA.

Posteriormente, foram distribuídos os circuitos elétricos e disjuntores destinados aos circuitos alimentados pelo QGBTE, no caso:

1. Quadro de Distribuição da Biruta (QD-BIR): Localizado na base da torre da Biruta e responsável por permitir que a iluminação seja desativada localmente durante operações no equipamento.

2. Quadro de Distribuição dos RCCs (QD-RCC): Localizado na KF-Auxílios e responsável por realizar a distribuição elétrica para os RCCs. Vale ressaltar que estas cargas são consideradas como críticas, portanto, foram previstas duas saídas para a alimentação deste quadro, no caso, diretamente no barramento do QGBTE e outra destinada ao Nobreak de 22,5 kVA que garantirá a continuidade do serviço durante o chaveamento da USCA.

3. Quadro de Distribuição das Casas de Força Emergenciais (QD-KFE): Localizado na KF-Auxílios e responsável por realizar a alimentação elétrica dos circuitos eletrônicos de monitoramento e comando das KFs (SICOM, por exemplo) e iluminação do Pátio de Aeronaves através de torres de iluminação (escopo de etapas futuras).

O dimensionamento da seção dos cabos, disjuntores e descrição dos circuitos internos dos quadros foi desenvolvido com base nas prerrogativas da NBR 5410:2004 corrigida em 2008 cujo resultado foi apresentado na prancha gráfica do diagrama unifilar no apêndice B e os cálculos que os justificam no apêndice C.

4.3.8 Infraestrutura elétrica

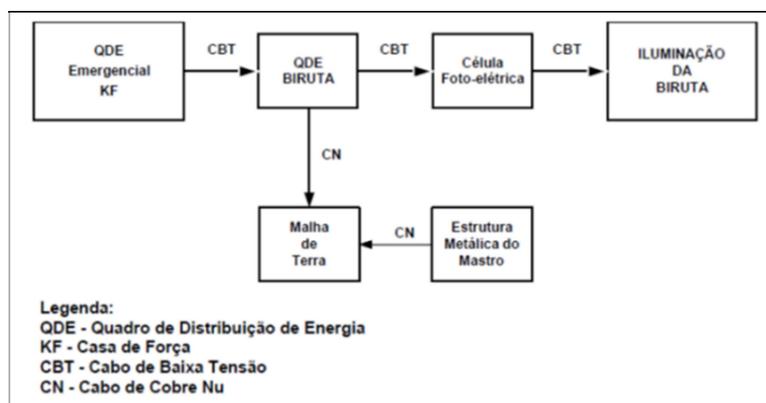
O projeto elétrico do aeródromo modelo considerou a necessidade de uma infraestrutura elétrica enterrada para 3 formas de cabeamento: BT, MT e rede de balizamento.

A rede de MT prevista em projeto consiste na interligação ao ponto de ramal de ligação da concessionária até a subestação KF Principal com uma rede de dutos PEAD 1x100mm em caixas de passagem 0,5x0,5x0,5 metros.

A rede de BT considerada em projeto prevê dois cenários. O primeiro consiste na saída do quadro geral de emergência da KF Auxílios e segue para alimentação do quadro elétrico geral dos prédios da Administração e Escola de Pilotos através de uma rede de dutos PEAD 1x100mm em caixas de passagem 1,35x1,35x1,75 metros. Ressalta-se que foi prevista apenas a substituição da alimentação elétrica do quadro elétrico das edificações assumindo-se que a infraestrutura existente está de acordo com as normas vigentes e não justifica a necessidade de reforma.

O segundo cenário consiste na saída em BT do quadro elétrico QD-Bir instalado na KF Auxílios até o quadro instalado na base da torre de sustentação do equipamento através de uma rede de dutos PEAD 1x50mm com caixas de passagem de 1,35x1,35x1,75 metros de forma a seguir a estrutura de alimentação elétrica recomendado no documento 2 do anexo 1 – parte I – Anexo 15.1.34. A figura 29 apresenta o diagrama de blocos padrão da alimentação elétrica da Biruta.

Figura 30 - Diagrama de blocos da instalação da Biruta



Fonte: (SECRETARIA DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017)

A última rede de dutos prevista em projeto foi a responsável por realizar a alimentação elétrica dos Equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea. Ressalta-se que o modelo adotado emprega o controle do brilho luminoso através de RCCs e, por isso, a corrente torna-se a variável fixa e a tensão variável podendo atingir a faixa de 1500V.

Por ser uma aplicação específica, as autoridades aeroportuárias optaram por padronizar a rede de dutos a ser instalada baseada no equipamento a ser alimentado.

Essa padronização foi elaborada através dos documentos 32, 33 e 34 do Documento 2 do anexo 1 – parte I elaborado pelo Banco do Brasil, onde é definido que a rede de dutos a ser empregadas para equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea em aeródromos devem ser, no mínimo:

1. Em trechos de travessia de pista deve ser previsto um banco de dutos PEAD 6xØ100mm² executada através do método “não destrutivo” através de caixas de passagem 2x2x2 metros tipo CP II.

2. Em trechos de borda de PPD deve ser previsto um banco de dutos PEAD 4xØ100mm² com instalação pelo método “destrutivo” através de caixas de passagem 2x2x2 metros tipo CP IV.

3. A caixa de inspeção mais próxima aos equipamentos de Auxílios de Navegação Aérea devem ser interligadas às bases do equipamento através de dutos PEAD 1x100mm² com instalação pelo método “destrutivo”.

Visando a economia de material e atendimento da padronização prevista nestes documentos, o projeto foi elaborado considerando as dimensões mínimas como resultado do dimensionamento.

4.3.9 Quantitativo global do modelo tradicional

O quantitativo preliminar de materiais necessários para a execução do projeto foi listado na tabela 8 destacada abaixo. Ressalta-se que deve ser confirmado e aprimorado nas fases posteriores (Projetos Básico e Executivo) de forma a englobar todo o material necessário para a execução completa do serviço.

Ressalva-se que este quantitativo visa apenas à descrição dos materiais necessários, cabendo ao responsável pelas próximas etapas entrar em contato com o administrador do aeródromo e verificar a necessidade de listagem de softwares de

controle e cursos para manutenção dos equipamentos a ser instalados.

Tabela 8 – Quantitativo global do projeto tradicional

Item	Descrição	Medida	Quant.
2.1	Conjunto luminária omnidirecional elevada LED completa cor branca	conjunto	6
2.2	Conjunto luminária omnidirecional elevada LED completa cor verde	conjunto	10
2.3	Conjunto luminária omnidirecional elevada LED completa cor vermelha	conjunto	6
2.4	Conjunto luminária omnidirecional elevada LED completa cor azul	conjunto	47
2.5	Conjunto luminária bidirecional elevada LED completa cores branca/amarela	conjunto	10
2.6	Conjunto luminária bidirecional elevada LED completa cores vermelha/verde	conjunto	6
2.7	Conjunto PAPI portátil (4 unidades de Luz), cabos e conexões inclusos - Fabricante ADB, Modelo SPAPI-131102	conjunto	2
2.8	Conjunto de sinalização vertical 800 x 1300mm, sinalização em única face com todos os acessórios e conexões inclusos. Fabricante ADB, Modelo SR11-S12381	conjunto	8
2.9	Conjunto de sinalização vertical 800 x 3700mm, sinalização em única face com todos os acessórios e conexões inclusos. Fabricante ADB, Modelo SR11-S12381	conjunto	3
2.10	Biruta iluminada com cone de vento na cor laranja, com 2,4m de comprimento, diâmetro de 0,6m e 0,3m de saída, mastro de 6,5m com base articulada e frangível com conjunto de iluminação formado por 4 refletores externos. Fabricante ADB, Modelo L806-S1-EX-12-ON-5	conjunto	1
2.11	Caixa de passagem 2x2x2m enterrada no solo em cimento tipo Portland CP II	unidade	8
2.12	Caixa de passagem 1x1x1,35m enterrada no solo em cimento tipo Portland CP IV	unidade	102

2.13	Caixa de passagem 0,5x0,5x0,5m enterrada no solo	unidade	7
2.14	Caixa de passagem 1,35x1,35x1,75m enterrada no solo	unidade	11
2.15	Duto corrugado PEAD 6x100mm ²	metro	116
2.16	Duto corrugado PEAD 4x100mm ²	metro	2914
2.17	Duto corrugado PEAD 1x100mm ²	metro	641
2.18	Duto corrugado PEAD 1x50mm ²	metro	152
2.19	Cabo de cobre unipolar 25 mm ² , blindado, isolação 12/20 kV EPR	metro	596
2.20	Cabo de cobre unipolar 10 mm ² , blindado, isolação 3,6/6 kV EPR	metro	6864
2.21	Cabo de cobre flexível isolado, 4 mm ² , anti-chama 450/750V	metro	480
2.22	Cabo de cobre flexível isolado, 10 mm ² , anti-chama 0,6/1,0kV	metro	150
2.23	Cabo de cobre flexível isolado, 16 mm ² , anti-chama 0,6/1,0kV	metro	75
2.24	Cabo de cobre flexível isolado, 25 mm ² , anti-chama 0,6/1,0kV	metro	75
2.25	Quadro de distribuição de energia de embutir, em chapa metálica, 12 disjuntores termomagnéticos monopolares, com barramento trifásico e neutro.	unidade	1
2.26	Quadro de distribuição de energia de embutir, em chapa metálica, 18 disjuntores termomagnéticos monopolares, com barramento trifásico e neutro.	unidade	6
2.27	Disjuntor monopolar tipo DIN, corrente nominal de 10A	unidade	4
2.28	Disjuntor monopolar tipo DIN, corrente nominal de 16A	unidade	9
2.29	Disjuntor bipolar tipo DIN, corrente nominal de 16A	unidade	2
2.30	Disjuntor bipolar tipo DIN, corrente nominal de 25A	unidade	1
2.30	Disjuntor bipolar tipo DIN, corrente nominal de 40A	unidade	1
2.31	Disjuntor tripolar tipo DIN, corrente nominal de 10 ^a	unidade	4

2.32	Disjuntor tripolar tipo DIN, corrente nominal de 16A	unidade	1
2.33	Disjuntor tripolar tipo DIN, corrente nominal de 20A	unidade	1
2.34	Disjuntor tripolar tipo DIN, corrente nominal de 25A	unidade	3
2.34	Disjuntor tripolar tipo DIN, corrente nominal de 40A	unidade	1
2.35	Disjuntor tripolar tipo DIN, corrente nominal de 100A	unidade	1
2.36	Subestação KF-Auxílios+KF-Principal com cubículos MT e todos os equipamentos elétricos listados em prancha elétrica.	unidade	1

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2017)

4.4 Cenário proposto - modelo fotovoltaico

O projeto fotovoltaico foi desenvolvido com base nas mesmas premissas de locação dos equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea do projeto convencional, de forma compartilhar a mesma justificativa de locação por estar sujeito às mesmas normas (no caso, de locação).

Como estes equipamentos possuem alimentação fotovoltaica redundante, não há a necessidade de previsão de uma nova infraestrutura elétrica no ambiente aeroportuário por não haver necessidade de transferência potência fornecido pela concessionária local.

As cargas a ser adicionadas no aeródromo modelo consistem nas torres de iluminação do Pátio de Aeronaves e a adição ou separação de uma tomada de BT 127V para eventual recarga da bateria do controlador manual de intensidade de brilho das luminárias, no caso, o componente central do sistema ARCAL.

Para a categorização completa do projeto elétrico deste modelo há a necessidade de realizar um levantamento de cargas completo das edificações e elaboração do projeto luminotécnico das torres de iluminação do Pátio de Aeronaves para avaliação de necessidade de mudança do fornecimento elétrico da concessionária de bifásico para trifásico devido à adição das cargas e avaliação perante a concessionária de energia se há viabilidade desta alteração.

As alterações principais consistem na especificação dos produtos de

Auxílios à Navegação Aérea para a quantificação e contato a fornecedores para coleta de preços. Como referências para a elaboração deste projeto foram utilizadas os catálogos de produtos da Carmanah Technologies que já atua no mercado brasileiro há anos fornecendo, por exemplo, os equipamentos para a reforma do Aeroporto de Santa Genoveva em 2013.

Os produtos que foram selecionados a ser implantados no aeródromo modelo possuem as certificações ICAO de operação:

1. Luminária elevada de Borda de Pista Branca: Luminária A704 bidirecional de cor branca, tamanho grande, chassis amarelo, controle via wireless e sem porta de recarga.

2. Luminária elevada de Borda de Pista Branca-Amarela: Modelo A704 bidirecional de cor branca-amarela, tamanho grande, chassis amarelo, controle via wireless e sem porta de recarga.

3. Luminária elevada de Cabeceira de Pista Verde: Modelo A704 unidirecional de cor verde, tamanho grande, chassis amarelo, controle via wireless e sem porta de recarga.

4. Luminária elevada de Cabeceira de Pista Vermelha: Modelo A704 unidirecional de cor vermelha, tamanho grande, chassis amarelo, controle via wireless e sem porta de recarga.

5. Luminária elevada de Cabeceira de Pista Verde-Vermelha: Modelo A704 bidirecional de cor verde-vermelha, tamanho grande, chassis amarelo, controle via wireless e sem porta de recarga.

6. Luminária elevada de Borda de Pista de Táxi Azul: Modelo A704 unidirecional de cor azul, tamanho grande, chassis amarelo, controle via wireless e sem porta de recarga.

7. Conjunto PAPI: Modelo SPAPI-131102 com 4 unidades de luz, alimentação por 3 painéis solares e banco de baterias, controláveis via wireless.

8. Painel de Sinalização Vertical com 1 seção e 2 pernas: Codificação do produto SR11-S12381 com legenda de 305 mm, alimentação fornecida por 1 painel solar, bateria com autonomia de 7 dias e face iluminada de 457 mm de fundo vermelho e legenda branca (sinalização obrigatória) ou fundo amarelo e legenda preta (sinalização de informação).

9. Painel de Sinalização Vertical com 1 seção e 4 pernas: Codificação do

produto SR11-S13381 com legenda de 305 mm, alimentação fornecida por 1 painel solar, bateria com autonomia de 7 dias e face iluminada de 457 mm de fundo vermelho e legenda branca (sinalização obrigatória) ou fundo amarelo e legenda preta (sinalização de informação).

10. Biruta Iluminada: Produto com codificação L806-S1-EX-12-ON-5 com luminária instalada externamente, alimentada por 1 painel fotovoltaico, cone nas cores vermelho e branco e suporte frangível.

A locação dos painéis deve ser realizada o mais próximo possível do equipamento em que não haja obstáculos que o ofereça sombra. Em alguns casos, os painéis poderão ser fixados diretamente no solo ou grama (caso do PAPI) ou preparada uma base de concreto para sua fixação e inclinação (demais casos).

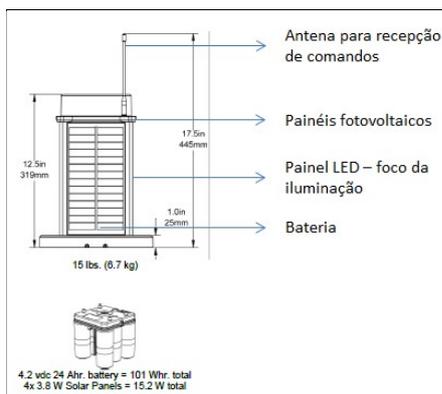
Tendo-se em vista a inovação tecnológica advinda desta tecnologia que foi recentemente introduzida no mercado, entende-se que é necessária uma descrição detalhada dos equipamentos e seus modos de operação.

4.4.1 Luminárias de balizamento

As luminárias de balizamento que empregam a tecnologia fotovoltaica produzida pela Carmanah Technologies destacam-se pelo seu estilo de fabricação em conjunto, isto é, o produto é montado de forma a contemplar todos os elementos necessários para o seu funcionamento em uma estrutura simples e de fácil abertura, o que facilita a instalação e manutenção.

Em síntese é composto por 2 chapas iluminadas por LED em suas laterais, um conjunto com 4 células fotovoltaicas de 3,8W na parte superior e uma bateria de 4,2 Vdc e 24 Ahr instalada dentro do corpo da luminária. Conforme ilustra a figura 30 extraída do manual de instalação do fabricante para as luminárias de tamanho médio.

Figura 31 - Diagrama do balizamento fotovoltaico

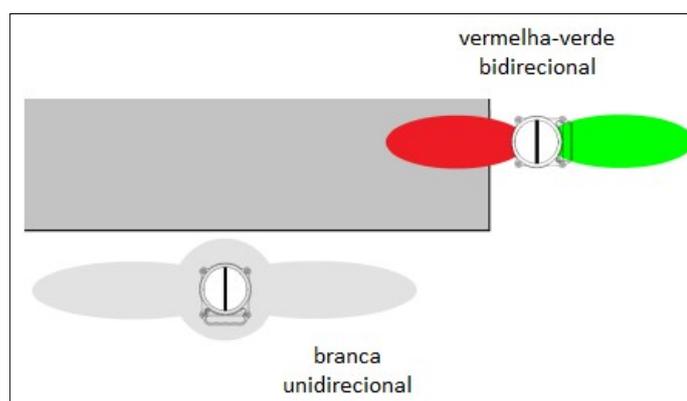


Fonte: (CARMANAH, 2017, tradução nossa)

A principal vantagem deste equipamento é a substituição do controlador de carga por placas eletrônicas de circuito integrado que realiza o controle da tensão de forma automática. Esta característica diminui o número de componentes susceptíveis a falhas, manutenção e substituição periódica.

Outra característica é possibilidade de substituição do painel LED e, assim, modificar a cor de saída quando energizado de forma a englobar todas as formas de iluminação exigidas pela ICAO e FAA em um único produto. A figura 31 foi extraída do manual de instalação do fabricante e ilustra os tipos de direcionamento de iluminação.

Figura 32 - Indicação de sentido do balizamento fotovoltaico



Fonte: (CARMANAH, 2017, tradução nossa)

Deve-se ressaltar que estas luminárias apresentam um sistema de redundância de fornecimento elétrico para reduzir a chance de falha operacional e afetar a operação do aeródromo através de 4 painéis redundantes, bateria com

autonomia de 7 dias e possibilidade de recarga através de fonte de alimentação conectada em tomada para casos especiais (período de aquisição de novas baterias, por exemplo) somente para uso “in-door”, ou seja, em ambiente fechados.

Após a instalação das luminárias, o aeródromo modelo apresentará uma configuração de balizamento semelhante à expressa na figura 32 extraída do manual de instalação do fabricante.

Figura 33 - Modelo de balizamento fotovoltaico

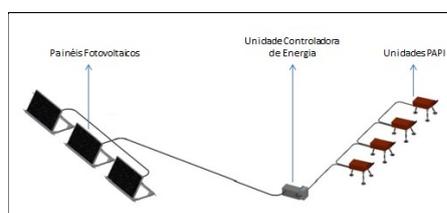


Fonte: (CARMANAH, 2017, tradução nossa)

4.4.2 Indicador de Trajetória de Precisão

O conjunto de PSVs emprega a tecnologia fotovoltaica produzida pela Carmanah Technologies em conjunto com os equipamentos da ADB Airfield Solutions. É composto por 4 unidades de iluminação LED, um conjunto de 3 painéis fotovoltaicos de 225W e uma unidade de controle de energia responsável por comportar o banco de baterias e o controlador de carga. O desenho esquemático deste equipamento ilustrado pela figura 33 é disponibilizado no manual de instalação do fabricante.

Figura 34 - Desenho esquemático do PAPI fotovoltaico



Fonte: (CARMANAH, 2017, tradução nossa)

Os painéis garantem um fornecimento nominal de 675W. A Unidade Controladora de Energia inclui o receptor de comando wireless (antena) e um banco de baterias que pode ser alimentado pelos painéis fotovoltaicos ou tensão AC na faixa de 200-400V (pode ser recarregado por tomada monofásica ou trifásica em ambiente fechado) com tempo de recarga máxima previsto para 4,5 horas e, quando em carga máxima, é capaz suportar o sistema por até 7 dias.

Outra característica é a possibilidade de instalação dos painéis sem a necessidade de pavimentação ou concretagem do terreno visto que possuem uma base metálica de sustentação ajustável para inclinação do ângulo de captura. O fabricante recomenda ainda que estejam voltados para a direção da linha do Equador e ângulo de abertura horizontal igual à latitude da localização. A figura 34 ilustra a instalação destes equipamentos extraída do manual de instalação do fabricante.

Figura 35 - Painéis fotovoltaicos do PAPI



Fonte: (CARMANAH, 2017)

Após a instalação de todos os componentes deste sistema, o aeródromo modelo apresentará uma configuração semelhante à expressa na figura 35 extraída do manual de instalação do fabricante.

Figura 36 - Modelo de PAPI fotovoltaico



Fonte: (CARMANAH, 2017)

4.4.3 Painel de Sinalização Vertical Luminosa

O conjunto de PSVs emprega a tecnologia fotovoltaica produzida pela Carmanah Technologies em conjunto com os equipamentos da ADB Airfield Solutions. É composto por uma unidade de iluminação LED, um painel fotovoltaico, banco de baterias a instalar na base do PSV e uma antena para recepção de comando via sinal de rádio.

O painel fotovoltaico garantem um fornecimento nominal de 95W. A estrutura do PSV é composta por uma chapa em LED para iluminação e, em sua base, deve ser instalada a antena para recepção de sinais de comando e o banco de baterias para armazenamento de energia elétrica com autonomia máxima de até 7 dias.

Assim como o conjunto PAPI, o painel fotovoltaico possui uma base metálica frangível de sustentação ajustável para inclinação do ângulo de captura. O fabricante recomenda ainda que estejam voltados para a direção da linha do Equador e ângulo de abertura horizontal igual à latitude da localização.

Após a instalação de todos os componentes deste sistema, o aeródromo modelo apresentará uma configuração semelhante à expressa na figura 36 extraída do manual de instalação do fabricante.

Figura 37 - Modelo de PSV fotovoltaico



Fonte: (CARMANAH, 2017)

4.4.4 Biruta

A biruta iluminada emprega a tecnologia fotovoltaica produzida pela Carmanah Technologies em conjunto com os equipamentos da ADB Airfield Solutions. É composta por 4 unidades de iluminação LED instaladas externamente

ao equipamento, um painel fotovoltaico de 135W , banco de baterias a instalar na base da torre metálica e uma antena para recepção de comando via sinal de rádio.

O painel fotovoltaico garante um fornecimento elétrico nominal de 135W. A estrutura da Biruta é composta por um mastro frangível metálico iluminado por luminária externa em tecnologia LED e, em sua base, deve ser instalada a antena para recepção de sinais de comando e o banco de baterias para armazenamento de energia elétrica com autonomia máxima de até 7 dias.

Além disso, é fixo em base metálica frangível de sustentação ajustável para inclinação do ângulo de captura. O fabricante recomenda ainda que estejam voltados para a direção da linha do Equador e ângulo de abertura horizontal igual à latitude da localização.

Após a instalação de todos os componentes deste sistema, o aeródromo modelo apresentará uma configuração semelhante à expressa na figura 37 extraída do manual de instalação do fabricante.

Figura 38 - Modelo de biruta iluminada fotovoltaica



Fonte: (CARMANAH, 2017)

4.4.5 Quantitativo global do modelo fotovoltaico

O quantitativo preliminar de materiais necessários para a execução do projeto foi listado na tabela 9 destacada abaixo. Ressalta-se que deve ser confirmado e aprimorado nas fases posteriores (Projetos Básico e Executivo) de forma a englobar todo o material necessário para a execução completa do serviço.

Ressalva-se que este quantitativo visa apenas a descrição dos materiais

necessários, cabendo ao responsável pelas próximas etapas entrar em contato com o administrador do aeródromo e verificar a necessidade de listagem de softwares de controle e cursos para manutenção dos equipamentos a ser instalados.

Tabela 9 – Quantitativo global do projeto fotovoltaico

Item	Descrição	Medida	Quantidade
2.1	Luminária White/IR - Large - Yellow	unidade	6
2.2	Luminária Green/IR - Large - Yellow	unidade	10
2.3	Luminária Red/IR - Large - Yellow	unidade	6
2.4	Luminária Blue/IR - Large - Yellow	unidade	47
2.5	Luminária White/Yellow - Large - Yellow	unidade	10
2.6	Luminária Red/Green - Large - Yellow	unidade	6
2.7	Acessórios para instalação: Parafusos para fixação da luminária + Base de Suporte + Acoplamento + Flange + Chumbadores para asfalto	conjunto	85
2.8	Conjunto PAPI portátil (4 unidades de Luz) com 3 módulos fotovoltaicos, unidade controladora de energia, cabos e conexões inclusos - Fabricante Carmanah, Modelo SPAPI-131102	conjunto	2
2.9	Conjunto de sinalização vertical 800 x 1300mm, sinalização em única face com todos os acessórios e conexões inclusos. Fabricante Carmanah, Modelo SR11-S12381	conjunto	8
2.10	Conjunto de sinalização vertical 800 x 3700mm, sinalização em única face com todos os acessórios e conexões inclusos. Fabricante Carmanah, Modelo SR11-S12381	conjunto	3
2.11	Biruta iluminada com cone de vento na cor laranja, com 2,4m de comprimento, diâmetro de 0,6m e 0,3m de saída, mastro de 6,5m com base articulada e frangível com conjunto de iluminação formado por 4 refletores externos. Fabricante Carmanah, Modelo L806-S1-EX-12-ON-5	conjunto	1
2.12	Controle Remoto Portátil	unidade	2

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2017)

4.4.6 Análise Financeira

A financeira é vital para o desenvolvimento da Composição de Preço Unitário (CPU), o documento onde são discriminados os serviços necessários para a elaboração do projeto e o custo previsto para sua execução.

Com base no CPU é desenvolvido o cálculo de Benefícios e Despesas Indiretas (BDI) que inclui os custos secundários a serem considerados, tais como: perda ou quebra de materiais durante a instalação, lucro para a empresa construtora, custos administrativos, etc.

Com essas duas informações é possível caracterizar completamente o custo financeiro de um projeto. Como o cálculo de BDI é complexo e requer controle de diversas variáveis que não podem ser caracterizadas na etapa em que se encontra o projeto, o escopo deste trabalho foi definido com a apresentação apenas dos custos diretos relacionados ao CPU utilizando-se das seguintes fontes de informação:

1. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) desenvolvido pela Caixa considerando-se como não desonerado (não está com direitos trabalhistas inclusos), estado do Amazonas e mês de novembro;

2. Orçamento de Obras de Sergipe desenvolvido pelo estado como banco de dados de aquisição e serviços atualizados com base nas pesquisas de mercado desenvolvidas pelo estado.

3. Licitações, Atas ou Pesquisas de Registros de Preço desenvolvidas pela INFRAERO visando a aquisição de produtos e serviços necessários para aeroportos sob sua jurisdição.

4. Consulta a sites de fornecedores de produtos com possibilidade de entrega por todo o país.

4.5 Custo de aquisição de produtos e serviços do modelo tradicional

Com base nas informações das fontes citadas no item 4.5 e o quantitativo descrito no item 4.3.9, foi desenvolvida a tabela 10 com o valor previsto e a fonte utilizada para a obtenção desta informação.

Tabela 10 – Custo de aquisição e serviços do projeto tradicional

Item	Descrição	Tipo	Fonte	Preço Unitário	Total
2.1	Conjunto luminária omnidirecional elevada LED completa cor branca	Aquisição	ARP 085/DALC/SEDE/2013	R\$ 913,20	R\$ 5.479,20
2.2	Conjunto luminária omnidirecional elevada LED completa cor verde	Aquisição	ARP 085/DALC/SEDE/2013	R\$ 913,20	R\$ 9.132,00
2.3	Conjunto luminária omnidirecional elevada LED completa cor vermelha	Aquisição	ARP 085/DALC/SEDE/2013	R\$ 913,20	R\$ 5.479,20
2.4	Conjunto luminária omnidirecional elevada LED completa cor azul	Aquisição	ARP 085/DALC/SEDE/2013	R\$ 913,20	R\$ 42.920,40
2.5	Conjunto luminária bidirecional elevada LED completa cores branca/amarela	Aquisição	ARP 094/GCNE/SBRF/2014	R\$ 3.721,75	R\$ 37.217,50
2.6	Conjunto luminária bidirecional elevada LED completa cores vermelha/verde	Aquisição	ARP 094/GCNE/SBRF/2014	R\$ 5.065,00	R\$ 30.390,00
2.7	Transformador isolador 30/45W 6,6A a 5kV	Aquisição	ARP 003/ADNR/SRNR/2015	R\$ 304,00	R\$ 25.840,00
2.8	Transformador isolador 200W 6,6A a 5kV	Aquisição	ARP 003/ADNR/SRNR/2015	R\$ 557,00	R\$ 7.241,00
2.9	Conjunto PAPI portátil (4 unidades de Luz), cabos e conexões inclusos - Fabricante ADB, Modelo SPAPI-131102	Aquisição	ARP 056/LACC/SEDE/2016	R\$ 112.669,92	R\$ 225.339,84
2.10	Conjunto de sinalização vertical 800 x 1300mm, sinalização em única face com todos os acessórios e conexões inclusos. Fabricante ADB, Modelo SR11-S12381	Aquisição	ARP 001/LCBH/CSBH/2016	R\$ 15.404,66	R\$ 123.237,28
2.11	Conjunto de sinalização vertical 800 x 3700mm, sinalização em única face com todos os acessórios e conexões inclusos. Fabricante ADB, Modelo SR11-S12381	Aquisição	ARP 001/LCBH/CSBH/2016	R\$ 17.206,66	R\$ 51.619,98
2.12	Biruta iluminada com cone de vento na cor laranja, com 2,4m de comprimento, diâmetro de 0,6m e 0,3m de saída, mastro de 6,5m com base articulada e frangível com conjunto de	Aquisição	ARP 00017/2017 Ministério da Marinha	R\$ 1.799,97	R\$ 1.799,97

	iluminação formado por 4 refletores externos. Fabricante ADB, Modelo L806-S1-EX-12-ON-5				
2.13	RCC monofásico de potência nominal de 2,5 kW	Aquisição	ARP 89/ADSU-4/SBPA/2011	R\$ 22.334,40	R\$ 201.009,60
2.14	Caixa de passagem 2x2x2m enterrada no solo em cimento tipo Portland CP II	Aquisição e serviço	SINAPI 83450 (adaptado)	R\$ 512,46	R\$ 4.099,68
2.15	Caixa de passagem 1x1x1,35m enterrada no solo em cimento tipo Portland CP IV	Aquisição e serviço	SINAPI 83450 (adaptado)	R\$ 469,67	R\$ 47.905,93
2.16	Caixa de passagem 0,5x0,5x0,6m enterrada no solo	Aquisição e serviço	SINAPI 83448	R\$ 248,92	R\$ 1.742,44
2.17	Caixa de passagem 1,35x1,35x1,75m enterrada no solo	Aquisição e serviço	SINAPI 83450 (adaptado)	R\$ 412,84	R\$ 4.541,24
2.18	Duto corrugado PEAD 6x100mm ²	Aquisição	ORSE 07150	R\$ 286,32	R\$ 11.071,04
2.19	Duto corrugado PEAD 4x100mm ²	Aquisição	ORSE 07150	R\$ 190,88	R\$ 185.408,11
2.20	Duto corrugado PEAD 1x100mm ²	Aquisição	ORSE 07150	R\$ 47,72	R\$ 10.196,17
2.21	Duto corrugado PEAD 1x50mm ²	Aquisição	ORSE 03767	R\$ 13,02	R\$ 659,68
2.22	Cabo de cobre unipolar 25 mm ² , blindado, isolamento 12/20 kV EPR	Aquisição	WK Elétrica	R\$ 35,35	R\$ 21.068,60
2.23	Cabo de cobre unipolar 10 mm ² , blindado, isolamento 3,6/6 kV EPR	Aquisição	ARP 003/ADNR/SRNR/2014	R\$ 9,42	R\$ 64.658,88
2.24	Cabo de cobre flexível isolado, 4 mm ² , anti-chama 450/750V	Aquisição e serviço	SINAPI 91928	R\$ 3,28	R\$ 1.574,40
2.25	Cabo de cobre flexível isolado, 10 mm ² , anti-chama 0,6/1,0kV	Aquisição e serviço	SINAPI 91932	R\$ 7,47	R\$ 1.120,50
2.26	Cabo de cobre flexível isolado, 16 mm ² , anti-chama 0,6/1,0kV	Aquisição e serviço	SINAPI 91935	R\$ 11,33	R\$ 849,75
2.27	Cabo de cobre flexível isolado, 25 mm ² , anti-chama 0,6/1,0kV	Aquisição e serviço	SINAPI 92984	R\$ 11,24	R\$ 843,00
2.28	Quadro de distribuição de energia de embutir, em chapa metálica, 12 disjuntores termomagnéticos monopolares, com barramento trifásico e neutro.	Aquisição e serviço	SINAPI 74131/003	R\$ 222,03	R\$ 222,03
2.29	Quadro de distribuição de	Aquisição	SINAPI	R\$ 242,03	R\$ 1.452,18

	energia de embutir, em chapa metálica, 18 disjuntores termomagnéticos monopolares, com barramento trifásico e neutro.	e serviço	74131/004		
2.30	Disjuntor monopolar tipo DIN, corrente nominal de 10A	Aquisição e serviço	SINAPI 93653	R\$ 9,09	R\$ 36,36
2.31	Disjuntor monopolar tipo DIN, corrente nominal de 16A	Aquisição e serviço	SINAPI 93654	R\$ 9,62	R\$ 86,58
2.32	Disjuntor bipolar tipo DIN, corrente nominal de 16A	Aquisição e serviço	SINAPI 93661	R\$ 46,58	R\$ 93,16
2.33	Disjuntor bipolar tipo DIN, corrente nominal de 25A	Aquisição e serviço	SINAPI 93663	R\$ 48,35	R\$ 48,35
2.34	Disjuntor bipolar tipo DIN, corrente nominal de 40A	Aquisição e serviço	SINAPI 93665	R\$ 53,55	R\$ 53,55
2.35	Disjuntor tripolar tipo DIN, corrente nominal de 10A	Aquisição e serviço	SINAPI 93667	R\$ 56,81	R\$ 227,24
2.36	Disjuntor tripolar tipo DIN, corrente nominal de 16A	Aquisição e serviço	SINAPI 93668	R\$ 58,36	R\$ 58,36
2.37	Disjuntor tripolar tipo DIN, corrente nominal de 20A	Aquisição e serviço	SINAPI 93669	R\$ 60,96	R\$ 60,96
2.38	Disjuntor tripolar tipo DIN, corrente nominal de 25A	Aquisição e serviço	SINAPI 93670	R\$ 60,96	R\$ 182,88
2.39	Disjuntor tripolar tipo DIN, corrente nominal de 40A	Aquisição e serviço	SINAPI 93672	R\$ 69,78	R\$ 69,78
2.40	Disjuntor tripolar tipo DIN, corrente nominal de 100A	Aquisição e serviço	SINAPI 74130/005	R\$ 106,08	R\$ 106,08
2.41	Subestação KF-Auxílios+KF-Principal com cubículos MT e todos os equipamentos elétricos listados em prancha elétrica	Aquisição	XXX	R\$500.000,00 (estimativa)	R\$ 500.000,00

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2017)

4.6 Custo de aquisição e serviços do modelo fotovoltaico

Com base nas informações das fontes citadas no item 4.5 e o quantitativo descrito no item 4.4.5, foi desenvolvida a tabela 11 com o valor unitário, investimento total (valor unitário multiplicado pela quantidade) e a fonte utilizada para a obtenção desta informação.

Tabela 11 – Custo de aquisição e serviços do projeto fotovoltaico

Item	Descrição	Fonte	Preço Unitário	Total
2.1	Luminária White/IR - Large - Yellow	ARP 030/LABR/CSBR/2015	R\$ 5.950,08	R\$ 35.700,48
2.2	Luminária Green/IR - Large - Yellow	ARP 030/LABR/CSBR/2015	R\$ 5.950,08	R\$ 59.500,80
2.3	Luminária Red/IR - Large - Yellow	ARP 030/LABR/CSBR/2015	R\$ 5.950,08	R\$ 35.700,48
2.4	Luminária Blue/IR - Large - Yellow	ARP 030/LABR/CSBR/2015	R\$ 5.950,08	R\$ 279.653,76
2.5	Luminária White/Yellow - Large - Yellow	ARP 030/LABR/CSBR/2015	R\$ 5.950,08	R\$ 59.500,80
2.6	Luminária Red/Green - Large - Yellow	ARP 030/LABR/CSBR/2015	R\$ 5.950,08	R\$ 35.700,48
2.7	Acessórios para instalação: Parafusos para fixação da luminária + Base de Suporte + Acoplamento + Flange + Chumbadores para asfalto	ARP 030/LABR/CSBR/2015	R\$ 502,00	R\$ 42.670,00
2.8	Conjunto PAPI portátil (4 unidades de Luz) com 3 módulos fotovoltaicos, unidade controladora de energia, cabos e conexões inclusos - Fabricante Carmanah, Modelo SPAPI-131102	Não encontrado	XXX	XXX
2.9	Conjunto de sinalização vertical 800 x 1300mm, sinalização em única face com todos os acessórios e conexões inclusos. Fabricante Carmanah, Modelo SR11-S12381	Não encontrado	XXX	XXX
2.10	Conjunto de sinalização vertical 800 x 3700mm, sinalização em única face com todos os acessórios e conexões inclusos. Fabricante Carmanah, Modelo SR11-S12381	Não encontrado	XXX	XXX
2.11	Biruta iluminada com cone de vento na cor laranja, com 2,4m de comprimento, diâmetro de 0,6m e 0,3m de saída, mastro de 6,5m com base articulada e frangível com conjunto de iluminação formado por 4 refletores externos. Fabricante Carmanah, Modelo L806-S1-EX-12-ON-5	Não encontrado	XXX	XXX
2.12	Controle Remoto Portátil	ARP 030/LABR/CSBR/2015	R\$ 9.484,60	R\$ 18.969,20

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2017)

4.7 Análise dos resultados obtidos

Neste capítulo foram realizadas as análises referentes aos resultados obtidos para cada modelo sob dois parâmetros, no caso, os aspectos financeiros e técnicos que servem de parâmetro para definição do modelo com cenário favorável à implementação no aeródromo modelo.

4.7.1 Análise dos parâmetros financeiros

Durante o decorrer da coleta de preços foram pesquisadas fontes governamentais abertas ao público, os bancos de dados citados e consulta a fornecedores e instituições públicas que trabalham com aeroportos, no caso, a SAC e a INFRAERO através de contato digital via e-mail e contato telefônicos.

Os fornecedores consultados não demonstraram interesse em ter o valor dos seus produtos divulgados de maneira aberta em pesquisa científica para garantir seus direitos de sigilo de mercado. Órgãos públicos também foram consultados e colaboraram com informações técnicas, mas não foi a obtenção de dados complementares para o auxílio da pesquisa como, por exemplo, o custo de manutenção mensal.

Como não se obteve o valor completo do projeto fotovoltaico ou custo de manutenção de ambos os projetos, não foi possível realizar uma análise financeira que informe o cenário mais favorável à aplicação no aeródromo modelo. Desta forma, optou-se por realizar uma análise financeira localizada dos componentes em que há a informação completa dos valores, no caso, o balizamento luminoso noturno.

Para o balizamento noturno, o custo financeiro de aquisição das luminárias quantificadas em projeto foi:

1. Para o modelo tradicional foram utilizados RCCs, cabeamento enterrado, quadro elétrico, disjuntores e luminárias de balizamento. Com base nos valores levantados, a instalação do balizamento completo custaria cerca de R\$ 549.474,20.

2. Para o modelo fotovoltaico foram utilizadas as luminárias considerando-se que os painéis estavam inclusos e as conexões necessárias para a realização da montagem. Com base nos valores levantados, a instalação do balizamento completo custaria cerca de R\$ 567.396,00.

Obviamente, devem-se analisar estes resultados com atenção uma vez que

as fontes de referência estão baseadas em licitações públicas realizadas entre 2011 a 2017 e não consideram a entrega na cidade de Manaus (frete) ou custo de instalação. Contudo, estes resultados afirmam que os custos entre ambos os projetos são próximos, cabendo à avaliação técnica realizada no item 5.5.2 definir qual o melhor cenário para aplicação no aeródromo modelo.

4.7.2 Análise dos parâmetros técnicos

Foram desenvolvidos os projetos de Auxílios à Navegação Aérea com base nos modelos de fornecimento elétricos dos equipamentos selecionados como escopo de trabalho.

Ressalta-se que diversas soluções apresentadas são preliminares e servem como diretrizes gerais para o prosseguimento do desenvolvimento do projeto. Por exemplo, as distâncias dos quadros elétricos ao transformador de potência foram definidas como 15 metros visto que não há uma planta baixa da subestação e, desta forma, obter o distanciamento correto.

Outra situação que deve ser mencionada é o recuo da cabeceira 11 que está ao lado de um talude de 9 metros de altura. Neste caso, cabe à projetista das etapas posteriores confirmarem perante o órgão regulador se é permitida a locação das luminárias ao fim da cabeceira ou deve-se ser utilizada outra forma de solução visto que a RBAC 154 em sua segunda emenda recomenda que esteja a até 3 metros após o fim da extensão da cabeceira, no caso, redução do recuo da cabeceira, por exemplo.

A lista de quantitativos procurou englobar todos os equipamentos e dispositivos elétricos, excetuando-se a subestação com o intuito de realizar uma descrição em bloco, ou seja, definir o valor completo de sua execução.

Em termos técnicos, os dois modelos apresentam-se como possíveis soluções que atendem as normas brasileiras e internacionais, sendo o tradicional a configuração usual, possuindo documentos de referência desenvolvidos pelo Banco do Brasil que serviram como parâmetros de projeto. O modelo fotovoltaico, por outro lado, apresenta-se como uma solução alternativa e relativamente nova no cenário brasileiro, sendo sua primeira aplicação a reforma do aeroporto de Santa Genoveva em 2013 que ainda está na fase de obras.

O modelo tradicional possui uma estrutura centralizada de comando na KF-Auxílios e seu método de construção é conhecido pelas empreiteiras que trabalham

com obras aeroportuárias. Outra característica é a facilidade de aquisição de peças de reposição, o que facilita a manutenção. Por outro lado, possui uma estrutura interligada que ocasiona em falhas sistemáticas que podem ocorrer em diversos pontos do sistema, motivo pelo qual são previstos diversos mecanismos de segurança que acarretam no encarecimento do projeto.

No projeto elaborado com emprego do modelo tradicional de fornecimento elétrico foram previstos GMGs redundantes para o caso de queda de energia da concessionária, contudo, em casos em que haja a queima ou falha no cabeamento de um circuito elétrico dos RCCs, o aeroporto não estaria mais apto à operação VFR por apresentar luminárias em funcionamento com distâncias superiores à permitida em norma. Uma possível solução a alteração do distanciamento das luminárias de borda de PPD para 50 metros, o que acarretaria na duplicação do quantitativo e, consequentemente, encarecimento do produto.

Outro ponto de análise do projeto tradicional é a necessidade de obras que envolvem a escavação do solo do aeroporto, ou seja, a operação aérea seria interrompida até a finalização das obras, gerando prejuízo à unidade gestora.

Em contrapartida, o projeto elétrico com modelo fotovoltaico surge como uma solução opcional que permite a utilização de luminárias no distanciamento máximo permitido pela RBAC 154 com um sistema de redundância que permite a operação de modo seguro visto que há três sistemas de redundância: Baterias com autonomia de 7 dias, a alimentação por painéis fotovoltaicos e possibilidade de recarga em tomadas dentro da edificação.

Para permitir a última redundância, recomenda-se a aquisição de luminárias sobressalentes desde o primeiro momento a ficar em posse da unidade gestora para a substituição em caso de falhas pontuais mesmo que este cenário seja improvável segundo estudos da fabricante.

Outro ponto de destaque é a redução do quadro de funcionários necessários para fiscalização do aeródromo durante o período noturno visto que o comando da intensidade de brilho das luminárias pode ser realizado pelo próprio controlador da aeronave via rádio, cabendo à unidade gestora somente a necessidade de um operador para verificação dos níveis de baterias e, se for o caso, alertar ou substituir as unidades danificadas.

Em termos de impactos construtivos, este modelo apresenta-se como o mais

favorável visto que a maior intervenção seria a necessidade de substituição do fornecimento elétrico para trifásico perante a concessionária de energia (não há necessidade da construção da subestação abrigada e passagem de dutos de MT) caso sejam mantidas somente as cargas existentes. Outro ponto a ser estudado seria a possibilidade de condução das obras aeroportuárias somente após às 18 horas possibilitando a continuidade de operações aéreas durante o período diurno.

Por outro lado, deve-se levar em consideração que a mão-de-obra necessária tanto para a construção quanto manutenção das instalações elétricas requer maior nível de instrução e, dessa forma, tende exigir maior investimento. Outro ponto a ser analisado é a ausência de uma legislação brasileira acerca da faixa de frequência de operação do controlador via rádio dos equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea, o que pode acarretar em ruído no sequenciamento de comando e possíveis falhas de controle. A tabela 12 apresenta um quadro resumo comparativa entre os dois modelos.

Tabela 12 – Resumo comparativo entre os modelos

Critério	Tradicional	Fotovoltaico
Confiabilidade técnica	Vulnerável a falhas sistêmicas que podem culminar na interrupção de operação até correção completa	Vulnerável a falhas pontuais que podem ser resolvidas substituindo-se o ponto defeituoso até que seja corrigido
Especialização da manutenção	Por apresentar estrutura com subestações, necessita de mão-de-obra especializada em manutenção elétrica facilmente encontrada no mercado	Necessita de mão-de-obra especializada em manutenção de equipamentos fotovoltaicos de Auxílios à Navegação Aérea dificilmente encontrada no mercado
Periodicidade de substituição de material	Regulagem do nível de óleo dos GMGs, manutenções preventivas anuais das KFs, substituição dos TIs a cada 10 anos e luminárias a cada 20 anos	Substituição de baterias a cada 5 anos, painéis fotovoltaicos a cada 13 anos e luminárias a cada 20 anos
Intervenções no ambiente aeroportuário	Interrupção do serviço para execução de obras e substituição do fornecimento da concessionária para MT	Possibilidade de execução das obras em horário alternativo e substituição do fornecimento da concessionária para BT trifásico
Funcionários para operação noturna	Necessidade de funcionário para controle local do brilho do balizamento	O controle é realizado pelo operador da aeronave cabendo à Administração optar por software de controle remoto ou manter um funcionário para verificação de falhas
Adição ao	Duplicação do número de luminárias para	Aquisição de luminárias e baterias

quantitativo	manutenção da operação VFR em caso de falha em circuito	sobressalentes para eventuais substituições
--------------	---	---

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2017)

Observando-se todos os critérios mencionados, recomenda-se a aplicação do modelo fotovoltaico para adaptação da estrutura do aeródromo modelo à operação VFR diurno-noturna devido ao aumento da confiabilidade técnica operacional, menor impacto na estrutura existente, possibilidade de conforto visual ao piloto da aeronave devido ao sistema de controle de brilho e menor intensidade de manutenções periódicas.

5 CONCLUSÃO

No decorrer do desenvolvimento dos projetos foram realizadas revisões sobre os temas no Referencial Teórico: história da aviação civil no Brasil e no mundo, normas nacionais e internacionais referentes à aviação civil, equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea, estrutura básica de um aeródromo, modelo de projeto elétrico com alimentação convencional e fotovoltaica e parâmetros para análise financeira.

Aplicou-se a sequência disposta na metodologia para a execução dos projetos e análise financeira, contudo, sem a utilização das metodologias de análise financeira devido à incapacidade de coleta de informações o suficiente para caracterização financeira completa do projeto com base no modelo fotovoltaico.

No capítulo de implementação foram descritos os conceitos normativos utilizados para o desenvolvimento de cada etapa do trabalho desde a locação dos equipamentos de Auxílios à Navegação Aérea até a finalização do projeto elétrico e desenvolvimento da coleta de preços para caracterização da análise financeira.

Os resultados obtidos foram inclusos neste documento através dos apêndices A, B, C e D e foram debatidas suas consequências no capítulo de análise dos resultados obtido. De forma geral, pode-se afirmar que o objetivo do trabalho foi atingido parcialmente visto que a análise técnica foi realizada, contudo, a análise financeira necessitou de uma aproximação que não foi capaz de caracterizá-la de forma a apresentar o modelo com cenário favorável.

Ainda assim, pôde-se concluir que os custos de aquisição dos elementos do balizamento noturno luminoso e insumos associados a serviços complementares do cabeamento enterrado para o projeto com modelo tradicional foram semelhantes divergindo entre si em cerca de 3,25% do valor total. Esse resultado indica que mesmo que o preço unitário da luminária com tecnologia fotovoltaica seja seis vezes superior ao modelo tradicional, os gastos infraestrutura tornam o outro modelo como uma opção competitiva no aspecto financeiro.

Em relação aos parâmetros técnicos foram apresentadas diversas justificativas para a opção por um modelo ou outro visto que cada um possui suas vantagens e desvantagens. No caso, foi considerada durante o decorrer da análise a necessidade de aquisição de produtos sobressalentes, qualificação da mão-de-obra necessária, periodicidade da manutenção, intervenções no ambiente aeroportuário,

adição de membros ao quadro de funcionários da gestão do aeródromo e a confiabilidade técnica da solução.

Desta forma considerando-se os critérios mencionados e os aspectos financeiros que foram obtidos, pode-se afirmar que a hipótese foi comprovada visto que o modelo fotovoltaico apresentou-se como a solução mais favorável a ser aplicada no aeródromo modelo. Contudo, há a necessidade de obtenção de parâmetros financeiros atualizados e dados complementares para a realização de uma análise financeira.

Sugere-se, portanto, a complementação deste trabalho através da adição de parâmetros financeiros com dados recentes (a pesquisa abrangeu informações do período de 2011 a 2017), adicionar o custo de frete para entrega do material, adição de custos secundários como realização das bases de concreto e a elaboração da análise econômica com avaliação do investimento no decorrer dos anos.

Recomenda-se também a realização de uma comparação entre os dois modelos (FGV e tradicional) considerando-se a topologia em série dos RCCs e/ou com locação das luminárias de balizamento a 50 metros entre si para garantir a operação VFR mesmo em caso de falha em um dos circuitos. Uma vez finalizada as frentes de pesquisa referentes aos aeródromos com operação VFR, há a possibilidade de expansão dessas análises a aeroportos com operação IFR.

REFERÊNCIAS

ADBSAFEGATE. **Product Center**. Banco de dados. 2017. Disponível em: <<https://adbsafegate.com/product-center/airfield/>>. Acesso em: 19 set. 2017.

ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DE AVIAÇÃO. Report no. FAA-ARP-TR-10-1, de 20 de outubro de 2013. **Technical guidance for evaluating selected solar technologies on airports.**, Washington, 23 out. 2013, v. 1, n. 1, p. 11.

ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DE AVIAÇÃO. Advisory Circular no. FAA-150/5340-30H, de 18 de julho de 2014. **Design and Installation Details for Airport Visual Aids**. Washington, 21 jul. 2014, v. 1, n. 1, p. 13.

AEROCUBE. **O Aeroclube**. BBS. 2013. Amazonas. Disponível em: <<http://www.aeroclubeam.com.br/quemsomos/>>. Acesso em: 26 mar. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Anuário do Transporte Aéreo**. BBS. 2015. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/anuario-do-transporte-aereo>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Lista de Aeródromos Públicos**. Planilha em Excel. 2016. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/anuario-do-transporte-aereo>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Consultoria Legislativa - Antônio Osller Malagutti, de 15 de agosto de 2001. **Evolução da Aviação Civil, no Brasil**, Brasília, 15 ago. 2001, v. 1, n. 1, p. 5-7.

BRASIL. Resolução nº 445, de 24 de agosto de 2017. Aprova a segunda emenda do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil, **Diário Oficial da União**, Brasília, 28 ago. 2017, n. 1, p. 68.

BRASIL. Presidência da República. Decreto nº 27.713, de 27 de agosto de 1946. **Diário Oficial da União**, Brasília, 27 ago. 1946, n. 1, p. 12.715.

BRASIL. Presidência da República. Decreto nº 3564, de 28 de julho de 2000. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 28 jul. 2000, n. 160, p. 3.

BRASIL. Congresso. Lei nº 7565, de 19 de dezembro de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, 19 dez. 1986, n. 1, p. 19935.

BUCKLEY, Brian. **Oban Airport**. BBS. 2014. Disponível em: <<http://www.mutleyshangar.com/reviews/bri/egeo/egeo.htm>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

CARMANAH. **Product Center**. Banco de dados. 2017. Disponível em: <<http://airports.carmanah.com/ifr-runways/>>. Acesso em 29 set. 2017.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2014.

CRESPI, Mariane Hartmann. **Análise energética e de custo do potencial fotovoltaico conectado à rede de energia elétrica do complexo aeroportuário de Joinville**. 2015. 71 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Infraestrutura)-Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2015.

CRESPO, Antonio Márcio Ferreira. Eficiência Técnica de Aeroportos: uma abordagem focada na infraestrutura aeroportuária - Lado Ar. **UFMG**. Belo Horizonte; v. 8, n. 1, ago. 2014. p. 6-17. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2014/008.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2017.

CROUCH, Tom D.. **Asas – Uma história da aviação: das pipas à era espacial**. 1 ed. Rio de Janeiro: Record, 2008.

DIEESE. **As tarifas de energia elétrica no Brasil: sistemática de correção e evolução de valores**. BBS. 2007. Disponível em: <http://www.eduardodafonte.com.br/DIEESE_Nota_T%C3%A9cnica_Tari__eletrica>. Acesso em: 18 abr. 2017.

FAJER, Márcia. **Sistemas de investigação dos acidentes aeronáuticos da aviação geral - uma análise comparativa**. 2009. 150 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/>. Acesso em: 25 mar. 2017.

GLOBO. **Pane elétrica deixa pista do aeroporto no escuro e atrasa voo em Rio Preto**. BBS. 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2013/11/pane-eletrica-deixa-pista-do-aeroporto-no-escuro-e-atrasa-voo-em-rio-preto.html>>. Acesso em: 6 abr. 2017.

GOOGLE. Google Earth. Versão Pro. [S.l.]: Google Corporation, 2017. Software.

GRANT, R. G.. **Flight: The Complete History**. 1 ed. Nova York: DK Publishing, 2002.

KEN H. **Savvy Passenger Guide to Airport Lights**. BBS. 2016. Disponível em: <<http://aerosavvy.com/airport-lights/>>. Acesso em: 6 abr. 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA. **Rede INFRAERO investe em painéis solares para aeroportos**. BBS. 2015. Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2015/02/rede-infraero-investe-em-paineis-solares-para-aeroportos/25498>>. Acesso em: 25 mar. 2017.

KHOR, Hui Kaik. **Airport runway light system testing**. BBS. 2013. Disponível em: <<http://handheldtesttools.blogs.keysight.com/2013/12/airport-runway-light-system-testing.html>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

LAVERNÉRE-WANDERLEY; Brigadeiro R. R.; Nelson Freire. **História da Força Aérea Brasileira**. 2 ed. Rio de Janeiro: Gráfica Brasileira, 1975.

NEWHOUSE, John. **J. Boeing versus Airbus: Por Dentro da História da Maior Competição Internacional de Negócios**. 1 ed. Osasco: Século, 2008.

O POVO. **Voos são afetados por falta de energia na pista de pouso no Aeroporto de Fortaleza**. BBS. 2017. Disponível em: <<http://www.opovo.com.br/noticias/fortaleza/2017/03/voos-sao-afetados-por-falta-de-energia-na-pista-de-pouso-no-aeroporto.html>>. Acesso em: 6 abr. 2017.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Anexo 4 do documento 9157, de 01 de março de 2004. **Dispõe sobre os critérios que definem os aspectos de fabricação e disposição dos equipamentos de auxílios à navegação aérea em ambientes aeroportuários**. [S.I.] quarta edição aprovada pela Secretaria Geral da entidade e publicada na AN/901.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Products&Services - Catalogue 2016**. BBS. 2016. Disponível em: <http://www.icao.int/publications/catalogue/cat_2016_en.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2017.

PESSOA, Lenildo Tabosa. **História da Aviação Comercial Brasileira**. 1 ed. São Paulo: Editora Rios, 1989.

RIAZ, Usamah. **Runway Lightings and Markings**. BBS. 2011. Disponível em: <<http://usamahriazonline.blogspot.com.br/p/sar-beacon.html>>. Acesso em: 6 abr. 2017.

SECRETARIA DE AVIAÇÃO CIVIL. **Memoriais de Critérios e Condicionantes**, BBS. 2017. Disponível em: <<http://www.aviacao.gov.br/acesso-a-informacao/licitacoes-e-contratos/arquivos-pdf/pdf-bb-2013/2013-11193/>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

SOARES, Rodrigo Perrone. **Eficiência energética em aeroportos: contribuições da geração solar fotovoltaica**. 2014. 39 f. Monografia (Especialização em Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada a Processos Produtivos)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Apostila de Aeroportos**. Apostila eletrônica. 2008. Disponível em: <http://pet.ecv.ufsc.br/arquivos/apoio-didatico/aeroportos_junho_2012.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2017.

WELLS, Young e Alexander. **Aeroportos - Planejamento e Gestão**. 5 ed. São Paulo: Bookman, 2014.

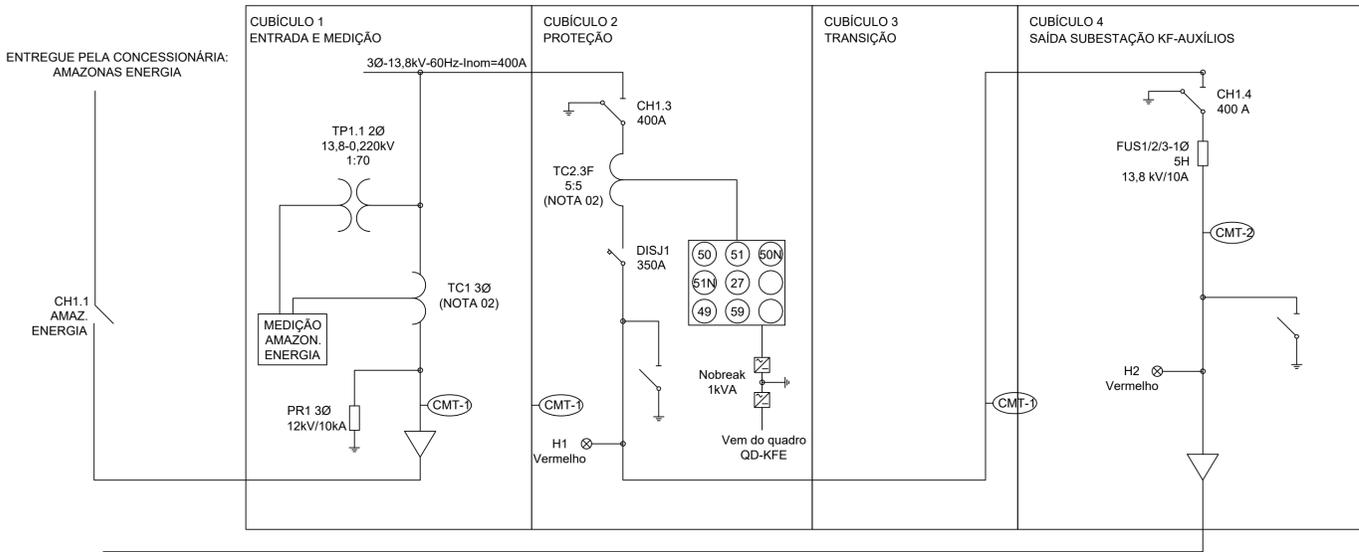
YOGI, Patent. **Did you know that the white and orange strips on windsocks are not for decoration, they actually indicate relative wind speeds!**. BBS. 2016. Disponível em: <<https://patentyogi.com/american-inventor/did-you-know-that-the-white-and-orange-strips-on-windsocks-are-not-for-decoration-they-actually-indicate-relative-wind-speeds/>>. Acesso em: 9 abr. 2017.

APÊNDICE A - IMPLANTAÇÃO DO MODELO TRADICIONAL PARTE 1

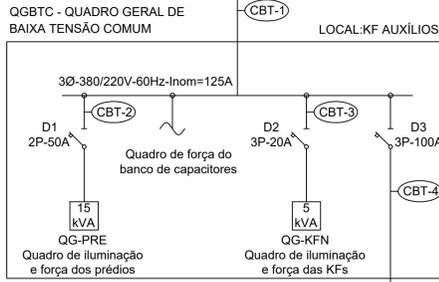
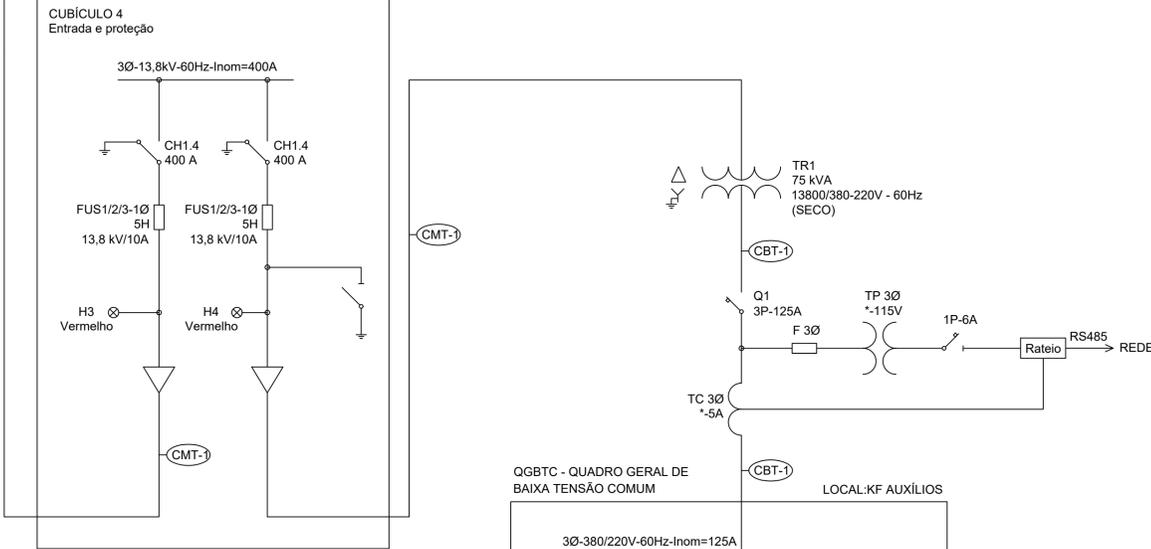
APÊNDICE B - IMPLANTAÇÃO DO MODELO TRADICIONAL PARTE 2

APÊNDICE C - DIAGRAMAS E QUADROS DE CARGA PARTE 1

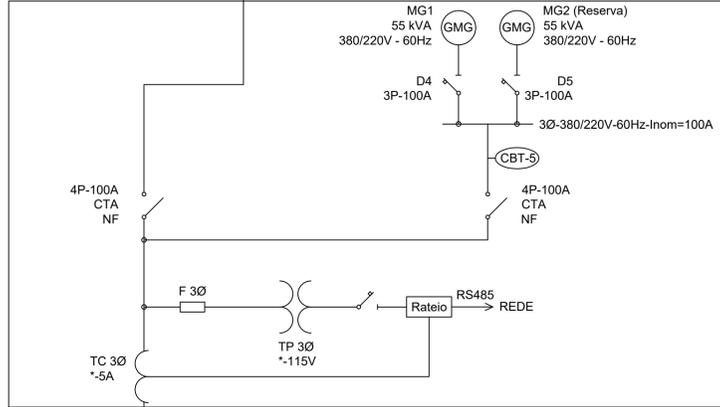
PAINEL DE MÉDIA TENSÃO - KF PRINCIPAL



PAINEL DE MÉDIA TENSÃO - KF AUXÍLIOS



QTA - DISPOSITIVO DE MANOBRA



QGBTE - QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO DE EMERGÊNCIA

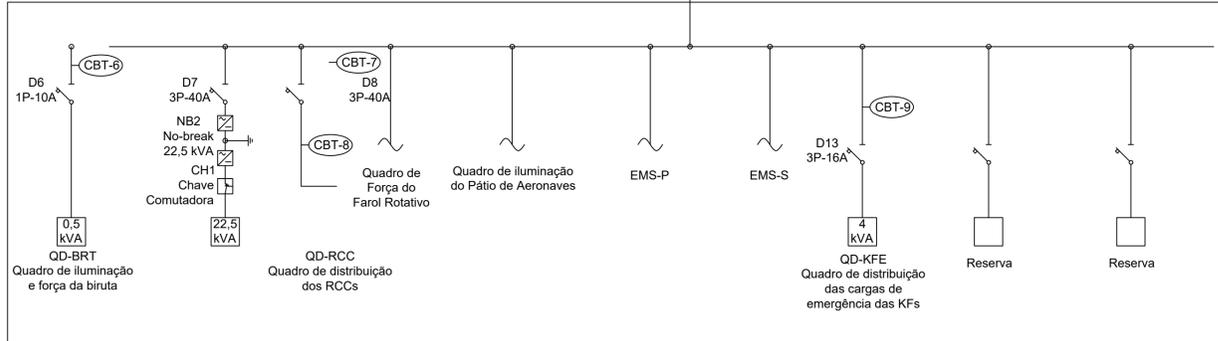


DIAGRAMA UNIFILAR GERAL
Escala: 1:1000

QUADRO DE CARGAS - QGBTC

Quadro: QGTC (QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO COMUM)
LOCAL DE INSTALAÇÃO: KF-AUXÍLIOS
TENSÃO DE OPERAÇÃO: 380/220V
DISJUNTOR: 125A
POT. INSTALADA: 47kVA

PAINEL	POT. INSTALADA	DISJUNTOR	CODIF. CABO
QD-PRE	15 kVA	50A	CBT-2
QD-KFN	5 kVA	20A	CBT-3
QGBTE	27 kVA	100A	CBT-4

QUADRO DE CARGAS - QGBTE

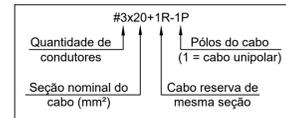
Quadro: QGBTE (QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO DE EMERGÊNCIA)
LOCAL DE INSTALAÇÃO: KF-AUXÍLIOS
TENSÃO DE OPERAÇÃO: 380/220V
DISJUNTOR: 63A
POT. INSTALADA: 27kVA

PAINEL	POT. INSTALADA	DISJUNTOR	CODIF. CABO
QD-BRT	0,5 kVA	10A	CBT-6
QD-RCC	22,5 kVA	40A	CBT-8
QD-KFE	4 kVA	16A	CBT-9

QUADRO DE CABOS (BT)

CODIFICAÇÃO	ORIGEM	DESTINO	SEÇÃO(mm²)	TERRA(mm²)	ISOLAÇÃO/TIPO	COMPRIMENTO(m)
CBT-1	TRANSFORMADOR	QGBTC	#3x50-1P	#25	PVC ANTI-CHAMA 1,0kV	15
CBT-2	QGBTC	QG-PRE	#2x16-1P	#16	PVC ANTI-CHAMA 1,0kV	15
CBT-3	QGBTC	QG-KFN	#3x4-1P	#4	PVC ANTI-CHAMA 1,0kV	15
CBT-4	QGBTC	QGBTE	#3x25-1P	#25	PVC ANTI-CHAMA 1,0kV	15
CBT-5	GM1/GM2	QGBTE	#3x16-1P	#16	PVC ANTI-CHAMA 1,0kV	15
CBT-6	QGBTE	QD-BRT	#1x4-1P	#4	PVC ANTI-CHAMA 750V	150
CBT-7	QGBTE	NB2	#3x10-1P	#10	PVC ANTI-CHAMA 1,0kV	15
CBT-8	QGBTE	QD-RCC	#3x10-1P	#10	PVC ANTI-CHAMA 1,0kV	15
CBT-9	QGBTE	QD-KFE	#3x4-1P	#4	PVC ANTI-CHAMA 750V	15

LEGENDA DA FIAÇÃO



APÊNDICE D - DIAGRAMAS E QUADROS DE CARGA PARTE 2

QUADRO DE CABOS (MT)						
CODIFICAÇÃO	ORIGEM	DESTINO	SEÇÃO(mm²)	TERRA(mm²)	ISOLAÇÃO/TIPO	COMPRIMENTO(m)
CMT-1	POSTE	PMT-KF-PRINCIPAL	#3x20+1R-1P	X	EPR/B-ALTO MÓDULO 12/20kV	15
CMT-2	PMT-KF-PRINCIPAL	PMT-KF-AUXÍLIOS	#3x20+1R-1P	X	EPR/B-ALTO MÓDULO 12/20kV	15
CMT-3	PMT-KF-AUXÍLIOS	TRANSFORMADOR	#3x20+1R-1P	X	EPR/B-ALTO MÓDULO 12/20kV	15

QUADRO DE CABOS (AUXÍLIOS À NAVEGAÇÃO)						
CODIFICAÇÃO	ORIGEM	DESTINO	SEÇÃO(mm²)	TERRA(mm²)	ISOLAÇÃO/TIPO	COMPRIMENTO(m)
BALZ-1	RCC1	TÁXI CIRC 1	#2x10-1P	X	EPR 6/10kV	658
BALZ-2	RCC2	TÁXI CIRC 2	#2x10-1P	X	EPR 6/10kV	628
BALZ-3	RCC3	PPD CIRC 1	#2x10-1P	X	EPR 6/10kV	521
BALZ-4	RCC4	PPD CIRC 2	#2x10-1P	X	EPR 6/10kV	542
BALZ-5	RCC5	CAB CIRC 1	#2x10-1P	X	EPR 6/10kV	524
BALZ-6	RCC6	CAB CIRC 2	#2x10-1P	X	EPR 6/10kV	582
BALZ-7	RCC7	PSVs	#2x10-1P	X	EPR 6/10kV	611
BALZ-8	RCC8	PAPI CAB 11	#2x10-1P	X	EPR 6/10kV	339
BALZ-9	RCC9	PAPI CAB 29	#2x10-1P	X	EPR 6/10kV	325

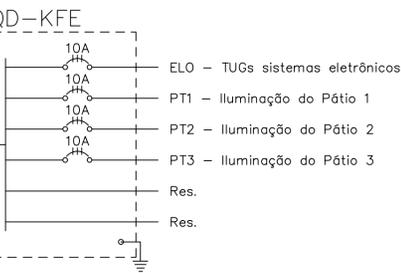
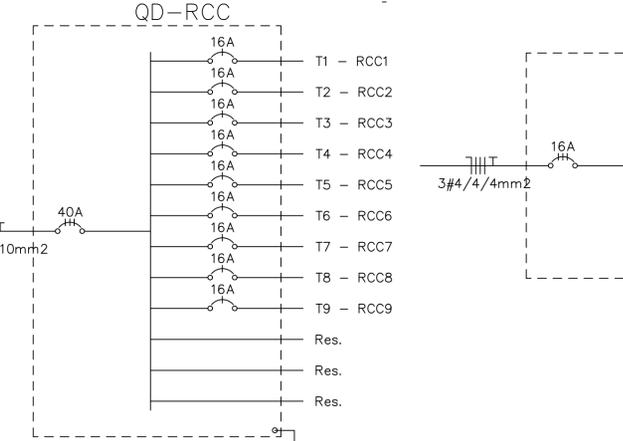
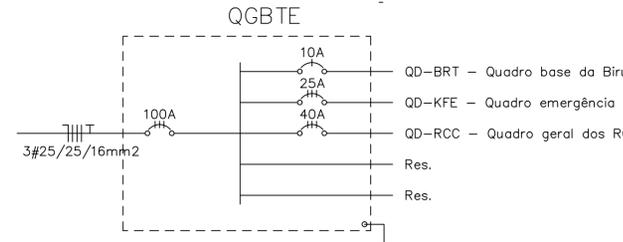
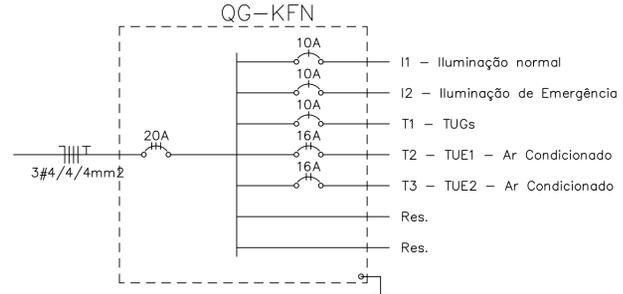
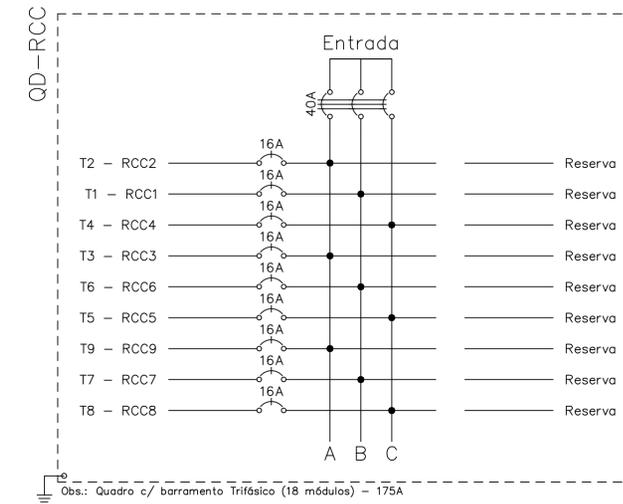
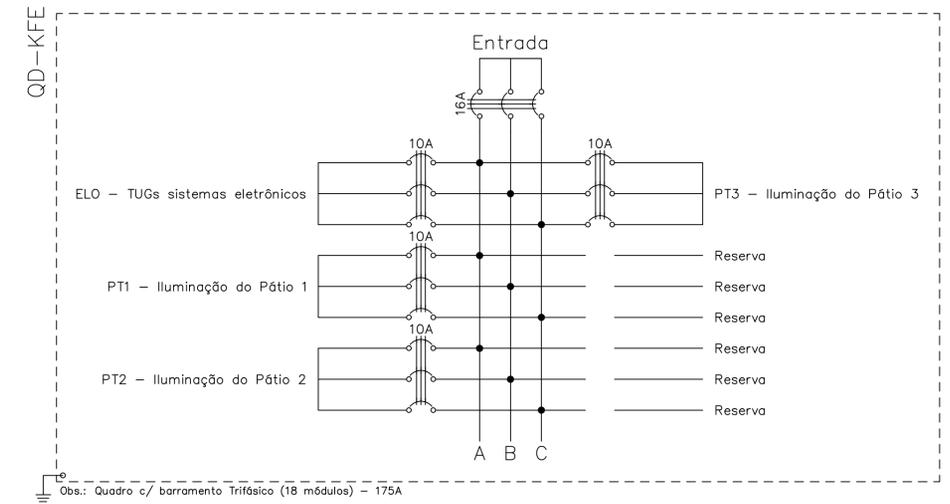
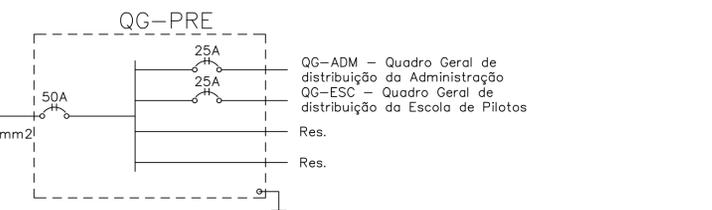
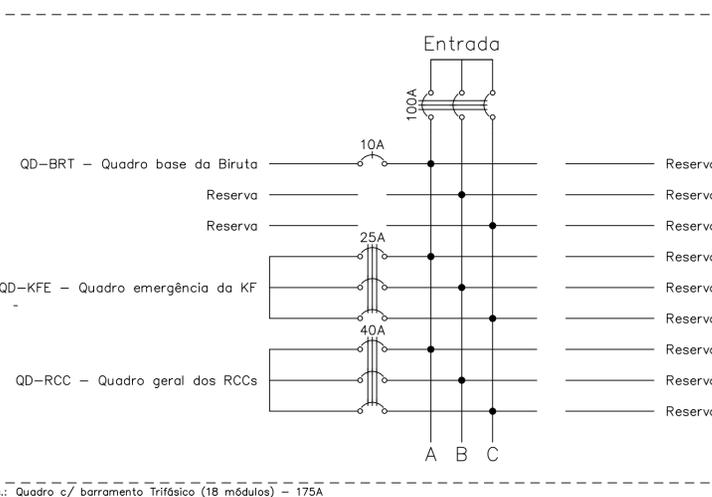
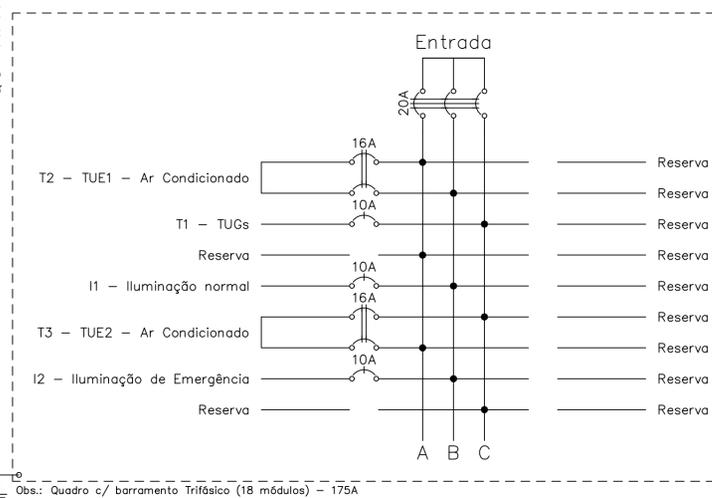
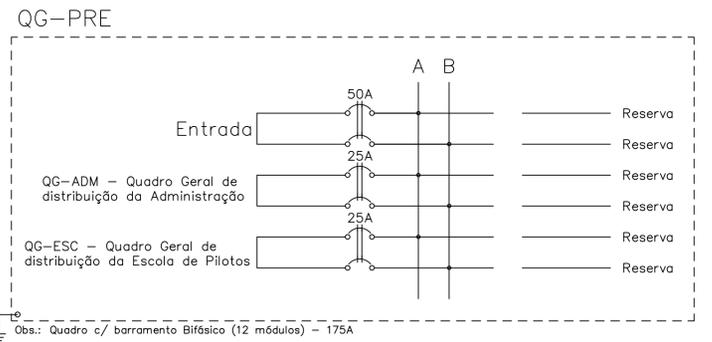
QG-PRE (QUADRO GERAL - INSTALAÇÕES PREDIAIS)												
Circ.	Descrição	Cargas			Pot. W	Pot. V.A	Fat. Pot.	Tensão V	Corr. A	Fases	Prot. A	Fases ABC
		7500VA	7500VA	15000VA								
QG-ADM	Quadro Geral de distribuição da Administração	1			6900.0	7500.0	0.92	381	19.68	2	25A	16 AB
QG-ESC	Quadro Geral de distribuição da Escola de Pilotos	1			6900.0	7500.0	0.92	381	19.68	2	25A	16 AB
Total		2			13800.0	15000.0						
Aliment.	C=15m QT=1%							381	39.36	2	50A	16 AB
Potência Demandada: 100% (13800.0 W) (15000.0 V.A)												
Corrente nas Fases: A=39.4A B=39.4A												

QG-KFN													
Circ.	Descrição	Cargas				Pot. W	Pot. V.A	Fat. Pot.	Tensão V	Corr. A	Fases	Prot. A	Fases ABC
		250VA	750VA	1000VA	1500VA								
I1	Iluminação normal		1			690.0	750.0	0.92	220	3.41	1	10A	2.5 B
I2	Iluminação de Emergência	1				230.0	250.0	0.92	220	1.14	1	10A	2.5 B
T1	TUGs			1		920.0	1000.0	0.92	220	4.55	1	10A	4 C
T2	TUE1 - Ar Condicionado				1	1380.0	1500.0	0.92	381	3.94	2	16A	4 AB
T3	TUE2 - Ar Condicionado				1	1380.0	1500.0	0.92	381	3.94	2	16A	4 CA
Total		1	1	1	2	4600.0	5000.0						
Aliment.	C=15m QT=1%								381	7.58	3	20A	4 ABC
Potência Demandada: 100% (4600.0 W) (5000.0 V.A)													
Corrente nas Fases: A=7.9A B=8.5A C=8.5A													

QGBTE												
Circ.	Descrição	Tomadas			Pot. W	Pot. V.A	Fat. Pot.	Tensão V	Corr. A	Fases	Prot. A	Fases ABC
		500VA	4000VA	22500VA								
QD-BRT	Quadro da base da Biruta	1			460.0	500.0	0.92	220	2.27	1	10A	4 A
QD-KFE	Quadro emergência da KF		1		3680.0	4000.0	0.92	381	6.06	3	25A	6 ABC
QD-RCC	Quadro geral dos RCCs			1	20700.0	22500.0	0.92	381	34.09	3	40A	10 ABC
Total		1	1	1	24840.0	27000.0						
Aliment.	C=15m QT=1%							381	40.91	3	100A	25 ABC
Potência Demandada: 100% (24840.0 W) (27000.0 V.A)												
Corrente nas Fases: A=42.4A B=40.2A C=40.2A												

QD-RCC											
Circ.	Descrição	Tomadas 2500VA	Pot. W	Pot. V.A	Fat. Pot.	Tensão V	Corr. A	Fases	Prot. A	Cond. mm2	Fases ABC
T2	RCC2	1	2300.0	2500.0	0.92	220	11.36	1	16A	6	A
T3	RCC3	1	2300.0	2500.0	0.92	220	11.36	1	16A	6	A
T4	RCC4	1	2300.0	2500.0	0.92	220	11.36	1	16A	6	C
T5	RCC5	1	2300.0	2500.0	0.92	220	11.36	1	16A	6	C
T6	RCC6	1	2300.0	2500.0	0.92	220	11.36	1	16A	6	B
T7	RCC7	1	2300.0	2500.0	0.92	220	11.36	1	16A	6	B
T8	RCC8	1	2300.0	2500.0	0.92	220	11.36	1	16A	6	C
T9	RCC9	1	2300.0	2500.0	0.92	220	11.36	1	16A	6	A
Total		9	20700.0	22500.0							
Aliment.	C=15m QT=1%					381	34.09	3	40A	10	ABC
Potência Demandada: 100% (20700.0 W) (22500.0 V.A)											
Corrente nas Fases: A=34.1A B=34.1A C=34.1A											

QD-KFE											
Circ.	Descrição	Tomadas 1000VA	Pot. W	Pot. V.A	Fat. Pot.	Tensão V	Corr. A	Fases	Prot. A	Cond. mm2	Fases ABC
PT1	Iluminação do Pátio 1	1	920.0	1000.0	0.92	381	1.52	3	10A	4	ABC
PT2	Iluminação do Pátio 2	1	920.0	1000.0	0.92	381	1.52	3	10A	4	ABC
PT3	Iluminação do Pátio 3	1	920.0	1000.0	0.92	381	1.52	3	10A	4	ABC
Total		4	3680.0	4000.0							
Aliment.	C=15m QT=1%					381	5.58	3	16A	4	ABC
Potência Demandada: 100% (3680.0 W) (4000.0 V.A)											
Corrente nas Fases: A=6.1A B=6.1A C=6.1A											



APÊNDICE E – DIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS

Quadro QG-PRE

Circuito	Tensão (V)	Carga (kVA)	Circ. Agrup.	Fc	Ip (A)	Ic (A)	Tipo Inst.	QT (%)	Dist. (m)	Bit.Corr. (mm ²)	Bit.QT (mm ²)	Bit.Aplic. (mm ²)	Proteção (A)
Alim.	381	15	1	1	39,36	39,36	B1	1	15	4	10	16	2P50A
QG-ADM	381	7,5	1	1	19,68	19,68	B1	2	132	1,5	16	16	2P25A
QG-ESC	381	7,5	1	1	19,68	19,68	B1	2	127	1,5	16	16	2P25A

Quadro QG-KFN

Circuito	Tensão (V)	Carga (kVA)	Circ.	Fc	Ip (A)	Ic (A)	Tipo	QT	Dist. (m)	Bit.Corr. (mm ²)	Bit.QT (mm ²)	Bit.Aplic. (mm ²)	Proteção (A)
Alim.	381	5	1	1	7,58	7,58	B1	1	15	0,5	1,5	20	3P20A
I1	220	0,75	1	1	3,41	3,41	B1	2	55	0,5	2,5	2,5	10A
I2	220	0,25	1	1	1,14	1,14	B1	2	39,91	0,5	1,5	2,5	10A
T1	220	1	1	1	4,55	4,55	B1	2	44,57	0,5	2,5	4	10A
T2	381	1,5	1	1	3,94	3,94	B1	2	44,57	0,5	1,5	4	2P16A
T3	381	1,5	1	1	3,94	3,94	B1	2	55	0,5	1,5	4	2P16A

Quadro QGBTE

Circuito	Tensão (V)	Carga (kVA)	Circ.	Fc	Ip (A)	Ic (A)	Tipo	QT	Dist. (m)	Bit.Corr. (mm ²)	Bit.QT (mm ²)	Bit.Aplic. (mm ²)	Proteção (A)
QGBTE	381	27	1	1	40,91	40,91	B1	1	15	6	6	25	3P100A
QD-BRT	220	0,5	1	1	2,27	2,27	B1	2	44,57	0,5	1,5	4	10A
QD-KFE	381	4	1	1	6,06	6,06	B1	2	55	0,5	2,5	6	3P25A
QD-RCC	381	22,5	1	1	34,09	34,09	B1	2	55	4	10	10	3P40A

Quadro QD-RCC

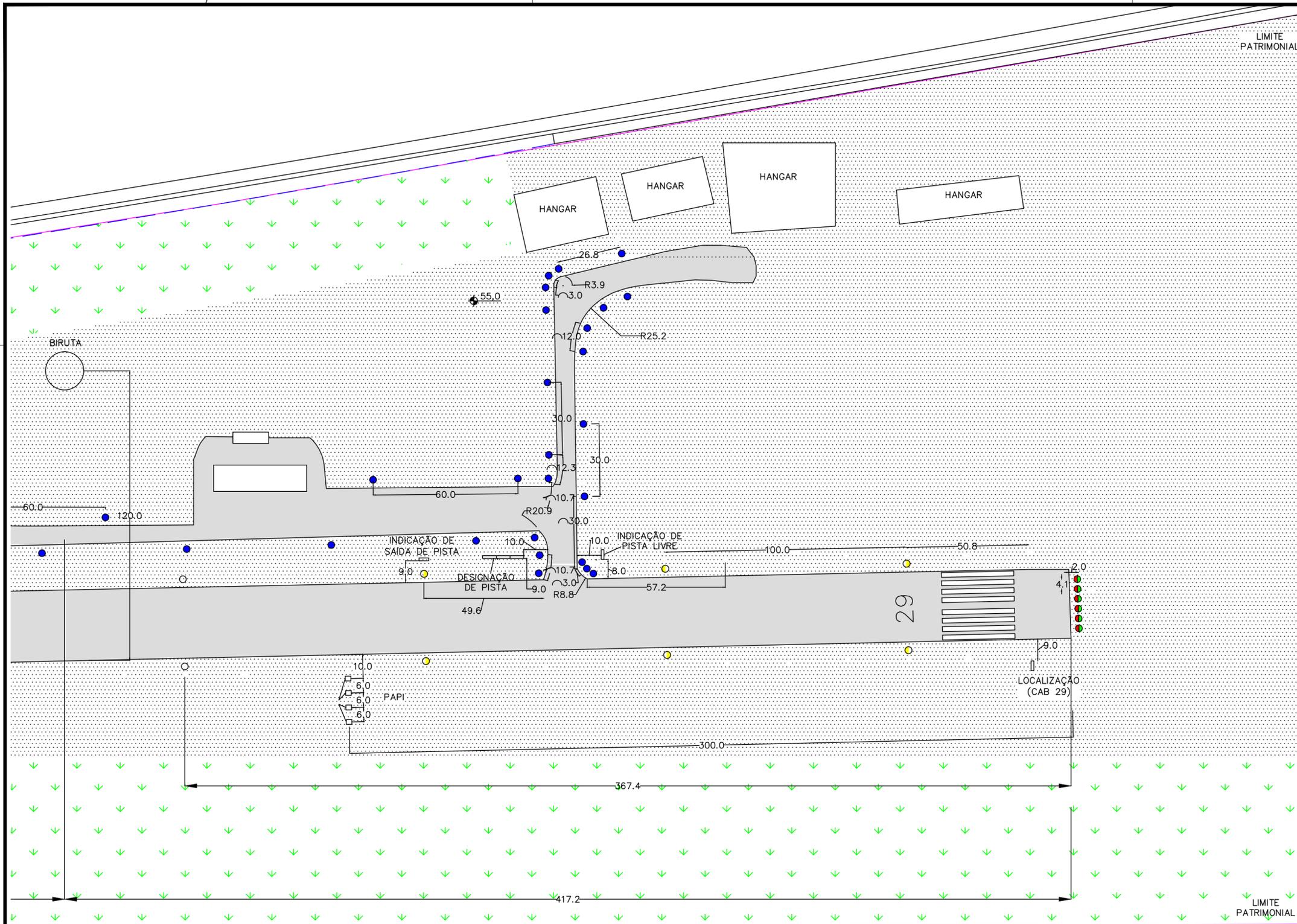
Circuito	Tensão (V)	Carga (kVA)	Circ.	Fc	Ip (A)	Ic (A)	Tipo	QT	Dist. (m)	Bit.Corr. (mm ²)	Bit.QT (mm ²)	Bit.Aplic. (mm ²)	Proteção (A)
RCC1	220	2,5	1	1	11,36	11,36	B1	2	44,57	0,5	6	6	16A
RCC2	220	2,5	1	1	11,36	11,36	B1	2	55	0,5	6	6	16A
RCC3	220	2,5	1	1	11,36	11,36	B1	2	55	0,5	6	6	16A
RCC4	220	2,5	1	1	11,36	11,36	B1	2	70,05	0,5	6	6	16A
RCC5	220	2,5	1	1	11,36	11,36	B1	2	39,91	0,5	6	6	16A
RCC6	220	2,5	1	1	11,36	11,36	B1	2	70,09	0,5	6	6	16A
RCC7	220	2,5	1	1	11,36	11,36	B1	2	39,91	0,5	6	6	16A
RCC8	220	2,5	1	1	11,36	11,36	B1	2	85,14	0,5	6	6	16A
RCC9	220	2,5	1	1	11,36	11,36	B1	2	44,57	0,5	6	6	16A

Quadro QD-KFN

Circuito	Tensão (V)	Carga (kVA)	Circ.	Fc	I _p (A)	I _c (A)	Tipo	QT	Dist. (m)	Bit.Corr. (mm ²)	Bit.QT (mm ²)	Bit.Aplic. (mm ²)	Proteção (A)
ELO	381	1	1	1	1,52	1,52	B1	2	24,86	0,5	1,5	4	3P10A
PT1	381	1	1	1	1,52	1,52	B1	2	55	0,5	1,5	4	3P10A
PT2	381	1	1	1	1,52	1,52	B1	2	55	0,5	1,5	4	3P10A
PT3	381	1	1	1	1,52	1,52	B1	2	24,86	0,5	1,5	4	3P10A

APÊNDICE F - IMPLANTAÇÃO DO MODELO FOTOVOLTAICO PARTE 1

APÊNDICE G - IMPLANTAÇÃO DO MODELO FOTOVOLTAICO PARTE 2



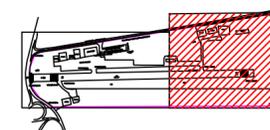
LEGENDA DE SIMBOLOGIA

●	Luminária elevada de fim de pista de cor vermelha
●	Luminária elevada de cabeceira de pista de cor verde
●	Luminária elevada de borda de PPD de cor amarela/branca
○	Luminária elevada de borda de PPD de cor branca/branca
●	Luminária elevada de borda de Taxiway de cor azul
□ □ □ □	Conjunto PAPI
—	Painel de Sinalização Vertical Luminosa com 1 módulo
—	Painel de Sinalização Vertical Luminosa com 3 módulos
○	Biruta iluminada

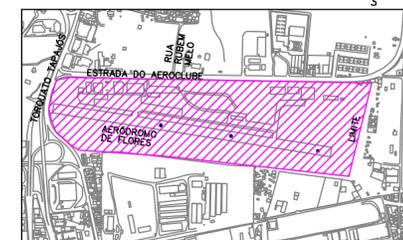
LEGENDA DE HACHURAS

	Terreno coberto por areia ou calçada pavimentada
	Terreno coberto área vegetal
	Terreno coberto por pavimento em concreto

PLANTA-CHAVE



PLANTA DE LOCALIZAÇÃO



2 IMPLANTAÇÃO ELÉTRICA - PARTE 2

ESCALA: 1 : 1250

NOTAS

- 1 - As cotas indicadas estão em metros (m), salvo indicação em contrário.
- 2 - O projeto é baseado em alimentação fotovoltaica, cabendo às próximas etapas (Projeto Básico/Executivo) informar os detalhes de instalação a exemplo do ângulo de inclinação e locação dos painéis, assim como a necessidade ou não de bases de concreto.
- 3 - Os cabeamento entre os painéis fotovoltaicos e os equipamentos está incluso na compra segundo catálogo do fabricante de referência.